

Valutazione del rischio sismico e programmi di mitigazione nei contesti urbani storici ad elevata attrattività turistica. Il caso Ortigia.

Concetta Borgia

Tutor: Prof.ssa Aurora Angela Pisano

Co-Tutor: Prof. Salvatore Giuffrida

Dottorato di Ricerca in **Urban Regeneration and Safety Assessment**

XXXIV ciclo - 2022

Coordinatore: Prof. Paolo Fuschi



Tesi di dottorato:

Valutazione del rischio sismico e programmi di mitigazione nei contesti urbani storici ad elevata attrattività turistica. Il caso Ortigia.

Concetta Borgia

Tutor:

Prof.ssa Aurora Angela Pisano

Co-Tutor:

Prof. Salvatore Giuffrida

Coordinatore:

Prof. Paolo Fuschi

**Urban Regeneration and Safety Assessment
ciclo XXXIV**

**Dipartimento PAU
Università di Reggio Calabria
2022**

*A Laura e Giulia
essenza della mia felicità.*

Ringraziamenti

Sento il dovere di ringraziare coloro i quali hanno fatto sì che questo lavoro di ricerca fosse portato a compimento nonostante l'avversità della pandemia e la profonda incertezza dei tempi.

Desidero ringraziare la Prof.ssa Aurora Angela Pisano per i consigli e gli stimoli che mi hanno consentito di sviluppare temi di ricerca multidisciplinari assecondando la mia formazione e i miei interessi.

Un ringraziamento particolare va al mio correlatore Prof. Salvatore Giuffrida, guida sapiente del mio percorso di dottorato, per il suo prezioso supporto senza il quale tutto sarebbe stato più difficile da affrontare e per l'enorme disponibilità accordata.

Grazie all'amica di sempre Caterina Carocci per avermi sostenuta in questi tre lunghi anni di dottorato e per aver saputo ascoltare e interpretare al meglio le mie esigenze di ricerca indirizzandomi nella giusta direzione.

Ringrazio la Prof.ssa Maria Rosa Trovato per il suo sostegno nell'analizzare e elaborare i dati per la determinazione del Capitale Umano di Ortigia, che è una delle due componenti essenziali per la determinazione dell'esposizione al rischio sismico.

Un sincero ringraziamento va al Coordinatore del Dottorato Prof. Paolo Fuschi per aver reso questi tre anni ricchi di nuove esperienze.

Infine, grazie di cuore a mio marito Nicola per avermi dato la forza di andare avanti incoraggiandomi amorevolmente e costantemente e per avermi contagiato il piacere della ricerca.

Abstract

Questa ricerca pone l'attenzione sul tema del rischio sismico dei tessuti urbani storici con riferimento alla possibilità di rispondere a questioni relative alla scelta tra l'implementazione di politiche proattive in luogo di quelle reattive. Le prime sono intese all'attuazione di azioni di prevenzione, mentre le seconde rimandano alla situazione di emergenza dell'insieme delle misure per il soccorso e la riparazione.

La scelta tra le due alternative dipende dalla percezione del rischio: nella misura in cui la combinazione tra evidenze e valutazioni determina motivi di seria preoccupazione diffusa circa la possibilità che l'evento calamitoso si verifichi e soprattutto circa l'entità delle perdite conseguenti, prevarrà l'implementazione di misure di mitigazione e viceversa.

L'idea di fondo di questa ricerca è che i due approcci possano anche coesistere e quindi possano implementarsi misure sufficienti a ridurre gli effetti più catastrofici, senza per questo garantire la perfetta integrità del patrimonio a rischio anche in conseguenza di un sisma di elevata entità. Questa idea sottende, quindi, la convinzione che la questione della scelta circa il modo in cui prevenzione e riparazione possano integrarsi e coordinarsi:

- da una parte, dipenda da aspetti tecno-scientifici, economico-valutativi e politici;
- dall'altra, e di conseguenza, che questi tre aspetti debbano potersi coordinare all'interno di un unico percorso condiviso lungo il quale l'interlocuzione tra soggetti portatori di interessi alternativi possa essere assistita da uno strumento di analisi, valutazione e programmazione che fornisca risposte convincenti e condivisibili collegando evidenze, razionalità e opportunità.

A monte di questa scelta risulta essenziale la valutazione del rischio sismico.

Il tema è stato affrontato nella pianificazione urbana attraverso la predisposizione di alcuni strumenti dalla funzione prevalentemente informativa (non prescrittiva o conformativa, quindi) come la Condizione Limite per l'Emergenza (CLE) o la Struttura Urbana Minima (SUM) che forniscono indicazioni circa le aree strategiche per la gestione dell'emergenza (protezione della popolazione in fuga) e per il mantenimento da parte dell'organismo urbano delle funzioni vitali di base. Tutte attività di mitigazione del rischio sismico che possono essere messe in atto in contesti urbani in ragione del rischio opportunamente valutato e mappato.

Lo studio, sulla base di una ricognizione di alcuni principi concettuali, è funzionale a una definizione del rischio sismico specificamente rivolta ai tessuti urbani di particolare valore architettonico, urbano e paesaggistico, e pertanto oggetto di rilevante interesse economico e immobiliare anche per le ricadute sulle attività turistiche.

L'obiettivo principale è quello di proporre una metodologia e, di conseguenza, uno strumento, in grado di fornir risposte alternative allo spettro delle questioni che questo tema solleva. Il soggetto decisore potrà così intraprendere un percorso che conduca a una scelta circa il profilo delle strategie di intervento da implementare che sia "rilevante per il pubblico", cioè condivisibile alla luce di evidenze e ipotesi ragionevoli, in un contesto di conoscenze ove l'incertezza, sia di natura aleatoria (intrinseca nel concetto di pericolosità sismica) che epistemica (propria della stima della vulnerabilità e dell'esposizione), prevale sulla misura.

L'esito complessivo di questo percorso conoscitivo e applicativo – rivolto al caso studio di una parte di Ortigia, nucleo originario del centro storico di Siracusa – è consistito nella formazione di un modello decisionale attraverso cui sia possibile definire gli interventi di mitigazione della vulnerabilità sismica del tessuto edilizio di base e per ciascuna unità, e scegliere la scala di intervento appropriata in base al confronto tra costi di intervento stimati e benefici prevedibili.

Questi ultimi, che si dispiegano nell'ampio spettro del valore attribuibile a un contesto complesso e dinamico come quello degli aggregati urbani caratterizzati da aspetti di pregio riconosciuti a livello mondiale, si sono ricondotti alle due matrici socio-economiche primarie, del capitale urbano e del capitale umano con le necessarie riduzioni e semplificazioni che hanno consentito di argomentare la necessità di sostenere e applicare un approccio proattivo alla questione della vulnerabilità sismica delle città.

In questo senso, si è verificato che il risultato, pur dipendendo da un ampio set di variabili la cui dimensione è legata a ipotesi non esenti da confronti e discussioni coinvolgenti aspetti interdisciplinari, da una parte sostiene decisamente l'approccio proattivo, dall'altra indica in che senso e in che misura i costi di intervento sono compensati dai benefici riconducibili alle due componenti del capitale urbano e umano il cui valore è stato misurato in termini monetari.

Un ulteriore aspetto che concorre alla robustezza di questo risultato e più in generale di questo approccio metodologico, e soprattutto alla possibilità che esso sia oggetto di discussione e condivisione da parte dei soggetti in dialogo con i decisori, è la

volontà di identificare la scala ottimale dell'intervento di mitigazione. La scelta si basa sia su ragioni economiche (confronto tra benefici e costi) che finanziarie (capacità di spesa pubblica) e richiede di determinare la scala ottimale degli interventi, oppure di definirne un ordine di priorità in base a specifici criteri, la cui selezione e definizione è anch'essa oggetto di convergenza tra i soggetti del percorso decisionale – decisori e portatori di interessi.

Anche nel merito di questo problema il modello proposto argomenta le diverse risposte possibili.

Indice

Ringraziamenti

Abstract

1	INTRODUZIONE E AMBITO DELLA RICERCA	5
2	IL RISCHIO SISMICO	9
2.1	Premessa	9
2.2	Pericolosità	12
	2.2.1 Metodo deterministico	13
	2.2.2 Metodo probabilistico	14
	2.2.3 Mappe della pericolosità sismica	15
	2.2.4 Evoluzione della classificazione sismica in Italia	16
2.3	Vulnerabilità	19
	2.3.1 La vulnerabilità del singolo edificio: curve di fragilità	20
	2.3.2 Matrice di probabilità del danno	21
2.4	Esposizione	26
2.5	Approccio olistico alla valutazione del rischio	27
	2.5.1 Stato dell'arte nella valutazione del rischio sismico	29
	2.5.2 L'Earthquake Disaster Risk Index (EDRI)	30
	2.5.3 Il modello Cardona	34
2.6	La "dimensione" del rischio sismico in Italia	40
3	PROPOSTA METODOLOGICA	45
3.1	Modello concettuale: Analisi, valutazione e progetto	45
	3.1.1 Analisi	48
	3.1.2 Valutazione	48
	3.1.3 Progetto	49
3.2	Il capitale urbano	50

3.2.1	<i>Il capitale.....</i>	51
3.2.2	<i>Il capitale sociale: ambiente e rischio.....</i>	53
3.2.3	<i>Il capitale urbano: volume e valore</i>	56
3.2.4	<i>Il valore del capitale urbano e la misura dell'esposizione</i>	57
3.3	Il capitale umano	59
3.3.1	<i>Sul concetto di capitale umano.....</i>	61
3.3.2	<i>Approcci per la misurazione del capitale umano</i>	63
3.3.3	<i>L'approccio Jorgenson-Fraumeni</i>	64
3.3.4	<i>L'approccio di Jorgenson-Fraumeni per stimare il capitale umano dalle attività di mercato</i>	64
3.3.5	<i>Il valore dello stock totale di capitale umano stimato dall'ISTAT in relazione ai beni di mercato</i>	65
3.3.6	<i>Approccio di Jorgenson-Fraumeni per il calcolo del capitale umano legato alle attività di non mercato.....</i>	65
3.3.7	<i>Attività non di mercato - uso del tempo libero</i>	66
3.3.8	<i>Attività non di mercato - produzione domestica.....</i>	67
3.3.9	<i>Il valore dello stock di capitale umano totale stimato dall'ISTAT in relazione alle attività non di mercato.....</i>	67
4	DAL MODELLO CONCETTUALE AL MODELLO OPERATIVO:	
	APPLICAZIONE AL CASO STUDIO DI ORTIGIA	69
4.1	Riferimenti di metodo.....	69
4.1.1	<i>Assemblaggio</i>	70
4.1.2	<i>Comportamento in presenza di azioni sismiche</i>	70
4.1.3	<i>L'edificio</i>	73
4.1.4	<i>Il tessuto edilizio.....</i>	75
4.1.5	<i>La regola dell'Arte muraria come riferimento per la valutazione della qualità costruttiva dell'edificio</i>	77
4.1.6	<i>Elementi costruttivi e tecnica muraria del tessuto edilizio di Ortigia</i>	78
4.1.7	<i>Vulnerabilità intrinseche e vulnerabilità estrinseche.....</i>	79
4.2	Condizioni attuali di Ortigia.....	80

5	IL MODELLO OPERATIVO	85
5.1	La Pericolosità nel territorio siracusano e in Ortigia.....	86
	5.1.1 <i>Aspetti generali. Il contesto regionale.....</i>	86
	5.1.2 <i>Classificazione sismica di Siracusa.....</i>	89
	5.2 <i>Valutazione della pericolosità.....</i>	91
	5.2.1 <i>Definizioni</i>	91
	5.2.2 <i>Considerazioni</i>	93
5.3	Vulnerabilità nel tessuto edilizio di Ortigia.....	99
	5.3.1 <i>L'Aggregato Edilizio (A.E.).....</i>	99
	5.3.2 <i>L'Unità Edilizia (U.E.) e l'Unità di Facciata (U.F.)</i>	99
	5.3.3 <i>Valutazione della vulnerabilità</i>	100
	5.3.4 <i>Costi di mitigazione della vulnerabilità</i>	102
5.4	Esposizione.....	106
	5.4.1 <i>Valutazione dell'esposizione: il capitale urbano nel tessuto edilizio di Ortigia</i>	106
	<i>Valore attualizzato del costo di ricostruzione</i>	107
	<i>Valore attualizzato dei mancati redditi</i>	107
	5.4.2 <i>Valutazione dell'Esposizione: il capitale umano nel tessuto edilizio di Ortigia</i>	110
6	RICERCA SUL CAMPO E FORMAZIONE DELLA BANCA DATI.....	113
6.1	Formazione della banca dati ed estrazione delle informazioni.....	113
6.2	Identificazione U.E. e caratteristiche dimensionali.....	116
6.3	Carta di identificazione degli aggregati.....	116
6.4	Carta delle Vulnerabilità e Resistenze.....	118
6.5	Individuazione dei tipi edilizi.....	126
7	APPLICAZIONE E RISULTATI RICERCA	131
7.1	Mappa della vulnerabilità delle unità architettoniche.....	131
7.2	Calcolo dei costi di riduzione della vulnerabilità	133
7.3	Calcolo dei benefici della riduzione della vulnerabilità	134

7.3.1	<i>La valutazione monetaria del capitale urbano</i>	135
7.3.2	<i>La valutazione monetaria del capitale umano</i>	139
8	DISCUSSIONE E CONCLUSIONI	143
8.1	Potenzialità interpretative del modello	143
8.1.1	<i>Solidarietà spaziale</i>	145
8.1.2	<i>Solidarietà temporale</i>	147
8.2	Conclusioni.....	149
	Bibliografia	153
	Lista delle figure	161
	Lista delle tabelle	165
	Appendice 1: Indagine di mercato di 75 immobili dislocati in Ortigia	
	Appendice 2: Carta d'identificazione degli aggregati	
	Appendice 3: Carta delle vulnerabilità e delle resistenze osservate	

1 INTRODUZIONE E AMBITO DELLA RICERCA

Il tema del rischio sismico, nello specifico dei contesti urbani storici, assume imprescindibili caratteri multidisciplinari che riguardano aspetti fisici, formali, culturali, umani sociali, economici, organizzativi e giuridico-amministrativi, che in generale le scienze del progetto e del piano hanno la responsabilità di coordinare.

In questa proiezione, la definizione del rischio sismico – pur rimanendo saldamente ancorata alle tre componenti fondamentali, della pericolosità, della vulnerabilità e della esposizione – assume molteplici sfaccettature nell’incontro con il cumulo dei valori che caratterizzano invece la città storica. Oltre ai fattori più facilmente oggettivabili, pericolosità e vulnerabilità, che tradizionalmente condizionano la determinazione della mappa del rischio, le specificità architettoniche, urbanistiche e paesaggistiche della città storica hanno un peso significativo nella attuazione delle politiche di mitigazione alle scale sovraordinate.

La letteratura analizzata, infatti, ha messo in evidenza principalmente le variabili della pericolosità e soprattutto della vulnerabilità, e descritto una strumentazione volta a codificare e integrare nella pianificazione ordinaria sistemi informativi di riduzione della vulnerabilità edilizia e urbana (CLE¹, SUM²).

¹ Condizione limite per l'emergenza (CLE)=è quella condizione al cui superamento, a seguito del manifestarsi dell'evento sismico, pur in concomitanza con il verificarsi di danni fisici e funzionali tali da condurre all'interruzione delle quasi totalità delle funzioni urbane presenti, compresa la residenza, l'insediamento urbano conserva comunque, nel suo complesso, l'operatività della maggior parte delle funzioni strategiche per l'emergenza, la loro accessibilità e connessione con il contesto territoriale. L'analisi della CLE è stata introdotta con l'opcm 4007/12 che regola l'utilizzo dei fondi previsti dall'art. 11 della legge 77/09 (Fondo nazionale per la prevenzione del rischio sismico) per l'annualità 2011 e viene condotta in concomitanza agli studi di microzonazione sismica (MS). Si esegue pertanto a livello comunale, anche se è possibile effettuarla anche a livello intercomunale. L'analisi della CLE non può prescindere dal piano di emergenza o di protezione civile ed è un'attività che serve per verificare le scelte contenute nel piano.

² Struttura urbana minima (SUM)= sistema di percorsi, spazi, funzioni urbane ed edifici strategici per la risposta urbana al sisma in fase di emergenza, e per il mantenimento e la ripresa delle attività urbane ordinarie, economico-sociali e di relazione in fase successiva all'evento sismico.

Di conseguenza, la specificità dell'interesse di questo lavoro esige quindi una definizione e delimitazione concettuale e operativa della componente "esposizione", la cui estensione non può che essere di volta in volta commisurata tanto al patrimonio di informazioni disponibili, quanto allo specifico obiettivo che all'interno delle pur legittime finalità generali si vuole perseguire.

In questo percorso, la vulnerabilità rimane certamente un riferimento preliminare e di indirizzo per lo studio sulla esposizione, la quale non avrebbe ragione di essere considerata in sé e in termini assoluti, ma assunta come rilevante in relazione proprio al fatto che le misure da definire e implementare per la protezione del patrimonio architettonico-urbano a rischio non possono non essere commisurate al valore del patrimonio esposto ed è pertanto necessario conoscerne il costo, che dalla misura della vulnerabilità e dalla conoscenza delle relative misure di mitigazione viene quantificato.

In senso generale, quindi, pur nella piena coscienza della multidimensionalità del tema, ciò che, almeno in sede teorica rileva è il confronto tra i costi della protezione del patrimonio architettonico-urbano e il suo valore.

Quando l'ambito di applicazione di questo approccio si estende a contesti urbani il cui pregio diventa vieppiù un fattore di attrazione di persone e investimenti, il tema della esposizione si espande ed è questo il motivo per il quale è necessario definirlo in un ambito operativo e amministrativo delimitato, entro il quale, nella piena consapevolezza che la sua trattazione e valutazione non può essere esaurita, ne vengono indicate, identificate e modellate le matrici

Definite le principali componenti del rischio alla luce delle finalità generali di questa ricerca e dei subordinati obiettivi specifici, in particolare, una volta indicata la mutua relazione tra vulnerabilità ed esposizione, assunta come modello concettuale del percorso di analisi critica e definizione delle misure di protezione del patrimonio a rischio, vengono definiti i modelli di descrizione e misurazione della vulnerabilità ed esposizione.

Per innalzare significativamente il livello di sicurezza del territorio, l'obiettivo di mitigazione del rischio sismico dovrebbe essere inserito nelle ordinarie strategie di governo di una collettività. In tal ambito, l'esperienza della Regione Umbria, che ha emanato con D.G.R. del 8 febbraio 2010, n.164, le *Linee guida per la definizione della struttura urbana minima* nel PRG, ai fini della riduzione della vulnerabilità sismica urbana, rappresenta un esempio virtuoso.

Il modello della definizione, analisi e valutazione della vulnerabilità coordina i due piani:

- dell'aggregato edilizio, per i fini della protezione del manufatto in sé, in particolare indicandone le principali criticità e le relative misure di mitigazione;
- dell'unità architettonica, nella sua relazione con l'immediato intorno urbano, quindi con riferimento alle unità di facciata interferenti e per i fini della applicazione della Condizione Limite per l'Emergenza (Dolce et alii, 2012).

La definizione, l'analisi e la valutazione dell'esposizione – considerate in relazione alla vulnerabilità, come detto – sono state rivolte alla nozione del capitale e quindi riferite alle due dimensioni del suo valore, la dimensione del capitale architettonico-urbano e la dimensione del capitale umano.

2 IL RISCHIO SISMICO

“Il rischio non è solo un evento particolare, futuro e incerto che può influenzare in modo positivo o negativo il raggiungimento di determinati risultati, arrivando a pregiudicare la stabilità di un singolo o di un'intera organizzazione. Il rischio è oramai l'orizzonte globale dentro cui, come organizzazioni e come singoli, ci muoviamo e orientiamo”

Ulrich Beck

2.1 Premessa

Per il sociologo tedesco Niklas Luhmann (2013) il termine *rischio* e *pericolo* rimandano a un senso di incertezza rispetto ad eventuali danni futuri, con la differenza che nel primo caso, esiste una decisione a monte che li preventiva, mentre nel secondo caso le cause sono considerate esterne alla decisione assunta: in questo senso si potrebbe dire che il *pericolo* di un terremoto (che avviene all'improvviso, per cause naturali) si distingue dal rischio sismico, laddove si preventiva, consapevolmente di vivere, con o senza accorgimenti tesi a ridurre l'eventuale danno, in un territorio geologicamente predisposto ai fenomeni tellurici. Il pericolo dipende quindi da fattori che sono percepibili come esterni rispetto a un sistema, mentre il rischio si associa alle decisioni assunte dal sistema.

In particolare, il rischio sismico è qui inteso come la previsione degli scenari che produrrebbe un evento potenziale (terremoto di progetto) su un contesto urbano e delle ricadute sul sistema antropico con riferimento a tutte le sue componenti.

Con il termine rischio sismico si indica quindi una stima del valore del danno che sarà causato dai terremoti che interesseranno in futuro una determinata area; esso è perciò definito come entità di danno atteso e dipende quindi:

- dal numero e dall'intensità dei terremoti che potranno interessare in futuro un dato territorio;
- dalla capacità delle costruzioni e delle infrastrutture a fronteggiare l'azione sismica e quindi dagli effetti che i terremoti possono provocare agli insediamenti;

- dalla distribuzione delle persone, delle risorse e dalle attività socioeconomiche e produttive, del patrimonio storico-culturale che caratterizzano le organizzazioni insediative.

L'approccio adottato nella Tesi persegue principalmente la modalità *prospettiva* che si rivolge alla calamità come un evento che potenzialmente può accadere anche se fortemente aleatorio. Si rifà ai modelli predittivi sviluppati dalla sismologia o alla valutazione di come una società pensa di poter attuare delle politiche di prevenzione e mitigazione del rischio sismico in previsione di possibili danni futuri causati proprio dal terremoto.

La lettura *retrospettiva* analizza invece i terremoti del passato utilizzandoli per definire le proprietà dei processi sismogenetici o per evidenziare le caratteristiche delle strutture sociali coinvolte nell'evento calamitoso.

Entrambe le modalità di indagine risultano complementari nell'ottica di sviluppare politiche culturali capaci di sostenere pratiche virtuose, sostenibili e condivise per ridurre l'impatto dei terremoti futuri sulla società.

È evidente che il rischio sismico è una grandezza complessa convenzionalmente legata, come si deduce dalla sua definizione, alla combinazione di *pericolosità*, *vulnerabilità* ed *esposizione*: tre entità idealmente distinte e di seguito sinteticamente definite.

Pericolosità: La pericolosità sismica di un territorio è rappresentata dalla frequenza e dalla intensità dei terremoti che lo hanno investito nel passato e che lo interesseranno con una certa probabilità anche in futuro, ovvero dalla sua sismicità.

Viene definita come la probabilità che in una data area ed in un certo intervallo di tempo si verifichi un terremoto che superi una data soglia di intensità, magnitudo o accelerazione di picco (PGA³).

Se riferita al patrimonio costruito, costituisce la sola componente *irriducibile* del rischio sismico in quanto riconducibile ad aspetti

³PGA: Peak Ground Acceleration, ovvero accelerazione orizzontale massima del suolo, esprime il movimento del terreno e rappresenta la forza orizzontale che un edificio deve sopportare durante un terremoto. E' espressa in rapporto all'accelerazione di gravità ($g = 9,8m/s^2$). Si consideri che una PGA di 0,1 g è capace di generare danno.

naturali, testimonianze di processi di lungo termine (milioni di anni) che trascendono l'azione degli uomini e la loro storia.

Vulnerabilità: Descrive l'attitudine di un ambiente urbano situato in una data area a subire danni di un determinato livello a fronte di un evento sismico di una data intensità. Sebbene alcuni settori di studio limitino il concetto ai soli aspetti strutturali (fisici) e cioè alla capacità della costruzione di prevenire l'insorgere di danni più o meno gravi, la vulnerabilità riguarda anche l'aspetto organizzativo e quello sistemico riconducibili alla *fragilità* di una comunità ed alla carenza di *resilienza*. La vulnerabilità organizzativa è inversamente proporzionale alla capacità del territorio a rispondere alla necessità della comunità che li vive durante ed in seguito all'evento sismico. La vulnerabilità sistemica indica l'impatto negativo sulla quotidianità delle abitudini, delle aspettative e delle relazioni degli abitanti.

Esposizione: È il valore economico, culturale o sociale che si attribuisce alle componenti di un territorio che può essere danneggiato o distrutto da un terremoto. La sua quantificazione deve necessariamente tenere conto di tutto l'arco temporale che intercorre tra l'evento sismico ed il ripristino di uno stato di normalità che spesso non sarà lo stesso di quello precedente. Dovrà quindi tenere conto sia dei costi delle perdite irreversibili e quindi non facilmente monetizzabili (vite umane, patrimonio storico e culturale, etc.) che di quelle reversibili (ricostruzione, attività commerciali ed economiche, etc.) (Carnelli & Ventura, 2015).

Come si vede tutte le variabili citate acquistano senso se legate ad una area territoriale precisamente individuata e definita; questa è una caratteristica saliente della definizione di rischio che, in riferimento alla vulnerabilità, avremo modo di discutere più avanti.

Si rileva, ad esempio, come aree di pericolosità elevata ma disabitate possano risultare a rischio nullo mentre aree a bassa pericolosità, ma densamente popolate e con costruzioni di cattiva qualità possano definirsi ad alto rischio.

Sebbene la definizione delle componenti del rischio sia sufficientemente condivisa da un punto di vista concettuale, la quantificazione di ognuna di esse non è perseguibile in maniera oggettiva e deterministica per diverse ragioni.

Essa, infatti, non può prescindere dalle motivazioni che ne richiedono la stima oltre che dall'ambito territoriale di riferimento.

Ad esempio, la quantificazione del rischio sismico condotta al fine di redigere una scala di priorità di interventi in un centro storico (Giuffrida et alii, 2015, 2019, 2020) di limitata estensione si fonderà su presupposti differenti di quella alla base della stesura di piani di emergenza di aree metropolitane. Differente sarà anche l'indice di riferimento che sinteticamente sarà individuato per quantificare il rischio sismico.

Un aspetto condiviso dai diversi ambiti di applicazione riguarda la preliminare individuazione di un modello di indagine. Questo dovrà fissare l'unità di misura del rischio, la scala di riferimento e quindi la modalità di interazione tra pericolosità, vulnerabilità ed esposizione.

Le componenti del rischio vengono di seguito illustrate, evidenziandone gli aspetti predominanti, si richiamano quindi i modelli di definizione del rischio maggiormente affini alle finalità della tesi.

2.2 Pericolosità

La pericolosità sismica o *hazard* è la probabilità che un dato evento sismico venga superato in un periodo di tempo prefissato in un dato sito. L'evento è convenzionalmente indicato mediante indici alternativi, tra questi il più espressivo, usualmente adottato dalle norme tecniche, è l'accelerazione di picco su suolo rigido *Peak Ground Acceleration* (PGA), un parametro di moto direttamente proporzionale alla pericolosità.

La conoscenza della pericolosità sismica di un sito diventa uno strumento di previsione del grado di severità dei terremoti attesi. L'*intensità* del sisma viene misurata per mezzo di scale strumentali (misure oggettive della forza del sisma) o di scale macrosismiche (misure soggettive degli effetti prodotti dal sisma). Le scale strumentali sono basate su parametri relativi al moto del suolo che oltre alla PGA includono l'intensità epicentrale, la magnitudo locale o magnitudo Richter (M) e la velocità spettrale. Queste hanno il vantaggio di essere grandezze meccaniche di più immediato utilizzo ai fini ingegneristici, ma essendo le registrazioni strumentali di disponibilità recente, non hanno riscontro con i terremoti passati.

Le scale macrosismiche (esempio quella Mercalli poi aggiornata in Mercalli-Cancani-Seberg MCS) sono meno accurate ma hanno numerosi vantaggi: offrono una stima dell'intensità media in una zona colpita direttamente dal danneggiamento osservato, e possono essere associate ai terremoti del passato, in particolare

attraverso la sismicità storica che utilizza il cospicuo bagaglio di notizie rintracciabili (Galizia, 2005).

Un'analisi della pericolosità sismica ha come scopo la stima e la descrizione dello scuotimento del suolo ad opera del terremoto tramite un parametro appropriato e la sua rappresentazione tramite mappe.

In letteratura esistono due metodi universalmente riconosciuti per stabilire l'*hazard* sismico (Pellegrino, 2009): il metodo deterministico *Deterministic Seismic Hazard Assessment* (DSHA) e quello probabilistico *Probabilistic Seismic Hazard Assessment* (PSHA).

Il primo considera ogni sorgente sismogenetica separatamente, mentre il secondo combina i contributi di tutte le sorgenti rilevanti e permette di caratterizzare la percentuale di accadimento di terremoti e di particolari livelli di movimento del suolo.

Per entrambi i metodi le informazioni da acquisire sono le stesse: bisogna innanzitutto identificare le potenziali sorgenti sismiche e caratterizzarle in termini di posizione, geometria, attività ed energia potenziale, e quindi rappresentare la propagazione del movimento del suolo tramite una relazione che prenda in considerazione gli effetti di amplificazione geologici e morfologici. La scelta dei parametri da utilizzare per la caratterizzazione del movimento del suolo dipende dalla qualità dell'analisi eseguita; per acquisire una definizione del rischio in termini fisico-meccanici è preferibile che i risultati siano ottenuti da studi su modelli meccanici della sorgente, sulla propagazione delle onde e su una microzonazione sismica. D'altro canto, la scelta dei parametri più idonei per la descrizione del movimento del suolo deve essere coerente con il modello di vulnerabilità scelto per rappresentare il comportamento dell'edificio, infatti l'impiego di un parametro fisico-meccanico per la caratterizzazione del movimento del suolo potrebbe essere non appropriato se abbiamo scelto un modello di vulnerabilità basato sull'osservazione.

Attualmente la valutazione della pericolosità sismica di riferimento sul territorio italiano si basa su un approccio probabilistico ed adotta come grandezza di riferimento la PGA.

2.2.1 Metodo deterministico

L'approccio deterministico *Deterministic Seismic Hazard Assessment* (DSHA) riguarda l'accadimento di un determinato terremoto in una posizione specifica e si

articola in pochi semplici passi. Il primo passo consiste nell'individuazione della posizione e delle caratteristiche di significative sorgenti sismiche che possono interessare la regione studiata: queste possono essere faglie geologiche, quando queste sono chiaramente riportate sulle mappe oppure aree dove sono avvenuti terremoti nel passato per le quali non è possibile individuare una diretta correlazione con le faglie presenti.

Il secondo passo consiste nello stabilire, per ogni sorgente, uno scenario di terremoto, fissandone sia la magnitudo sia la distanza dal sito. Per quanto riguarda la magnitudo da fissare, si può fare riferimento o al massimo evento storico generato da quella sorgente (*Maximum Probable Earthquake*, MPE), oppure al massimo terremoto compatibile con la struttura tettonica rilevata (*Maximum Credible Earthquake*, MCE) (Kramer, 1996). Per quanto riguarda la distanza invece questa viene assunta solitamente la minima tra la sorgente e la regione interessata, così da considerare la situazione più sfavorevole possibile.

Il terzo passo consiste nello scegliere una relazione di attenuazione per stimare lo scuotimento del suolo nella zona di interesse. Infine, si può scegliere più di un possibile scenario di terremoto perché, relativamente alla finalità dello studio, può essere necessario stabilire le conseguenze sia di un evento distruttivo che di uno meno severo, ma che genera comunque danni.

2.2.2 Metodo probabilistico

L'approccio probabilistico *Probabilistic Seismic Hazard Assessment* (PSHA) si è imposto fin dalla fine degli anni 60 (Cornell, 1968) ed è diventato quello usato più spesso per determinare le caratteristiche del movimento del suolo nella progettazione ingegneristica. La formulazione originale è poi stata modificata da McGuire (1976) per tenere conto dell'influenza delle incertezze nell'equazione di previsione del movimento del suolo.

Il concetto alla base di questo approccio è l'identificazione di tutti i possibili terremoti che possono interessare un sito, comprese tutte le possibili combinazioni di magnitudo e distanza e la caratterizzazione della frequenza statistica di terremoti di dimensioni diverse. Anche questo approccio si articola nei seguenti passi.

Il primo consiste ancora nella identificazione delle sorgenti sismiche della zona identificate sia come linee, quando le faglie sono chiaramente riportate sulla mappa, o come zone generiche quando ciò non accade. Le due caratteristiche fondamentali del metodo Cornell-McGuire sono l'attività spaziale uniforme per le sorgenti

sismogenetiche identificate e l'assunzione di una distribuzione di Poisson per rappresentare l'attività sismica.

Il secondo passo consiste nel caratterizzare l'attività sismica di ogni sorgente in termini di una relazione tra magnitudo e frequenza troncata ad un limite superiore chiamato M_{\max} . Il valore di M_{\max} può essere determinato dalla lunghezza delle faglie conosciute dentro la sorgente e usando relazioni empiriche come quelle di Wells & Coppersmith (1994), oppure può essere stimato aggiungendo un appropriato incremento alla magnitudo del più grande terremoto che è avvenuto nella zona (tale incremento sarà tanto più piccolo quanto più è completo l'inventario dei terremoti avvenuti).

In definitiva l'approccio probabilistico fornisce una descrizione della pericolosità che consente una scelta del grado di sicurezza o, inversamente, del rischio che si vuole accettare, che può essere ridotto significativamente ma non annullato.

2.2.3 Mappe della pericolosità sismica

Le mappe della pericolosità sismica del territorio italiano redatte dal GNDT (Gruppo Nazionale per la Difesa dei Terremoti) sono ottenute attraverso l'uso del metodo probabilistico ed utilizzando quali parametri di pericolosità sia il PGA che l'intensità macrosismica (Figura 1).

L'accelerazione orizzontale di picco è una grandezza di interesse ingegneristico che viene utilizzata nella progettazione in quanto definisce le caratteristiche costruttive richieste agli edifici in zona sismica. L'intensità macrosismica invece descrive il grado di danneggiamento causato dai terremoti e, con le dovute cautele derivate da diverse approssimazioni insite nel parametro intensità, si avvicina al concetto di rischio sismico. Le stime dei due indicatori di pericolosità fornite dalle carte, rappresentano il valore calcolato per un periodo di ritorno di 475 anni, corrispondente ad una probabilità di occorrenza del 10% in 50 anni. Si tratta di una scelta convenzionale utilizzata in tutto il mondo, ed in particolare è il valore di riferimento per l'Eurocodice 8 (EC8), nel quale vengono stabilite le norme per il progetto e la costruzione di strutture.

I risultati non corrispondono pertanto né al massimo valore possibile, né al massimo valore osservato storicamente, ma è un ragionevole compromesso legato alla presunta vita media delle strutture abitative.

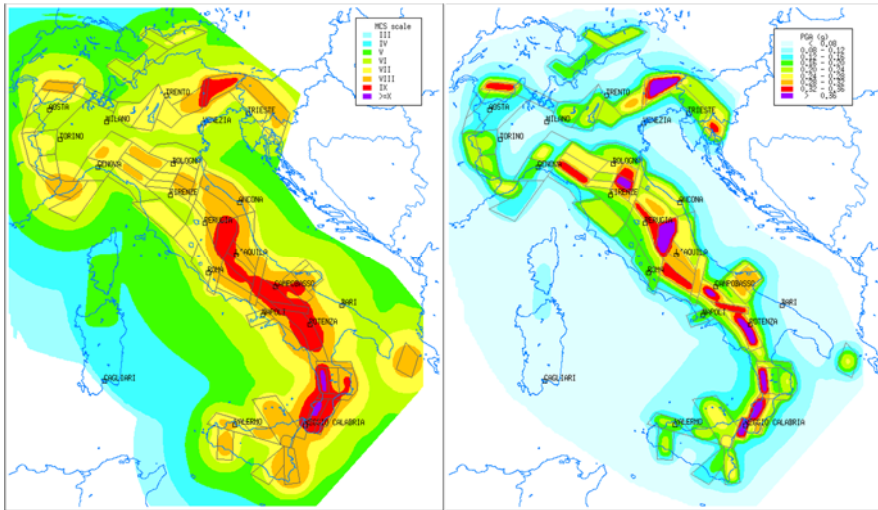


Figura 1 Mappa della pericolosità sismica del territorio italiano con valori in PGA (sx) e in MCS (dx) (fonte: Slejko, 1996).

2.2.4 Evoluzione della classificazione sismica in Italia

La classificazione sismica del territorio italiano prevede la definizione di zone a diversa pericolosità, per le quali devono essere stabilite norme vincolanti per le costruzioni, di severità proporzionata al terremoto atteso.

Le prime misure legislative per le costruzioni antisismiche risalgono al governo borbonico per far fronte al terremoto del 1783 che colpì la Calabria provocando più di 30.000 morti, mentre la prima classificazione sismica, intesa come elenco dei comuni esposti a rischio con relativa normativa tecnica, fu adottata dopo il catastrofico terremoto del 28 dicembre 1908 che distrusse Messina e Reggio Calabria. Tale sisma costituì un episodio devastante sia per la mortalità catastrofica, pari a quella dell'infezione del colera del 1867 e della pandemia di spagnola del 1918 (la stima più accreditata valuta le vittime umane in tutta l'area colpita intorno alle 85.000), sia per l'impatto economico (l'evento è stato paragonato a una guerra persa con un danno economico di 600 milioni di lire senza tener conto dei danni arrecati al patrimonio architettonico storico e monumentale, il cui valore non è quantificabile) che per le ripercussioni socio-culturali (Guidoboni & Valensise, 2011).

Le norme sulle costruzioni contenute nei Regi Decreti dei primi del '900 consistevano in norme "qualitative" per la ricostruzione post terremoto: norme che riguardavano il numero dei piani delle costruzioni, caratteristiche dei terreni, larghezza delle strade, regole del buon costruire.

Queste prescrizioni avevano validità solo per i comuni appartenenti alla lista presente nel decreto stesso; lista che veniva aggiornata dopo ogni evento sismico aggiungendo i nuovi comuni danneggiati.

Nel 1974 con la Legge 64 fu promulgata la nuova normativa sismica nazionale contenente i criteri di costruzione antisismica, e la classificazione sismica, ovvero la lista dei comuni in cui applicare le norme costruttive sismiche di tipo “quantitativo” fondate su modelli di calcolo e di verifica “alle tensioni ammissibili”.

Successivamente; grazie agli studi di carattere sismologico e geologico svolti dal CNR (Consiglio Nazionale delle Ricerche), dopo il terremoto del Friuli-Venezia Giulia (1976) e il terremoto dell’Irpinia (1980), si ha un sostanziale sviluppo delle conoscenze sulla sismicità del territorio nazionale tradotte in una serie di decreti da parte del Ministero dei Lavori Pubblici tra il 1980 ed il 1984 che hanno costituito, pertanto, la classificazione sismica italiana fino all’emanazione dell’ ordinanza n. 3274 del 20 marzo 2003. La proposta del CNR, per la prima volta in Italia, è stata basata su indagini di tipo probabilistico della sismicità italiana e la classificazione sismica ha preso in considerazione tre categorie sismiche, di cui la terza (la meno pericolosa, introdotta con il DM 3 giugno 1981, n. 515), ha compreso solo alcuni comuni della Campania, Puglia e Basilicata, interessati dal terremoto di Irpinia e Basilicata del 1980, ma che non è stata estesa alle altre zone d’Italia con pari livello di pericolosità.

La forte emozione causata dal crollo della scuola di San Giuliano di Puglia (31 ottobre 2003) e il fatto che il paese non ricadesse tra le zone considerate sismiche dalla normativa allora in vigore, furono determinanti nello spingere il governo a varare velocemente la nuova classificazione sismica del territorio nazionale.

Il 20 marzo 2003, a meno di cinque mesi dal terremoto, fu pubblicata l’Ordinanza della Protezione Civile 3274/2003, al fine di fornire una risposta immediata alla necessità di aggiornamento della classificazione sismica e delle norme antisismiche. Alla luce dell’ordinanza n. 3274 e, a differenza di quanto previsto dalla normativa precedente, tutto il territorio nazionale è stato classificato come sismico e suddiviso in 4 zone, caratterizzate da pericolosità sismica decrescente (Figura 2). Inoltre, a partire dalla citata ordinanza sono state approvate nuove norme tecniche per le costruzioni che hanno portato un graduale allineamento della normativa nazionale alla normativa europea (Eurocodici). Va evidenziato che la differenza sostanziale tra le norme di nuova generazione, quali l’Eurocodice 8, e quelle tradizionali consiste

nell'abbandono del carattere convenzionale e puramente prescrittivo a favore di una impostazione prestazionale.

Le NTC05, successivamente le NTC08 ed infine l'ultimo aggiornamento oggi in vigore delle NTC18, diventano fondamentali poiché hanno l'obiettivo di definire “i principi per il progetto, l'esecuzione e il collaudo delle costruzioni, nei riguardi delle prestazioni loro richieste in termini di requisiti essenziali di resistenza meccanica e stabilità e di durabilità”, superando quindi la classica impostazione prescrittiva delle norme italiane adottando invece un approccio prestazionale e restituendo, quindi, al progettista quel diritto a ragionare e decidere seguendo delle regole di carattere più generale. Nei casi della progettazione antisismica le NTC18 individuano le prestazioni della costruzione richiedendo il rispetto di più stati limite, sia d'esercizio che ultimi e confrontano tali prestazioni con gli effetti delle azioni sismiche che si “definiscono a partire dalla pericolosità sismica di base del sito di costruzione”.

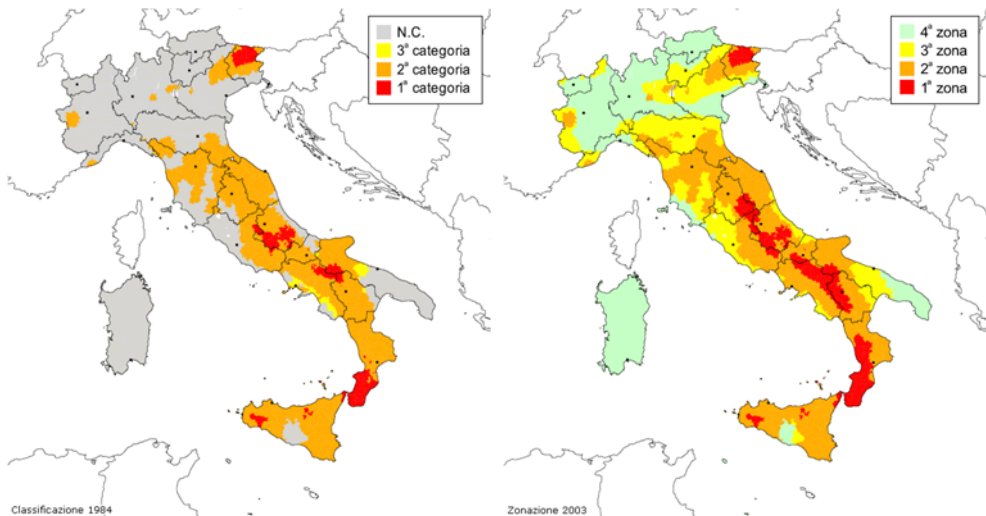


Figura 2 Confronto tra vecchia (sx) e nuova (dx) classificazione del territorio italiano (fonte: DMLP 14/07/1984 e OPCM 3274, 2003).

2.3 Vulnerabilità

Nel corso degli anni sono state formulate molte definizioni di vulnerabilità; di seguito se ne riportano alcune.

"La vulnerabilità sismica di un edificio è un suo carattere comportamentale descritto attraverso una legge causa-effetto in cui la causa è il terremoto e l'effetto è il danno"⁴.

"La vulnerabilità sismica in termini generici è la sensibilità della costruzione alle azioni sismiche, ovvero la sua attitudine a subire danni per effetto di un dato terremoto"⁵.

"Per vulnerabilità si intende una misura di probabilità oggettiva per un'assegnata popolazione di edifici soggetti agli effetti di un terremoto di intensità prefissata"⁶.

Da queste definizioni si intuisce che il concetto di vulnerabilità ha a che fare con una serie di fattori diversi tra loro; infatti, coinvolge prima di tutto la realtà materica dell'edificio e i meccanismi di risposta ad essa connessi ed in particolare:

- la sua qualità costruttiva originaria assieme allo stato in cui esso si trova al momento dell'evento sismico;
- la risposta che esso ha in occasione di eventi di carattere eccezionale con bassa probabilità di accadimento come un sisma ad elevato periodo di ritorno, in generale non tenuti in conto al momento dell'edificazione;
- le modalità di rottura che esso segue per effetto di tali forze.

La vulnerabilità è dunque in correlazione con l'effetto che l'evento produce; questo è legato in maniera simmetrica sia all'edificio che all'entità della causa che lo produce (livello dell'azione sismica).

⁴ Sandi H., Vulnerability and Risk analysis for individual structures and systems. in Proceedings of 8° ECEE, Lisbon, 1986.

⁵ Gavarini C., "Rischio sismico e danneggiamento", in Atti del 5° Convegno "L'ingegneria sismica in Italia", Palermo 1991.

⁶ Bernardini A., Finalità, definizione e misura della vulnerabilità sismica di singoli edifici e di tipologie murarie. Problemi di coerenza tra osservazioni e previsioni. Rapporto al seminario GNDT sulla "Vulnerabilità edilizia muraria", Roma, 1996.

La vulnerabilità dipende infine dalla entità dell'azione sismica che può essere rappresentata, come visto in precedenza, in vari modi: intensità macrosismica, in una visione strettamente legata al danno sull'edificato; accelerazione al suolo PGA ovvero ancora come spettro di risposta in un'ottica più direttamente mirata alla quantificazione meccanica del danno sulle costruzioni.

Risulta evidente che per dare una misura della vulnerabilità di un edificio è necessario definire una legge probabilistica o deterministica capace di legare il terremoto al danno e di tenere conto contemporaneamente dei fattori coinvolti nel concetto generale di vulnerabilità.

Gli studi sulla vulnerabilità sismica suggeriscono di esprimere la vulnerabilità di un edificio nei riguardi di un qualsiasi evento naturale attraverso due possibili strumenti, che nei paragrafi successivi saranno analizzati in maniera approfondita: le curve di fragilità e le matrici di probabilità del danno

2.3.1 La vulnerabilità del singolo edificio: curve di fragilità

Un modo chiaro per eseguire la stima del grado del danno atteso in funzione dell'intensità sismica è di costruire delle curve di fragilità (*Fragility Curves*, FC) per il particolare sistema strutturale studiato. Le curve di fragilità forniscono la probabilità di un sistema strutturale, soggetto ad un input sismico assegnato, di superare determinati livelli di danno.

In termini matematici ciò si esprime tramite la funzione di probabilità condizionata $P[SL|I]$ in cui $SL|I$ indica il raggiungimento di uno stato limite (ovvero di prefissate soglie di danno) per il valore dell'intensità sismica I , che può essere rappresentata dall'accelerazione sismica di picco, dall'intensità spettrale, dall'intensità macrosismica etc. Per ogni edificio è possibile costruire più curve di fragilità, ognuna corrispondente ad un prefissato stato limite. Un esempio di curve di fragilità costruite in funzione dell'accelerazione di picco al suolo (PGA) quale parametro d'intensità sismica è riportato in Figura 3; sono rappresentate simultaneamente tre curve di fragilità ricavate per lo stesso sistema strutturale e corrispondenti, ciascuna, al raggiungimento di un diverso stato limite (danno limitato, danno severo, collasso).

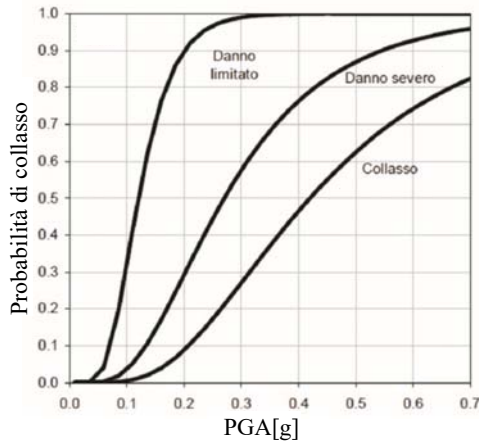


Figura 3 Curve di fragilità di un edificio (Fonte: Polese, 2002).

Bisogna tuttavia distinguere il caso in cui si vuole studiare un singolo edificio, tenendo conto di tutti i suoi particolari e delle caratteristiche che lo contraddistinguono, dal caso in cui si voglia studiare un campione di edifici di una certa zona rappresentato da una classe tipologica (Polese, 2002).

Nel primo caso, infatti, data la completezza e l'esattezza dei dati d'input, è possibile spingersi a livelli di dettaglio molto elevati e ricavare le curve di fragilità per dati livelli di danno in modo analitico attraverso simulazioni numeriche sulla risposta sismica dell'edificio. In generale, visto il grande onere computazionale e di modellazione, quest'operazione è rivolta ad edifici con particolare valore strategico o storico monumentale o per scopi di ricerca scientifica.

Nel secondo caso, invece, poiché si studia una classe di edifici che può essere rappresentata da macro-parametri quali la forma, le dimensioni, l'anno di costruzione, etc., si finisce per studiare un edificio "medio" in cui c'è la difficoltà di considerare, con un approccio di tipo analitico, l'influenza di tutti i macro-parametri sul comportamento sismico della struttura. È per questo motivo che le curve di fragilità di classi tipologiche di edifici vengono costruite empiricamente tramite un'analisi statistica dei dati riguardanti il comportamento di edifici riconducibili tutti ad una stessa classe.

2.3.2 Matrice di probabilità del danno

Le matrici di probabilità di danno (*Damage Probability Matrices*, DPM:), sono matrici generate per categoria di edifici ed esprimono la probabilità che si verifichi

un certo livello di danno per ogni intensità sismica. In linea teorica, quindi, esse possono essere costruite facendo riferimento ad una generica scala di danno, sia essa espressa in termini di costi (ad esempio come rapporto del costo di riparazione sul costo di ricostruzione), sia in termini fenomenologici, cioè in base ad una stima qualitativa del diverso grado di danno che gli edifici possono subire (Polese, 2002).

La valutazione della vulnerabilità strutturale col metodo delle DPM è di tipo tipologico, statistico e diretto. Tipologico, perché valuta il comportamento sismico delle costruzioni attraverso l'attribuzione delle stesse ad una certa tipologia strutturale individuata da poche caratteristiche essenziali (es. tipo di strutture verticali e orizzontali); statistico, perché ricerca il risultato attraverso l'elaborazione statistica di dati osservati e rilevati dopo eventi sismici; diretto, perché fornisce il risultato come previsione tra l'intensità del sisma e la probabilità di danneggiamento degli edifici.

La scala **MSK-1976** (Medvedev- Sponheuer- Karnik), rappresenta la prima forma, sia pur incompleta, di DPM, generata per le tre categorie di costruzioni in essa individuate. In particolar modo nella scala, è proposta la prima distinzione degli edifici secondo tre classi di vulnerabilità, individuate in base al materiale costruttivo; sono definite di tipo A le costruzioni in pietrame, di tipo B quelle in mattoni e di tipo C le costruzioni armate, avendosi, naturalmente, vulnerabilità decrescente nel passaggio dalla classe A alla C. L'attribuzione dell'intensità dei terremoti nella scala MSK è effettuata in base agli scenari di danno riscontrati sul territorio: il livello di danno è distinto in 5 gradi di danno (Medvedev, 1977) (Tabella 1).

Tabella 1 Classi di danno della scala MSK.

<i>Danno</i>	<i>Descrizione</i>
0	Nessun danno
1	Danno lieve: sottili fessure e caduta di piccole parti dell'intonaco
2	Danno medio: piccole fessure nelle pareti, caduta di porzioni consistenti di intonaco, fessure nei camini parte dei quali cadono
3	Danno forte: formazione di ampie fessure nei muri, caduta dei camini
4	Distruzione: distacchi fra le pareti, possibile collasso di porzioni di edifici, parti di edificio separate si sconnettono, collasso di pareti interne
5	Danno totale: collasso totale dell'edificio

Il formato generale di una DPM è quello mostrato in Figura 4 ogni elemento della matrice, $P[D_k|I,T]$, rappresenta la probabilità condizionata che si verifichi il livello di danno D_k data l'intensità I e la classe tipologica T . Le DPM possono essere

ricavate facendo riferimento a dati di danno osservato o dedotte per via analitica; in quest'ultimo caso ci si riconduce alla costruzione di vere e proprie curve di fragilità, sia pure in forma discreta, per ciascuna categoria di edifici.

La finalità delle DPM prevede l'elaborazione statistica di dati e informazioni sul costruito reperite da osservazioni sul campo ed integrate da analisi numeriche. È chiaro che la possibilità di costruire siffatte matrici è subordinata alla disponibilità di un campione numeroso di osservazioni e/o classificazione dei danni nella scala prescelta su edifici di ciascuna classe T considerata e per diversi livelli d'intensità sismica I.

Intensità	Livello di Danno					
	0	1	...	Dk	...	Dk _{max}
VI	...%	...%	...%	...%	...%	...%
...	...%	...%	...%	...%	...%	...%
I	...%	...%	...%	p[Dk I,T]	...%	...%
...	...%	...%	...%	...%	...%	...%
I _{max}	...%	...%	...%	...%	...%	...%

Figura 4 Generica matrice di probabilità del danno.

Alla fine del secolo scorso, il concetto di classe di vulnerabilità ha avuto un'interessante evoluzione con la Scala Macrosismica Europea EMS-1998 (Grunthal, 1998), che aggiorna la scala MSK introducendo sei classi di vulnerabilità decrescente (Figura 5) cui sono associate previsioni statistiche del livello di danno fisico apparente in popolazioni di edifici.

Si tratta pertanto di una misura della vulnerabilità che, anche se di carattere convenzionale, contiene implicitamente in sé matrici di probabilità di danno che possono essere esplicitate seguendo diversi approcci. Per consentire di stabilire l'intensità macrosismica a seguito di un evento partendo dal danno osservato, la scala fornisce, in termini linguistici (pochi *few*, molti *many*, la maggior parte *most*), la percentuale di occorrenza di diversi gradi di danno globale agli edifici (Figura 6 e Figura 7) per le sei classi di vulnerabilità correlate alle tipologie edilizie. La classificazione tipologica utilizzata nella scala EMS-1998 contiene una suddivisione delle tipologie costruttive di particolare efficacia, in quanto valida su tutto il territorio europeo ma al tempo stesso non generica e tale da consentire un'attribuzione sufficientemente chiara e precisa. Tale scala è attualmente lo strumento più diffuso in Europa per la valutazione dell'intensità.

Le costruzioni si distinguono in funzione del materiale strutturale: muratura, calcestruzzo armato, acciaio, legno e per ciascuna categoria sono quindi individuate differenti tipologie costruttive.

Per le costruzioni in muratura sono considerate sette tipologie che rappresentano piuttosto bene la tradizione costruttiva italiana, molto varia per materiali, tecnica di posa in opera e particolari costruttivi. È significativo osservare (Tavola di vulnerabilità in Figura 5) come la priorità sia data alla qualità del materiale muratura, quello che costituisce gli elementi sismo-resistenti della costruzione (pareti); a questo primo livello di classificazione si presuppone che la qualità degli altri elementi che influenzano la risposta siano, in media, coerenti con la tipologia muraria. Ad esempio, gli edifici in pietra grezza avranno in genere peggiori qualità costruttive nei solai e nei collegamenti rispetto a quelli in pietre sbazzate o a spacco; gli edifici più recenti in muratura non armata di elementi artificiali (laterizi, blocchetti in calcestruzzo) avranno nella maggioranza dei casi orizzontamenti latero-cementizi. Per quanto riguarda il calcestruzzo armato, le costruzioni sono distinte in relazione al sistema sismo-resistente (telaio o pareti di taglio) ed al livello di progetto antisismico adottato per realizzarle. Per le costruzioni in acciaio e in legno è presente una sola categoria, una definizione certamente troppo vaga per includere situazioni anche molto diverse. Infine, la EMS98 non fa riferimento alle costruzioni prefabbricate, importanti nelle aree periferiche delle grandi città e per gli stabilimenti produttivi ed i capannoni.

La scala fornisce una relazione sfuocata fra le tipologie costruttive e 6 classi di vulnerabilità con andamento decrescente da A ad F.

Tale relazione è rappresentata da un intervallo composto di alcuni simboli:

- cerchio: la maggior parte degli edifici appartengono alla classe indicata;
- tratto continuo: indica un intervallo probabile, ovvero una parte degli edifici può appartenere a quella classe;
- tratteggio: indica un intervallo con probabilità molto basse, si tratta di casi eccezionali;

TIPO DI STRUTTURA	Classi di Vulnerabilità					
	A	B	C	D	E	F
MURATURA	ciottoli, pietre naturali	○				
	adobe (mattoni in terra cruda)	○	—			
	a conci (pietra semplice sbazzata)	—	○			
	a blocchi lapidei squadrati		—	○		
	non armata, con elementi di pietra lavorata o blocchetti		—	○		
	non armata, con solai in cemento armato armata o confinata		—	○		
CEMENTO ARMATO (CA)	strutture a telaio senza progettazione antisismica (PA)		—	○		
	strutture a telaio con moderato livelli di progettazione antisismica PA		—	○	—	
	strutture a telaio con alto livello di PA		—	○	—	—
	strutture a pareti senza PA		—	○		
	strutture a pareti con moderato livello di PA		—	○		
	strutture a pareti con alto livello di PA		—	○		
ACCIAIO	strutture in acciaio		—	○		
LEGNO	strutture in legno		—	○		

○ Classe di vulnerabilità più probabile; — gamma possibile;
gamma di casi meno probabili o eccezioni

Figura 5 Tavola di vulnerabilità della scala EMS-1998 (fonte: EMS 98, Scala Macrosismica Europea).






Classificazione del danno a edifici in muratura	
	Grado 1: Danno da trascurabile a leggero (nessun danno strutturale, leggero danno non strutturale) Crepe capillari su pochissimi muri. Caduta di piccoli pezzi di intonaco. Caduta di pietre non fissate dalla parte superiore degli edifici in pochissimi casi.
	Grado 2: Danno moderato (leggero danno strutturale, moderato danno non strutturale) Lesioni in molti muri. Caduta di pezzi di intonaco piuttosto grandi. Parziale collasso di comignoli.
	Grado 3: Danno da sostanziale a grave (moderato danno strutturale, grave danno non strutturale) Lesioni larghe diffuse sulla maggior parte dei muri. Tegole si staccano. Comignoli si frantumano alla base; cedimento di singoli elementi non strutturali (tramezzi, cornicioni).
	Grado 4: Danno molto grave (grave danno strutturale, danno non strutturale molto grave) Importanti cedimenti dei muri; parziale cedimento strutturale di tetti e solai.
	Grado 5: Distruzione (danno strutturale molto grave) Collasso totale o quasi totale.

Figura 6 Livelli di danno previsti dalla scala EMS 98 per edifici in muratura (fonte: EMS 98, Scala Macrosismica Europea).

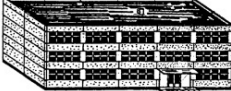




Classificazione del danno a edifici in cemento armato	
	<p>Grado 1: Danno da trascurabile a leggero (nessun danno strutturale, leggero danno non strutturale) Crepe sottili nell'intonaco sopra elementi dell'intelaiatura o nei muri alla base. Crepe sottili nei tramezzi e nelle tamponature.</p>
	<p>Grado 2: Danno moderato (leggero danno strutturale, moderato danno non strutturale) Lesioni nei pilastri e nelle travi delle strutture a telaio e nelle pareti portanti. Lesioni in tramezzi e tamponature; caduta di rivestimenti esterni ed intonaco. Malta cade dai giunti dei pannelli murari.</p>
	<p>Grado 3: Danno da sostanziale a grave (moderato danno strutturale, grave danno non strutturale) Lesioni alla base dei pilastri e nei nodi delle strutture a telaio; lesioni alle intersezioni delle pareti accoppiate. Espulsione del copriferro, instabilità delle barre dell'armatura. Larghe lesioni in tramezzi e tamponature, cedimento di singoli pannelli.</p>
	<p>Grado 4: Danno molto grave (grave danno strutturale, danno non strutturale molto grave) Larghe lesioni in elementi strutturali con cedimento a compressione del cemento e rottura di barre d'armatura; sfilamento delle barre di armatura; inclinazione dei pilastri. Collasso di alcuni pilastri o di un singolo piano alto.</p>
	<p>Grado 5: Distruzione (danno strutturale molto grave) Collasso del piano terra o di parti (es. ali) di edifici.</p>

Figura 7 Classificazione del danno agli edifici in cemento armato della scala EMS-1998 (fonte: EMS 98, Scala Macrosismica Europea).

2.4 Esposizione

L'esposizione, nell'ambito del processo di valutazione del rischio sismico, è intesa come l'insieme dei diversi elementi antropici e naturali che compongono un territorio che può essere danneggiato, alterato o distrutto durante un terremoto. L'identificazione di tali elementi costituisce l'operazione preliminare a qualsiasi valutazione del rischio sismico successiva alla definizione della pericolosità e vulnerabilità. Un modello capace di quantificare l'esposizione deve includere, oltre alle perdite umane ed al numero delle persone ferite ed ai beni persi o danneggiati durante o subito dopo l'evento sismico, le categorie di effetti indiretti che possono genericamente essere classificati come danni economici e sociali. Classi di perdite

economiche indirette tipiche sono il ristagno delle attività commerciali, il calo della produzione industriale, delle presenze turistiche, delle entrate della regione e le spese extra che si devono sostenere per una riabilitazione immediata dell'area colpita. Classi di tipici danni sociali sono l'interruzione dei trasporti e dei sistemi di fornitura di acqua e di energia elettrica, la diminuzione dei servizi civili e di informazione e la reputazione sfavorevole delle aree lesionate (Gavrilovic, 1984).

Altra condizione preliminare per l'analisi dell'esposizione è rappresentata dalla definizione della scala di indagine al fine di determinare la tipologia dei dati da elaborare e le metodologie di analisi da applicare

È evidente che in relazione al contesto e della scala di riferimento (scala dell'edificio, scala dell'aggregato edilizio, scala urbana, scala regionale o nazionale) vi saranno delle sensibili differenziazioni, non solo dei dati da utilizzare per procedere all'analisi della stessa categoria di elementi, ma anche nel prendere in considerazione specifiche categorie proprie di alcune scale. La scala del contesto deve essere scelta in funzione a quella adottata per il calcolo della vulnerabilità.

Nella tesi l'esposizione sarà quantificata sfruttando i concetti di capitale umano e urbano come meglio specificato nei capitoli successivi.

2.5 Approccio olistico alla valutazione del rischio

La considerazione del rischio – quindi l'insieme delle conoscenze che si acquisiscono per la sua analisi (misura), la sua valutazione (relazione al sistema delle preferenze della comunità di riferimento), le misure di riduzione (azioni che ragionevolmente possono o devono essere intraprese in relazione al suddetto sistema di preferenze) – sottende un costo in termini di perdita di valore, di identità e di modifica di uno stato di fatto. Le ricadute interessano il contesto naturale (destabilizzazione del supporto geologico) e artificiale (danneggiamento del complesso edilizio e infrastrutturale) di riferimento della comunità insediata interessata, la quale ne sopporta la privazione (al netto degli aiuti da parte dello stato e per l'intero periodo di sofferenza) e ne porta i segni nell'immaginario collettivo e nel lungo andare.

La misura monetaria del danno ambientale riguarda i due approcci, in un certo senso complementari, che ispirano le politiche proattive o reattive. Nel primo caso si valutano i costi della prevenzione; nel secondo i costi della riparazione. Naturalmente la misura dei costi di riparazione – come anticipato, al netto della

probabilità dell'evento – e il riconoscimento della sua significatività da parte dei decisori e degli *stakeholders*, sostiene il giudizio sulla ragionevolezza delle misure di prevenzione, quindi della assunzione di un approccio proattivo attraverso:

- la valutazione del costo del danno;
- la valutazione del costo della prevenzione.

Da un punto vista analitico il rischio è interpretabile genericamente come *convoluzione di tre variabili*: pericolosità, vulnerabilità ed esposizione, afferenti ad ambiti scientifici eterogeni. Ciò ha comportato uno sviluppo indipendente e non organico delle tre anime del rischio sismico, ognuna in appanaggio di settori di ricerca differenti, senza porre la dovuta attenzione alla inevitabile interazione tra di esse (l'aspetto della *convoluzione*).

Probabilmente la divulgazione della espressione comunemente adottata:

$$R = P \times V \times E \quad (1)$$

che sinteticamente (ed in modo puramente concettuale) esprime il rischio come un mero prodotto di tre variabili in realtà profondamente differenti tra loro e quindi certamente incommensurabili, ha contribuito alla autonomia della loro trattazione in ambiti differenti. Solo negli ultimi anni si è assistito ad un approccio multidisciplinare.

Una vasta ed approfondita letteratura è disponibile sulle metodologie e le ipotesi che conducono alla mappatura sismica del territorio e quindi a una definizione condivisa della pericolosità.

Altrettanto può dirsi in merito allo studio della vulnerabilità, trattata a differenti scale e per le diverse tipologie strutturali presenti in un determinato territorio.

Al contrario, l'esposizione costituisce ancora un aspetto non compiutamente definito sia a livello normativo che in ambito accademico. Tale circostanza può essere riconducibile alle competenze trasversali e multidisciplinari necessarie per la sua descrizione, alla non univoca individuazione dei fattori da tenere in conto e al loro reciproco impatto, alla aleatorietà dei fenomeni trattati ed all'estensione temporale delle relative previsioni, come accennato nel paragrafo precedente.

Relativamente a quest'ultimo aspetto infatti la quantificazione dell'esposizione deve necessariamente tenere conto di tutto l'arco di tempo che intercorre tra l'evento sismico e il ripristino di uno stato di "normalità" che non sarà mai lo stesso di quello precedente.

Vista la difficoltà insita nella stima dell'esposizione, variabile fondamentale al pari delle altre due, è quindi naturale che il concetto stesso di rischio non si presti ad una chiara interpretazione e di conseguenza ad una quantificazione univoca. Se da un lato non c'è ambiguità nel parlare di comparazione tra la pericolosità sismica tra due siti differenti o tra la vulnerabilità di due differenti agglomerati, dall'altro non è affatto immediato porre a confronto l'esposizione di aree urbane differenti e quindi il loro rischio.

Infine, la stima del rischio richiede un approccio multidisciplinare che tenga conto non solo dei danni fisici previsti, del numero di vittime e delle perdite economiche, ma anche di altre questioni sociali, organizzative e istituzionali legate allo sviluppo della comunità (Cardona & Hurtado, 2000; Carreño et alii 2007; Barbat et alii 2010). A livello urbano, ad esempio, la vulnerabilità vista come fattore di rischio, dovrebbe essere correlata non solo a livello di esposizione o alla suscettibilità al danneggiamento degli edifici e dei materiali strutturali potenzialmente interessati, ma anche alla fragilità sociale e alla mancanza di resilienza della comunità esposta. L'assenza di organizzazione istituzionale e comunitaria, la scarsa preparazione alla risposta alle emergenze, l'instabilità politica in un'area geografica contribuiscono ad aumentare il rischio. Pertanto, le potenziali conseguenze negative non sono legate solo agli effetti dell'evento pericoloso in quanto tale, ma anche alla capacità di assorbire gli effetti e al controllo delle sue implicazioni in una determinata area geografica.

2.5.1 Stato dell'arte nella valutazione del rischio sismico.

Negli ultimi decenni vi sono stati molti tentativi di sviluppare metodologie di valutazione della vulnerabilità considerando vari aspetti, come parametri fisici, sociali ed economici (Davidson, 1997) e di usarli nella valutazione del rischio sismico. Inoltre, le metodologie proposte variano in scala a partire dal livello locale e sino a quello regionale, nazionale e internazionale.

Esempi di metodi di valutazione del rischio incorporati con l'analisi della vulnerabilità a diversi livelli possono essere trovati in Radius (1999), FEMA-NIBS (1999), Cardona & Hurtado (2000), Kundak (2004), Amini Hosseini et alii (2009), Duzgun et alii (2011), Davidson & Shah (1997).

Si illustrano di seguito due tra i principali approcci metodologici per la definizione e la quantificazione dell'indice di rischio evidenziandone le assunzioni adottate e gli obiettivi perseguiti.

2.5.2 L'Earthquake Disaster Risk Index (EDRI)

L'Earthquake Disaster Risk Index (EDRI) presentato da Davidson & Shah (1997) è uno dei modelli pionieri, che forniscono un approccio multidisciplinare considerando diversi aspetti del rischio e della vulnerabilità. L'indice EDRI è stato sviluppato per confrontare il rischio relativo a differenti metropoli. Costituisce quindi una variabile adatta ad indagini a larga scala, non idonea a confrontare il rischio di quartieri all'interno del medesimo tessuto urbano e quindi alla pianificazione di politiche di riduzione del rischio sismico.

Lo sviluppo dell'indice riunisce il corpo di conoscenze sui disastri sismici provenienti da un'ampia gamma di discipline per fornire tre benefici principali.

In primo luogo, l'EDRI permette un confronto diretto del rischio complessivo relativo a scenari di eventi sismici in diverse città di tutto il mondo. Molti fattori (per esempio: la frequenza dei terremoti, la qualità della pianificazione della risposta alle emergenze) contribuiscono al rischio complessivo di una città. Una città può avere un rischio relativamente alto rispetto a certi fattori, e basso rispetto ad altri. Creando un indice composito che combina tutti i fattori pertinenti, il rischio complessivo di disastro di diverse città può essere direttamente confrontato.

Un tale confronto potrebbe essere utile per i governi e le organizzazioni internazionali per favorire una efficace allocazione delle risorse e programmare la gestione delle emergenze. Le multinazionali vi potranno fare riferimento per localizzare gli impianti di produzione; compagnie di assicurazione per pianificare la diversificazione del loro portafoglio.

L'EDRI sottintende un concetto ampio e completo che viene definito rischio di disastro sismico e si distingue dalle valutazioni del rischio sismico a piccola scala tipico di modelli alternativi adottati dalle norme tecniche in campo ingegneristico. Mentre il termine rischio sismico si riferisce spesso alla probabilità e alla gravità dell'impatto fisico (per esempio, morti, feriti, perdite economiche), l'EDRI considera la possibilità che un disastro avvenga. Quest'ultimo concetto si estende oltre le stime di impatto, riconoscendo l'importanza del contesto sociale, economico, politico e culturale in cui l'impatto previsto si verificherà.

L'EDRI include tutti i fattori che contribuiscono al rischio non limitandosi a quelli di pertinenza di una singola disciplina. L'approccio adottato, di tipo olistico, sintetizza i risultati precedentemente ottenuti in ambito geofisico, nelle scienze sociali e nell'ingegneria per fornire una valutazione multidisciplinare del rischio di disastro sismico urbano.

L'indice di rischio focalizza i fattori che lo determinano (pericolosità, vulnerabilità) piuttosto che gli effetti prodotti (perdite di vite umane, economiche, etc.).

I fattori principali che contribuiscono al rischio di disastro sismico di una città sono i seguenti (Figura 8):

- Pericolosità
- Esposizione
- Vulnerabilità
- Contesto esterno
- Gestione dell'emergenza e resilienza

Ciascuno di questi cinque fattori principali è disaggregato in più componenti, le cui interazioni non sono prese in considerazione dal modello.

La Pericolosità riassume i fenomeni geologici che agiscono da innesco anche per eventi collaterali (liquefazione, frane, tsunami, incendio) associati alla probabilità di occorrenza in un determinato periodo di ritorno.

L'Esposizione esprime la consistenza della città: abitanti, beni, l'estensione e la tipologia di attività che questa ospita ed in generale tutto quanto è affetto dalle conseguenze di un terremoto. L'esposizione si può immaginare prodotta dal contributo di alcune sub-componenti più significative: infrastrutture, cittadini, economia e sistema socio-politico.

La Vulnerabilità descrive la facilità e la gravità con cui le suddette componenti possono essere intaccate dalle conseguenze del sisma o in altri termini la propensione ad essere danneggiate o distrutte.

Nella comunità globale di oggi, le grandi città sono sempre più interconnesse. I fattori che contribuiscono al rischio di una città e le conseguenze di un disastro sismico si propagano a vasti territori anche non confinanti. Il Contesto Esterno descrive come i danni di una città influenzino le persone e le attività al di fuori della città stessa. Si tiene quindi conto delle ricadute su economia, trasporti, politica su altri territori che hanno legami di dipendenza dalla città interessata dall'evento sismico.

La Gestione dell'Emergenza e la Capacità di Recupero, di affrontare cioè il periodo di crisi post-sismico e di recuperare la funzionalità complessiva, può essere più o meno efficace ed attuarsi in un periodo più o meno lungo. Questo dipende sia dalla programmazione e dalla organizzazione del sistema, mediante attività di

prevenzione, che dalla ridondanza e dalla capacità di strutture ed infrastrutture di fronteggiare le accelerazioni sismiche, grazie alla manutenzione ed agli interventi di miglioramento/adeguamento sismico.

Il rischio è quindi connaturato alle caratteristiche dell'ambiente naturale della città, alle sue infrastrutture fisiche, ai suoi residenti ed alle attività economiche, sociali e politiche che si svolgono all'interno e attraverso i suoi confini.

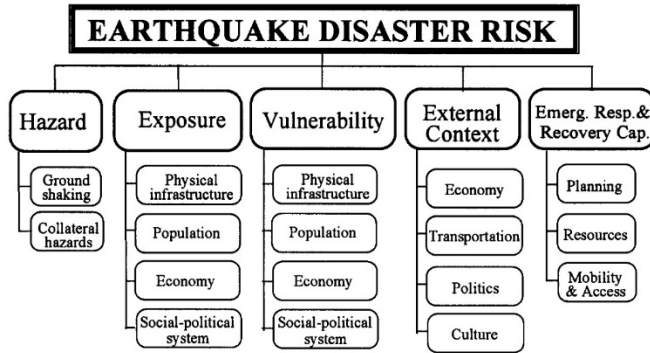


Figura 8 Quadro concettuale del rischio sismico di disastri sismici (fonte: Davidson, 1997).

L'indice EDRI si valuta come combinazione lineare dei singoli fattori x_i pesati tramite i coefficienti w_i che consentono di introdurre una importanza relativa tra le varie sorgenti del rischio:

$$EDRI = \sum_i w_i x_i \quad (2)$$

L'espressione lineare implica l'assenza di interazione fra i vari fattori, aspetto che semplifica le operazioni ma che non sempre si adatta alla realtà. Ad esempio, l'importanza della Gestione dell'Emergenza è strettamente legata alla vulnerabilità delle infrastrutture. Tuttavia, la scarsità dei dati a disposizione rende la (2) una soluzione di compromesso di maggiore praticità, anche rispetto a modellazioni non-lineari di difficile attuazione.

Al fine di rendere commensurabili i termini x_i è indispensabile che questi siano scalati tramite una procedura di riparametrazione (*scaling*) che li renda omogeni.

Le procedure alternative sono molteplici, si elencano di seguito le più adatte:

- (a) ogni fattore si esprime tramite una funzione (in genere non lineare) del dato grezzo nella sua unità di misura originaria che verrà quindi trasformato nell'unità adimensionale;
- (b) il valore grezzo x'_i dell'indicatore è adimensionalizzato mediante confronto con il massimo ed il minimo ipotizzato plausibile: $x_i = (x'_i - \underline{x}'_i) / (\overline{x}'_i - \underline{x}'_i)$;
- (c) il valore grezzo x'_i dell'indicatore è adimensionalizzato mediante confronto con il massimo ed il minimo osservato nelle città oggetto di valutazione: $x_i = (x'_i - \min_{x'_i}) / (\max_{x'_i} - \min_{x'_i})$;
- (d) il valore grezzo x'_i dell'indicatore è adimensionalizzato rispetto a quello medio $E[x'_i]$ ed alla deviazione standard $\sigma[x'_i]$ dell'insieme dei valori osservati nelle varie città: $x_i = (x'_i - E[x'_i]) / \sigma[x'_i]$;
- (e) il valore grezzo x'_i dell'indicatore è adimensionalizzato come per il caso precedente ma centrandolo rispetto al valore $E[x'_i] - 2\sigma[x'_i]$ dell'insieme dei valori osservati nelle varie città: $x_i = (x'_i - (E[x'_i] - 2\sigma[x'_i])) / \sigma[x'_i]$;

L'adozione di uno o dell'altro dei precedenti metodi di *scaling* ha come effetto quello di accentuare o meno la sensibilità dell'indice finale rispetto alle singole componenti (Davidson, 1997) e di aumentare o diminuire la differenza tra gli indici che competono a metropoli differenti come evidenziato dalla Figura 9 dove sono messi a confronto gli indici riferiti ad alcune città interessate dallo studio di Davidson & Shah (1997). I risultati dello studio sono raffigurati in Figura 10 adottando la riparametrazione tipo (e), assumendo pesi identici per i primi tre fattori e dimezzati per gli ultimi due.

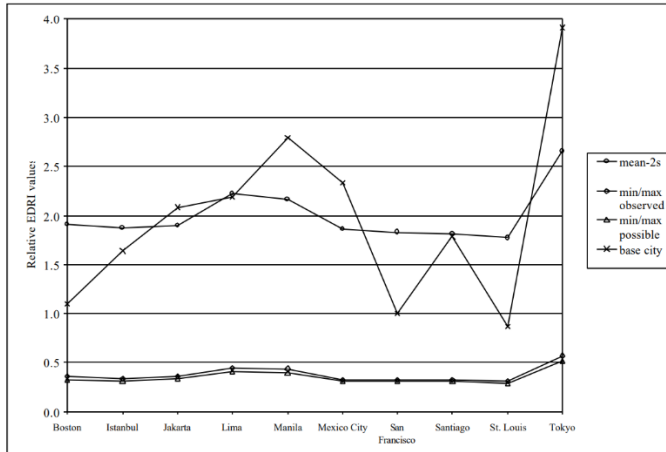


Figura 9 Variabilità dell'indice EDRI per effetto del tipo di riparametrazione (fonte: Davidson & Shah, 1997).

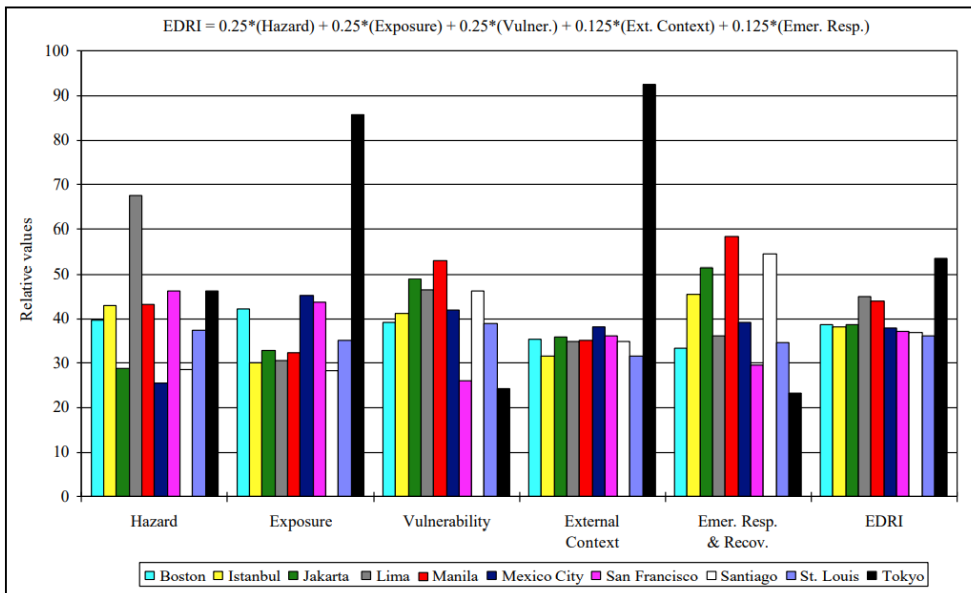


Figura 10 Valori indice EDRI e dei singoli fattori con ridimensionamento tipo e (fonte: Davidson & Shah, 1997).

2.5.3 Il modello Cardona

Il modello propone una concettualizzazione del rischio considerando non solo le variabili sismiche e strutturali ma anche variabili economiche, sociali, di capacità di risposta, di recupero post-sisma o di resilienza, che permettono di guidare in modo efficace le decisioni di mitigazione del rischio.

Il modello Cardona permette di valutare il rischio sismico in un centro urbano tenendo conto delle caratteristiche del rischio fisico, della pericolosità sismica, dell'esposizione fisica, della fragilità socioeconomica e della mancanza di resilienza. L'obiettivo è quello di individuare quelle caratteristiche della città che aumentano il livello di rischio e le sue aree maggiormente critiche.

Il modello introduce diverse tipologie di informazioni attraverso indicatori e utilizza un processo di normalizzazione dei risultati basato sulla media e sulla deviazione standard. I risultati ottenuti con il metodo Cardona consentono un confronto del rischio sismico tra le diverse aree di una città in modo relativo, ma non un confronto diretto in termini assoluti con aree urbane di altre città. In tal senso può considerarsi un metodo complementare e non sostituito di quello alla base dell'indice EDRI.

È richiesta la stima delle perdite o scenari urbani dei danni da terremoto, perché sono il risultato della convoluzione della pericolosità sismica, o microzonazione della città, e della vulnerabilità fisica degli edifici e delle infrastrutture: tutti aspetti che compongono la parte *hard* del rischio o rischio fisico.

Viene quindi introdotta una componente di rischio contestuale o parte *soft* (Figura 11), risultante dalla stima del descrittore di pericolosità sismica relativa e dalla sua convoluzione con la vulnerabilità del descrittore di contesto, che si basa su indicatori di esposizione, fragilità sociale e resilienza relativa delle unità di analisi conformi al centro urbano. Le unità di analisi potrebbero essere quartieri o aree con autonomia amministrativa che permettono alle autorità preposte di effettuare la gestione del rischio utilizzando i risultati della stima olistica e multidisciplinare del rischio sismico.

Nelle formulazioni iniziali del modello Cardona (Cardona & Hurtado, 2000) le componenti *hard* e *soft* sono tenute disgiunte e l'indice totale di rischio sismico IR_T per la generica unità di analisi è ottenuta dalla semplice somma delle due componenti del rischio *hard*, IR_H , e di quello *soft*, IR_S , eventualmente pesate in modo diverso tra i coefficienti (di somma unitaria) δ_{IR_H} e δ_{IR_S} :

$$IR_T = IR_H \delta_{IR_H} + IR_S \delta_{IR_S} \quad (3)$$

I descrittori del rischio *hard* sono individuati dalle stime delle perdite potenziali causate da un futuro terremoto:

$$IR_H = \sum_i X_{IR_i} \delta_{IR_i} \quad (4)$$

Quelli del rischio *soft* si ottengono dal prodotto scalato della pericolosità sismica, indicata dal fattore H_S , e della vulnerabilità di contesto, indicata dal fattore V_S :

$$IR_S = H_S V_S \tag{5}$$

A loro volta H_S e V_S sono composti da descrittori con pesi assegnati:

$$H_S = \sum_j X_{H_j} \delta_{H_j} \tag{6}$$

$$V_S = \left(\sum_k X_{E_k} \delta_{E_k} \right) \delta_E + \left(\sum_l X_{F_l} \delta_{F_l} \right) \delta_F + \left(\sum_m X_{R_m} \delta_{R_m} \right) \delta_R \tag{7}$$

dove i sub-descrittori E, F e R tengono rispettivamente conto dell'esposizione, della fragilità sociale e delle carenze in termini di resilienza, mentre è ovvio il significato degli altri simboli. Una possibile scelta di descrittori e pesi è riportata in Figura 11 ed i risultati della metodologia con riferimento ai quartieri di Bogotá sono illustrati nella Figura 12.

Per quanto riguarda la riparametrazione vale quanto già riportato per l'indice EDRI.

INDEXES	δ	DESCRIPTORS	δ	INDICATORS	δ	COMPONENTS	δ
IR _H Hard Seismic Risk	0.5	X _{IR1} Damaged area by earthquake	0.3	X _{I1} Spectral acceleration in short T	.55	X _{E1} Population	0.2
		X _{IR2} Number of deceased	0.1	X _{I2} Soft soils area	.15	X _{E2} Density of population	0.2
		X _{IR3} Number of injured	0.1	X _{I3} Liquefaction susceptibility area	.15	X _{E3} Built area	0.2
		X _{IR4} Ruptures of water mains	0.2	X _{I4} Landslides susceptibility area	.15	X _{E4} Industrial area	0.2
		X _{IR5} Ruptures of gas network	0.1	Ev Exposure	.25	X _{E5} Government institutional area	0.2
		X _{IR6} Fallen lengths of HT power lines	0.1		X _{F1} Slums-squatter neighborhoods	0.4	
		X _{IR7} Telephone exchanges affected	.05		X _{F2} Mortality rate	0.1	
		X _{IR8} Electricity substations affected	.05		X _{F3} Delinquency rate	0.1	
					X _{F4} Social disparity index	0.4	
		IR _S Soft Seismic Risk	0.5	H _S Seismic hazard of context	0.5	Fv Social fragility	.40
V _S Vulnerability of context	0.5			X _{R2} Health human resources	.15		
IR _T Total Risk Index				Rv Resilience (-) Lack of	.35	X _{R3} Public space and shelter facilities	.15
						X _{R4} Rescue and firemen manpower	.15
						X _{R5} Development level	.20
						X _{R6} Preparedness emergency planning	.20

Figura 11 Possibile scelta di descrittori e pesi da tenere in conto per il calcolo dell'indice di rischio totale (fonte: Cardona & Hurtado, 2000).

La procedura è stata successivamente modificata e semplificata (Carreño et alii, 2007) eliminando la valutazione esplicita dell'Esposizione e della Pericolosità che sono

tenute implicitamente in conto del rischio fisico e sostituendo alla (3) la formula seguente, detta equazione di Moncho:

$$R_T = R_F(1 + F) \tag{8}$$

dove IR_F è il rischio fisico (assimilabile a quello *hard*) e F è un fattore amplificativo che tiene conto degli effetti indiretti, entrambi espressi in termini di indicatori e relativi pesi:

$$R_F = \sum_i w_{RF_i} F_{RF_i} \tag{9}$$

$$F = \sum_j w_{FS_i} F_{FS_i} + \sum_k w_{FR_k} F_{FR_k} \tag{10}$$

I descrittori del rischio fisico, F_{RF_i} , e quelli dei fattori indiretti, F_{FS_i} e F_{FR_k} rispettivamente correlati alla fragilità socio-economica ed alla carenza di resilienza, sono valutati sulla base di funzioni di trasformazioni (cioè in base alla riparametrazione tipo a del paragrafo precedente). Nelle Figure 13-15 sono riportati i descrittori e le funzioni di trasformazione assunti da Carreño et alii (2007).

Si noti che l'indice di rischio della nuova formulazione ha una soglia massima pari a 2, mentre quello della formulazione originaria non ha un tetto massimo.

Assumendo come pesi quelli della Figura 17, gli indici complessivi di rischio per i distretti di Bogotá sono quello della Figura 18 (da confrontare con quelli ottenuti nella versione precedente riassunti in Figura 12).

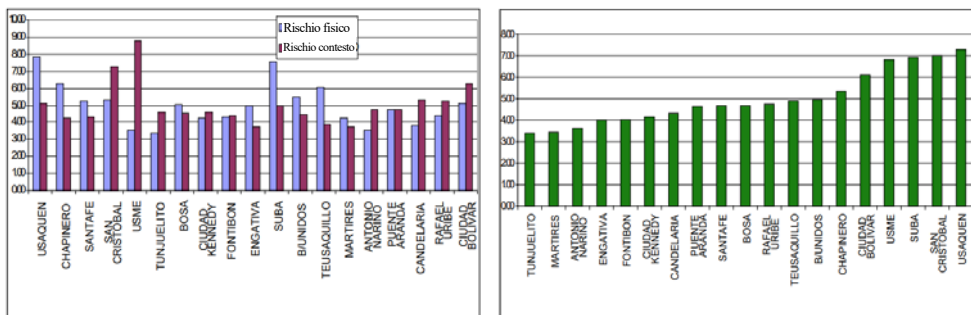


Figura 12 Rischio *hard* e *soft* (sx) e totale (dx) dei distretti di Bogotá (fonte: Cardona & Hurtado, 2000).

Descriptor			Descriptor		
Descriptor		Units	Descriptor		Units
X_{RF1}	Damaged area	Percentage (damaged area/build area)	X_{FS1}	Slums-squatter neighbourhoods	Slum-squatter neighbourhoods area/Total area
X_{RF2}	Dead people	Number of dead people each 1,000 inhabitants	X_{FS2}	Mortality rate	Number of deaths each 10,000 inhabitants
X_{RF3}	Injured people	Number of injured people each 1,000 inhabitants	X_{FS3}	Delinquency rate	Number of crimes each 100,000 inhabitants
X_{RF4}	Ruptures in water mains	Number of ruptures/Km ²	X_{FS4}	Social disparity index	Index between 0 and 1
X_{RF5}	Rupture in gas network	Number of ruptures/Km ²	X_{FS5}	Population density	Inhabitants/Km ² of build area
X_{RF6}	Fallen lengths on HT power lines	Metres of fallen lengths/Km ²	X_{FR1}	Hospital beds	Number of hospital beds each 1,000 inhabitants
X_{RF7}	Telephone exchanges affected	Vulnerability index	X_{FR2}	Health human resources	Health human resources each 1,000 inhabitants
X_{RF8}	Electricity substations affected	Vulnerability index	X_{FR3}	Public space	Public space area/Total area
X_{RF9}	Damage in the road network	Damage index	X_{FR4}	Rescue and firemen manpower	Rescue and firemen manpower each 10000 inhabitants
			X_{FR5}	Development level	Qualification between 1 and 4
			X_{FR6}	Risk management index	Index between 0 and 1*

Figura 13 Possibili descrittori di rischio fisico (sx) e fattori indiretti (dx) (fonte: Carreño et alii, 2007).

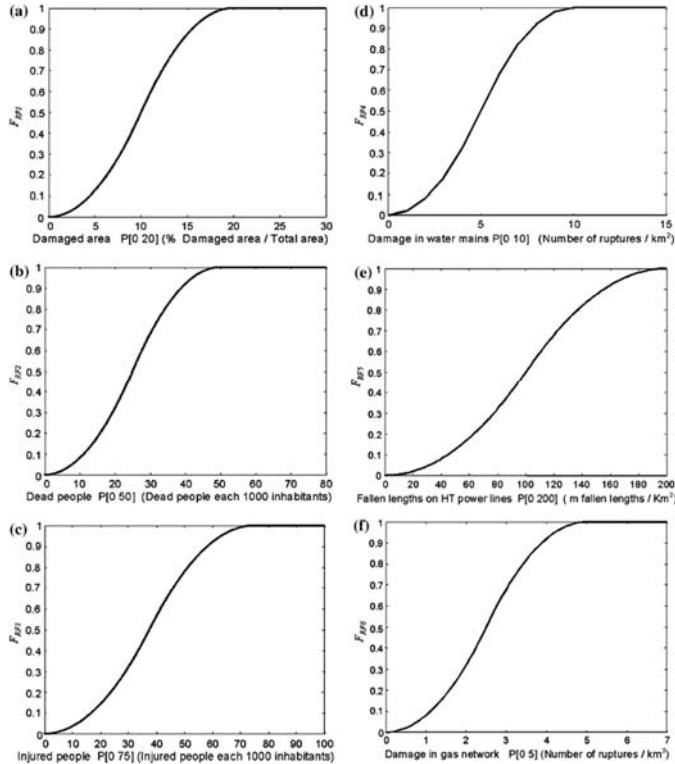


Figura 14 Funzioni di trasformazione per i descrittori di rischio fisico (fonte: Carreño et alii, 2007).

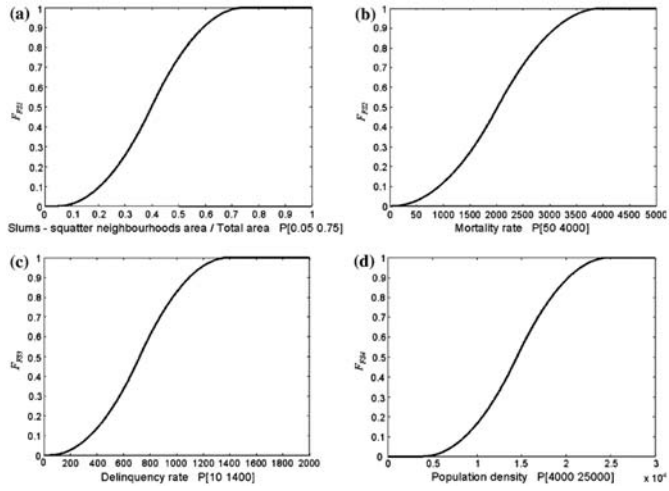


Figura 15 Funzioni di trasformazione per i descrittori di fragilità socio-economica (fonte: Carreño et alii, 2007).

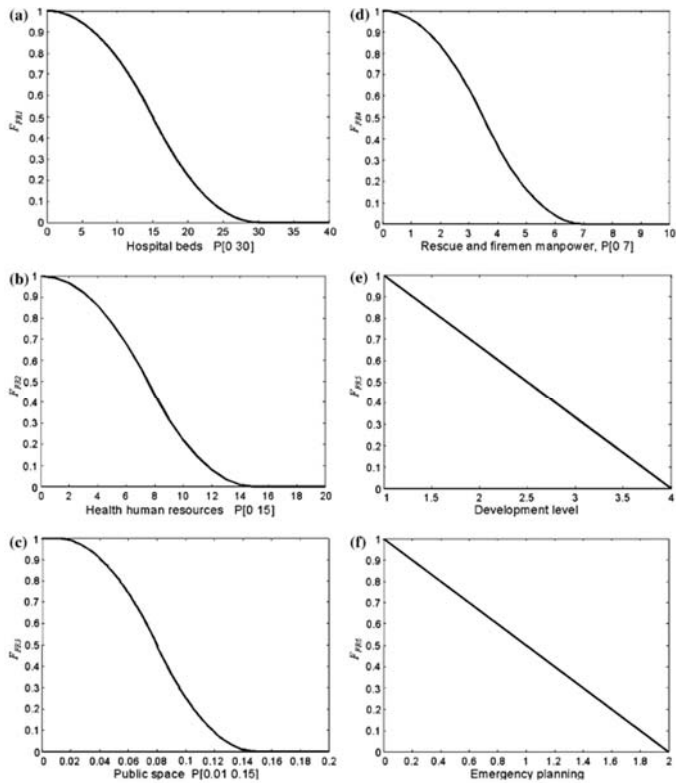


Figura 16 Funzioni di trasformazione per i descrittori di carenza di resilienza (fonte: Carreño et alii, 2007).

Table IV. Weights for the factors of the physical risk.

Factor	Weight	Weight value
F_{RF1}	w_{RF1}	0.31
F_{RF2}	w_{RF2}	0.10
F_{RF3}	w_{RF3}	0.10
F_{RF4}	w_{RF4}	0.19
F_{RF5}	w_{RF5}	0.11
F_{RF6}	w_{RF6}	0.11
F_{RF7}	w_{RF7}	0.04
F_{RF8}	w_{RF8}	0.04

Table V. Weights for the factors of the aggravating conditions.

Factor	Weight	Weight value
F_{FS1}	w_{FS1}	0.18
F_{FS2}	w_{FS2}	0.04
F_{FS3}	w_{FS3}	0.04
F_{FS4}	w_{FS4}	0.18
F_{FS5}	w_{FS5}	0.18
F_{FR1}	w_{FR1}	0.06
F_{FR2}	w_{FR2}	0.06
F_{FR3}	w_{FR3}	0.04
F_{FR4}	w_{FR4}	0.03
F_{FR5}	w_{FR5}	0.09
F_{FR6}	w_{FR6}	0.09

Figura 17 Pesì impiegati per i vari descrittori (fonte: Carreño et alii, 2007).

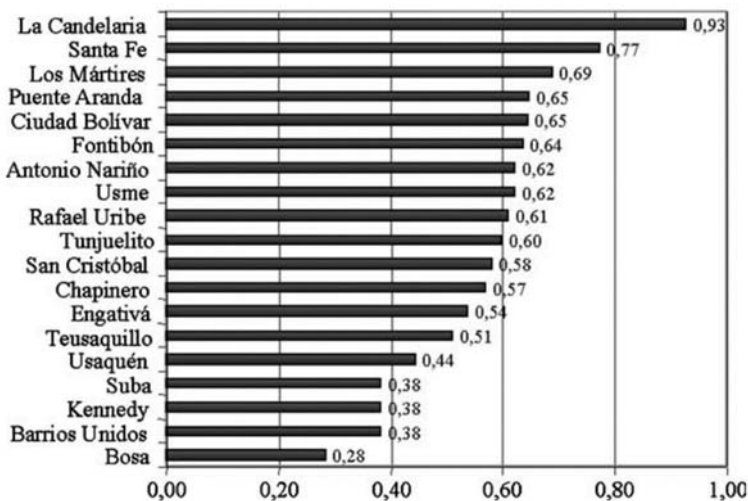


Figura 18 Indice di rischio complessivo per i distretti di Bogotá (fonte: Carreño et alii, 2007).

2.6 La “dimensione” del rischio sismico in Italia.

L'Italia è uno dei Paesi a maggior rischio sismico dell'area Mediterranea, a causa della sua posizione geografica al margine di convergenza tra due grandi placche,

quella africana e quella euroasiatica. Nonostante abbia un livello medio di pericolosità sismica, per la frequenza e l'intensità dei fenomeni che si susseguono, ha rispetto ad altri Paesi, una vulnerabilità molto elevata, per la notevole fragilità del suo patrimonio edilizio ed un'esposizione che si attesta su valori altissimi, in considerazione dell'alta densità abitativa e della presenza di un patrimonio storico, artistico e monumentale unico al mondo.

Sulla base dell'intensità, la localizzazione e la frequenza dei fenomeni sismici del passato, il territorio nazionale è stato suddiviso dal Dipartimento di Protezione Civile (2012) in 4 classi di rischio che variano da zone di tipo 1, zone più pericolose dove possono verificarsi forti terremoti, a zone di tipo 4, zone meno pericolose dove la probabilità che si verifichino forti terremoti è bassa. In alcuni comuni, le zone sismiche sono a loro volta suddivise in sottozone, a seconda del livello di pericolosità sismica (sottozona A, sottozona B e sottozona S).

Alla pericolosità del territorio si somma la condizione di elevata vulnerabilità sismica del patrimonio edilizio italiano a causa dell'uso prolungato di strumenti normativi obsoleti (quali classificazione sismica del territorio e norme tecniche per la progettazione in zona sismica) non al passo con i progressi compiuti in campo scientifico e inadeguati rispetto alle esigenze del territorio.

Nella maggior parte delle zone oggi ricadenti in area di pericolosità sismica media o elevata si è cominciato a progettare e costruire con specifici criteri antisismici solo dopo gli anni Ottanta. Per tale motivo il 75% del patrimonio edilizio esistente pubblico può considerarsi ad elevato rischio sismico.

Come mostra lo schema in Figura 19 elaborato da ANCE/CRESME (2012) su dati ISTAT, in Italia circa 7 milioni di edifici, oltre il 60% sul totale, sono stati costruiti prima del 1971, mentre i restanti 4 milioni sono stati realizzati negli ultimi 30 anni.

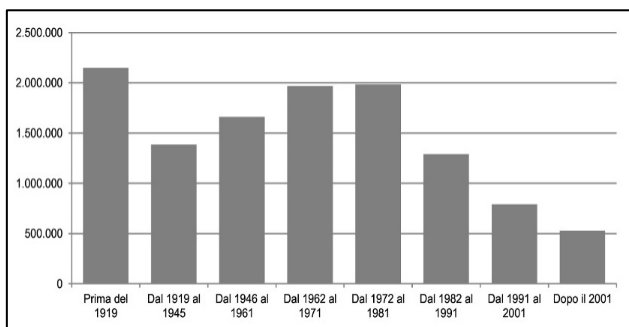


Figura 19: L'epoca di costruzione degli edifici ad uso prevalentemente residenziale in Italia (fonte: Elaborazione e stima CRESME su dati ISTAT).

Oltre alla vulnerabilità propriamente sismica, il nostro patrimonio edilizio soffre di un'estesa vulnerabilità strutturale dovuta alla lunga vita di servizio, a eventuali condizioni ambientali sfavorevoli, alla carenza di interventi di manutenzione, a eventuali difetti di impostazione o realizzazione tipici dell'età costruttiva e frutto delle conoscenze dell'epoca, alle trasformazioni e modificazioni subite dagli organismi strutturali resistenti, anche non visibilmente manifeste, di tipo antropico o indotte nel tempo da terremoti o eventi eccezionali.

Per quanto concerne lo stato di conservazione del patrimonio edilizio, sulla base dell'ultimo censimento ISTAT (2011), risulta che oltre 2,5 milioni di edifici residenziali presentano pessimo o mediocre stato di conservazione, tabella in Figura 20.

	Ottimo	Buono	Mediocre	Pessimo	Totale
Prima del 1919	321.515	1.008.058	696.571	124.115	2.150.259
Dal 1919 al 1945	179.837	680.810	460.821	62.347	1.383.815
Dal 1946 al 1961	262.252	919.050	440.821	37.706	1.659.829
Dal 1962 al 1971	421.296	1.189.107	339.915	17.639	1.967.957
Dal 1972 al 1981	581.533	1.165.793	225.835	10.045	1.983.206
Dal 1982 al 1991	542.007	653.865	90.195	4.435	1.290.502
Dopo il 1991	566.397	199.656	23.320	1.654	791.027
Totale	2.874.837	5.816.339	2.277.478	257.941	11.226.595

Figura 20 Edifici ad uso abitativo per epoca di costruzione e stato di conservazione fino al 2011 (fonte: ISTAT).

Dai dati riportati è lecito asserire che molte delle opere esistenti possano essere seriamente danneggiate o addirittura arrivare al collasso anche in presenza di fenomeni sismici di intensità medio-bassa.

Si stima che in Italia la popolazione esposta ad elevato rischio sismico (zone 1 e 2) sia pari a 21,8 milioni di persone ovvero il 36% della popolazione Figura 21. I comuni ricadenti nelle zone 1 e 2 sono il 35,8% dei comuni italiani e in tal ambito territoriale ricadono circa 5,5 milioni di edifici.

La Figura 22 mostra la distribuzione sul territorio nazionale dell'edilizia residenziale ante 1971 in considerazione della superficie territoriale esposta ricadente nelle zone simiche 1 e 2. Dalla lettura della figura si evince che una buona parte degli edifici residenziali costruiti prima del 1971, tra il 71 e l'80% ricade proprio nelle zone caratterizzate dalla pericolosità simica più elevata. La non trascurabile vulnerabilità,

strutturale e sismica, propria di tali edifici, associata alla notevole densità abitativa e all'elevata pericolosità sismica, determina alti livelli di rischio nei confronti degli eventi sismici attesi.

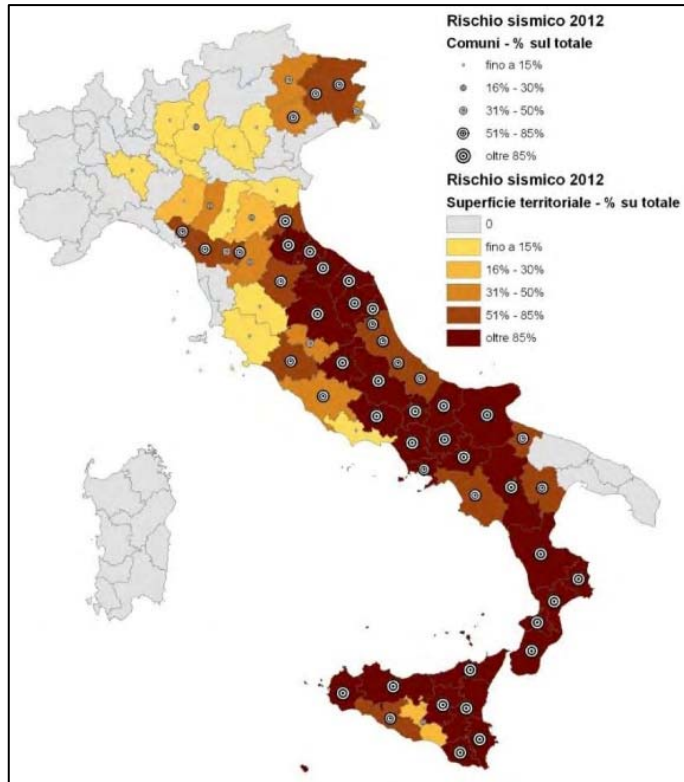


Figura 21 Mappa delle Province ad elevato rischio sismico (zona 1- zona 2A- zona 2B) (fonte: Elaborazione e stima CRESME su dati ISTAT).

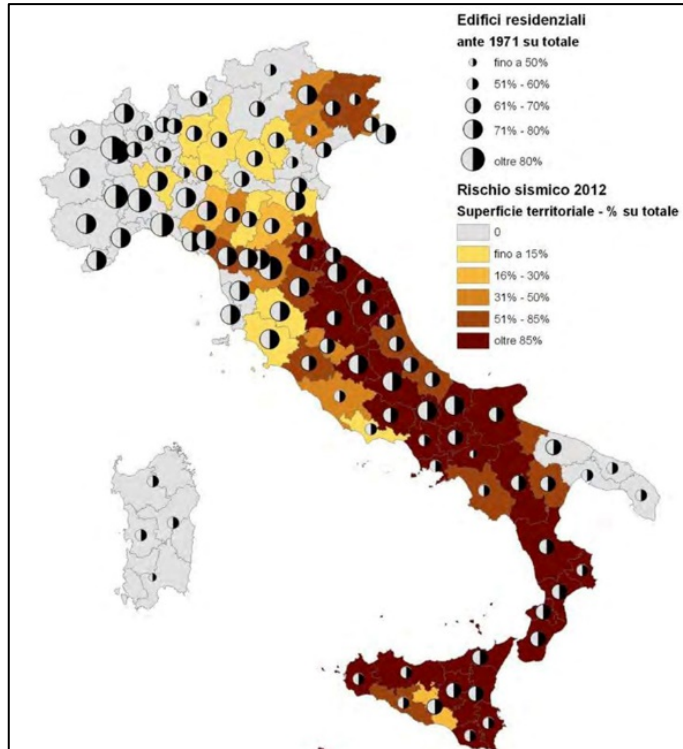


Figura 22 Mappa delle Province a elevato rischio sismico- Edilizia residenziale (fonte: Elaborazione e stima CRESME su dati ISTAT).

3 PROPOSTA METODOLOGICA

3.1 Modello concettuale: Analisi, valutazione e progetto

Le attività di analisi, valutazione e progetto, volgono alla definizione di un Pre-Piano degli Interventi di mitigazione del rischio sismico, cioè la definizione delle priorità e modalità di azione da attuare in una logica conservativa e vincolistica legata a un contesto urbano ad elevata densità di valore. Alla luce di ciò la pericolosità sismica del sito e l'analisi sulla vulnerabilità dell'edificato, forniscono una misura su dove è più urgente intervenire mentre lo studio sull'esposizione (istanza successiva da indagare) indica dove è più opportuno operare.

La vulnerabilità è qui rapportata alla scala dell'organismo urbano e non al singolo edificio. Ciò perché si considera l'organismo urbano nel suo complesso quale generatore unitario delle politiche di prevenzione – in quanto meta-soggetto delle azioni di mitigazione del rischio – e portatore delle responsabilità circa i danni nei termini non soltanto dei costi diretti, ma anche e soprattutto dei costi indiretti che si moltiplicano con legge esponenziale per effetto della progressiva necrosi dei tessuti urbani e (contestualmente) umani. Le azioni si coordinano pertanto con riferimento alla città e non all'edificio (Giuffrida et alii, 2015).

La mappatura della vulnerabilità sarà assimilata a uno strumento diagnostico dal quale in maniera sintetica possono scaturire delle ipotesi di intervento in base ai fattori di vulnerabilità individuati dal rilievo sul campo.

Gli interventi sono finalizzati tanto alla sicurezza delle persone, il capitale umano, quanto alla salvaguardia del patrimonio architettonico, il capitale urbano, in quanto quota significativa del capitale fisso personale e sociale di una comunità insediata (Rizzo, 2003).

Le politiche di prevenzione del rischio sismico, alla luce dei vari terremoti con effetti devastanti susseguitsi periodicamente in Italia (Di Sopra, 2016), non è detto che siano, se rappresentate in termini strettamente monetari, economicamente vantaggiose (come mostrano i dati relativi ai costi di ricostruzione) vista anche la modesta probabilità con cui possono ricorrere le calamità naturali, ma sono sicuramente indispensabili per preservare il patrimonio architettonico e le vite umane (Lucchese et alii, 2019; Durigon, 2012).

Infatti, il patrimonio architettonico rappresenta un deposito di valori che costituisce nella sua presenza fisica il supporto materiale dell'identità di una comunità insediata; pertanto, la sua conservazione assume un'importanza crescente in corrispondenza di elevato valore simbolico e culturale, grado di unicità e irriproducibilità, valore storico-testimoniale.

Il valore della vita umana è espresso nella locuzione di “dignità umana” nell'art. 1 della Carta dei diritti fondamentali dell'Unione Europea, e specificata nei successivi artt. 2 e 3 quanto all'esercizio, rispettivamente del diritto alla vita e del diritto all'integrità della persona. In quanto tale non dipende dalle caratteristiche della persona stessa, ma “è in sé” e pertanto non valutabile in maniera graduata o con riferimento a circostanze che possano comprimere in alcuna misura tanto il concetto di dignità quanto questi fondamentali diritti.

Nondimeno, nella prassi valutativa che informa i processi decisionali, la necessità di argomentare scale di priorità ai fini della migliore allocazione delle risorse disponibili, quindi in vista del maggior vantaggio e per il maggior numero di persone possibile, anche la vita umana viene rappresentata in relazione ad alcuni contenuti concreti (età, grado di istruzione, reddito) ai quali convenzionalmente e concordemente per certi fini – come nel caso del risarcimento del danno a una persona e/o nel caso della stipula di una polizza assicurativa – si associa una misura monetaria.

È questa la prospettiva di questa sperimentazione, cioè della possibilità di dare un senso applicativo al concetto di rischio (sismico) e una misura aggregata, quella economico-monetaria, la quale, per quanto semplificatrice, appare forse la più capace di coordinare molteplici aspetti del valore che emergono di fronte alla possibilità di un evento tragico.

Il modello concettuale del percorso di analisi, valutazione e progetto (Gagliano et alii, 2015) proposto al fine di fornire gli elementi per l'argomentazione delle diverse ipotesi circa l'estensione di una politica proattiva di mitigazione del rischio sismico di un tessuto edilizio-urbano stratificato, ma comunque composto da edifici in muratura portante tradizionale, è sintetizzato dallo schema della Figura 23.

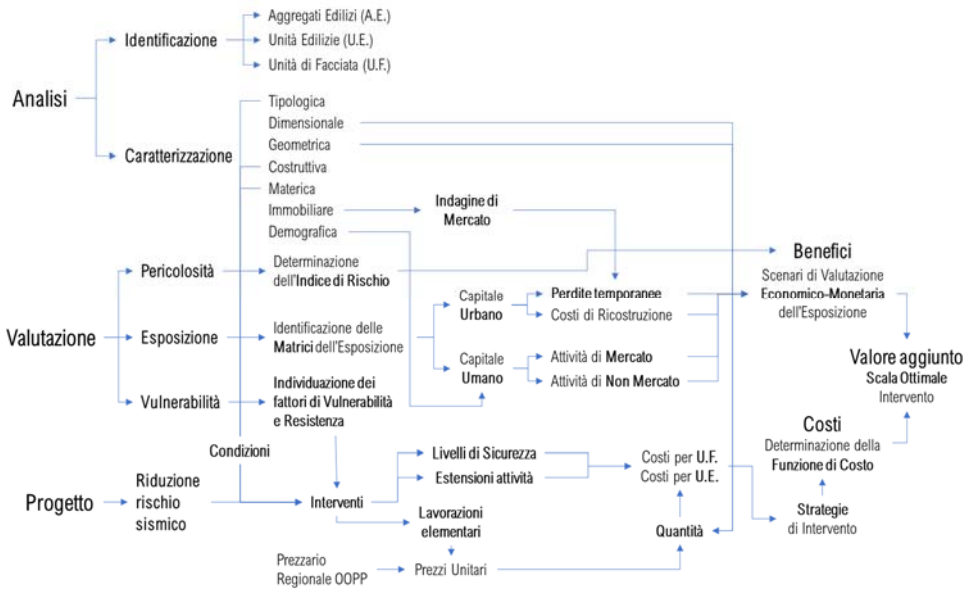


Figura 23 Schema generale del processo di analisi, valutazione e progetto.

Il diagramma illustra l'articolazione delle principali fasi del percorso di Analisi, Valutazione e Progetto che conducono alla definizione delle condizioni con le quali si possono, in maniera robusta – quindi con riferimento ai dati raccolti ed esposti, e con l'indicazione dei procedimenti con cui questi sono stati collegati ed elaborati – individuare gli interventi di mitigazione e argomentarne l'intensità e l'estensione nel contesto urbano studiato.

Tutte le unità di informazione originarie (dati) e derivate (elaborazioni intermedie e risultati) sono esposti e collegati in un DataBase contenente quali record le unità elementari di informazione e come campi le caratteristiche rilevate e gli attributi derivati dalla combinazione delle informazioni stesse.

Il database in tal modo realizzato diviene uno strumento versatile utilizzabile per la valutazione del rischio sismico delle singole unità edilizie e per la programmazione degli interventi di mitigazione alla luce valore del patrimonio esposto nelle sue due matrici fondamentali, il capitale urbano e il capitale umano.

3.1.1 *Analisi*

La fase di Analisi è consistita dell'Identificazione delle Unità di studio, Aggregati Edilizi (A.E.), Unità Edilizie (U.E.) e Unità di Facciata (U.F.) e nella loro Caratterizzazione a mezzo di diversi e adeguati contenuti informativi relativi agli aspetti Tipologici, Dimensionali, Geometrici, Costruttivi, Materici, Immobiliari e Demografici, che a ciascuna delle tre scale, e quindi con appropriato livello di dettaglio, hanno supportato le valutazioni e le scelte progettuali. La mappa concettuale di Figura 23 indica le aree della Valutazione e del Progetto a cui questi contenuti informativi sono collegati.

Più in generale, queste unità di studio sono state caratterizzate per definire le diverse tipologie di rischio a cui esse partecipano:

- per le persone che le abitano (A.E. e U.E);
- per le persone che sostano o transitano in spazi urbani ad esse prossimi (U.F.).

In tal senso anche alcuni aspetti della forma urbana di questo tessuto – relativi al principio insediativo e alla densità edilizia – sono stati presi in considerazione per individuare gli edifici interferenti con gli spazi urbani e quindi le aree del tessuto maggiormente a rischio nelle diverse fasi ordinarie e di emergenza.

3.1.2 *Valutazione*

La fase della valutazione si rivolge agli aspetti materiali ed economici del capitale urbano, nello specifico ambito del patrimonio edilizio censito e caratterizzato, e del capitale umano, con riferimento al rischio per l'integrità delle persone che abitano e frequentano il contesto urbano esposto al rischio:

- gli aspetti materiali sono riconosciuti e identificati in quanto fattori di vulnerabilità e resilienza;
- gli aspetti economici in quanto fattori dell'esposizione.

Più specificamente, la Valutazione è consistita nella definizione e quantificazione delle variabili necessarie a motivare gli interventi di Riduzione del Rischio e si è dispiegata in diverse fasi del percorso complessivo e ha avuto origine con la considerazione dalle tre matrici fondamentali della valutazione del Rischio, la Pericolosità, l'Esposizione e la Vulnerabilità. Queste valutazioni consentono di determinare la *funzione del valore aggiunto*, sulla base della contrapposizione di Benefici e Costi della Riduzione del Rischio Sismico. L'uso della *funzione del valore aggiunto* consente di determinare la Scala Ottimale dell'intervento di Riduzione del

Rischio Sismico, cioè il numero di U.E. che è ragionevole, e quindi opportuno, mettere in sicurezza.

La **Pericolosità** ha costituito il riferimento per la determinazione dell'Indice di Rischio in considerazione, anche, della Vulnerabilità delle Unità Edilizie.

L'**Esposizione** è stata rappresentata con la Valutazione Economico-Monetaria del patrimonio a rischio identificato, come detto, nelle due categorie fondamentali del Capitale Umano e del Capitale Urbano.

- Il valore del Capitale Umano è stato valutato con riferimento alla misura monetaria della vita delle persone potenzialmente coinvolte dal sisma, considerando il valore delle “Attività di Mercato e di Non Mercato”.
- Il valore del Capitale Urbano è stato valutato considerando:
 - o i Costi della Ricostruzione determinati in base a un grado di inagibilità presunto e a un costo unitario medio, entrambi dedotti dall'esperienza maturata nel caso della ricostruzione post-sisma in contesti edilizi-urbani simili;
 - o il valore immobiliare perduto come effetto della inagibilità temporanea del contesto danneggiato e per periodo ipotizzato.

Queste due valutazioni, attualizzate per mezzo dell'Indice di Rischio, hanno misurato il valore complessivo dei danni evitati fornendo una misura monetaria dei Benefici della Riduzione della Vulnerabilità.

La **Vulnerabilità** è stata valutata alle tre scale, dell'A.E. dell'U.E. e dell'U.F. e quindi in base a supporti informativi e con strumenti di natura differente come più avanti spiegato. In particolare, alla scala dell'U.E. è stata calcolata consolidando le misure determinate alla scala dell'U.F., calcolate con riferimento all'accelerazione del terreno necessaria a indurre il ribaltamento delle facciate degli edifici interferenti con le vie di fuga.

3.1.3 Progetto

La valutazione della Vulnerabilità ha supportato le successive fasi riguardanti la scelta degli Interventi di Riduzione del Rischio Sismico, definiti entro un abaco di categorie che comprendono un insieme di lavorazioni elementari, i cui prezzi unitari sono stati dedotti dalle fonti ufficiali, come il Prezzario Regionale delle Opere Pubbliche della Regione Siciliana e quelli specialistici, e con l'applicazione delle

consuete analisi dei prezzi laddove le lavorazioni individuate non fossero contemplate in essi.

La fase di progetto è strettamente legata a quella di valutazione con la quale dialoga ai fini della definizione del profilo di vulnerabilità dell'organismo edilizio nelle sue tre dimensioni dell'aggregato, dell'unità edilizia e delle unità di facciata.

Da questo profilo derivano le ipotesi di intervento; tra queste, vengono selezionate quelle maggiormente efficienti in termini di "costo-efficacia" tanto alla scala dell'aggregato quanto alla scala del tessuto preso in esame, e una volta determinato il ventaglio dei possibili interventi questi vengono messi in relazione alle valutazioni della esposizione in modo da aggiungere al problema della scelta delle modalità di intervento anche la dimensione della effettiva opportunità di intervento in relazione a una scala di priorità in base, appunto, al diverso attributo di valore degli organismi edilizi esposti e per i fini della massima protezione delle persone nella fase di emergenza. La considerazione di questo valore amplia il problema della scelta tra i diversi possibili gradi di intensità ed estensione degli interventi, quindi della strategia da implementare, in quanto tutte le variabili possono essere implementate in forma combinata per ottenere layout diversi, cioè, con diversi costi e con diversi risultati in termini di riduzione della vulnerabilità, e di completezza dell'intervento quanto alle componenti associate alle opere primariamente connesse al miglioramento della stabilità.

Si comprende dall'interazione delle attività delle tre fasi che la determinazione della Scala Ottimale di Intervento consiste in un problema di massimizzazione di una funzione multi-obiettivo in cui le variabili quantitative, qualitative ed economiche sono messe a sistema definendo tra esse le funzioni di sostituzione (*trade-off*).

3.2 Il capitale urbano

Il capitale urbano è una declinazione della categoria economica del capitale, una nozione fondamentale in economia e oggetto del più ampio dibattito e apporto scientifico per le implicazioni etiche, politiche e pratiche che esso ha assunto quanto all'ordinamento del sistema socio-economico e ai modelli socio-politici che si sono distinti e continuano a riorganizzarsi in ragione del modo in cui il capitale si concentra nelle disponibilità del soggetto pubblico o del soggetto privato, e dei modi in cui alla luce del modello capitalistico il sistema sociale interpreta la sua relazione con l'ambiente (Luhmann, 1990).

3.2.1 Il capitale

La questione del capitale continua ad animare la dialettica – che in molte circostanze si è fatta contrapposizione – tra classi sociali poiché per la sua rilevanza nella formazione e distribuzione della ricchezza il capitale ha finito per costituire un fine, piuttosto che un mezzo, e quindi, oltre a misurare la stabilità di un soggetto economico, ne simbolizza lo status sociale (Rizzo, 1999).

Il capitale – pubblico o privato, quindi “in essenza” – è caratterizzato in termini quantitativo o funzionali, il volume, e qualitativi o economici, il valore. Il volume è il risultato della scelta tra consumo presente e futuro da parte del soggetto che lo costituisce: nella società contemporanea è l’entità degli accantonamenti annuali (rinuncia al consumo presente) che consentono di ottenere maggiori utilità negli esercizi successivi (consumo futuro) e in ragione di specifiche proprietà che fanno sì che il capitale, pur a partire dalla sua caratterizzazione iniziale di bene strumentale, si distingua dai beni finali quanto a produttività, durevolezza e liquidità (Rizzo, 2002).

- *Produttività.* Il capitale è una grandezza fondo (*stock*) che consente di produrre nel tempo flussi (*streams*) di ricchezza di vario genere, in generale classificabili come beni e servizi, in ragione della loro essenza, materiale o immateriale.
- *Durevolezza.* Il capitale si trasforma nei beni e servizi che produce: in tal senso se ne distingue la “fecondità”, semplice o ripetuta. Il capitale circolante, detto anche “capitale scorte”, è durevole solo nel senso che non deperisce laddove conservato (legname, carburante etc.), ma si trasforma al bisogno, immediatamente e integralmente nei beni (un pezzo d’arredamento) e servizi (il trasporto fisico) che contribuisce a produrre; esso è pertanto una forma di capitale a fecondità semplice. Il capitale fisso, invece, possiede entrambe le proprietà; è durevole tanto perché non deperisce facilmente, quanto perché si trasforma nei beni che contribuisce a produrre in più cicli produttivi (esercizi); questo aspetto lo rende un capitale a fecondità ripetuta.
- *Liquidità.* È l’aspetto più controverso dei beni capitali e più significativo nel caso della natura di beni capitali che si assegna al patrimonio immobiliare e segnatamente a quello architettonico-ambientale (o paesaggistico). La liquidità è intesa, in senso riduttivo come una proprietà della moneta, in quanto capace di passare di mano istantaneamente e senza barriere; per

traslato, un bene facilmente commerciabile è considerato un bene sufficientemente liquido. La liquidità è pertanto un attributo che può essere più o meno presente in un bene. Nell'ambito dei mercati dei beni capitali, si suole distinguere sbrigativamente tra beni liquidi e non liquidi in ragione del fatto che si tratti rispettivamente delle forme del capitale mobiliare (uno strumento finanziario o anche un quadro), o immobiliare. In realtà si accetta sempre più l'idea che un bene capitale è liquido quando è facilmente liquidabile, cioè trasformabile in denaro istantaneamente, mantenendo lo stesso valore e in assenza costi di transazione (*ib.*).

Quanto detto lascia intravedere la prospettiva che nella misura in cui queste tre capacità convergono, il capitale assuma i contorni di una categoria economica capace di autoriprodursi (*ib.*): il suo volume e il suo valore sono cioè capaci di creare valore aggiunto una parte del quale può essere destinato alla sua conservazione (mantenimento), l'altra al suo accrescimento. Il progresso delle democrazie capitalistiche testimonia questo, anche se in certa misura e con le necessarie precisazioni.

Nondimeno non va trascurato che l'insieme dei processi che riguardano l'impiego del capitale non siano essi stessi incerti; pertanto, non è detto che la parte del valore aggiunto destinata alla conservazione del capitale sia a ciò sufficiente e che, di conseguenza il volume del capitale si riduca. Visto alla luce delle tre capacità suddette bisogna riconoscere tre forme di rischio del capitale.

- *Produttività.* L'incertezza che riguarda la produttività del capitale è connessa alla sua capacità di assecondare l'evoluzione delle tecnologie e delle tecniche produttive. Una tecnologia è la combinazione dei fattori produttivi (dei quali il capitale partecipa insieme al lavoro e alla terra, nella concezione classica della funzione di produzione) che massimizza la quantità di beni finali da produrre; una tecnica è l'insieme delle combinazioni tecnicamente efficienti caratterizzate dallo stesso rapporto di utilizzo dei fattori produttivi (Samuelson, 2019). Di conseguenza, diversi fattori di rischio possono insorgere quanto all'efficienza dell'uso del capitale in senso tecnologico come anche in senso tecnico. In generale, i rischi connessi a queste forme di incertezza si collocano nella fase di riproduzione e si traducono in un incremento del costo di conservazione fisica.

- *Durevolezza*. Aspetti di incertezza relativi alla durevolezza riguardano l'articolazione dei processi di obsolescenza del capitale: *materiale*, relativa al decadimento fisico del manufatto in quanto oggetto; *prestazionale*, relativa al decadimento funzionale rispetto agli standard normativi; economico, rispetto alla incapacità di trasformare prestazioni tecniche e funzionali in flussi di cassa positivi; tipologico, relativo alla progressiva inadeguatezza del manufatto rispetto all'evoluzione degli stili di vita, e delle prospettive personali del soggetto del processo produttivo-conservativo-trasformativo in essere. In generale, i rischi connessi a queste forme di incertezza si collocano nella fase di gestione e si traducono in un incremento del costo di adeguamento, laddove possibile.
- *Liquidità*. Associare l'attributo della liquidità ai beni capitali significa generalizzarne la categoria includendovi tanto il capitale riproducibile quanto quello non riproducibile. Il luogo del profitto, quest'ultimo merita un particolare compenso, ben noto come "rendita", che premia l'eccesso di domanda rispetto all'offerta (Camagni, 1992). Gli aspetti dell'incertezza legati a questa forma di capitale e specialmente nel caso del patrimonio immobiliare caratterizzato da significativo valore storico-architettonico, consistono nella instabilità dell'eccesso del valore simbolico su quello funzionale. I rischi connessi a queste forme di incertezza si definiscono nella collocazione di questi beni nei diversi segmenti del mercato immobiliare (locazione e vendita) e riguardano l'asimmetria tra la dinamica dei prezzi e l'inerzia dei costi di manutenzione, recupero, restauro e, non ultimo, mitigazione della vulnerabilità.

In conclusione, la nozione di capitale implica nell'articolazione delle sue forme e destinazioni, quella di rischio, proprio per sua relazione al futuro e alle connesse articolazioni dell'incertezza di questa relazione.

3.2.2 *Il capitale sociale: ambiente e rischio*

Il capitale urbano è, inoltre, una quota, o meglio, una specificazione, del capitale sociale. Quest'ultimo è, a sua volta, l'insieme dei beni capitali che svolgono una prioritaria funzione sociale, la quale deve essere intesa tanto in senso sociologico quanto in senso economico.

- *Sistema sociale e ambiente*. In senso sociologico, e in particolare, secondo l'approccio macro-sistemico luhmanniano (Luhmann, 1990), le forme del

capitale sociale costituiscono l'insieme delle riserve di capitale accumulato che consolidano la comunicazione interna di ogni organizzazione sociale, come la città, il territorio o qualunque altra istituzione la cui unità e identità si fondano su regole condivise, esplicite e implicite, volte a consolidarne la capacità di perdurare e progredire, e quindi di differenziarsi rispetto all'ambiente che la delimita. In questo senso il capitale sociale è parte di quei mezzi della comunicazione sociale che consentono alla corrispondente organizzazione di costituire un'unità-differenza tra il suo essere *sistema* (sociale) e il suo essere *ambiente*. In questa accezione, quindi, il capitale sociale è l'insieme di tutte le condizioni della condivisione di prospettive e destini, quindi della solidarietà, della partecipazione e dell'inclusione. In senso più specifico il capitale sociale è costituito da tutte le attrezzature che erogano servizi atti a ridurre le distanze tra le parti del sistema sociale, cioè in senso più generale, il gap comunicativo tra coloro che, pur a diverso titolo, partecipano della compagine sociale e coloro che, invece, ne sono esclusi. Partecipazione ed esclusione sono, come evidente, condizioni graduali e riguardano la componente umana direttamente, cioè con riferimento alle persone, o indirettamente; quindi, con riferimento a quanto consente o meno alle persone di partecipare ai vantaggi della inclusione. La condizione della mancata o ridotta inclusione è ciò che si può ritenere l'*essere ambiente* e pertanto: l'*ambiente umano* è costituito dalle persone rese ininfluenti attraverso forme di marginalizzazione diretta (disoccupati, discriminati etc.); l'*ambiente naturale* è costituito dagli ecosistemi depauperati e inquinati; l'*ambiente artificiale* è costituito dai patrimoni edilizi e infrastrutturali incompiuti, degradati o in disuso. Il caso del rischio sismico è esemplare di quanto fin qui premesso: il sistema sociale marginalizza le persone che subiscono gli effetti lesivi dell'evento catastrofico per un difetto di comunicazione con il sub-sistema politico-economico. Ciò accade quando non vengono implementate le misure di prevenzione necessarie a far sì che l'ambiente costruito che ne deriva diventi una minaccia per le persone che stabilmente o accidentalmente lo utilizzano e che finiscono per subire gli effetti non tanto (non solo) del terremoto, ma dell'incuria, cioè della mancata condivisione della prospettiva della sicurezza. In questo senso il rischio sismico, al netto della componente naturale (pericolosità) irriducibile e solo in parte prevedibile è l'effetto della mancata riduzione della vulnerabilità del "capitale urbano" che recede al

rango di “ambiente costruito” e del “capitale umano” che recede al rango di “ambiente umano”.

- *Il capitale sociale come capitale economico.* Il capitale sociale come detto svolge una prioritaria funzione di riequilibrio della comunicazione sociale, quindi di mitigazione degli effetti del prevalere di forme comunicative che generano forme di polarizzazione sociale. Tra queste, la comunicazione economica, che in senso generale avviene attraverso il dispositivo sociale del mercato. Questa particolare forma di comunicazione gode di proprietà apparentemente contraddittorie, ma a ben guardare facilmente comprensibili. Da una parte il mercato, nelle forme più vicine alla concorrenza perfetta consente l’ampliamento dell’accesso a una grande varietà di beni e servizi, favorisce la divisione e la specializzazione del lavoro, stimola l’efficienza del sistema della produzione, garantisce l’equità della distribuzione dei beni e dei servizi attraverso la formazione di un sistema di prezzi non influenzabili dagli agenti economici (produttori e consumatori), e che garantisce la fornitura della massima quantità di beni possibili al prezzo più basso, il “prezzo di produzione”, che consente di includere tra i potenziali acquirenti la maggior quota possibile dei consumatori. Dall’altra, viste le numerose circostanze – naturali, tecnologiche, umane – per le quali questo meccanismo equilibratore “fallisce” il mercato assume i contorni di un sistema comunicativo asimmetrico che consente a soggetti egemoni di istituire forme più o meno graduate e articolate di monopolio e quindi di influenzare le quantità di beni da produrre e/o i prezzi. Ne deriva un processo di progressiva accumulazione di surplus del prodotto sociale al di sopra delle sussistenze (cioè dei costi di produzione, commisurati ai vincoli naturali, tecnologici e ambientali) che si accumula nelle forme del capitale sociale, che è tale a prescindere dalla misura in cui esso venga impiegato (in ragione della quota del prelievo fiscale che lo consegna al pubblico) per contenere le tendenze polarizzatrici da parte del sub-sistema economico. L’accumulazione del capitale è comunque un fatto sociale in quanto allo stesso tempo condizione ed esito del progresso del sistema sociale, e anche in presenza di asimmetrie nella comunicazione esterna, cioè tra sistema sociale e ambiente, e interna, cioè tra sub-sistemi in conflitto all’interno del sistema sociale nella sua interezza e unità.

3.2.3 *Il capitale urbano: volume e valore*

Tra le circostanze che si individuano come causa del “fallimento del mercato” – quindi delle asimmetrie della comunicazione sociale che consentono la formazione di sub-sistemi egemoni, di forme di polarizzazione sociale e di “nicchie di rischi ambientali” – si collocano le asimmetrie territoriali, ambientali e paesaggistiche consolidate (per i presenti fini) nelle forme della città.

La città – tanto come categoria sociale quanto come forma fisica dello spazio vissuto – costituisce un imponente sistema, pur se ordinato e funzionante, di condizioni che agevolano e accelerano non solo l’accumulazione, ma anche la concentrazione spaziale del surplus di prodotto sociale. Questa progressiva concentrazione ha due ordini di effetti: l’ordine spaziale relativo al volume, l’ordine relazionale, relativo al valore del capitale urbano.

- *Il volume del capitale urbano.* Il processo di progressiva urbanizzazione dovuto alla competizione territoriale sviluppatasi in Italia come effetto della ricostruzione del secondo dopoguerra, ha avuto due effetti complementari in termini di distribuzione e formazione del volume del capitale urbano: da una parte, la progressiva accelerazione della produzione edilizia nelle aree esterne ai centri storici, con la rapida formazione di ampie zone di espansione in cui si è riversata gran parte del reddito prodotto dal convergere e dallo svilupparsi di attività economiche sempre più specializzate ed efficienti: dall’altra, l’attenuazione dell’interesse localizzativo nei centri storici i quali, in misure diverse e variabili da città a città, sono stati, come nel caso di Siracusa, per lunghi periodi abbandonati, e solo dagli anni ottanta dello scorso secolo rivalutati.
- *Il valore del capitale urbano.* I trasferimenti della popolazione dai territori meno densi di opportunità di promozione individuale e collettiva (formazione, lavoro, servizi rari, funzioni specialistiche) e dai centri storici ormai inadatti all’affermarsi di nuovi modelli culturali e stili di vita ispirati a un concetto di benessere alternativo a quello del recente passato, hanno dato luogo a un deciso spostamento del sistema delle preferenze individuali e collettivi in termini localizzativi e abitativi (Giuffrida, 2020). Ma tanto alla scala territoriale, quanto alla scala urbana, alla “duplicazione” del volume del capitale urbano, non ha corrisposto una pari duplicazione delle risorse economiche necessarie a mantenere i manufatti edilizi e i tessuti urbani di provenienza, che si sono in certo senso “inflazionati”, perdendo in termini

differenziali grande parte del loro valore dapprima immobiliare, successivamente prestazionale. Così come la concentrazione del capitale territoriale a vantaggio della formazione delle città è oggi alla base del progressivo disequilibrio nel rapporto città/campagna, allo stesso modo i centri storici delle città meno ricche hanno perso la loro attrattività e si sono progressivamente immiseriti, includendo tra le criticità specifiche anche il rischio sismico proveniente dalla modificazione delle destinazioni d'uso, delle manomissioni strutturali, dei frazionamenti e delle superfetazioni. Questi centri storici sono diventati “ambiente” per le città dai molti baricentri e dalle molte asimmetrie, un “esterno” quindi, rispetto alle cinture edilizie che li bordano, di fatto confinandoli. Sono questi i riferimenti della valutazione della esposizione dei patrimoni edilizi, architettonici e immobiliari che costituiscono il capitale urbano; la dialettica tra volumi e valori non riguarda solo la differenza tra quantità e prezzi, ma anche tra valori pratici e simbolici di cui il mercato immobiliare, seppur grossolanamente, dà conto in maniera sintetica e per certi aspetti anche efficace.

3.2.4 Il valore del capitale urbano e la misura dell'esposizione

Il valore del capitale urbano è stato assunto come misura dell'esposizione e in accordo ai criteri di valutazione del danno ambientale espressi nel Testo Unico Ambientale (D.L. 3 aprile 2006 n. 152) che individua il valore del danno ambientale in termini di riparazione primaria, complementare e compensativa:

- le riparazioni primarie consistono nelle attività necessarie a riportare i beni danneggiati allo status quo ante l'evento dannoso;
- le riparazioni complementari consistono nelle attività che, nel caso in cui la riparazione primaria non sia possibile in tutto o in parte, surrogano il valore delle riparazioni primarie con attività di miglioramento del contesto di riferimento (non sono prese in considerazione in questo caso di studio);
- le riparazioni compensative riguardano le opere che possono essere realizzate in aggiunta alle due forme di riparazione precedenti a compensazione delle perdite temporanee che il sistema subisce nel periodo di totale recupero dello status quo ante.

In ambito valutativo, in accordo quindi con l'articolazione dei criteri di stima del paradigma estimativo consolidato, è possibile associare alle riparazioni primarie il "valore di costo" di ricostruzione, e alle riparazioni compensative il "valore mancato" nei termini del valore dei flussi di servizi che il sistema non ha potuto erogare nella condizione che lo ha caratterizzato durante il periodo di recupero dello stato iniziale.

Sulla base di queste considerazioni, la misura dell'esposizione del patrimonio edilizio-urbano di Ortigia, quale componente della valutazione del rischio sismico è da ricondursi al *valore* e al *volume* del capitale urbano esposto calcolato quindi:

- con riferimento alla componente delle *riparazioni primarie*, considerando gli effetti del sisma in assenza di opere di mitigazione e quindi, in base alla consistenza del patrimonio a rischio, il valore dell'esposizione è misurato in moneta applicando a questa consistenza un costo di ricostruzione unitario medio; nel calcolo del valore di questa frazione dell'esposizione, data l'aleatorietà della previsione sui costi della ricostruzione, prevale il volume del capitale a rischio;
- con riferimento alla componente delle *riparazioni compensative*, cioè tenendo conto delle "perdite temporanee" – quindi con riferimento al valore dei redditi perduti nel periodo di inattività del contesto urbano in attesa del completamento della ricostruzione – il valore dell'esposizione si è determinato calcolando il reddito lordo annuale che in base alla combinazione delle diverse destinazioni d'uso ciascuna unità edilizia è capace di erogare; questo risultato è stato esteso (nello spazio) alla totalità degli edifici del campione analizzato e (nel tempo) al periodo stimato di inagibilità; il reddito perduto, a sua volta, è una frazione del valore di capitalizzazione (Napoli et alii, 2017) della componente immobiliare espressa dal patrimonio edilizio esposto; nell'ipotesi, accettata in dottrina, che valore di capitalizzazione e valore di mercato coincidano, si è condotta un'indagine del mercato immobiliare nell'intero contesto del nucleo di Ortigia i cui risultati sono sinteticamente rappresentati nei grafici di
- Figura 24; questi descrivono le relazioni tendenziali tra i prezzi unitari (rilevati rispetto alle due consistenze espresse in vani e in mq e misurati sull'asse delle ordinate dei due grafici) e un fattore aggregato di qualità che misura con un valore numerico adimensionale la qualità degli immobili quanto alle caratteristiche posizionali estrinseche o di localizzazione,

intrinseche, cioè di esposizione, accessibilità, luminosità, panoramicità etc., tecnologiche e architettoniche, rivolte entrambe tanto all'unità immobiliare censita, quanto all'edificio di riferimento. Nei grafici è possibile distinguere i risultati relativi agli immobili censiti per ciascuno dei quartieri di appartenenza, tra cui la Giudecca e Turba, nei quali si colloca il campione analizzato.

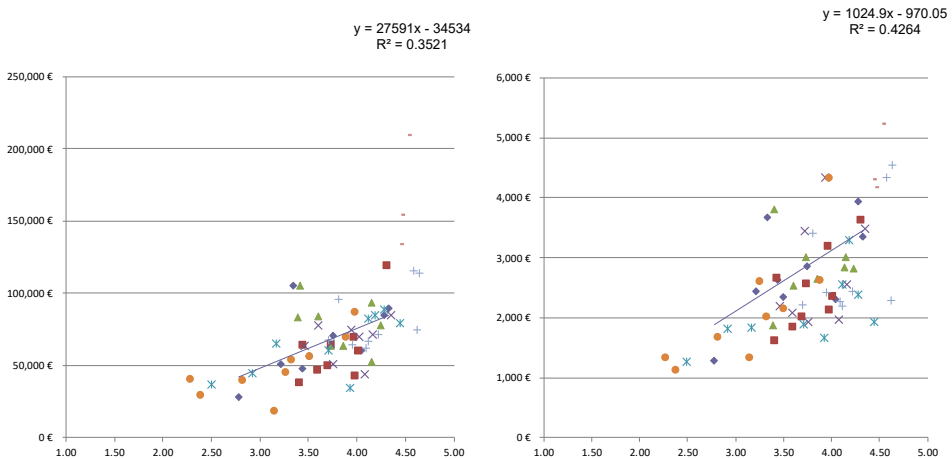


Figura 24 Sintesi dei risultati dell'indagine di mercato

3.3 Il capitale umano

Nel quadro di un approccio che miri alla riduzione della vulnerabilità dei tessuti edilizi storici, considerati quali portatori di unicità e identità, non solo culturale ma anche economica (*capitale urbano*), gli interventi da mettere in atto devono essere strumentali ad aumentare la resilienza dell'organismo urbano quale somma del capitale urbano e di quello umano (Trovato, 2020).

Se il capitale urbano comprende i valori architettonici e quelli immobiliari, il capitale umano è descrivibile come il valore della vita che può essere legato alla previsione del danno evitato alle persone in funzione dell'estensione dell'area protetta.

In particolar modo, la determinazione del valore della vita statistica (VSL: *Value of Statistical life*) è valutato sulla base del capitale umano.

Il calcolo del VSL è una metodologia comunemente usata per la valutazione monetaria del rischio di mortalità da incidenti stradali, che è stata poi ampiamente

utilizzata nella stima della mortalità da inquinamento. Il calcolo viene effettuato sulla base della produttività futura, di solito misurata in termini di PIL o dalle preferenze degli individui (disponibilità a pagare) relative alla riduzione del rischio, che normalmente è accidentale.

Nel considerare il fallimento della produttività futura (il cosiddetto approccio del capitale umano), si considera la perdita di ricchezza della società a causa della perdita di risorse umane, attribuendo una perdita economica alla comunità pari al valore della produzione (lorda o netta) che sarebbe stata prodotta dall'individuo rimasto in vita.

Lo scopo della determinazione del VSL è quello di misurare il valore economico associato alla riduzione del rischio, che può supportare la scelta di interventi che ne massimizzino il valore da uno minimo, come stabilito nel contesto della Condizione Limite di Emergenza (CLE), con la possibilità di identificare scenari con maggiori prestazioni in termini di riduzione del rischio che possono essere supportati dal sistema di preferenze individuali e finalizzati alla massimizzazione generale del capitale sociale nei diversi contesti territoriali.

La valutazione economica della vita umana è, quindi, uno strumento di controllo razionale con cui il decisore pubblico – che svolge il ruolo di custode degli interessi della collettività – è in grado di promuovere un processo decisionale che persegua obiettivi convergenti di equità e benessere sociale. Il cambiamento nella probabilità di sopravvivenza di un individuo o nella qualità della vita ha gravi conseguenze economiche ed emotive, non solo per l'individuo e i suoi familiari ma anche per la comunità.

I costi attribuibili alla minore probabilità di sopravvivenza di una persona o al deterioramento del livello di qualità della vita possono essere, in particolare, considerati non solo come perdite dirette derivanti da morti future (per esempio, possibili costi ospedalieri o perdita di produzione) ma anche come costi indiretti e costi di natura affettiva normalmente generati dal danno biologico e morale subito dall'individuo e dai familiari della vittima:

- perdite di produzione futura, che oltre all'individuo hanno un impatto diretto sulla società;
- stato di sofferenza e difficoltà di adattamento per i membri della famiglia a seguito della morte prematura (danno morale);
- stato di sofferenza causato dalla malattia o dalla patologia che precede la morte, indipendentemente dalla perdita di reddito (danno biologico).

3.3.1 *Sul concetto di capitale umano.*

La letteratura fornisce svariate definizioni che differiscono tanto per la natura di cosa viene misurato quanto per il campo di applicazione. Originariamente sviluppato nell'ambito degli studi economici con finalità esclusivamente tecniche, il concetto è stato successivamente esteso alla valutazione del benessere individuale e collettivo di un paese.

Gli economisti introducono per la prima volta il concetto di capitale umano alla fine del XVII sec., ma solo negli anni '50 e '60 è diventato un argomento di grande interesse grazie alla pubblicazione di Theodore Schultz (1961) "Investments in human beings" "Investimenti in esseri umani."

Il primo autore a confrontarsi con la valutazione del capitale umano è stato il padre dell'economia politica, l'inglese William Petty (1686), che alla fine del diciassettesimo secolo sosteneva che l'ammontare della ricchezza nazionale doveva tener conto della capacità lavorativa incorporata negli uomini, intesa come attitudine a creare ricchezza.

Un altro contributo importante al concetto di capitale umano è dato dall'economista Adam Smith, nella sua celeberrima opera "Ricchezza delle Nazioni" (1776), ove propone l'analogia tra gli uomini e le macchine produttrici, sostenendo che l'allevamento degli uomini, come la produzione delle macchine (capitale fisso), richiede l'impiego di risorse economiche; di conseguenza risulta errato considerare per il calcolo della ricchezza nazionale il valore di queste ultime e trascurare quelle degli uomini.

Egli giustifica quest'assunzione in base ad una definizione produttivistica di capitale umano, per effetto dell'analogia instaurata tra l'investimento formativo e quello nelle macchine specializzate, per cui in entrambi i casi vi dovrà essere un ritorno in termini di ricavi tale da eccedere i costi sostenuti, la cui consistenza deve remunerare in misura proporzionale sia il risultato finale che il sacrificio profuso, poiché, in caso contrario, esso non verrebbe affrontato.

Successivamente Ernst Engel (1883) propone un metodo di calcolo di tipo retrospettivo ovvero legato ai costi di mantenimento e di formazione degli individui dalla nascita fino all'età di ingresso al lavoro; Marshall (1922) ricollegandosi al problema sollevato da Smith afferma: "The most valuable of all capital is that invested in human beings" e definisce il capitale umano come quell'insieme che comprende le energie, le facoltà e le abitudini che contribuiscono direttamente

all'efficienza produttiva degli uomini. In Italia lo statista Corrado Gini (1962) è stato un convinto sostenitore del capitale umano come fattore da includere nella ricchezza nazionale.

Solo nella seconda metà del 1900, grazie ai lavori pionieristici di alcuni economisti, provenienti dall'Università di Chicago, quali Jacob Mincer (1958), Theodore Schultz (1961) e Gary Becker (2009) si segnala una profonda rivitalizzazione di tale tema al punto da sollecitare la nascita della teoria o, meglio delle teorie del capitale umano.

Gli autori della Scuola di Chicago, in particolare, hanno fornito una giustificazione scientifica a due convincimenti: per le persone, il livello (o stock) e lo sviluppo del capitale umano determinano un diverso livello e incremento delle loro retribuzioni e redditi; per il sistema economico, il livello complessivo del capitale umano influenza la crescita e lo sviluppo economico del Paese. In altre parole, dal punto di vista microeconomico, il capitale umano di una persona può essere considerato una delle principali determinanti del successo nel mondo del lavoro e l'investimento formativo assume rilevanza per le maggiori opportunità che offre agli individui di accesso e permanenza nel mercato del lavoro, oltre che di progressione di carriera e di miglioramento delle condizioni professionali, anche in termini retributivi. A livello macroeconomico, invece, sembra che le capacità competitive di un paese e del suo sistema produttivo dipendano dal tasso di accumulazione (flusso) e dallo stock degli investimenti in capitale fisico, ma anche dall'investimento e dallo stock di conoscenze incorporate nel capitale umano.

Prima dello sviluppo apportato dalla Scuola di Chicago la maggior parte degli economisti, pur sostenendo che le abilità acquisite e l'istruzione contribuiscono a determinare l'ammontare di capitale umano, non ha mai accettato, il fatto che gli esseri umani possano essere considerati, dal punto di vista economico, come dei capitali. Nel corso della storia molti autori hanno ritenuto infatti errato considerare l'istruzione come un mezzo per creare capitale così che l'idea di capitale umano risulti essere aberrante per il fatto che l'educazione in genere ha un fine prettamente culturale e non economico.

Il capitale umano, sotto il profilo economico, agisce sullo sviluppo in quanto aumenta la produttività anche se gli investimenti in capitale umano in aree come la salute, la riduzione della criminalità, la partecipazione e la coesione sociale hanno, in alcuni casi, condotto ad impatti sociali maggiori di quelli in termini economici.

3.3.2 *Approcci per la misurazione del capitale umano*

La centralità del tema del capitale umano nel dibattito economico ha promosso l'identificazione di indicatori strumentali per misurare il suo stock in ogni paese. L'assenza di un quadro teorico condiviso e di definizioni standard ha portato a un'identificazione frammentaria dei fattori che spiegano il contributo del capitale umano allo sviluppo dei paesi (Ocse, 2009).

In letteratura le ricerche volte a identificare una misura dello stock di capitale umano convergono su quattro approcci:

1. *Approccio basato sui costi* (basato sui costi dell'istruzione): misura i costi dell'istruzione e del sistema universitario sulla base delle spese effettive (risorse utilizzate per la formazione del capitale umano) e costi di opportunità (tempo dedicato all'istruzione, mancati guadagni degli studenti);

2. *Approccio basato sul reddito* (basato sulla capacità del capitale umano di generare reddito): misura il reddito relativo alle attività di mercato e non di mercato al netto delle tasse, per esempio, la piena retribuzione del lavoro per gruppi classificati per sesso, classe di età e livello di istruzione;

3. *Approccio basato sull'istruzione* (basato sul rendimento scolastico): misura il capitale umano tramite indicatori di performance educativa (numero totale di anni di scolarizzazione della forza lavoro; numero di infrastrutture educative; rapporto tra spesa pubblica per la formazione e PIL; spesa pubblica per l'istruzione pro capite; rapporto insegnanti/studenti; iscrizioni scolastiche; tasso di alfabetizzazione degli adulti; scolarizzazione media dei lavoratori; numero di individui coinvolti nel processo economico con un certo numero di anni di scuola);

4. *Approccio basato sulla conoscenza* (basato sulle abilità cognitive degli studenti): misura il capitale umano sulla base della qualità dell'istruzione in termini di abilità cognitive apprese e sviluppate, per esempio, il livello di apprendimento della matematica o delle scienze.

3.3.3 *L'approccio Jorgenson-Fraumeni*

Nel 2009, l'OECD (1998) ha promosso il Progetto Capitale Umano dell'OCSE coinvolgendo un consorzio di 17 paesi (Italia, Australia, Canada, Danimarca, Francia, Giappone, Corea, Messico, Paesi Bassi, Norvegia, Nuova Zelanda, Polonia, Spagna, Regno Unito, Stati Uniti, Romania e Russia) da Eurostat e dall'Ufficio Internazionale del Lavoro al fine di ottenere una misura monetaria del capitale umano coerente sia con la teoria economica che con i principi fondamentali della contabilità nazionale. Questo progetto ha adottato il metodo Jorgenson-Fraumeni (1984, 1992) come unica base metodologica per facilitare un confronto dello stock di capitale umano tra i paesi coinvolti. L'approccio di Jorgenson-Fraumeni del reddito da lavoro nel ciclo di vita applica la teoria neoclassica dell'investimento al capitale umano. Secondo questa estensione, il valore del capitale umano di un individuo può essere determinato dal reddito scontato nel corso del suo ciclo di vita.

La metodologia di stima prende in considerazione il valore attuale del reddito di lunga durata tenendo conto dei possibili cambiamenti nella retribuzione (anche a causa dell'esperienza), dell'istruzione supplementare che può essere acquisita, i modelli differenziali di partecipazione alla forza lavoro e la mortalità. Nel determinare il reddito del ciclo di vita Jorgenson e Fraumeni applicano la loro metodologia sia alle attività di mercato che a quelle non di mercato.

3.3.4 *L'approccio di Jorgenson-Fraumeni per stimare il capitale umano dalle attività di mercato*

Nel caso del Progetto Capitale Umano dell'OCSE (Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico), i calcoli si riferiscono alla popolazione attiva (15-64 anni) e alle attività all'interno del quadro centrale del Sistema del Conto Economico Nazionale, dando così luogo a stime relative alla misurazione del solo capitale umano impiegato in attività di mercato.

In questo progetto, il reddito da lavoro nell'arco della vita è quantificato per le tre fasi in cui si suddivide il ciclo di vita di un individuo in età lavorativa (15-64 anni), ovvero (ISTAT, 2014):

Fase I-Studio e lavoro (15-40 anni);

Fase II-Solo lavoro (41-64 anni);

Fase III-Solo pensione (65 anni e oltre).

3.3.5 Il valore dello stock totale di capitale umano stimato dall'ISTAT in relazione ai beni di mercato

Il valore dello stock di capitale umano totale in Italia, stimato dall'ISTAT sulla base dell'approccio Jorgenson-Fraumeni, è di circa 13.475 miliardi di euro. Trasformando questo valore in termini pro capite, risulterebbe che il capitale umano di ogni italiano vale circa 342.000 euro. Il calcolo mostra una forte differenza di genere, in particolare, il capitale umano pro capite per gli uomini è di 453 mila euro e quello per le donne è di 231.000 euro (Tabella 2)

Tabella 2 Valore complessivo pro capite dello stock di capitale umano per genere - Anno 2008 (fonte: Istat, 2014)

GENERE	Capitale umano (miliardi di euro)	Popolazione (15-64 anni)	Capitale umano pro capite (migliaia euro)
Maschi	8.925	19.696.777	453
Femmine	4.549	19.721.955	231
Totale	13.475	39.418.732	342

3.3.6 Approccio di Jorgenson-Fraumeni per il calcolo del capitale umano legato alle attività di non mercato

In generale, Jorgenson-Fraumeni propongono un metodo di valutazione monetaria anche per i beni non di mercato estendendo ad essi l'approccio del reddito di vita. Sulla base di questo approccio, la componente non di mercato del capitale umano è calcolato sulla base di una proiezione di eventi futuri, valutati in termini probabilistici nel corso della vita di un individuo medio.

Per la stima della componente di capitale umano associata alle attività non di mercato, dato che non esiste un corrispettivo monetario per essi, si dovrebbe determinare un valore fittizio o imputato. Una misura dell'output prodotto può essere ottenuta applicando un coefficiente dato dal rapporto (w^*/w) tra il salario effettivo (w^*) e il salario imputato (w). Ci sono due metodi di misurazione nella letteratura economica per determinare il (figurativo) salario/salario da attività non di mercato:

- metodo del costo opportunità;
- metodo del costo di sostituzione.

Il metodo del costo opportunità si basa sul presupposto che il tempo speso nel lavoro non retribuito è un costo, in quanto riduce il tempo dedicato al lavoro retribuito. Il

metodo del costo opportunità dà a un'ora di lavoro non di mercato un valore pari al salario orario netto di mercato (salario medio).

Il metodo del costo di sostituzione, invece, si basa sul presupposto che il valore imputato da attribuire alla riproduzione propria di un servizio può essere derivato dall'effettivo mercato richiesto per lo stesso servizio. Un'ora di lavoro dedicata alla produzione di un servizio all'interno della famiglia è valutata dal salario medio di coloro che potrebbero svolgere questa stessa attività a pagamento sul mercato.

In particolare, le attività non di mercato, considerate nel calcolo del capitale umano, sono l'uso del tempo libero e la produzione domestica.

Fraumeni (2011) sostiene che le attività del tempo libero contribuiscono all'accumulo di valore del capitale umano e che la produttività del capitale umano aumenta come risultato del tempo libero che sostituisce il tempo trascorso al lavoro. Per determinare il valore del tempo libero, il metodo del costo opportunità dovrebbe essere usato, dato che non esiste un valore di sostituzione di mercato per il tempo libero e il metodo del costo di sostituzione per il calcolo della produzione familiare.

3.3.7 Attività non di mercato - uso del tempo libero

Il lavoro condotto dall'OCSE considera i seguenti tipi di attività del tempo libero: (1) intrattenimento multimediale a casa (TV o radio); (2) altre attività del tempo libero (hobby vari, conversazioni telefoniche, uso di internet); (3) frequentazione di amici; (4) partecipazione attiva ad eventi sociali (concerti, cinema, musei, etc.); (5) attività sportive.

L'ISTAT ha individuato il tempo medio dedicato al tempo libero dalla popolazione italiana di 15-64 anni in circa quattro ore e mezza, con circa un'ora in più per gli uomini rispetto alle donne.

Per determinare il valore monetario dell'impiego del tempo, il reddito figurativo viene rilevato con metodi diversi per le persone occupate e non occupate.

3.3.8 *Attività non di mercato - produzione domestica*

Nel caso della determinazione del valore delle attività di produzione domestica alle quantità di tempo utilizzato, i redditi figurativi stimati sono applicati utilizzando il metodo del costo di sostituzione.

3.3.9 *Il valore dello stock di capitale umano totale stimato dall'ISTAT in relazione alle attività non di mercato*

Il valore dello stock di capitale umano totale in relazione ai beni non di mercato, stimato dall'ISTAT sulla base dell'approccio Jorgenson-Fraumeni, è di circa 16.053 miliardi di euro. Trasformando questo valore in termini pro capite, risulterebbe che il capitale umano di ogni italiano vale circa 401.000 euro. Il calcolo mostra una forte differenza di genere, in particolare, il capitale umano pro capite per gli uomini è di 384.000 euro e quello per le donne è di 431.000 euro.

Tabella 3 Valore complessivo pro capite dello stock di capitale umano nelle attività non di mercato per genere.
Anno 2008 (fonte: ISTAT)

GENERE	Valore complessivo dello stock di capitale umano	Popolazione (15-64 anni)	Valore pro capite dello stock di capitale umano
Maschi	7.556	19.696.777	384
Femmine	8.496	19.721.955	431
Totale	16.053	39.418.732	407

4 DAL MODELLO CONCETTUALE AL MODELLO OPERATIVO: APPLICAZIONE AL CASO STUDIO DI ORTIGIA

«[...] L'edificio murario deve essere riguardato come un assemblaggio di elementi vincolati in modo isostatico. I carichi agiscono sull'elemento che direttamente li sopporta e questo li trasmette sotto forma di reazioni agli elementi su cui è poggiato. [...] la scarsa efficacia delle connessioni tra gli elementi, e persino nell'ambito di uno stesso muro, è tale che l'edificio non presenta in generale un comportamento d'insieme.»

Giuffrè A. (a cura di): Sicurezza e conservazione dei centri storici: il caso Ortigia, Laterza, Bari, 1993.

4.1 Riferimenti di metodo

Con riferimento all'ambito di studio italiano e in particolare a un approccio emerso a partire dalla fine degli anni '80 del secolo scorso (Giuffrè, 1993), si espongono qui sinteticamente gli aspetti costruttivi dell'edilizia muraria storica che influiscono sul suo comportamento strutturale sia in ordinario che in occasione di un evento sismico. Premessa generale a tale approccio è la convinzione che ogni area culturale sia caratterizzata da proprie peculiarità tecnico-costruttive dalle quali deriva sia la configurazione d'insieme dell'organismo edilizio, che le modalità di degrado e di danno. Le comunità locali hanno, infatti, elaborato nel corso dei secoli proprie peculiarità tecniche per la costruzione della casa. Questo rende esplicita la natura del linguaggio costruttivo diversificato da zona a zona, in stretta dipendenza dalle risorse del territorio e dai condizionamenti derivati da lunghi anni di esperienza nel costruire. A tale metodo consolidato si farà riferimento specifico per lo studio del caso in esame: il tessuto edilizio di Ortigia. Di seguito si espongono le considerazioni salienti che saranno alla base della lettura della consistenza edilizia del predetto caso studio.

4.1.1 Assemblaggio

L'aspetto più rilevante dell'edificio murario storico è che esso è realizzato mediante l'assemblaggio di elementi strutturali semplici vincolati fra loro in modo isostatico, attraverso contatti monolaterali e attritivi in modo da generare un organismo che si offre come sicuro e resistente alle azioni esterne.

Il concetto di assemblaggio vale a diverse scale: alla scala del singolo elemento strutturale, alla scala dell'edificio, alla scala del tessuto urbano (Figura 25).

L'assemblaggio costruttivo comporta sovrapposizioni ma non connessioni tenaci: in condizioni statiche facilita la manutenzione per sostituzione (alla quale possiamo riferire la lunga storia delle nostre città anche quelle localizzate in aree fortemente sismiche), in condizioni sismiche rappresenta di contro una debolezza poiché il terremoto tende a separare ciò che non è tenacemente connesso.

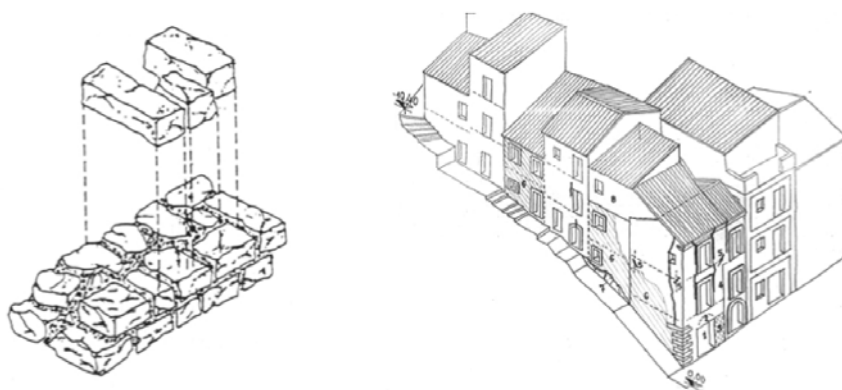


Figura 25 La parete muraria come assemblaggio di elementi lapidei (sx) e il tessuto come assemblaggio di case (dx).

4.1.2 Comportamento in presenza di azioni sismiche

Se in condizioni statiche l'assemblaggio di elementi giustapposti (alle diverse scale) favorisce la manutenzione, l'assenza di connessioni tenaci che caratterizza l'assemblaggio rappresenta indiscutibilmente una debolezza all'occorrenza del sisma.

Ma è proprio questa caratteristica della concezione muraria (assemblaggio /connessioni deboli) che rende possibile la concentrazione degli effetti del terremoto su alcune parti dell'edificio e solo raramente sul suo intero organismo. Per mettere a

fuoco questa saliente caratteristica è sufficiente confrontare tale modalità di danno per parti con quanto succede alle strutture pluriconnesse (Figura 26).



Figura 26 Effetti del terremoto del 2009; crollo del timpano di facciata della chiesa della madonna dei Raccomandati a San Demetrio de' Vestini (sx); crollo totale dell'Hotel Duca degli Abruzzi a L'Aquila (dx).

I danni sugli edifici murari si manifestano come sconnessioni dei singoli elementi che compongono l'organismo murario. La sconnessione comporta la riduzione dell'efficacia dei vincoli originari e, come conseguenza primaria, l'insorgere di problemi di stabilità dell'equilibrio degli elementi strutturali e l'innescare di meccanismi cinematici di ribaltamento.

La sconnessione che più frequentemente il terremoto induce nelle costruzioni murarie è il ribaltamento fuori piano delle pareti esterne (meccanismi di primo modo). Se il moto verso l'esterno è impedito (o trattenuto), l'azione sismica viene trasferita alle pareti di controvento. Solo quando la resistenza di tali pareti viene superata, esse si lesionano diagonalmente (meccanismi di secondo modo).

La condizione di vulnerabilità dell'edificio rappresentata dal ribaltamento delle pareti esterne (primo modo di danno) è dovuta alla componente orizzontale dell'accelerazione sismica che spinge verso l'esterno le pareti perimetrali, agendo perpendicolarmente al loro piano, e dopo un certo valore ne provoca il ribaltamento. Il ribaltamento delle pareti libere costituisce il pericolo strutturale comune a tutti gli edifici murari, qualunque sia l'accezione locale che li caratterizza (Figura 27).

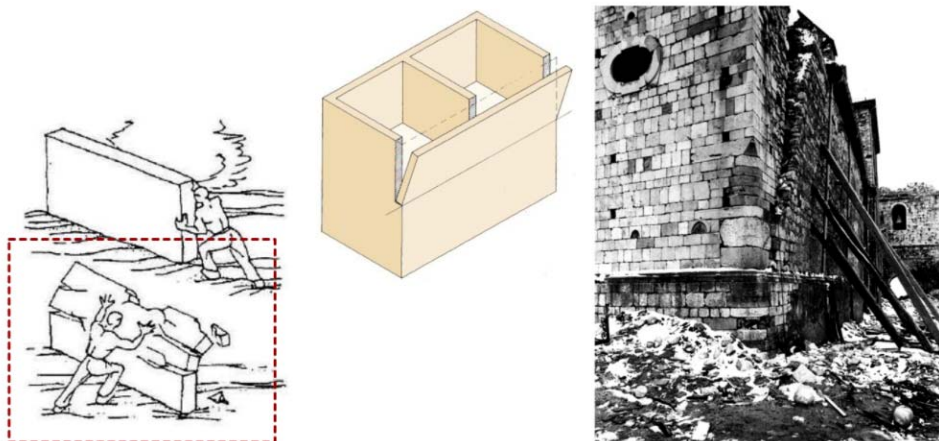


Figura 27 Schemi esemplificativi del meccanismo di primo modo (sx) e ribaltamento della facciata laterale della cattedrale di Sant'Angelo dei Lombardi colpita dal terremoto del 1980 (dx).

La consapevolezza della possibilità dell'innescarsi di *meccanismi di primo modo* nella fabbrica muraria ha suggerito nella storia costruttiva l'uso delle catene per supplire alla congenita assenza di connessioni tra le pareti esterne e quelle ad esse ortogonali: le pareti di controvento.

Il ruolo dei presidi di contenimento delle pareti esterne consiste nel chiamare in causa le pareti ortogonali - nel momento in cui l'azione sismica si manifesta - e farle partecipare alla risposta strutturale dell'intero edificio supportando l'azione sismica trasmessa loro dalle facciate come azione nel piano. È evidente la maggior resistenza della parete a questo tipo di sollecitazione: quando tuttavia l'azione supera la resistenza la frattura avviene secondo una lesione diagonale che isola una porzione triangolare della parete di controvento e la rende partecipe al moto di ribaltamento. Quello che viene definito *secondo modo di danno* può verificarsi quando il primo modo è evitato proprio per la presenza delle connessioni metalliche.

Mentre il primo modo di danno è sempre rovinoso, perché comporta il crollo della parete verso l'esterno (in genere sulla strada) e la rovina conseguente di tutti gli elementi che essa sopporta, il secondo modo di danno (Figura 28) si limita spesso a provocare profonde lesioni che isolano una porzione di parete ma che non alterano la sua capacità di sopportare i carichi verticali. Il secondo modo di danno evidenzia la pseudo-duttilità delle strutture murarie costantemente dimostrata dallo stato di fessurazione che si rileva dopo un terremoto su edifici gravemente danneggiati ma che hanno comunque evitato il crollo trovando alla fine della scossa un nuovo equilibrio nella nuova condizione danneggiata.

L'innescarsi di un meccanismo cinematico (primo o secondo modo) per effetto delle sconnessioni prodotte dal terremoto presuppone una buona qualità meccanica delle murature. Se i muri sono di scadente qualità meccanica il meccanismo non può attivarsi perché prima di esso la parete si scompagina producendo un "crollo a maceria".

Ne consegue che gli effetti dell'azione del terremoto sugli edifici in muratura non dipendono soltanto dalla energia rilasciata, ma anche dalla *qualità della costruzione*.

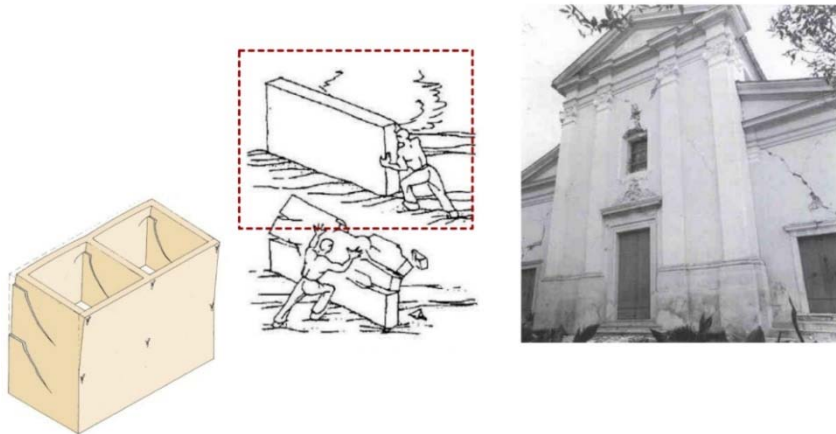


Figura 28 Schemi esemplificativi del meccanismo di secondo modo (sx) e danni nel piano della parete di facciata (lesioni diagonali) di una chiesa del Friuli colpita dal terremoto del 1976 (dx).

4.1.3 L'edificio

Gli edifici residenziali della città storica sono in generale composti da una struttura muraria articolata in cellule differenziate aggregate in pianta e sovrapposte per costituire unità a più piani. Il passo delle cellule difficilmente eccedente le dimensioni 6x6 m e gli spessori dei muri sono a volte condizionati dalle dimensioni degli elementi che li compongono (siano essi pietre o mattoni) ma sono spesso vicini ai 50-60 cm; tuttavia, le condizioni e i materiali locali possono portare a delle deviazioni da tale ricorrenza dimensionale (Giuffré, 1996).

Le norme italiane emanate dopo il terremoto del 1908 (Regio Decreto, 1909), e periodicamente aggiornate, impongono ancora oggi alle nuove costruzioni in muratura un interasse massimo delle pareti di sette metri e un'altezza massima di tre piani.

I muri che formano le partizioni sostengono gli elementi orizzontali: pavimenti e tetti, e tra questi è posta una struttura di collegamento tra i vari livelli dell'abitazione: la scala.

Come già esposto, la costruzione per giustapposizione di elementi semplici ha favorito e favorisce ancora la manutenzione per sostituzione; la casa storica ha per questo motivo una notevole capacità di accettare, senza subire indebolimenti, le modifiche aggiunte nel tempo – come un organismo duttile, in evoluzione, capace di cambiare per risolvere le necessità dei suoi utenti e le nuove situazioni in cui può trovarsi all'interno del tessuto urbano. Le case dei centri storici attuali sono tutte frutto di un'evoluzione compiuta nel corso dei secoli: l'aspetto che ci si presenta oggi è il risultato di trasformazioni lente, ma a volte anche radicali.

I rifacimenti e le trasformazioni attuate nel tempo, quindi, non introducono indebolimenti – o *vulnerabilità* - se eseguiti con competenza e all'interno della logica costruttiva muraria (assemblaggio per sovrapposizione con l'aggiunta di vincoli quali presidi antisismici) con la finalità di non alterare la consistenza strutturale della fabbrica.

Non di rado però – e soprattutto da quando il panorama costruttivo si è ampliato di altre tecniche che hanno prima affiancato e poi via via soppiantato la tecnica costruttiva muraria - si osservano sulle case dei tessuti edilizi storici, modifiche incongrue, difficilmente accettabili dalla costruzione, se non con l'introduzione di indebolimenti del suo organismo complessivo o, per dirla con altre parole, di *vulnerabilità estrinseche*, cioè vulnerabilità aggiunte, non presenti nell'organismo della casa prima della realizzazione di trasformazioni incongrue.

Una casistica altamente ricorrente nei centri storici italiani è quella che contiene ad esempio: sopraelevazioni parziali che non rispettano la maglia muraria sottostante, ingrandimento di aperture esistenti e/o inserimento di nuove aperture praticate nelle pareti etc. (Figura 29).

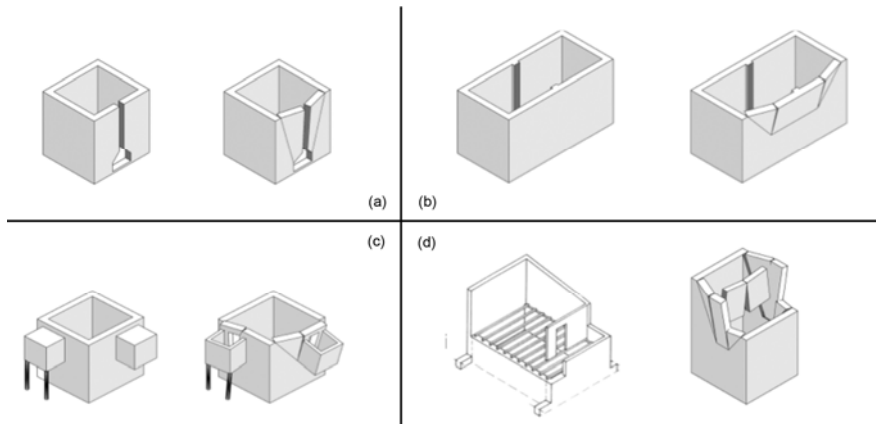


Figura 29 Schemi esemplificativi di trasformazioni che introducono vulnerabilità nell'organismo murario.

4.1.4 Il tessuto edilizio

La caratteristica generalizzata del tessuto dei centri storici è la contiguità strutturale tra i singoli edifici; infatti, escludendo casi eccezionali, l'edificio murario si presenta strutturalmente connesso a quelli adiacenti a formare l'isolato (aggregato). Questa peculiarità del tessuto storico fa sì che l'analisi del comportamento del singolo edificio risulti essere non sufficientemente esaustiva se non associata a una lettura di più ampia scala che coinvolga almeno gli edifici direttamente confinanti con quello oggetto dell'analisi. Ad esempio, è facilmente comprensibile come alcune peculiarità della risposta strutturale siano proprio derivanti dalla particolare posizione che l'edificio occupa all'interno del sistema edilizio individuabile nell'isolato (Figura 30).

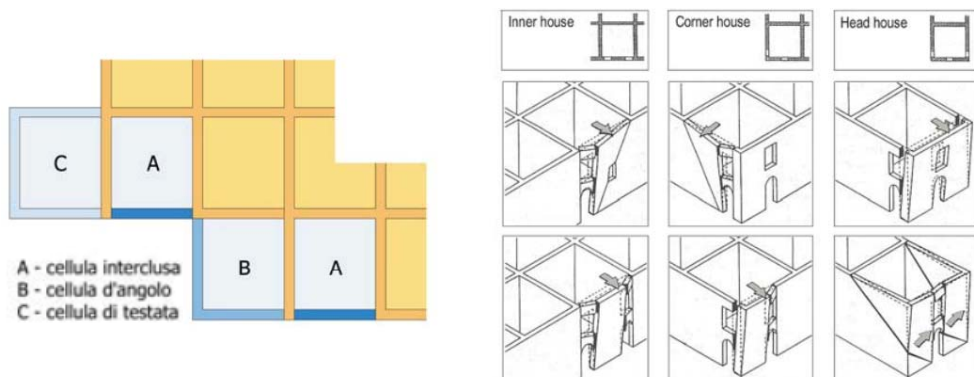


Figura 30 Posizione della cellula nel tessuto aggregato e meccanismi di danno correlati.

La cellula abitativa completamente inserita nel tessuto costruito (casa interclusa) possiede una sola parete libera su strada; le altre pareti, che sono contenute dai solai delle case confinanti e dai muri, sono certamente meno soggette al ribaltamento. Ma la cellula posta in angolo possiede due pareti esposte e la cellula di testata tre pareti libere.

Anche in questo caso la maggior vulnerabilità delle costruzioni con più facciate su strada non richiede dimostrazione; essa può essere facilmente valutata, se l'indagine è condotta in termini quantitativi, usando il criterio con cui si quantifica la vulnerabilità di una sola parete

La struttura della casa storica, quindi, non può prescindere dalla considerazione delle interazioni tra fabbricati contermini, che possono risultare nulle ovvero di irrigidimento o sostegno oppure di aggravio della azione sismica.

Per comprendere i risvolti di tale affermazione si può fare riferimento a una originale visione del tessuto edilizio storico che lo definisce come una successioni di scatole murarie che, seppur edificate singolarmente, contengono già al momento della loro edificazione la nozione di aggregato; infatti la edificazione cronologicamente differita – caratteristica della costruzione spontanea e non progettata dell'edilizia storica- fa sì che ogni nuova casa si ponga in adiacenza a quella già esistente e ne utilizzi una parte della ossatura muraria (Figura 31). Tale processo comporta che in un aggregato edilizio solo alcune case siano costituite da cellule murarie chiuse (ove cioè le pareti perimetrali realizzate contemporaneamente prevedono ad esempio una corretta organizzazione delle connessioni angolari).



Figura 31 Cellule murarie in aggregato: accostamenti murari in assenza e in presenza di elementi di connessione (morse di attesa).

4.1.5 La regola dell'Arte muraria come riferimento per la valutazione della qualità costruttiva dell'edificio

Le peculiarità tecnico-costruttive di una generica area culturale devono essere esaminate sulla scorta della conoscenza della *regola dell'Arte*⁷ muraria assunta come termine di confronto per valutare l'efficacia ovvero l'insufficienza della particolare realtà costruttiva analizzata. Si tratta cioè di riconoscere, all'interno di un peculiare lessico costruttivo, l'aderenza alle prescrizioni ritenute generalmente valide per le costruzioni murarie nella implicita assunzione – di carattere squisitamente sperimentale – che tale aderenza costituisca di per sé una garanzia di corretto comportamento meccanico.

Le prescrizioni della regola dell'arte riguardano non solo gli elementi che, singolarmente, compongono la fabbrica muraria – muri, orizzontamenti, coperture – ma anche le connessioni dei diversi elementi tra loro ovvero, in altri termini, il loro assemblaggio strutturale. Al punto che il giudizio sui singoli elementi deve essere calibrato anche in funzione della interazione di ciascuno di essi con quelli contigui.

Elementi fondamentali di qualunque fabbrica muraria sono naturalmente i muri. Per questi la regola dell'arte si può sintetizzare nel duplice requisito della orizzontalità dei ricorsi lapidei o laterizi (finalizzata al corretto trasferimento al suolo della più importante delle azioni, il peso) e del monolitismo della sezione trasversale (finalizzato a garantire la risposta unitaria della parete muraria alle forze esterne). Entrambi requisiti sono essenziali per consentire alle pareti murarie non solo di sopportare con sicurezza i carichi statici, ma anche di poter efficacemente opporsi alle azioni orizzontali indotte dai terremoti. Elementi strutturali altrettanto importanti sono gli orizzontamenti e le coperture. Anche qui, alla funzione statica che detti elementi riescono a esplicare se correttamente eseguiti e realizzati – in questo caso, la regola dell'arte si riassume nei requisiti della adeguatezza delle sezioni si aggiunge la importantissima funzione di collegamento che ad essi si può assegnare e che, come sopra accennato, può notevolmente incrementare le capacità dell'assemblaggio strutturale di opporsi alle azioni sismiche. Per altro la funzione di connessione è, a

⁷ Complesso di regole che governa l'esecuzione dell'opera e che ne condiziona il buon esito contro le azioni esterne. L'aderenza alla «regola d'arte» corrisponde al moderno soddisfacimento dei dettagli costruttivi previsti dalle norme.

volte, esplicitamente affidata ad elementi appositi la cui funzione precipua è proprio quella di connettere l'assieme: si tratta di catene, speroni, etc.

Tutto ciò si tramuta, in una visione mirata alla valutazione meccanica del costruito, prima nella evidenziazione e nella valutazione poi delle snellezze orizzontali e verticali delle pareti. Informazioni ulteriori vanno inoltre acquisite sugli elementi di dettaglio, che all'interno degli elementi costruttivi principali costituiscono punti singolari. L'interesse nella loro analisi risiede a volte nel loro contributo alla stabilità e a volte nella possibilità di esibire debolezze localizzate. In entrambi i casi, comunque, essi costituiscono spesso tratti salienti della tecnica costruttiva locale ed oltre alla valutazione della sicurezza costituiscono valori in termini di conservazione degli elementi stessi (non importa se lignei o murari) e delle loro condizioni di appoggio sulle pareti.

4.1.6 Elementi costruttivi e tecnica muraria del tessuto edilizio di Ortigia

Per gli aspetti costruttivi si fa riferimento al volume "Sicurezza e conservazione dei centri storici. Il caso Ortigia" (Giuffrè, 1993), ove sono raccolti i risultati di un esteso studio eseguito mediante campagne di sopralluoghi estesi al tessuto edilizio dell'isola. Tali risultati costituiscono per il presente lavoro, indispensabile sostrato conoscitivo su cui fondare le specifiche analisi realizzate.

In particolare, si prendono come dati di partenza gli abachi degli elementi costruttivi che sintetizzano le osservazioni dirette e le interpretano in chiave di efficacia meccanica.

Come osservabile in Figura 32, l'abaco proposto per le tessiture murarie presenta una suddivisione in tre classi (da A a C): la prima contiene i muri capaci di sopportare il cinematisimo come corpo rigido, l'ultima quelli che – in presenza di azione orizzontale - si disgregano poiché carenti di ingranamento. In una classe intermedia sono raccolti i muri che possono reggere purché trattenuti da catene a distanza ravvicinata.

Per quanto concerne gli orizzontamenti (Figura 33) la direzione di tessitura dei solai lignei è costantemente ad orditura semplice, e parallela alla parete su strada; mentre la struttura del tetto, con falda spiovente su strada o sugli altri spazi aperti presenti nel tessuto, è costituita da travi appoggiate sulle pareti parallele alla strada; queste hanno quindi direzione ortogonale alla parete esterna di prospetto.

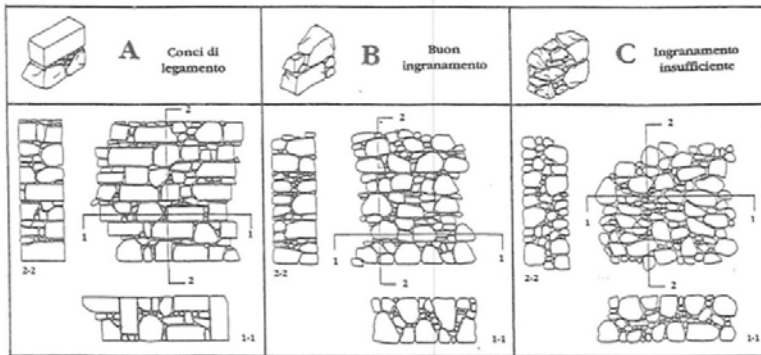


Figura 32 Abaco delle tessiture murarie di Ortigia ordinate per efficacia meccanica decrescente (fonte: Giuffrè,1993).

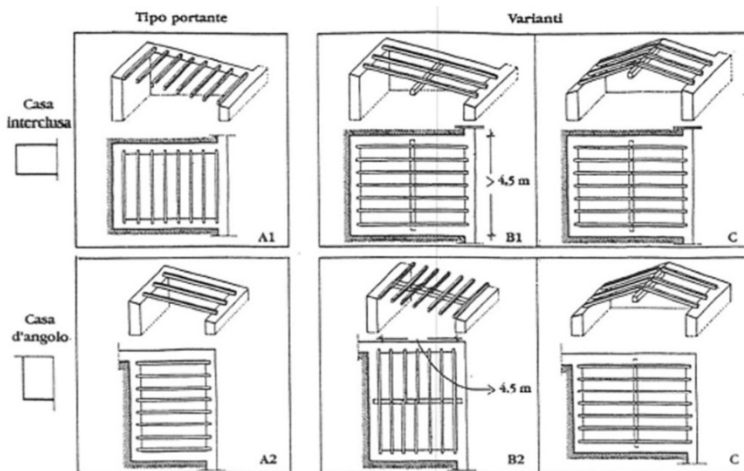


Figura 33 Abaco della disposizione delle orditure lignee di copertura in relazione alla posizione della cellula muraria nel tessuto edilizio (fonte: Giuffrè,1993).

4.1.7 Vulnerabilità intrinseche e vulnerabilità estrinseche

La conoscenza della tecnica costruttiva locale – nel caso in oggetto derivante da studi editi e aggiornata solo per specifici aspetti inerenti la finalità del presente lavoro - è il punto di partenza per la disamina delle vulnerabilità presenti sul caso studio e di seguito sulla sua esposizione poiché ci permette di estrarre i fattori di debolezza o di forza in esso presenti, dovute sia alle peculiarità della tecnica costruttiva locale, sia alle trasformazioni incongrue eseguite nel tempo.

Il riconoscimento delle vulnerabilità mediante uno studio speditivo del caso studio, ma basato su una metodologia stringente e su un approccio robusto ci permette di legare la condizione attuale del costruito del tessuto edilizio alle necessità di interventi preventivi capaci di mitigare la vulnerabilità sismica e quindi, in occasione di un futuro terremoto, di minimizzare le perdite e i danni per la comunità.

Sulla base dei numerosi precedenti studi su Ortigia, le *vulnerabilità intrinseche* – cioè derivanti direttamente dal modo di costruire locale – sono qui assunte come note; mentre le *vulnerabilità estrinseche* – quelle dovute alle trasformazioni e alle modifiche sul patrimonio costruito anche in virtù di cambiamenti estesi all'uso - sono state parte integrante dello studio qui condotto poiché Ortigia ha visto negli ultimi decenni cambiamenti tali da produrre certamente ricadute specifiche su tali aspetti, come sarà specificatamente introdotto nel successivo paragrafo 4.2.

4.2 Condizioni attuali di Ortigia

L'isola di Ortigia, il nucleo originario del centro storico di Siracusa, è un caso esemplare di insediamento urbano le cui stratificazioni, risalenti alla fondazione della città nell'VIII sec. a.C., sono testimoniate da permanenze che si fondono in un contesto architettonico, urbanistico e paesaggistico di valore assoluto.

Dopo essere stata danneggiata da un violento terremoto nel 1693, fu quasi completamente ricostruita utilizzando materiali locali in stile barocco. Questi elementi, armoniosamente mescolati con le rovine greche e romane, hanno contribuito a plasmare l'identità del sistema urbano, conferendogli una fisionomia omogenea, che stilizza la città antica (De Medici, 2018).

L'isola ha una superficie di 45 ettari ed è collegata alla Sicilia continentale da due ponti che attraversano uno stretto canale.

Prima dell'approvazione del Piano Particolareggiato di Ortigia (P.P.O.) nel 1990, l'isola era caratterizzata da uno stato di forte degrado fisico e sociale: accanto alle affascinanti testimonianze architettoniche e archeologiche vi erano edifici fatiscenti, case abbandonate, il tutto aggravato dall'esiguità degli spazi pubblici saturati nel tempo a causa della domanda crescente di edifici.

Solo a partire dagli anni Novanta, in virtù del P.P.O., in ottemperanza alla L.r. n. 70 del 7/5/ 1976⁸ “*Tutela dei centri storici e norme speciali per il quartiere Ortigia e per il centro storico di Agrigento*”, si assiste a una rinascita di Ortigia a partire proprio dalle potenzialità insite nella struttura urbana del suo patrimonio edilizio monumentale e minore.

Negli ultimi 30 anni l’isola ha vissuto un processo di riqualificazione che ne ha cambiato in maniera radicale il volto trasformandola da quartiere popolare, a sito di primaria importanza culturale, rivitalizzato dall’insediamento di musei e sedi universitarie⁹.

Inoltre, l’iscrizione di Siracusa e della Necropoli rupestri di Pantalica nella World Heritage List dell’Unesco¹⁰, avvenuta nel 2005, ha favorito la visibilità di Ortigia a livello mondiale promuovendone l’attività turistica¹¹.

⁸ Tale legge prevede contributi finanziari pubblici ai cittadini e nasce con il duplice scopo di bloccare forme di speculazione edilizia e favorire l’intervento diretto dei privati. Il Comune svolge una funzione deliberativa e tecnico - esecutiva, mentre la Regione gestisce le questioni finanziarie. La legge autorizza (articolo 19) le seguenti spese: 800 milioni di lire per espropri e indennità, 1.500 milioni di lire per contributi in conto capitale (art. 14) da erogare per l’attuazione del primo programma biennale. Contiene l’autorizzazione a redigere un Piano Particolareggiato per Ortigia in variante al PRG. Per gli edifici di particolare interesse storico, artistico e monumentali inseriti nell’elenco predisposto dalla Commissione, la legge prevede che la Regione assegni contributi fino al 30% della spesa ammissibile, per il restante importo è previsto un finanziamento agevolato del 3%.

⁹ Secondo le indicazioni del PPO, che intendeva promuovere il sistema dell’Università, sono state insediate 4 sedi universitarie la Facoltà di Architettura di Catania, alcuni corsi di laurea delle Facoltà di Lettere e Filosofia, di Scienze Matematiche Fisiche e Naturali di Catania e l’Università per stranieri. Al 2020 risultano aperte solo la Facoltà di Architettura e l’Università per stranieri con netto decremento della popolazione studentesca che risiede nell’isola.

¹⁰ Giustificazione per l’iscrizione di Siracusa e le Necropoli rupestri di Pantalica nella World Heritage List:

Criterio (II): I siti e i monumenti che formano i siti di Siracusa e Pantalica costituiscono un accumulo unico, attraverso i secoli e nello stesso spazio, di notevoli testimonianze sulle culture del Mediterraneo. Criterio (III): Siracusa e Pantalica offrono, grazie alla loro notevole diversità culturale, una testimonianza eccezionale per lo sviluppo della civiltà nel corso di circa tre millenni. Criterio (IV): Il gruppo di monumenti e siti archeologici situati a Siracusa (tra il nucleo di Ortigia e le vestigia in tutta l’area urbana) sono il più bel esempio di una straordinaria creazione architettonica che abbraccia diversi aspetti culturali (greci, romani e barocchi). Criterio (VI): l’antica Siracusa era direttamente legata a eventi, idee e opere letterarie di valore universale.

¹¹ Nella monografia di Marco D’Eramo, *Il selfie del mondo- Indagine sull’età del turismo*, Feltrinelli, viene affrontata fra le tante tematiche anche quella dell’iscrizione alla World Heritage List e viene messo in evidenza come il label dell’Unesco sancisce in maniera indiscussa l’autenticità del sito favorendo l’attività turistica. L’etichetta dell’Unesco non è causa del turismo, ma è il suo certificato di

Ortigia ha attraversato, a partire dagli scorsi anni Novanta un processo di progressiva gentrificazione¹² con improvvise accelerazioni attorno alla metà della prima decade degli anni 2000 e, anche come effetto di una progressiva strutturazione del settore immobiliare e della ricettività complementare, nella seconda metà di questo decennio.

La popolazione residente nel corso di 70 anni è passata dai 27.000 abitanti del 1950 ai poco più di 3.800¹³ nel 2020, per un'area di 45 ettari (Figura 34).

Si rileva una densità abitativa molto bassa che garantisce migliori standard abitativi anche se questa varia con i periodi dell'anno in base ai flussi turistici.

Ortigia, infatti, appare oggi sovraffollata dalla primavera all'autunno e spopolata nei mesi invernali, durante i quali molte attività ricettive e commerciali sono chiuse.

Più repentinamente che nei centri storici di molte altre città d'arte, proprio in ragione delle sue ampie potenzialità inesprese, queste trasformazioni hanno da diversi punti di vista contribuito ad aumentare il rischio sismico del tessuto edilizio e in particolare:

- la vulnerabilità del tessuto edilizio, a causa delle diffuse trasformazioni edilizie rese necessarie per far fronte alle nuove istanze funzionali ed economiche. Si pensi alle manomissioni delle cellule abitative originali soggette a modifiche planimetriche e della compagine muraria che

legittimità. E' la sua copertura ideologica in quanto istituzione preservazionistica a fin di bene. Il World Heritage è la componente hegelianamente "anima bella" dell'industria turistica, che conferisce e consente di accelerare le devastazioni turistiche in nome del salvataggio.

¹²Ruth Glass, sociologa marxista di origini tedesche, fu la prima a introdurre nei primi anni Sessanta il termine *gentrification*, laddove il termine "*gentry*" è di origine anglosassone e sta a rappresentare la piccola nobiltà di campagna inglese. La Glass, osservando le condizioni abitative del nord di Londra, descrive una trasformazione la cui manifestazione fondamentale è il ricambio di popolazione (il ceto operaio viene espulso e sostituito dal ceto medio) che genera, a sua volta, una trasformazione degli interni delle case alterandone il valore immobiliare e contribuendo quindi a modificare la "natura sociale del quartiere".

La *gentrification*, fenomeno fisico, sociale, culturale ed economico è sostanzialmente un reinvestimento che interessa edifici e quartieri della città, spesso i centri storici ancora degradati, che provoca un aumento del valore immobiliare con conseguente rivalorizzazione dell'area la quale diventa più costosa dunque più esclusiva e comporta un ricambio sociale a favore delle classi medio-alte.

Secondo Neil Smith, i produttori della *gentrification* si attivano, quando si accorgono che si sta ampliando il differenziale di rendita, il *rent gap*. Questo non è altro che la differenza di valore tra quanto si potrebbe guadagnare se un'area fosse pienamente riqualificata e il suo valore attuale.

¹³ I dati sono stati estratti dall'ufficio Anagrafe del Comune di Siracusa e dal sito Istat.

stravolgono la concezione strutturale e la peculiarità dello “*stato dell’arte*” all’epoca di costruzione;

- l’esposizione, per la massiccia affluenza di turisti e proprietari di seconde case nelle stagioni più favorevoli.

Quello che oggi appare evidente è un progressivo sfruttamento del territorio per attività turistiche e legate al tempo libero: le vie sono dense di bar, ristoranti, negozi di souvenir e di brand internazionali che fanno perdere il carattere identitario del centro storico così che si ha l’impressione di essere in un qualunque altro luogo.¹⁴

Ortigia è diventata nel corso degli anni sempre più una meta turistica glamour frutto di una artificiosa riqualificazione che è consistita nel risanamento, il più delle volte con interventi di speculazione immobiliare (grazie anche ai finanziamenti a fondo perduto di cui ha goduto l’isola¹⁵), e l’espulsione degli ultimi residenti per far posto alla nuova popolazione stagionale.

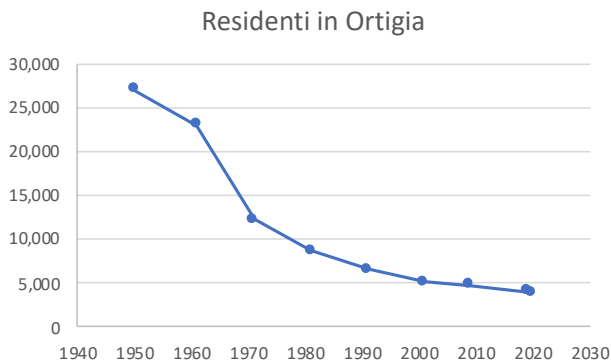


Figura 34 Andamento demografico in Ortigia.

¹⁴ I centri storici e le aree soggette a gentrification stanno assumendo stessi connotati, così da sembrare tutti uguali, delle sorti di piccole Disneyland disseminati in tutto il mondo come evidenziato dal sociologo Giovanni Semi nella monografia: *Gentrification-Tutte le città come Disneyland?*

¹⁵ Il Comune ha predisposto finanziamenti ai privati in attuazione alle L.r. n. 70/1976, n. 25/1993 e n.34/96, che prevedeva contributi in conto capitale per interventi sulle facciate e sulle parti comuni degli edifici e per immobili destinati ad attività commerciali e artigianali.

5 IL MODELLO OPERATIVO

Il modello operativo – illustrato dettagliatamente nei paragrafi successivi – è l'applicazione del modello metodologico a un caso reale qui individuato nel patrimonio edilizio del centro storico di Siracusa e in particolare dell'isola di Ortigia.

Il modello coordina tutti i risultati delle indagini e delle valutazioni effettuate con riferimento alle tre componenti del rischio sismico: pericolosità, vulnerabilità ed esposizione. Il fine è quello di fornire i termini di valore che supportano le scelte di programmazione degli interventi compresi nel programma di mitigazione del rischio sismico di un nucleo urbano storico che rientra in una classe di pericolosità significativa. L'edificio manifesta rilevanti aspetti di vulnerabilità ed è caratterizzato da un elevatissimo valore di esposizione dovuto da una parte al pregio del suo patrimonio storico-architettonico (il capitale urbano), dall'altra alla articolazione spaziale e temporale della presenza antropica visto il rapporto sbilanciato in senso stagionale tra residenti e turisti.

La scelta di Ortigia per procedere alla parte sperimentale della ricerca deriva dalla disponibilità di un'ampia letteratura specifica prodotta dall'avvicinarsi di studi ed esperienze di ricerca negli scorsi decenni dalla quale è stato possibile attingere parte delle informazioni di base che si sono poi integrate con la ricerca sul campo per i diversi aspetti legati a questa esperienza di ricerca che integra nuove e inedite osservazioni e valutazioni, necessarie per procedere alla costruzione del modello operativo.

In particolare:

- lo studio sulla **pericolosità** fornisce un solido supporto per la determinazione del coefficiente con il quale è possibile confrontare le grandezze economiche certe e attuali, come i costi di intervento per la mitigazione da eseguirsi al presente, con grandezze incerte e future, come:
 - o il costo di ricostruzione che si sosterrà in un tempo non definito nel caso di mancata realizzazione delle opere di riduzione della vulnerabilità;
 - o le perdite temporanee di utilità (materiale ed economica) conseguenti agli effetti distruttivi del sisma ipotizzato e per il tempo della inagibilità;

- il valore del capitale umano sacrificato nel caso di rinuncia alla messa in sicurezza del patrimonio edilizio-urbano;
- lo studio sulla **vulnerabilità** ha consentito di individuare le opere da realizzarsi per la sua riduzione e calcolarne i costi;
- lo studio sulla **esposizione** ha consentito di determinare il valore del patrimonio esposto.

Sono presenti, pertanto, gli elementi più significativi per rispondere alla domanda di ricerca riguardo alla ragionevolezza della realizzazione delle attività di prevenzione e al loro corretto dimensionamento in termini qualitativi e quantitativi (di scala).

Il linguaggio utilizzato per rispondere a questa domanda è il linguaggio monetario che se da una parte costituisce una semplificazione, dall'altra risulta necessario per confrontare grandezze di natura, ordine e scala diverse.

Ogni considerazione aggiuntiva proposta con l'utilizzo di linguaggi ulteriori (extra-monetari), fornirà ulteriori motivi di ampliamento e arricchimento delle considerazioni e dei risultati fin qui raggiunti.

5.1 La Pericolosità nel territorio siracusano e in Ortigia

5.1.1 *Aspetti generali. Il contesto regionale*

Facendo riferimento alla serie di eventi sismici susseguitesisi nel corso dei secoli in Sicilia, si evince che l'attività sismica si concentra:

- nella zona costiera orientale compresa tra lo Stretto di Messina al siracusano;
- nel settore settentrionale, nella dorsale dei Nebrodi-Madonie-Monti di Palermo;
- nella parte occidentale dell'isola, nella zona del Belice;
- nella zona etnea e nelle Isole Eolie.

I terremoti più forti ovvero quelli con intensità massima $I = XI$ MCS¹⁶ e magnitudo fino a 7.4 avvengono nella Sicilia orientale, considerata una delle aree a più elevato rischio sismico d'Italia.

È stato possibile fare un elenco degli episodi più significativi della sismicità storica del territorio siracusano, grazie alle informazioni contenute nel database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani (DBMI04) utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico CPTI04, Stucchi et alii (2007).

Si riportano in maniera sintetica (indicazione dell'anno, dell'area epicentrale, della magnitudo e una breve descrizione) i sette terremoti più rilevanti dal 1125 al 1990 (Tabella 4). Nella Figura 35 sono raffigurati gli eventi sismici con intensità superiore a 4 susseguitesisi dal 1110 al 2010 a Siracusa.

Tabella 4 Sintesi terremoti più rilevanti in Sicilia.

Data	Area epicentrale	I MCS Magnitudo	Descrizione
7 giugno 1125	Siracusa	VIII-IX M=5.8	Danni a Siracusa con vittime a causa della caduta della navata principale del Duomo.
4 febbraio 1169	Sicilia orientale	X M=6.6	Il terremoto interessò un'area molto vasta della Sicilia orientale, in particolare danneggiò gravemente Catania, Siracusa, Messina, Aci Castello, Modica, Lentini e Sortino. Le vittime, secondo alcuni documenti, furono circa 15.000, ma le fonti sono insufficienti per stabilire il numero preciso. Alla scossa seguì un'onda di maremoto che provocò ulteriori danni.
10 dicembre 1542	Siracusano	X M=6.6	Il terremoto, avvertito in tutta la Sicilia, coinvolse in modo particolare il siracusano con gravi danni in numerosi centri abitati, tra i quali: Melilli, Occhiola, Lentini e Sortino. In questi due ultimi paesi i danni maggiori furono causati da frane e scoscendimenti. È ricordata dalle cronache anche un'onda di maremoto che sommerse Augusta. La scossa, avvenuta di giorno, provocò poche vittime.

¹⁶ La scala Mercalli- Cancani- Sieberg del 1912 così come tutte le altre scale macrosismiche (es. Mercalli Modificata o MM, Medvedev-Karnik- Sponheuer o MSK, European Macroseismic Scale o EMS, ecc.) definiscono quantitativamente i danni prodotti da un terremoto, osservando gli effetti sulle cose, sulle persone e sul suolo; tuttavia, essendo soggettive e non strumentali, non forniscono il valore dell'energia rilasciata all'ipocentro.

3 ottobre 1624	Mineo	VIII M=5.6	Colpita un'area limitata fra i monti Iblei e la piana di Catania.
11 gennaio 1693	Sicilia orientale	XI M=7.4	La scossa ebbe effetti catastrofici. L'area coinvolta fu di circa 14.000 Km ² e si registrarono danni in tutta la Sicilia. Catania rimase quasi distrutta, come pure tutti i paesi della Val di Noto. I centri dove si osservarono effetti superiori o uguali al IX grado furono circa 70, le vittime circa 60.000, delle quali 12.000 solo a Catania. Effetti di maremoto furono segnalati in varie località: ad Augusta l'onda, alta circa 15 metri, inondò i quartieri prospicienti e danneggiò le navi alla fonda nel porto. La ricostruzione diede avvio alla realizzazione delle "città nuove" e favorì la diffusione del barocco.
20 febbraio 1818	Catanese	IX M=6.0	A Catania, la scossa danneggiò anche le case costruite dopo il terremoto del 1693: il 35% delle case fu demolito o puntellato. Probabilmente gli edifici non erano stati tutti ricostruiti in modo adeguato. Gli effetti più gravi si registrarono sul versante orientale dell'Etna. Le vittime furono 72 e si ebbero forti disagi per le popolazioni coinvolte.
13 dicembre 1990	Sicilia sud-orientale	VII M=5.7	Il terremoto coinvolge l'intera zona orientale dell'isola, colpendo le provincie di Siracusa, Ragusa, Catania, Caltanissetta e Messina. Carlentini, paese siracusano è la località più gravemente colpita. 10 le vittime.

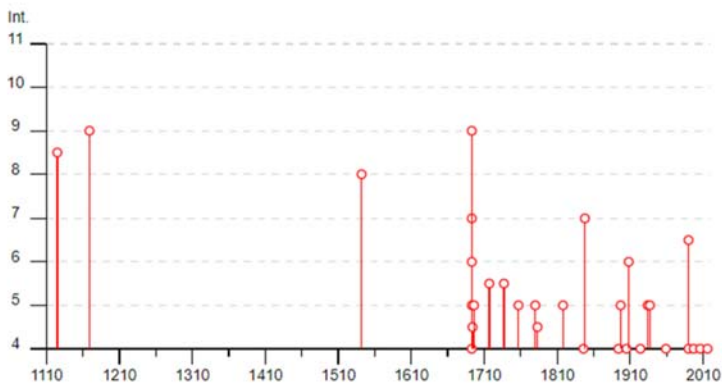


Figura 35 Terremoti con intensità superiore a 4 susseguitesi dal 1110 al 2010 a Siracusa (fonte: DBM15).

Il terremoto dell'11 gennaio 1693 è quello che più si è impresso nella memoria storica locale dell'intera Sicilia per molte ragioni: la magnitudo 7.4, la vastità

dell'area colpita (Figura 36), la gravità degli effetti, i mutamenti subiti da un'intera rete insediativa e infine la straordinaria capacità progettuale che caratterizzò la fase di ricostruzione, le cui realizzazioni hanno prodotto l'attuale volto barocco delle numerose città del sud-est della Sicilia.

Questo disastroso terremoto rappresenta un importante episodio nella storia del popolamento e dell'urbanistica siciliana, nonché un evento di grande interesse per la storiografia e per la sismologia.

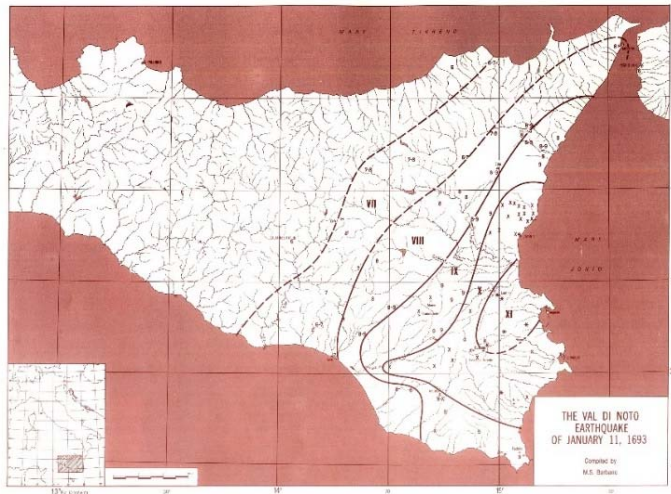


Figura 36 Mappa delle isosisme relative al terremoto del 1693 con epicentro in Val di Noto (fonte: Postpischl, 1985)

5.1.2 *Classificazione sismica di Siracusa*

Con Delibera della Giunta Regionale n. 408 del 19 dicembre 2003 ed il successivo D.D.G. (Decreto Direttore Generale) n. 3 del 15 gennaio 2004 si è reso esecutiva la nuova classificazione sismica dei Comuni della Regione Siciliana, distinguendo il territorio in quattro aree a diversa pericolosità sismica (Figura 37).

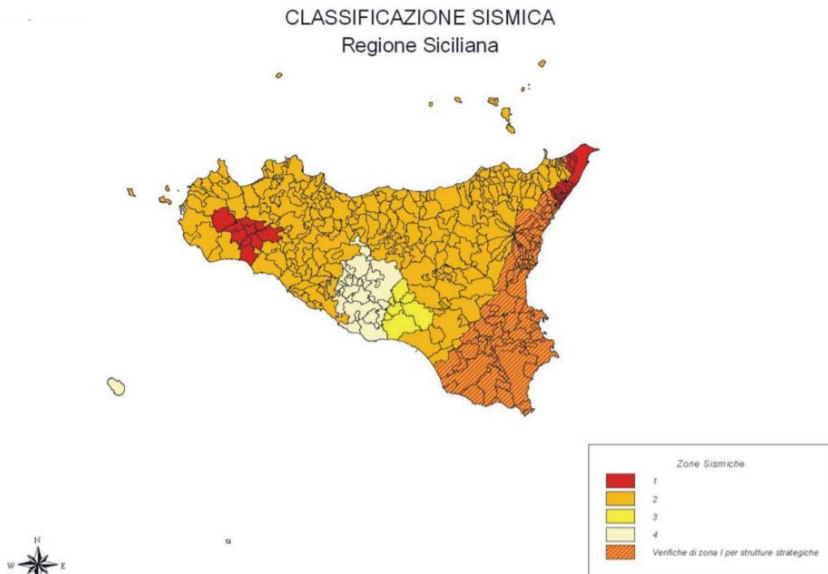


Figura 37 Classificazione sismica del territorio siciliano.

Secondo la seguente classificazione sismica (Tabella 5) il territorio del comune di Siracusa, ricade nella Zona 2, con $a_g = 0,25$ g, una zona nella quale possono verificarsi forti terremoti.

Tabella 5 Classificazione zone sismiche.

Zona sismica	Descrizione	Accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (a_g)
1	È la zona più pericolosa. La probabilità che capiti un forte terremoto è alta.	$a_g \geq 0,25g$
2	In questa zona sono possibili forti terremoti.	$0,15 \leq a_g < 0,25g$
3	In questa zona i forti terremoti sono meno probabili rispetto alla zona 1 e 2.	$0,05 \leq a_g < 0,15g$
4	È la zona meno pericolosa: la probabilità che capiti un terremoto è molto bassa.	$a_g < 0,05g$

La normativa regionale, inoltre, individua un'area a pericolosità sismica speciale ricadente tra le province di Messina, Catania, Ragusa e Siracusa, in cui, sebbene ricadenti in Zona 2, le verifiche tecniche di sicurezza sismica di strutture strategiche e rilevanti, da effettuare obbligatoriamente da parte degli Enti proprietari, ai sensi

dell'OPCM n. 3274/2003, dovranno essere eseguite con vincolo di pericolosità di Zona 1.

5.2 *Valutazione della pericolosità*

Le considerazioni che seguono supportano la scelta del coefficiente di probabilità che è necessario applicare alle grandezze economico-monetarie contabilizzate nel calcolo di convenienza, e confrontate con il costo di intervento. Queste grandezze rappresentano il valore del capitale urbano interessato dall'evento calamitoso che si suppone incorrerà in danni temporanei e/o permanenti, che potrebbero essere mitigati o del tutto evitati eseguendo gli interventi preventivi di riduzione della vulnerabilità. Si richiamano alcune definizioni per agevolare la comprensione della procedura proposta, dedotte o semplicemente tratte dalle NTC (2018).

5.2.1 *Definizioni*

Tempo di ritorno T_R

Il **tempo di ritorno**, o **periodo di ritorno**, di un evento, è il tempo medio intercorrente tra il verificarsi di due eventi successivi di entità uguale o superiore ad un valore di assegnata intensità o, analogamente, è il tempo medio in cui un valore di intensità assegnata viene uguagliato o superato almeno una volta.

Quindi un terremoto con tempo di ritorno T_R in media viene superato o si ripete ogni T_R anni. In un dato sito, l'intensità del terremoto cresce al variare del suo T_R .

Intensità sismica (accelerazione al suolo a_g) e tempo di ritorno sono in corrispondenza biunivoca. In un dato sito, un evento sismico può alternativamente esprimersi in termini di accelerazione al suolo o in termini di T_R e si può sempre passare da una rappresentazione all'altra. Ad esempio, per l'area di Ortigia la relazione è riportata nella figura seguente:

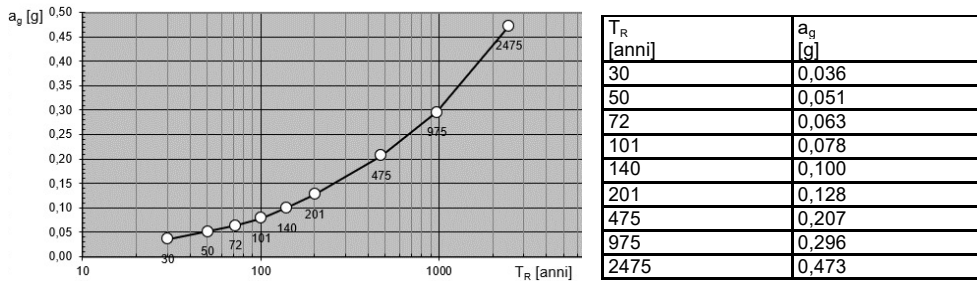


Figura 38 – Relazione tra intensità sismica e Tempo di ritorno

Vita Nominale di Progetto V_N e Periodo di Riferimento dell’Azione Sismica V_R

Vita Nominale di Progetto V_N di un’opera viene convenzionalmente definita “come il numero di anni nel quale è previsto che l’opera, purché soggetta alla necessaria manutenzione, mantenga specifici livelli prestazionali”.

Per le costruzioni ordinarie (Classe d’Uso II: abitazioni ed edifici che non prevedono affollamenti significativi e non rilevanti da un punto di vista storico-artistico) il Periodo di Riferimento dell’azione sismica coincide con la vita nominale, $V_R = V_N$, mentre per costruzioni rilevanti (Classe d’Uso III: scuole, cinema, uffici aperti al pubblico, chiese, musei, edifici di interesse storico-artistico, etc) e per costruzioni strategiche (Classe d’Uso IV: ospedali, caserme, ponti su arterie principali, etc) si amplifica introducendo il Coefficiente d’uso C_U che vale 1.5 nel primo e 2 e nel secondo caso. Quindi per le opere rilevanti $V_R = 1.5V_N$, per quelle strategiche $V_R = 2V_N$

In pratica adottare un Periodo di Riferimento V_R dell’azione sismica maggiore della Vita Nominale serve a garantire probabilità di danneggiamento più basse rispetto a quelle che competono alle costruzioni ordinarie.

Poiché in generale la Vita Nominale si assume pari a 50 anni (ad esclusione di opere di particolare importanza) il periodo di riferimento si innalza rispettivamente a 75 e 100 anni per strutture strategiche e rilevanti.

Ciò significa che nell’arco della Vita Nominale, le strutture rilevanti e quelle strategiche avranno una probabilità inferiore rispetto a quelle ordinarie di danneggiarsi in modo grave. La norma assume che la probabilità di danno elevato (che per le nuove costruzioni si registra per un sisma con $T_R = 475$ anni) nell’arco della Vita Nominale sia il 10% per edifici ordinari, 7% per edifici rilevanti, 5% per edifici strategici.

In altri termini la probabilità che nei prossimi 50 anni un edificio ordinario di nuova costruzione subisca danni gravi indotti dal terremoto è pari a 0.1; per quello rilevante 0.07; per lo strategico 0.05. Infatti, questa è la “Probabilità di eccedenza o di superamento” P_{VR} (vedi definizione sotto) che si verifichi un terremoto di intensità superiore a quello assunto nella progettazione.

Probabilità di eccedenza o di superamento P_{VR} (P_{VN} nel caso di costruzioni ordinarie)

Fornisce la probabilità che un sisma con dato T_R sia superato durante il Periodo di Riferimento della costruzione. Poiché nella tesi si trattano solamente costruzioni ordinarie, e quindi il Periodo di Riferimento coincide con la Vita Nominale, possiamo riferirci alla probabilità di superamento durante la vita nominale P_{VN} .

P_{VN} è definita con riferimento ad un dato Periodo di Ritorno T_R ed una data Vita Nominale V_N ,

$$P_{VN} = f(T_R, V_N) \quad (11)$$

P_{VN} , T_R e V_N sono legate tra loro dalla seguente relazione

$$T_R = -\frac{V_N}{\text{Log}_e(1 - P_{VR})} \quad (12)$$

Se si vuole valutare la probabilità di eccedenza di un sisma di fissata intensità (cioè assegnato T_R) in un intervallo di tempo V_N , utilizzeremo quindi la formula seguente

$$P_{VN}(T_R, V_N) = -e^{-V_N/T_R} + 1 \quad (13)$$

Dalla (13) si ottiene quanto prima riportato: per una struttura ordinaria con vita nominale $V_N=50$, sisma con $T_R=475$ anni si ricava $P_{VN}=0.1$. Analogamente si ritrova 0.07/0.05 per le costruzioni rilevanti/strategiche.

5.2.2 Considerazioni

La (13) può essere impiegata per valutare la probabilità di occorrenza di danni elevati (che ai nostri fini è sinonimo di probabilità di eccedenza P_{VN}) anche per

- a. **costruzioni esistenti**
- b. **archi temporali di varia estensione**

(a) Per le costruzioni esistenti, il terremoto che produce danni elevati ha periodo di ritorno inferiore a 475 anni, tanto più basso quanto minore è l'Indice di Rischio IR riscontrato.

Il periodo di ritorno che produce danni elevati, che definiremo Periodo di Capacità $T_{R,C}$, è direttamente legato all'indice di rischio sismico IR (espresso in termini di rapporto tra accelerazione al suolo a cui può far fronte l'edificio e quella prevista per il progetto delle nuove costruzioni) tramite seguente espressione, plottata in Figura 39,

$$T_{R,C} = IR^{2.44} \times 475 \quad (14)$$

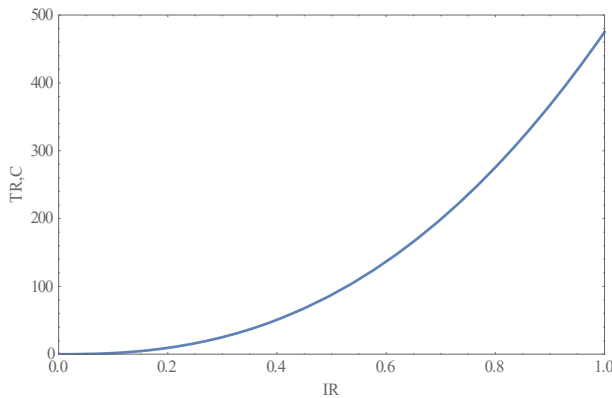


Figura 39 Andamento del Periodo di Ritorno in funzione dell'Indice di rischio

Ad esempio, se un edificio possiede $IR=0.5$ significa che subirà danni elevati per un terremoto che potrà essere superato in media ogni 87 anni. Adottando la (13) ed assumendo $T_R=T_{R,C}=87$ anni deduciamo che la probabilità di avere danni gravi entro i prossimi 50 anni (Vita Nominale) è pari a $P_{VN}=0.44$.

Al diminuire dell'IR dell'edificio nello stato di fatto, la probabilità di danneggiamento cresce rapidamente come riportato nella Figura 40 dove V_N è fissato a 50 anni.

Se ancora $IR=0.2$ ($T_{R,C}=9.35$ anni) nei prossimi 50 anni è quasi certa l'eventualità che si registreranno danni gravi risultando $P_{VN}=0.995$.

Si ottiene ovviamente $P_{VN}=0.1$ per gli edifici con $IR=1$, cioè con sicurezza sismica tipica delle nuove costruzioni.

(b) Possiamo adottare archi temporali di varia estensione e non necessariamente pari a quelli della Vita Nominale (50 anni). In tal caso V_N assume il significato di “i prossimi N anni”.

Se ad esempio consideriamo in edificio con $IR=0.2$ e facciamo variare V_N fra 0 e 200 anni, ottengo la funzione $P_{VN}(T_R, V_N) = P_{VN}(9.35, V_N)$ (Figura 40).

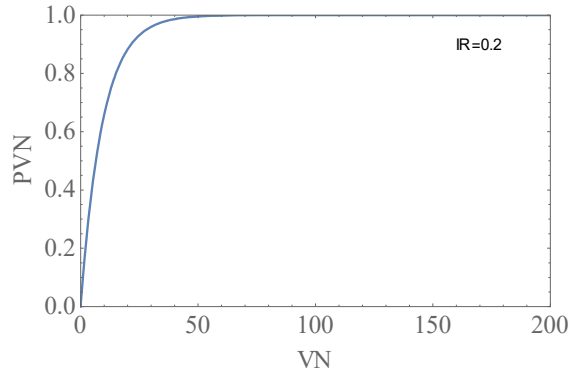


Figura 40 Andamento della Probabilità di superamento in funzione della Vita nominale per $IR=0.2$.

Se $IR=0.5$ si ricava la funzione $P_{VN}(T_R, V_N) = P_{VN}(87, V_N)$ (Figura 41)

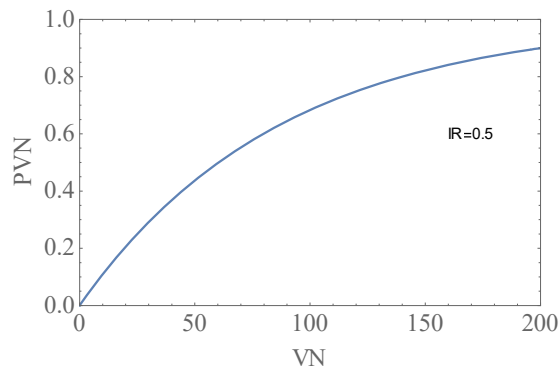


Figura 41 Andamento della Probabilità di superamento in funzione della Vita nominale per $IR=0.5$.

Si possono così confrontare situazioni *ante* e *post*-intervento individuando la riduzione della probabilità di danno elevato a fronte di un intervento di miglioramento sismico.

I grafici sotto riportati illustrano, con riferimento ad un arco temporale di riferimento di 100 anni, la riduzione in termini assoluti e relativi di P_{VN} per un edificio con indice

di rischio nello stato di fatto $IR=0.2$ a fronte di interventi di miglioramento sismico di importanza crescente che ne innalzano la sicurezza sismica sino a raggiungere l'adeguamento ($IR=0.8$) (Figura 42, Figura 43).

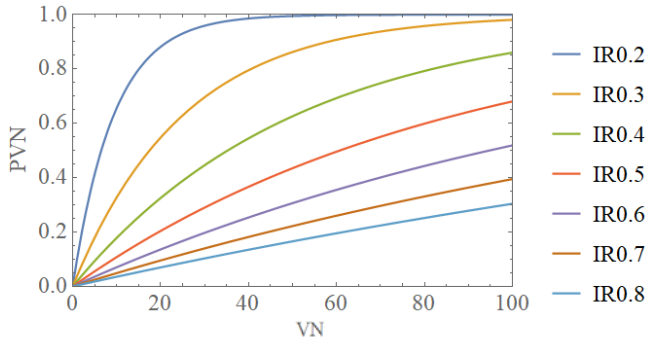


Figura 42 Andamento di P_{VN} in funzione della Vita nominale in corrispondenza di diversi indici di rischio.

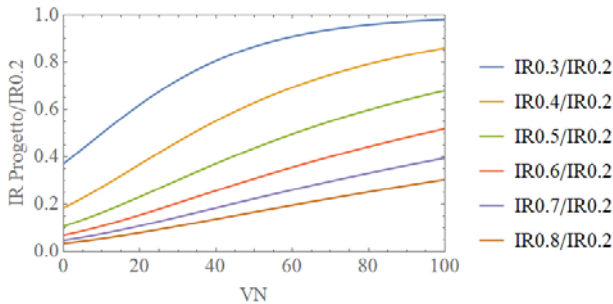


Figura 43 Andamento dei diversi rapporti tra IR di progetto e $IR_{0.2}$ in funzione della Vita nominale.

Come si vede dalle figure il beneficio è maggiore a breve termine.

Queste considerazioni sono state utilizzate per calcolare, come detto, il fattore di probabilità dell'evento con cui ridurre il valore delle perdite evitate e quindi il beneficio in termini di capitale umano e urbano che si confronta con il costo di mitigazione del rischio sismico in termini di riduzione della vulnerabilità.

L'introduzione del concetto di Vita Nominale supporta le motivazioni del calcolo economico se si assume che questa può ricondursi al concetto di durata di un investimento e quindi assumersi come il momento in cui con certezza l'asset immobiliare cesserà di produrre il flusso di redditi.

Di conseguenza, la Probabilità di eccedenza (o superamento) P_{VN} calcolata in corrispondenza di diverse ipotesi di Vita nominale (da 10 a 100 anni) e in relazione

al Periodo di ritorno e all'Indice di rischio (IR) varia gradualmente come mostrato in Tabella 6.

Tabella 6 Misure della Probabilità di eccedenza in funzione del Periodo di ritorno (in alto) e dell'Indice di rischio (in basso) per diversi valori della vita nominale.

PVn		Tr = Periodo di ritorno (tempo di capacità)									
		50	100	150	200	250	300	350	400	450	475
Vn = Vita nominale	10	18.1%	9.5%	6.4%	4.9%	3.9%	3.3%	2.8%	2.5%	2.2%	2.1%
	20	33.0%	18.1%	12.5%	9.5%	7.7%	6.4%	5.6%	4.9%	4.3%	4.1%
	30	45.1%	25.9%	18.1%	13.9%	11.3%	9.5%	8.2%	7.2%	6.4%	6.1%
	40	55.1%	33.0%	23.4%	18.1%	14.8%	12.5%	10.8%	9.5%	8.5%	8.1%
	50	63.2%	39.3%	28.3%	22.1%	18.1%	15.4%	13.3%	11.8%	10.5%	10.0%
	60	69.9%	45.1%	33.0%	25.9%	21.3%	18.1%	15.8%	13.9%	12.5%	11.9%
	70	75.3%	50.3%	37.3%	29.5%	24.4%	20.8%	18.1%	16.1%	14.4%	13.7%
	80	79.8%	55.1%	41.3%	33.0%	27.4%	23.4%	20.4%	18.1%	16.3%	15.5%
	90	83.5%	59.3%	45.1%	36.2%	30.2%	25.9%	22.7%	20.1%	18.1%	17.3%
	100	86.5%	63.2%	48.7%	39.3%	33.0%	28.3%	24.9%	22.1%	19.9%	19.0%
PVn		IR = Indice di rischio									
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
Vn = Vita nominale	10	0.9970	0.6565	0.3279	0.1787	0.1080	0.0706	0.0490	0.0356	0.0269	0.0208
	20	1.0000	0.8820	0.5482	0.3255	0.2043	0.1362	0.0956	0.0700	0.0530	0.0412
	30	1.0000	0.9595	0.6964	0.4461	0.2902	0.1972	0.1400	0.1031	0.0784	0.0612
	40	1.0000	0.9861	0.7959	0.5451	0.3668	0.2539	0.1821	0.1351	0.1032	0.0808
	50	1.0000	0.9952	0.8628	0.6264	0.4352	0.3066	0.2222	0.1659	0.1273	0.0999
	60	1.0000	0.9984	0.9078	0.6932	0.4961	0.3555	0.2604	0.1957	0.1507	0.1187
	70	1.0000	0.9994	0.9380	0.7480	0.5505	0.4010	0.2966	0.2243	0.1735	0.1370
	80	1.0000	0.9998	0.9584	0.7931	0.5991	0.4433	0.3311	0.2520	0.1957	0.1550
	90	1.0000	0.9999	0.9720	0.8300	0.6423	0.4826	0.3639	0.2786	0.2173	0.1726
	100	1.0000	1.0000	0.9812	0.8604	0.6809	0.5191	0.3951	0.3043	0.2383	0.1898

In corrispondenza della Vita Nominale standard per l'edilizia residenziale, pari a 50 anni la variazione dell'indice di probabilità F_p può essere calcolata in relazione al Tempo di ritorno e al saggio di sconto, che pesa il valore attuale in ragione della ipotesi di tempo di differimento del danno, misurato dalla vita nominale dell'edificio, la quale è, a sua volta, funzione dell'indice di vulnerabilità (Tabella 7).

Tabella 7 Indice di probabilità dell'evento sismico in ragione del Periodo di ritorno e del saggio di sconto.

Fp	Tr = Periodo di ritorno (tempo di capacità)										
		50	100	150	200	250	300	350	400	450	475
saggio di sconto	1%	38.44%	23.92%	17.24%	13.45%	11.02%	9.33%	8.09%	7.14%	6.39%	6.08%
	2%	23.49%	14.62%	10.53%	8.22%	6.73%	5.70%	4.95%	4.37%	3.91%	3.71%
	3%	14.42%	8.98%	6.47%	5.05%	4.13%	3.50%	3.04%	2.68%	2.40%	2.28%
	4%	8.89%	5.54%	3.99%	3.11%	2.55%	2.16%	1.87%	1.65%	1.48%	1.41%
	5%	5.51%	3.43%	2.47%	1.93%	1.58%	1.34%	1.16%	1.02%	0.92%	0.87%
	6%	3.43%	2.14%	1.54%	1.20%	0.98%	0.83%	0.72%	0.64%	0.57%	0.54%
	7%	2.15%	1.34%	0.96%	0.75%	0.62%	0.52%	0.45%	0.40%	0.36%	0.34%
	8%	1.35%	0.84%	0.60%	0.47%	0.39%	0.33%	0.28%	0.25%	0.22%	0.21%
	9%	0.85%	0.53%	0.38%	0.30%	0.24%	0.21%	0.18%	0.16%	0.14%	0.13%
	10%	0.54%	0.34%	0.24%	0.19%	0.15%	0.13%	0.11%	0.10%	0.09%	0.09%

Un'ultima elaborazione rende conto della variazione di Fp al variare del saggio di sconto e della Vita nominale e del diverso grado di competizione tra le due grandezze al variare del saggio di sconto (Tabella 8).

Tabella 8 Variazione di Fp al variare del saggio di sconto e della Vita nominale.

		saggio di sconto					
		1%	2%	3%	4%	5%	6%
Vn = Vita nominale	10	1.89%	1.71%	1.55%	1.41%	1.28%	1.16%
	20	3.38%	2.77%	2.28%	1.88%	1.55%	1.29%
	30	4.54%	3.38%	2.52%	1.89%	1.42%	1.07%
	40	5.42%	3.66%	2.48%	1.68%	1.15%	0.79%
	50	6.08%	3.71%	2.28%	1.41%	0.87%	0.54%
	60	6.53%	3.62%	2.01%	1.13%	0.64%	0.36%
	70	6.83%	3.43%	1.73%	0.88%	0.45%	0.23%
	80	6.99%	3.18%	1.46%	0.67%	0.31%	0.15%
	90	7.05%	2.90%	1.21%	0.51%	0.21%	0.09%
	100	7.02%	2.62%	0.99%	0.38%	0.14%	0.06%

5.3 Vulnerabilità nel tessuto edilizio di Ortigia

5.3.1 *L'Aggregato Edilizio (A.E.)*

La vulnerabilità del tessuto edilizio è stata analizzata a livello dell'aggregato edilizio; in quest'ultimo, la prima operazione eseguita è stata quella del riconoscimento tra edilizia di base e edilizia specialistica (monumentale residenziale e di culto).

La seconda fase – condotta attraverso un'estesa analisi sul campo – è stata quella dedicata all'individuazione dei fattori di resistenza riconoscibili sul costruito, quali presidi antisismici di diversa natura, così come i fattori di vulnerabilità “intrinseche” ed “estrinseche” o di trasformazione.

L'analisi puntuale del contesto oggetto di studio è stata compiuta con la finalità di osservare e mappare la presenza delle seguenti potenziali vulnerabilità: (1) presenza di volumi svettanti, (2) disallineamento degli orizzontamenti di edifici contigui, (3) disallineamento verticale delle aperture di facciata. Queste sono state denominate “vulnerabilità intrinseche” cioè proprie della condizione attuale dell'edificato.

Una seconda serie di fattori capaci di indebolire l'edificato in aggregato è stata riconosciuta nelle trasformazioni che introducono alterazioni estranee alla configurazione dell'edilizia storica; quelle più diffuse nel contesto studiato risultano essere: l'incremento della ampiezza delle aperture ai piani terreni e le sopraelevazioni parziali arretrate rispetto al prospetto principale.

La identificazione e la successiva localizzazione (mediante la schematizzazione con ideogrammi inclusi nel perimetro di ciascun aggregato) ha permesso la elaborazione di mappe di estrema utilità sia per il confronto tra i diversi aggregati, sia per l'espressione di una prima valutazione qualitativa della vulnerabilità complessiva.

5.3.2 *L'Unità Edilizia (U.E.) e l'Unità di Facciata (U.F.)*

L'Unità Edilizia (U.E.) è l'unità tipologica-funzionale costituita da un edificio autonomo dal punto di vista spaziale e funzionale anche per quanto riguarda l'accesso e la distribuzione. La U.E. è all'interno dell'Aggregato Edilizio la più piccola parte, organicamente indipendente, di cui esso si compone e non presenta soluzione di continuità da cielo a terra.

L'identificazione delle U.E. costituenti l'A.E. è un'operazione molto importante ai fini del calcolo della vulnerabilità.

Ogni U.E. si compone a sua volta di unità minime chiamate Unità di Facciata (U.F.) (Figura 44): porzioni di piano delimitate da due muri ortogonali, che si considerano avere un comportamento strutturale pressoché indipendente rispetto alle altre della stessa fabbrica.

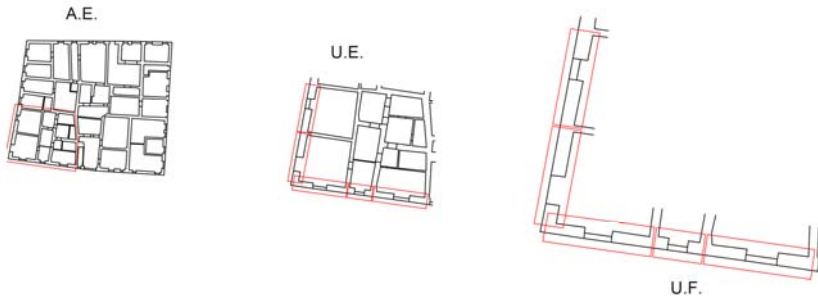


Figura 44 Identificazione delle Unità di Facciata.

5.3.3 Valutazione della vulnerabilità

La valutazione della vulnerabilità sismica dell'edificio, è stata effettuata attraverso una semplificazione del più ampio concetto di “suscettibilità al danneggiamento” come effetto del terremoto e si è definita con un indice numerico calcolato sulla base delle caratteristiche geometriche, costruttive e strutturali ritenute più significative, correlato alla accelerazione sismica che è sufficiente per innescare cinematismi di ribaltamento fuori piano delle porzioni più vulnerabili delle pareti di facciata (in generale quelle sommitali), interferenti con gli spazi pubblici (Tocci, 2014).

Per le singole unità di facciata individuate come le porzioni di murature esterne prospicienti su spazi pubblici comprese tra due muri ortogonali (pareti di controvento) è stato definito (coerentemente con l'impostazione concettuale delle Norme Tecniche per le Costruzioni) il moltiplicatore di innesco del moto per ribaltamento (α_0) della parete tenendo conto: della presenza ed entità delle rastremazioni; della direzione della tessitura dei solai (parallela o ortogonale alla parete); della presenza di incatenamenti di piano; della efficacia della ammorsatura con le pareti ortogonali (*ib.*).

I caratteri da cui più significativamente dipende l'indice di accelerazione sono:

- S_1 spessore della parete al piano terra;
- H altezza totale della parete;
- L distanza tra le pareti di controvento;
- N numero totale di piani;
- p numero di piani privi di catene (contati dall'alto);
- k direzione della tessitura del solaio: $k=1$ per solaio parallelo alla facciata, $k=3$ per solaio perpendicolare alla facciata;
- r ammortatura con le pareti di controvento ($r=0$ per ammortatura assente)

Il moltiplicatore di innesco del moto assume espressioni diverse per la configurazione base, cioè in assenza di tiranti ($N = p$), e con solai tessuti parallelamente alla facciata ($k = 1$), e per quella variata, caratterizzata dal venir meno di una o tutte e due le circostanze suddette ($N > p$) e/o ($k = 3$) (Figura 45); per entrambe le configurazioni l'ammortatura con le pareti di controvento agisce allo stesso modo, ovvero con un termine additivo (*ib.*)

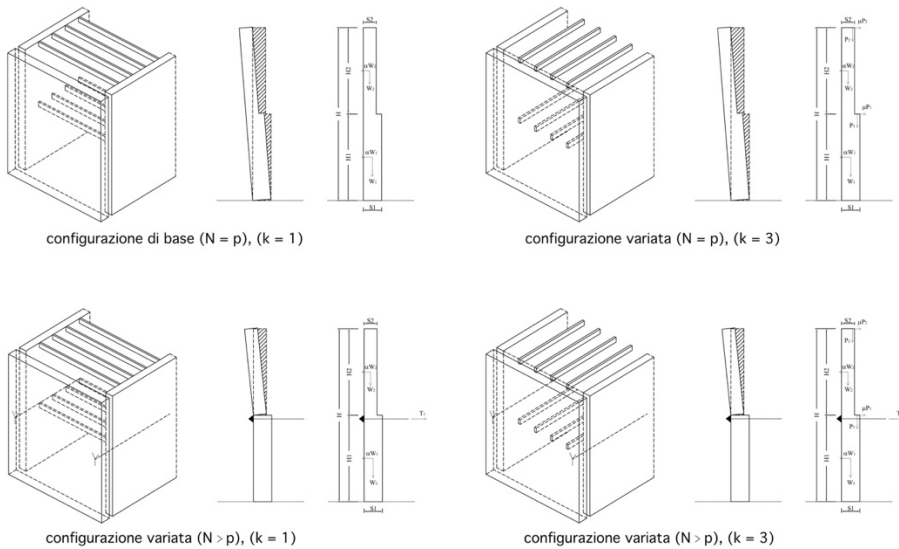


Figura 45 Configurazioni base e variate per una parete a due piani.

Le espressioni sono le seguenti:

per la configurazione base: ($N=p$) e ($k=1$) $\alpha_0 \approx (1+r) \cdot \frac{S_l}{H}$ (15)

per la configurazione variata: ($N>p$) e/o ($k=3$) $\alpha_0 \approx (1+r) \cdot 0.3 \cdot \left(\frac{S_l}{H}\right)^{\left(1-\frac{n}{100}\right)}$ (16)

con r ed n dati dalle relazioni:

$$r = 0.01 \cdot (9-L) \cdot \frac{(p+1)^2}{k}$$

$$\begin{cases} n = 72 & \text{se } N = p \\ n = 83 - 21p + 13 \cdot (p+1) \cdot \frac{(k-1)}{2} & \text{se } N > p \end{cases} \quad (17)$$

tenendo conto che l'espressione di r (che misura l'influenza dell'ammorsatura con le pareti di controvento) vale solo per $L < 9$ m, valore oltre il quale si rileva la sostanziale inefficacia della ammorsatura, ovvero è lecito porre $r=0$.

Si riconosce come il moltiplicatore di innesco del moto per ribaltamento α_0 di ciascun tratto di parete esposta compreso tra due pareti di controvento dipenda in maniera prevalente dal rapporto $\alpha = S_l/H$ tra lo spessore del tratto di parete al piano terra e la sua altezza totale, entrambi ricavabili facilmente dalla sola ispezione visiva esterna.

5.3.4 Costi di mitigazione della vulnerabilità

Sulla base del calcolo dell'accelerazione di ciascuna unità di facciata, funzioni logiche e di calcolo associano il corrispondente indice di vulnerabilità alle opere dirette a colmare il gap di sicurezza variabile all'intero di uno spettro che considera solo opere di rafforzamento locale (limitato o diffuso), opere di miglioramento sismico (limitato o esteso) e infine opere di adeguamento sismico, che si caratterizzano per una maggiore invasività.

L'ipotesi di lavoro è che una strategia di mitigazione del rischio sismico possa includere solo gli interventi più urgenti, quindi solo quelli sulle unità più vulnerabili, oppure includerne di altre, via via meno vulnerabili, fino a raggiungere un livello massimo di sicurezza complessiva, includendo, quindi, tutte le unità che presentino anche un minimo grado di vulnerabilità.

Il range di queste categorie classi di misure di mitigazione del rischio sismico – le quali, si ripete, si applicano in base al diverso indice di vulnerabilità di ciascuna unità edilizia – si combina con il grado di completezza delle opere, le quali, nell’ipotesi di una graduata attribuzione (al pubblico o al privato) degli oneri economici degli interventi, e in conseguenza della valutazione della opportunità di effettuare o meno alcune opere, in particolare se più invasive, definiscono uno spettro di strategie di intervento che combina le cinque categorie di intervento con il grado di completezza suddetto dando luogo a 25 ipotesi il cui costo complessivo varia significativamente.

Il costo di implementazione di ciascuna strategia è calcolato sulla base dei prezzi unitari delle lavorazioni elementari che specifiche funzioni logiche e di ricerca associano agli interventi, a loro volta attivati in ragione dell’indice di vulnerabilità e delle caratteristiche delle unità di facciata rispetto alle quali l’indice è calcolato.

Le opere elementari sono raggruppate in categorie come riportato in Tabella 9.

Al variare, dai valori minimi ai valori massimi, del grado di sicurezza e del grado di completezza si attivano strategie di intervento che prevedono rispettivamente un maggior numero di edifici da mettere in sicurezza e un maggior grado di definizione delle opere a carico del soggetto pubblico.

Il risultato di questa combinazione è sintetizzato da due funzioni di costo, una estensiva (dipendente quindi dal numero di Unità Edilizie che si prevede di mettere in sicurezza), l’altra intensiva, ove il costo, per ciascuna delle diverse configurazioni di UE presenti, è crescente al variare della completezza delle opere.

Tabella 9 Lavorazioni elementari per categorie di opere.

Categorie di opere	Lavorazioni elementari
ponteggi	montaggio ponteggi
	incremento per gg oltre 30
	smontaggio ponteggi
catene: opere strutturali	tiranti: perforazioni in muratura
	tiranti: nicchie per alloggiamento piastre
	tiranti: piastre
	tiranti: collocazione
	tiranti: capochiave
	tiranti: ri-tesatura
	tiranti: iniezioni foratura a pressione
catene: opere di finitura	tiranti: controsoffitto
	tiranti: controsoffitto: preparazione alla tinteggiatura
	tiranti: controsoffitto: verniciatura
	tiranti: parete: preparazione alla tinteggiatura
	tiranti: parete: stuccatura
	tiranti: parete: tinteggiatura
controventi	muri a taglio: rinforzo murature esistenti
	muri di controvento: costruzione nuova muratura
	muri di controvento: tinteggiatura: preparazione parete
	muri di controvento: stuccatura parete
	muri di controvento: preparazione della parete
scuci/cuci	lesioni passanti: scuci e cuci
	lesioni passanti: intonaco esterno
	lesioni passanti: integrazione muratura: tinteggiatura esterna: preparazione parete
	lesioni passanti: integrazione muratura: tinteggiatura esterna
	lesioni passanti: integrazione muratura: intonaco interno
	lesioni passanti; integrazione muratura: tinteggiatura interna; preparazione muro
	lesioni passanti integrazione muratura: tinteggiatura interna; stuccatura pareti
	Integrazione di muratura a fessura profonda: tinteggiatura interna
iniezioni	iniezioni
	iniezioni: intonaci esterni
	iniezioni: tinteggiatura esterna; preparazione del muro
	iniezioni: tinteggiatura esterna
	iniezioni: tinteggiatura interna: preparazione del muro
	iniezioni: tinteggiatura interna: stuccatura
	iniezioni: tinteggiatura interna

La Tabella 10 riporta lo schema per la calibrazione dei livelli di completezza: il livello più basso (1) attua un numero minore di interventi, quello più alto (5) li attiva tutti. Per quanto riguarda l'estensione degli interventi (intesa come numero di edifici meritevoli di attenzione) di considerano 5 differenti livelli di soglia di attivazione: 20%, 30%, 40%, 60% e 80% della domanda sismica prevista dalle norme vigenti per le nuove costruzioni. Scegliere livelli di soglia più alti significa diminuire la vulnerabilità di un numero crescente di edifici. Fissando, ad esempio, il livello di soglia al valore più basso, gli interventi si attiveranno solo per quegli edifici con Indice di Rischio Sismico (rapporto capacità/domanda) inferiore a 0.2. All'altro estremo, la scelta di un livello di soglia 80% implica che gli edifici meritevoli di intervento saranno tutti quelli con Indice di Rischio Sismico minore di 0.8, cioè una porzione ingente del costruito.

Combinando i 5 livelli di soglia con i 5 livelli di completezza si ottengono complessivamente 25 strategie di intervento.

Tabella 10 Individuazione dei Livelli di Completezza: indice di attivazione delle tipologie di intervento.

	Livelli di completezza					
	1	2	3	4	5	
Tipologia interventi	interventi minimi o di base	0.7	1.0	1.0	1.0	1.0
	interventi diffusi		0.5	0.5	1.0	1.0
	interventi di interesse pubblico	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	interventi di interesse privato		0.3	0.5	0.7	1.0
	interventi di rafforzamento locale	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	interventi di miglioramento/adequamento			0.3	0.6	1.0
	interventi di interferenza limitata	0.7	0.7	1.0	1.0	1.0
	interventi di maggiore invasività			0.3	0.6	1.0

Le informazioni relative ai prezzi unitari delle lavorazioni elementari sono state desunte dal Prezzario delle Opere Pubbliche della Regione Siciliana 2019.

Si noti che la valutazione del livello di sicurezza, assicurato dagli interventi previsti, è parte integrante della fase di “programmazione ex ante”, mentre la verifica dell'efficacia delle attività programmate sarà effettuata successivamente (valutazione ex-post) nel contesto dell'implementazione del programma di interventi coerenti con il Decreto Ministeriale 58/2017.

Infatti, gli interventi definiti ai fini della riduzione della vulnerabilità degli edifici con riferimento all'attitudine al ribaltamento delle facciate riproducono un insieme di informazioni che per quanto di dettaglio fanno riferimento a un comportamento generalizzato e pertanto definiscono un coefficiente di accelerazione che combinato con le caratteristiche dell'edificio attiva la previsione di pacchetti di opere prestabiliti. Una verifica ex post consentirà di verificare l'efficacia delle opere previste ed eventualmente integrarle. Il valore del modello consiste infatti nella coerenza interna dell'attribuzione del tipo di intervento, che proviene dall'applicazione di regole comuni a tutto il contesto e a questo rivolte.

5.4 Esposizione

L'esposizione, come detto, è il valore del patrimonio esposto al rischio sismico. La sua valutazione integra il modello di scelta della migliore configurazione del programma di interventi coordinati per la riduzione della vulnerabilità del tessuto urbano di Ortigia, qui esemplificato con l'applicazione a una parte dei quartieri Giudecca e Turba. L'esposizione è un concetto molto esteso e articolato che si è qui ridotto alla considerazione di due principali determinanti entrambi riconducibili alla categoria economica del capitale. In tal modo è possibile rappresentare l'esposizione in termini quantitativo-monetari al fine di poterne confrontare la misura con il valore monetario dei costi di riduzione della vulnerabilità di cui si valuta, di conseguenza, la coerenza, la convenienza e l'opportunità. Queste due determinanti sono il valore del capitale urbano e il valore del capitale umano di cui riferiscono i due paragrafi successivi.

5.4.1 *Valutazione dell'esposizione: il capitale urbano nel tessuto edilizio di Ortigia*

Il capitale urbano è stato definito – se pur in senso riduttivo, ma per coerenza con i fini e i limiti di questa esperienza valutativa – come l'insieme dei manufatti edilizi esposti al rischio sismico. Il valore di questa esposizione è stato calcolato come somma:

- del valore attualizzato di costo di ricostruzione che si sosterrà in seguito al sisma atteso nell'ipotesi di assenza delle misure di mitigazione della vulnerabilità;

- del valore attualizzato dei futuri flussi di mancati redditi annuali, dovuti alla inagibilità temporanea e con riferimento al tempo ipotizzato.

Valore attualizzato del costo di ricostruzione

È calcolato in accordo con il concetto di *riparazioni primaria*, con riferimento a un costo unitario medio di ricostruzione pari a 600 €/mq desunto dall'esperienza del sisma nel cratere abruzzese del 2009. Questo valore media il range dei costi unitari associati alle opere previste per la ricostruzione o riparazione degli edifici caratterizzati da diversi livelli di agibilità e con specifiche caratteristiche anche di pregio architettonico.

Il costo è incrementato di una percentuale del 40% in considerazione degli oneri aggiuntivi ed è esteso all'intero contesto studiato la cui consistenza in termini di superficie lorda degli edifici è nota.

Infine, l'importo è stato ridotto di una percentuale che tiene conto dell'azione congiunta dell'indice di rischio IR e del saggio di sconto r :

- l'indice di rischio IR riduce il valore del costo della ricostruzione attesa in ragione della percentuale del rischio che il sisma ha di verificarsi, come spiegato nel paragrafo 5.2.2 ed esemplificato nella Tabella 7;
- il saggio di sconto r tiene conto del tempo di differimento di questa spesa come spiegato nello stesso paragrafo ed esemplificato nella Tabella 8, che fornisce la combinazione dei due termini, nell'unico indice di probabilità Fp .

Valore attualizzato dei mancati redditi

È calcolato in accordo con il concetto di riparazione compensativa. Il valore dei redditi perduti nel periodo di inattività del contesto urbano, in attesa cioè del completamento della ricostruzione, è funzione del valore di mercato degli immobili inclusi nell'intero contesto e per il quale si prevede una inagibilità generale, dovuta a motivi di opportunità, piuttosto che di incapacità o limitata capacità di svolgere le normali funzioni economiche: residenziali e produttive. Non è stato quindi assunto alcun indice che discrimini tra gli edifici in base allo specifico rischio di inagibilità.

Il reddito annuale lordo RL è stato determinato indirettamente, a partire, cioè dal valore di capitalizzazione Vc che da esso dipende e che per approssimazione si assimila al valore di mercato.

Il valore di capitalizzazione è pari al prodotto tra il reddito lordo e il coefficiente di capitalizzazione lordo che è l'inverso del saggio di capitalizzazione lordo r' :

$$V_c = \frac{RL}{r'} \quad (18)$$

Il coefficiente di capitalizzazione è un moltiplicatore del reddito che oscilla, nel caso presente, tra 8.3 ($r' = 11\%$) e 20 ($r' = 5\%$); questa variazione dipende dal segmento (residenziale, ricettivo, commerciale) e da specifiche caratteristiche di rischio, le quali, anche all'interno dello stesso segmento di mercato, determinano differenze di affidabilità dell'investimento in questi specifici *asset*.

Il *valore di mercato* del patrimonio edilizio che forma il contesto analizzato è stato determinato attraverso una specifica indagine di mercato che ha interessato un campione di 75 immobili in vendita, del segmento residenziale, dislocati nei quartieri: Bottai, Maniace, Turba, Giudecca, Maestranza, Graziella, Mastrarua e Duomo.

La condizione necessaria per la stima immobiliare è l'appartenenza ad aree omogenee intendendo con ciò una porzione della città che ha caratteristiche insediative, morfologiche, paesaggistiche di tipo omogeneo e nel caso specifico l'appartenenza ad un determinato quartiere.

Dopo aver individuato le aree omogenee si è quindi individuato un numero significativo di immobili di confronto che costituiscono il campione di riferimento per la valutazione.

Suddetto campione viene descritto all'interno di un database (realizzato mediante foglio di calcolo Excel) tramite 37 attributi espressi in una scala di punteggi standard da 1 (condizione pessima) a 5 (condizione ottima), raggruppati in cinque classi di caratteristiche (Forte, 1968):

- estrinseche, ke ;
- intrinseche, kj ;
- tecnologiche, kt ;
- produttive, kp ;
- architettoniche, ka .

Ai fini di una rappresentazione significativa degli immobili censiti si sono aggregati i punteggi delle cinque caratteristiche ottenendo un indice di qualità complessiva, k^* .

La prima sezione del database – riportato in Appendice 1 comprende l'identificazione degli immobili censiti tramite: latitudine, longitudine, ubicazione/via, civico, piano. Segue la consistenza in vani commerciali e mq di superficie commerciale.

La caratterizzazione qualitativa delle unità immobiliari sulla base della quale si definisce il parametro tecnico utilizzato per il confronto tra gli immobili del campione e la determinazione della stima riguarda la considerazione degli attributi noti in letteratura (*ib.*) come:

- caratteristiche posizionali estrinseche, 11 in totale, descrivono le peculiarità dell'area omogenea come: centralità e qualità spaziale insediativa, livello sociale e professionale dei residenti e di coloro che frequentano l'area, dotazioni urbanistiche, accessibilità, caratteristiche del contesto immediatamente circostante l'immobile (la strada, la piazza, lo slargo, etc.) dal punto di vista della possibilità di movimento;
- caratteristiche posizionali intrinseche: panoramicità, prospicienza, esposizione, sicurezza, accessibilità;
- caratteristiche tecnologiche: dotazioni e relativo stato di conservazione con riferimento tanto all'edificio (sistema costruttivo, tipo e manto di copertura, finiture del prospetto e delle parti comuni, di impianti condominiali) quanto all'unità immobiliare (porte e infissi, rivestimenti, impianti);
- caratteristiche architettoniche (articolazione e adeguatezza funzionale e distributiva, impaginato dei prospetti, qualità delle finiture e dei materiali, etc.) con riferimento tanto all'edificio quanto all'unità immobiliare.

Le quotazioni immobiliari significative in termini di prezzi di offerta unitari (al vano e al mq) minimi medi e massimi, per ciascuno dei quartieri sono riportati nella tabella seguente.

Tabella 11 Quotazioni immobiliari negli otto quartieri oggetto di indagine di mercato.

Quotazioni del mercato immobiliare in Ortigia			
Quartiere Bottai			
	€/vano	€/mq	
Minimo	27,692	1,286	
Mediana	60,000	2,626	
Massimo	104,762	3,933	
Quartiere Maniace			
	€/vano	€/mq	
Minimo	36,923	1,600	
Mediana	58,947	2,333	
Massimo	118,182	3,611	
Quartiere Turba			
	€/vano	€/mq	
Minimo	52,308	1,862	
Mediana	80,427	2,826	
Massimo	104,762	3,793	
Quartiere Giudecca			
	€/vano	€/mq	
Minimo	43,333	1,918	
Mediana	69,474	2,200	
Massimo	84,286	4,333	
Quartiere Sperduta-Maestranza			
	€/vano	€/mq	
Minimo	34,182	1,267	
Mediana	64,615	1,886	
Massimo	88,571	3,278	
Quartiere Graziella			
	€/vano	€/mq	
Minimo	17,556	1,111	
Mediana	44,286	2,000	
Massimo	86,154	4,308	
Quartiere Mastrarua			
	€/vano	€/mq	
Minimo	61,429	2,188	
Mediana	70,909	2,419	
Massimo	115,556	4,533	
Quartiere Duomo			
	€/vano	€/mq	
Minimo	133,333	4,167	
Mediana	153,846	4,286	
Massimo	208,571	5,214	

5.4.2 Valutazione dell'Esposizione: il capitale umano nel tessuto edilizio di Ortigia

Il valore del capitale umano nel contesto generale di Ortigia è stato calcolato con riferimento alle attività presenti nel contesto studiato: residenziale, commerciale, ricettiva complementare (B&B e case-vacanza), ricettiva ordinaria (hotel).

Destinazione residenziale

Sulla base dell'applicazione del modello Fraumeni-Jorgenson (paragrafo 3.3.4), a partire dai dati sulla consistenza e sulle caratteristiche demografiche, sociali, di istruzione etc. della popolazione localizzata nelle 11 Sezioni Censuarie (SC) in cui il patrimonio edilizio studiato si distribuisce (4, 5, 7, 513, 514, 515, 516, 517, 518, 924, 926) si è calcolato il valore del capitale umano differenziato per le attività di

mercato e di non mercato, per genere e per le fasce di età 15-34 anni, 35-54 anni e 55-64 anni.

Questi risultati, consolidati in valori medi, si sono associati a tutti gli edifici ricadenti in ciascuna SC del contesto studiato e di conseguenza a ciascun edificio, in proporzione al volume di esso, all'indice di concentrazione medio della popolazione nella SC (residenti/superficie complessiva) e alla quota dell'edificio destinata alla residenza.

Destinazione commerciale

Il valore del capitale umano per le porzioni degli edifici destinate ad attività commerciali è stato calcolato con riferimento al diverso modo in cui le due principali classi, commercio e ristorazione, vengono di solito frequentate quanto a orari e intensità e con riferimento alle diverse modalità con cui il personale opera all'interno dei locali, in ragione cioè del numero di unità nelle diverse fasce orarie di attività. Per il segmento della ristorazione, il calcolo dei potenziali fruitori ha tenuto conto del prodotto del tasso di densità e della quota dello spazio della sala occupata nei diversi periodi di attività e nei diversi orari; inoltre è stata presa in considerazione la possibilità per alcuni esercizi, di ampliare l'area della ristorazione occupando lo spazio esterno all'esterno del locale.

Destinazione ricettiva

Il valore del capitale umano che si associa alla presenza di turisti e personale di servizio nel settore ricettivo, ordinario e complementare (rispettivamente hotel e B&B/case-vacanza) e in ragione della loro consistenza è stato calcolato in modo analogo rispetto al segmento residenziale, nell'ipotesi che questi spazi vengano impiegati con la stessa intensità di quelli alla stessa stregua degli abitanti, ma con riferimento al valore generale del capitale umano alla scala nazionale (pari a circa 750 mila euro per persona) e non in maniera specifica come fatto con l'uso dei dati per Sezioni Censuarie.

Il valore del capitale umano così calcolato è stato ridotto tenendo conto della frazione delle persone potenzialmente danneggiate dal terremoto.

6 RICERCA SUL CAMPO E FORMAZIONE DELLA BANCA DATI

6.1 Formazione della banca dati ed estrazione delle informazioni

Il reperimento del materiale cartografico riguardante il tessuto edilizio di Ortigia ha rappresentato il primo passo per disporre di una carta base ove potere identificare le Unità Edilizie (U.E.) oggetto degli studi inerenti alla vulnerabilità sismica del patrimonio edilizio esistente e la sua esposizione.

La vulnerabilità che si intende studiare è strettamente correlata all'aggregato edilizio di edifici, come definito dalle norme tecniche vigenti¹⁷, risultato della continuità delle Unità Strutturali che lo compongono, che possono aver avuto una genesi diversa per molteplici fattori (sequenza costruttiva, uso dei materiali, mutate esigenze costruttive, etc.). Nello studio dell'aggregato edilizio, spesso assimilabile all'isolato (porzione di tessuto urbano fisicamente isolato dagli altri), occorre individuare le Unità Strutturali da cui esso è composto. Queste, caratterizzate da comportamento strutturale unitario nei confronti dei carichi orizzontali e verticali, possono o meno coincidere con le U.E. (unità tipologico-funzionali costituite da edifici autonomi dal punto di vista spaziale e funzionale, anche per quanto riguarda l'accesso e la distribuzione, realizzate e trasformate con interventi unitari).

Base di partenza è stato il Piano Particolareggiato di Ortigia (P.P.O.), strumento urbanistico vigente dal marzo 1990 che norma le attività edilizie nel centro storico. Il piano, denominato "Piano Pagnano" dal nome del Capogruppo dei progettisti, è frutto di un lavoro iniziato dieci anni prima ed ha contribuito ad invertire il processo di degrado e abbandono a cui sembrava condannata l'isola di Ortigia dando vita al processo di riqualificazione urbana i cui positivi esiti sono oggi ben evidenti. Questa, partita stentatamente con interventi sporadici, nell'ultimo ventennio ha registrato una progressiva accelerazione parallela a quella del mercato immobiliare che ha registrato performance extra-ordinarie.

Il piano Pagnano è stato soggetto ad un processo di revisione, ancora non compiuto ed interrotto nel giugno 2011. A seguito della ricognizione effettuata, si è potuto constatare che la nuova stesura, non ancora vigente, del Piano Particolareggiato di Ortigia (giugno del 2011), è priva di un'unica carta base e le notizie reperibili sul costruito sono frammentate in carte fra loro non direttamente confrontabili.

¹⁷ Circolare applicativa alle norme tecniche per le costruzioni, Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, 21 gennaio 2019, N.7.

Si è appurato che la cartografia di riferimento del P.P.O., in base alla quale sono state costruite le carte tematiche, è un'aerofotogrammetria 1:10000 di Ortigia, che riproduce la tessitura delle coperture, le quali non sono direttamente rappresentative delle U.E. costituenti gli isolati (Figura 46).

Le coperture non forniscono informazioni utili e organiche per individuare in maniera compiuta le U.E. tanto *ab origine*, quanto nello stato attuale, dati i numerosi interventi di unificazione dei tetti di U.E. diverse e la frequente aggiunta di volumi in sopraelevazione che hanno generato nuove configurazioni.

Si è proceduto alla elaborazione di una carta base sovrapponendo all'aerofotogrammetria 1:10000 (Figura 47) a cui fa riferimento il P.P.O, per la redazione delle varie carte tematiche, il rilievo murario del Prof. Pagnano in scala 1:200, che riproduce la trama muraria delle U.E.

Nell'adattare il reticolo murario al perimetro degli isolati, si è operata la revisione delle unità edilizie (utilizzando Google Earth) aggiungendo, eliminando o modificando quelle che negli anni hanno subito variazioni rispetto alla configurazione iniziale rilevata negli anni 80 dal Piano Pagnano. Il risultato ottenuto è una nuova carta base di Ortigia (Figura 48) che riporta la delimitazione delle U.E. e degli isolati che coprono la fascia dell'isola che va dal lungo mare di Levante a quello di Ponente (Figura 46) corrispondente ai quartieri Maestranza, Giudecca, Turba, Duomo.

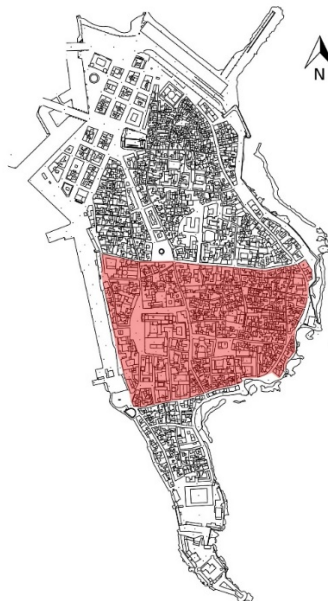


Figura 46 Carta di riferimento del P.P.O. con individuazione della fascia lungo mare di Levante-Ponente oggetto di redazione della nuova carta base.

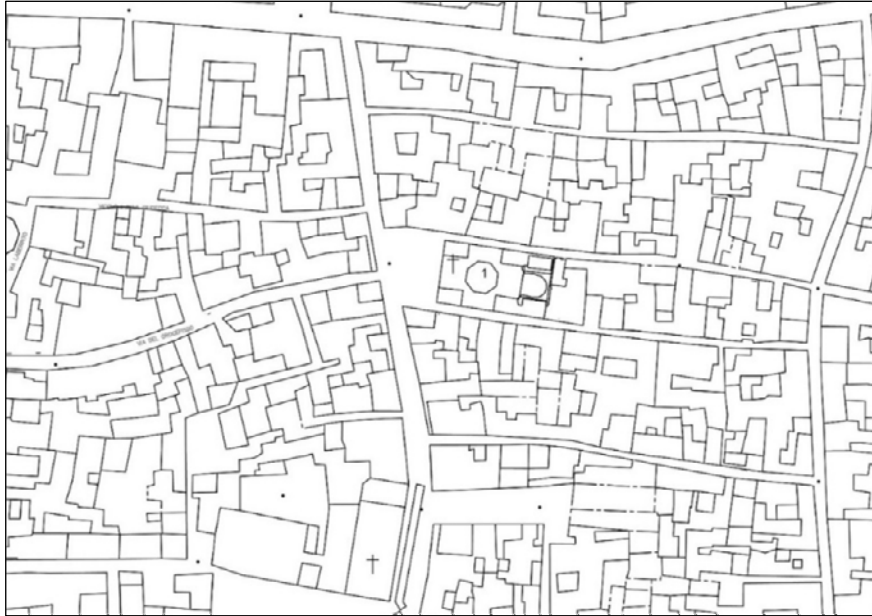


Figura 47 Stralcio aerofotogrammetrico di Ortigia estrapolato dal P.P.O.



Figura 48 Stralcio della carta base elaborata come risultato della sovrapposizione del rilievo murario del Piano Pagnano all'aerofotogrammetria (Figura 47) e dell'aggiornamento eseguito mediante il confronto con Google Earth.

6.2 Identificazione U.E. e caratteristiche dimensionali

L'analisi dello stato di fatto della fascia studiata ha permesso di identificare le U.E. di ogni isolato e di corredare un database a supporto della carta base, che riporta il numero identificativo e le caratteristiche dimensionali (area di sedime, numero di piani, altezza di interpiano e volume) delle singole U.E.

All'interno della fascia, si è poi scelto di analizzare 14 isolati compresi fra: via della Maestranza, via Roma, via del Teatro, via Larga e Alagona, che appartengono ai quartieri Maestranza, Turba e Giudecca.

La verifica delle U.E. appartenenti a ciascun isolato dei suddetti quartieri, proposta in fase di redazione della carta base, ha costituito il punto di partenza del lavoro sul campo.

Laddove sono state riscontrate delle difformità rispetto ai dati cartografici esistenti, si è proceduto alla revisione delle U.E., con nuova numerazione delle medesime.

La ricognizione dello stato di fatto di questa porzione del tessuto è stata condotta anche attraverso un sistematico rilievo fotografico dei fronti per tutti gli isolati in esame.

Il rilievo speditivo che si è limitato alle esplorazioni delle sole compagini esterne, ha permesso di raccogliere informazioni importanti sulla consistenza edilizia (numero di piani e altezza dell'interpiano di ogni Unità edilizia), fattori di vulnerabilità e resistenze, intesi come fattori rispettivamente negativi e positivi che influenzano il comportamento sismico delle unità edilizie e quindi dell'aggregato (D'Ayala et alii, 1997; D'Ayala & Speranza, 2002; Carocci, 2013; Carocci et alii 2014).

Il risultato del lavoro sul campo è stato l'elaborazione di due carte tematiche: la Carta di identificazione degli aggregati e la Carta delle vulnerabilità e resistenze.

6.3 Carta di identificazione degli aggregati

Partendo dalla carta base di Ortigia, durante la campagna dei sopralluoghi, si sono verificate – e in alcuni casi aggiornate – le informazioni relative agli aggregati e alle U.E. che li costituiscono in modo da poter raccogliere i dati aggiornati in una nuova carta.

Il criterio fondamentale per l'identificazione degli aggregati è la possibilità di percorrerne il perimetro senza oltrepassare delimitazioni permanenti o temporanee. L'aggregato, così definito, corrisponde sostanzialmente all'isolato del tessuto edilizio.

Il perimetro degli aggregati può quindi essere corrispondente ad un recinto quando esso è a struttura muraria continua con ridotte interruzioni quali: piccole recinzioni metalliche e strutture di collegamento "aeree" tra i fabbricati, in corrispondenza dei

sottopassi.

Nella carta riportata nell'Allegato 2, di cui si riporta uno stralcio in Figura 49, sono identificate le tipologie edilizie escluse dall'indagine: edifici religiosi, palazzi monumentali e altri edifici speciali. Alla prima categoria appartengono le chiese e i complessi conventuali non trasformati in residenze che hanno quindi una destinazione pubblica o di uso pubblico. Le tipologie palaziali escluse dall'indagine sono quelle monumentali, che si distinguono dai palazzi di limitate dimensioni per luci più ampie e altezze maggiori, ma soprattutto per la destinazione che spesso è diventata di uso pubblico; a questa categoria appartengono anche tutti quegli edifici speciali a destinazione pubblica, quali i teatri o cinema, le scuole, gli ospedali, etc.

Nella carta ogni aggregato è stato numerato e raffigurato con colore diverso; si sono evidenziate le sotto unità (le U.E.) che lo costituiscono e le presenze di crolli e di corti. La numerazione adottata per gli aggregati ricalca quella del Piano Particolareggiato di Ortigia. Si può notare che ogni aggregato si caratterizza per la presenza di corti più o meno estese che possono avere affaccio su pubblica via oppure interno all'aggregato stesso e fungono da spazio aperto per una o più U.E.

Il tessuto viario si connota per: strade strette, direzione est-ovest; ronchi che si insinuano nell'edificato senza via d'uscita; percorsi stradali direzione nord-sud con sezione più ampia. Si osserva inoltre l'assenza di spazi liberi fatta eccezione per le piazze antistanti le chiese.

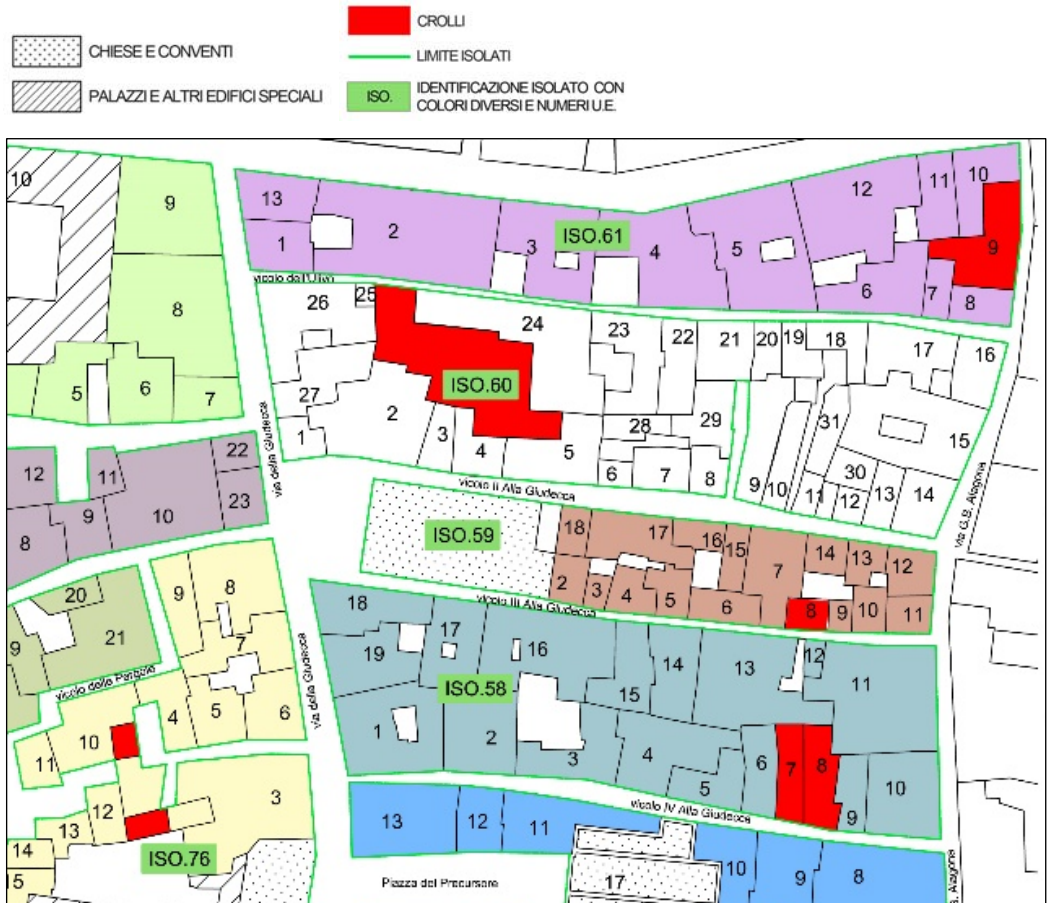


Figura 49 Stralcio della carta d'identificazione degli aggregati.

6.4 Carta delle Vulnerabilità e Resistenze

Le vulnerabilità rilevate nel tessuto in esame sono state localizzate sulla carta base di Ortigia; oltre l'individuazione puntuale delle vulnerabilità effettuata per tutte le U.E., si sono anche riportati i fattori di resistenza del costruito che rappresentano i loro punti di forza e che coincidono con i presidi antisismici (incatenamenti sui solai intermedi e sulle orditure di copertura) atti a contrastare ed a migliorare le capacità della fabbrica all'insorgere di meccanismi di primo modo in occorrenza di un terremoto.

I fattori di vulnerabilità riscontrati sull'edificato posso essere divisi in: *vulnerabilità intrinseche* e *vulnerabilità di trasformazione*.

Le prime sono quelle che emergono dalla modalità di prima edificazione sia a livello di impianto dell'organismo architettonico, sia a livello di aggregazione tra gli organismi, che infine in rapporto alla tecnica costruttiva utilizzata.

Le vulnerabilità di trasformazione sono quelle introdotte in momenti successivi alla prima edificazione, durante fasi di trasformazione storiche (evoluzione dei tessuti) o trasformazioni recenti (spesso attuate con tecniche differenti e incompatibili con la tecnica originaria).

Sono da annoverare tra le vulnerabilità di trasformazione le precarietà derivanti dallo stato di conservazione degli edifici (dissesti e degrado attuale osservabile) e dal loro grado di trasformazione imputabile a interventi recenti (manomissioni e alterazioni). Caratteristici esempi di vulnerabilità di trasformazione sono quelle incongrue che introducono un mal funzionamento statico nella costruzione (ad esempio, le sopraelevazioni con arretramento della parete su strada o le eliminazioni di ingenti porzioni di pareti murarie), le situazioni di dissesto statico ovvero di degrado avanzato, le alterazioni che possono introdurre indebolimenti complessivi della struttura muraria.

Il processo di sopraelevazione, spesso ricorrente nei nostri centri storici, si traduce nell'aumento del numero di piani di cui l'edificio è composto; come caratteristica legata al tipo edilizio, l'altezza dell'edificio è relazionata alla struttura della casa, ma essa va qui riconsiderata in relazione alla dimensione del percorso su cui l'edificio affaccia. Le altezze molto rilevanti che a volte si riscontrano sono attribuibili a processi di incremento attuati in epoca storica utilizzando tecniche analoghe a quelle dell'edificio di primo impianto, altre volte invece le sopraelevazioni sono realizzate in maniera costruttivamente scorretta, ma in entrambi i casi il risultato è l'alterazione dei rapporti dimensionali tra strade e edifici. La previsione degli effetti che un eventuale crollo potrebbe indurre sul sistema dei percorsi incide sulla vulnerabilità dell'insieme.

Nell'isola di Ortigia si evidenzia una diffusione delle sopraelevazioni (Figura 50) realizzate su una porzione dell'area della cellula sottostante: queste trasformazioni prevedono la realizzazione di terrazze al posto dei tetti a falda e la costruzione di un volume parziale che contiene almeno la scala per accedere direttamente dalla abitazione del piano sottostante alla terrazza; tali trasformazioni, realizzate nel corso di questo secolo, ma con maggiore intensità in tempi recenti, possono introdurre seri problemi strutturali: la sostituzione del tetto a falda a struttura lignea con un solaio piano, ancora ligneo o costituito da travi metalliche, e la successiva realizzazione dell'ambiente sovrastante arretrato dal filo strada che occupa solo parzialmente il nuovo solaio piano è spesso realizzata con materiali inadeguati e tecnologie precarie; si pensi solo al fatto che almeno una delle pareti che costituiscono l'ambiente di sopraelevazione è appoggiata direttamente sul solaio senza che quest'ultimo sia stato realizzato a tale scopo. La creazione delle terrazze ha poi introdotto la necessità di realizzare sul filo della strada dei parapetti che a volte hanno inglobato, altre

esautorato, gli originali cornicioni, che si presentano spesso come degli elementi molto instabili.

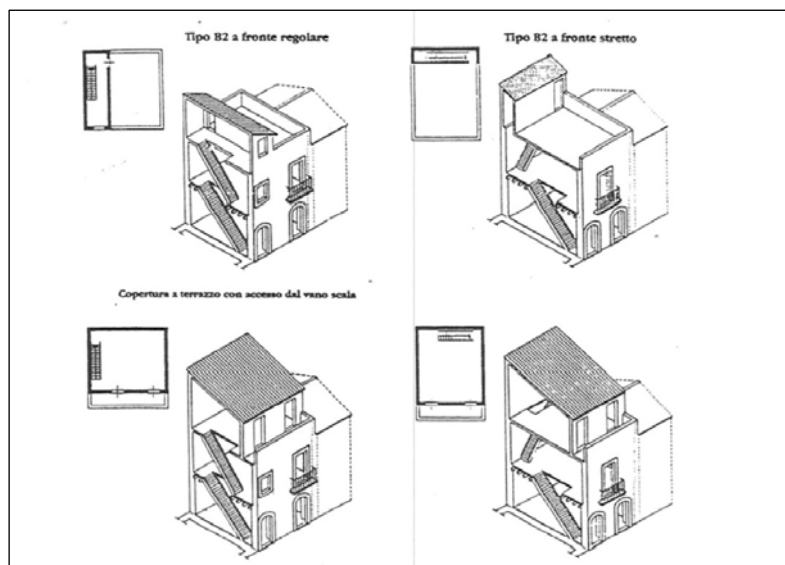


Figura 50 Sopraelevazioni in Ortigia (fonte: Giuffrè,1993).

Nella carta sono stati riportati cinque fattori di vulnerabilità che per diffusione, caratteristiche ed impatto sono significativi nell’ambito della valutazione generale del rischio sismico del tessuto storico di Ortigia. Di queste cinque, tre sono “vulnerabilità intrinseche” cioè proprie dell’edificato (presenza di volumi svettanti, disallineamento degli orizzontamenti di edifici in adiacenza, disallineamento verticale delle aperture in facciata), le altre due invece si annoverano nelle “**vulnerabilità di trasformazione**” ovvero dovute a modificazioni antropiche (allargamento delle aperture al piano terreno (Figura 52) per ottenere vetrine più ampie per negozi e sopraelevazioni parziali arretrate rispetto al prospetto principale).

Per quanto riguarda i fattori di vulnerabilità:

- **i corpi svettanti** (Figura 51) sono definiti come volumi che si elevano, rispetto ai fabbricati adiacenti, per altezze corrispondenti ad almeno un interpiano; **gli allargamenti di aperture al piano terreno** (Figura 52) sono quelli operati su strutture murarie, in genere per ricavare autorimesse o per le vetrine delle attività commerciali;
- **il disallineamento degli orizzontamenti** (Figura 52) tra fabbricati contigui, che si può verificare in presenza di altezze di interpiano anomale, è stato rilevato in presenza di notevoli sfalsamenti, prossimi al mezzo interpiano;

- **il disallineamento delle aperture in facciata** (Figura 52) è definito come lo sfalsamento delle bucaure rispetto all'ipotetica infilata verticale;
- **le sopraelevazioni parziali** (Figura 51) sono corpi aggiunti in epoca successiva, che insistono solo in parte sulla cellula muraria dell'edificio cui appartengono e che risultano arretrate dal prospetto principale. Nella maggior parte dei casi tali sopraelevazioni sono realizzate senza l'accortezza proprie alla tecnica muraria, infatti presentano spessori delle pareti troppo esigui, pareti appoggiate su solai sottostanti invece che allineate con i muri, coperture incapaci di realizzare un contenimento alle precarie pareti perimetrali;
- i dispositivi strutturali che rappresentano le **forme di resistenza** del tessuto edilizio e che incrementano la sua sicurezza sono definiti in base alla loro posizione e alla tipologia di presidio (Figura 53), rilevati nel numero riscontrabile dall'osservazione del solo perimetro dell'aggregato:
- **incatenamenti sui solai intermedi;**
- **incatenamenti sulle orditure di copertura.**

 CORPI SVETTANTI



 SOPRAELEVAZIONI PARZIALI



Figura 51 Esempificazione fotografica degli elementi localizzati sulla mappa delle vulnerabilità e resistenze: corpi svettanti (sx), sopraelevazioni parziali (dx).

 DISALLINEAMENTO
APERTURE IN FACCIATA



 ALLARGAMENTO
APERTURE AL P.T.



 DISALLINEAMENTO DEGLI
ORIZZONTAMENTI



Figura 52 Esempificazione degli elementi localizzati sulla mappa delle vulnerabilità e resistenze: disallineamento delle aperture in facciata (sx), allargamento apertura al piano terra (cent), disallineamento degli orizzontamenti (dx).

 INCATENAMENTO SOLAI
INTERMEDI



 INCATENAMENTO SULLE
ORDITURE DI COPERTURA



Figura 53 Esempificazione fotografica degli elementi localizzati sulla mappa delle vulnerabilità e resistenze: incatenamenti solai intermedi (sx), incatenamenti sulle orditure di copertura (dx).

Nella Figura 54 (vedi Allegato 3) la rappresentazione di vulnerabilità e punti di forza è riassunta in una serie di ideogrammi racchiusi entro un blocco grafico che riporta i simboli dei singoli fattori e il numero delle ricorrenze osservate oltre al numero dell'isolato.

La scala di rappresentazione della carta impedisce la localizzazione puntuale dei singoli fattori di vulnerabilità e dei punti di forza individuati, ma piuttosto suggerisce una riproduzione sintetica degli stessi, che ne possa testimoniare la presenza negli aggregati edilizi.

Nella Figura 55 è riportato il dettaglio della ricognizione per due degli isolati di indagine, i cui dati rilevati sono riportati anche in forma tabellare (Tabella 12, Tabella 13).

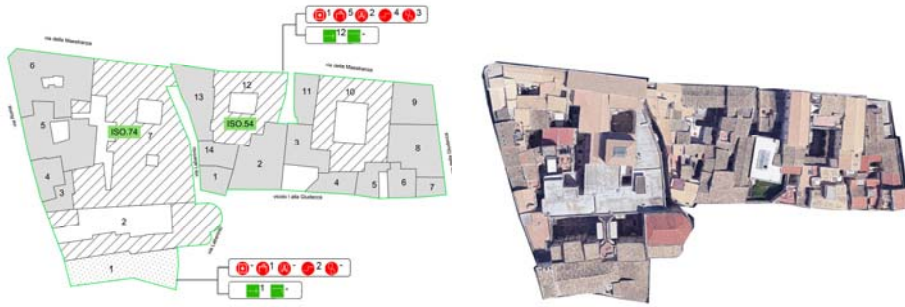


Figura 55 Pianta degli isolati con le U.E. (sx), foto aerea degli isolati (dx).

Tabella 12 Individuazione delle vulnerabilità e resistenze-Isolato 54.

Isolato 54							
U.E.	corpi svettanti	sopraelevaz. parziali	allargamento aperture p.t.	disallineamento orizzontamenti	disallineamenti aperture in facciata	incatenamenti su solai intermedi	incatenamenti sulle orditure di coperture
1	-	-	-	1	-	2	-
2	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	1	-	-	-
4	-	1	-	-	1	-	-
5	-	-	-	-	1	6	-
6	-	1	1	-	1	-	-
7	1	-	1	-	-	-	-
8	-	-	-	1	-	-	-
9	-	1	-	-	-	-	-
10	Non oggetto di indagine (palazzo monumentale)						
11	-	1	-	-	-	2	-
12	Non oggetto di indagine (palazzo monumentale)						
13	-	-	-	1	-	2	-
14	-	1	-	-	-	-	-

Tabella 13 Individuazione delle vulnerabilità e resistenze-Isolato 74.

Isolato 74							
U.E.	corpi svettanti	sopraelevaz. parziali	allargamento aperture p.t.	disallineamento orizzontamenti	disallineamenti aperture in facciata	incatenamenti su solai intermedi	incatenamenti sulle orditure di coperture
1	Non oggetto di indagine (edificio religioso)						
2	Non oggetto di indagine (palazzo monumentale)						
3	-	-	-	1	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	1	-	1	-
6	-	1	-	-	-	-	-
7	Non oggetto di indagine (palazzo monumentale)						

6.5 Individuazione dei tipi edilizi

6.5.1 *Il quartiere della Giudecca*

Particolarmente interessante rispetto all'area presa in esame per l'individuazione delle vulnerabilità del patrimonio costruito, è il quartiere Ebraico della Giudecca. Si tratta di un quadrilatero posto all'estremità sud-orientale dell'isola, che conserva in maniera evidente l'antico assetto greco per *strigas*¹⁸, mantenutosi per tutto il medioevo e l'età moderna. Questo quartiere si caratterizza per un tracciato viario costituito da vicoli stretti assimilabili a dei corridoi, nel senso longitudinale (est-ovest), percorribili solo a piedi e che hanno una sezione variabile da 3 m circa a 1,4 m; fatta eccezione per le vie Minniti e Larga che invece risultano carrabili; mentre i percorsi nord-sud- via della Giudecca e via Alagona- anche in virtù di assi principali del quartiere hanno una sezione stradale più ampia (Scalora & Monti, 2010; Fazio, 2010). La posizione geografica della Giudecca rispetto al sistema dei percorsi e degli spazi pubblici di Ortigia amplifica la sua vulnerabilità; infatti è strettamente condizionata dal livello di "sicurezza" dell'anello viario primario dell'isola costituito da Corso Matteotti, via delle Maestranze, via Roma e dal lungo mare di Levante oltre al fatto che sono completamente assenti al suo interno spazi liberi eccetto le due piazze antistanti le chiese di San Filippo Apostolo (piazza della Giudecca) e la Chiesa di San Giovanni Battista (piazza del Precursore).

6.5.2 *Tipi edilizi ricorrenti*

Con riferimento all'edilizia abitativa della Giudecca si sono individuate quattro tipologie ricorrenti: la casa terranea, la casa a schiera, la casa in linea e la casa a corte.

La casa terranea, tipo edilizio ampiamente diffuso nell'isola, è costituita da un unico ambiente a cui si accede da una piccola porta che assolve, insieme a un finestrino

¹⁸ I tracciati stradali della maglia urbana pianificata per *strigas* secondo un piano di tipo ippodameo che prevedeva una maglia regolare formata da strade strette (3 m circa), orientate in senso est-ovest che scandivano isolati di larghezza costante (25 m) e da strade più larghe nord-sud, che ne determinavano la lunghezza. Si veda a tal proposito: R. Martin, P. Pelegatti, G. Vallet, G. Voza (a cura di), Storia della Sicilia, vol. I, Napoli, 1979.

laterale, la funzione di unica fonte aeroilluminante. Tale tipo si può trovare sia nella tipologia base solo piano terra che a due piani (Figura 56).

La casa a schiera (Figura 57), presente nella configurazione a due o tre livelli, forse deriva dalla casa ebraica che si conformava come casa-bottega secondo un tipo edilizio per lo più costituito da monocellule in cui era privilegiata la funzione mercantile e artigiana al piano terreno aperto sulla strada, mentre l'abitazione era al primo piano raggiungibile con una scala di legno. La maggior parte di queste case oggi ristrutturata, hanno scale strette e ripide collocate su uno dei lati della cellula muraria. Caratteri invarianti sono la comunanza dei muri laterali con le adiacenti case, spesso si presenta anche il doppio affaccio contrapposto su strada e corte e l'appartenenza del fronte al margine del percorso. Questo tipo edilizio, che costituisce un'unica unità immobiliare posta su più livelli, si caratterizza inoltre per uno sviluppo in altezza rispetto all'area di sedime su cui insiste.

La casa in linea (Figura 59), il tipico Palazzetto, è molto simile alla casa a schiera ma si differenzia da questa per avere maggiori dimensioni sul fronte strada (anche se alle volte ci sono delle eccezioni) e per avere al suo interno una scala che serve più unità immobiliari. La scala per quanto larga possa essere, risulta in caso di sisma insufficiente per permettere la fuga delle persone poste nei vari alloggi; senza contare il fatto che in molte di queste case in linea ci sono strutture ricettive per cui il numero degli abitanti vari a seconda dei periodi dell'anno in relazione ai flussi turistici. Tra le case in linea si sono anche annoverati il Palazzo tipologia utilizzata per la residenza dei nobili o della borghesia facoltosa.

Infine, l'ultima tipologia osservata è la casa a corte (Figura 58) che emerge per dimensioni, forma, aspetto morfologico, funzioni e complessità rispetto al tessuto continuo, si caratterizza per l'organizzazione a corte e ingresso da pubblica via per mezzo dell'androne. I vani sono distribuiti attorno allo spazio della corte, ove è collegata una scala esterna, che conduce agli alloggi posti al piano superiore, (anche per questa tipologia si presenta lo stesso problema relativo ad un possibile intasamento della scala in occorrenza di un terremoto).

È interessante capire anche il rapporto che le varie tipologie edilizie hanno con la corte.

La corte, sempre ricorrente in tutti gli isolati della Giudecca, rappresenta uno spazio aperto che ha caratteristiche diverse:

- corte interna con accesso esclusivo di un'unica unità immobiliare;

- corte interna con accesso a più unità immobiliari (tipico della casa a corte, oppure spazio libero dopo l'intasamento del lotto da parte delle varie unità edilizie sopraggiunte in maniera diacronica);
- corte con accesso diretto alle percorrenze pubbliche.

La corte interna che serve più unità immobiliari, in caso di sisma diventa quello spazio ove le persone confluiranno; quindi, potrebbe congestionarsi in ragione del numero degli abitanti in determinate ore del giorno (residenti) e in periodi dell'anno (turisti) prima di poter raggiungere le vie di fuga (strada pubblica).

Per tutti i tipi edilizi rintracciati, i piani terra che danno su via della Giudecca sono adibiti a negozi, punti ristoro e bar, queste ultime attività commerciali presentano tavoli o sedute poste all'esterno del locale con occupazione del suolo pubblico e con l'aggravante di restringere l'unica via di fuga rappresentata dalla suddetta via. I vicoli, i ronchi, percorsi a *cul de sac* di larghezza, forma e profondità che si insinuano all'interno dell'edificato senza uscita, la presenza di autovetture in sosta nelle strade carrabili, l'occupazione di suolo pubblico da parte di attività commerciali, la quasi assenza di slarghi rappresentano un problema drammatico per questo quartiere alla stessa stregua di quello strutturale dell'edificato.

Altro elemento rilevante è la concentrazione di case vacanze, B&B ed alberghi, si pensi che nel solo quartiere della Giudecca in sette isolati aventi un numero totale di 129 Unità Edilizie, con un numero di elevazioni che va mediamente da 2 a 5 piani, sono presenti 31 strutture ricettive (2 alberghi e 29 B&B). Questo dato fa capire quanto in alcuni periodi dell'anno (mesi che vanno da maggio a settembre) quest'area sia densamente popolosa rispetto ad altri ove risulta quasi deserta se non abitata dai pochi residenti ancora rimasti nell'isola.

Le aree a maggior esposizione sono quelle a più alta densità abitativa e dove le attività commerciali, 16 solo per la Giudecca (bar, negozi, ristoranti), sono presenti più densamente.

L'individuazione dei tipi edilizi risulta essere fondamentale perché sono connessi al numero degli abitanti e alla stima approssimativa del numero delle vittime in occorrenza di un terremoto.

Si è osservato infatti nei terremoti precedenti che il numero delle vittime dipende dalle caratteristiche geometriche degli edifici e dal numero dei loro piani. Le vittime sono maggiori per edifici a torre piuttosto che per edifici con ampia superficie e pochi piani ove il numero delle persone da insediare è nettamente inferiore (Zuccaro & Cacace, 2011).

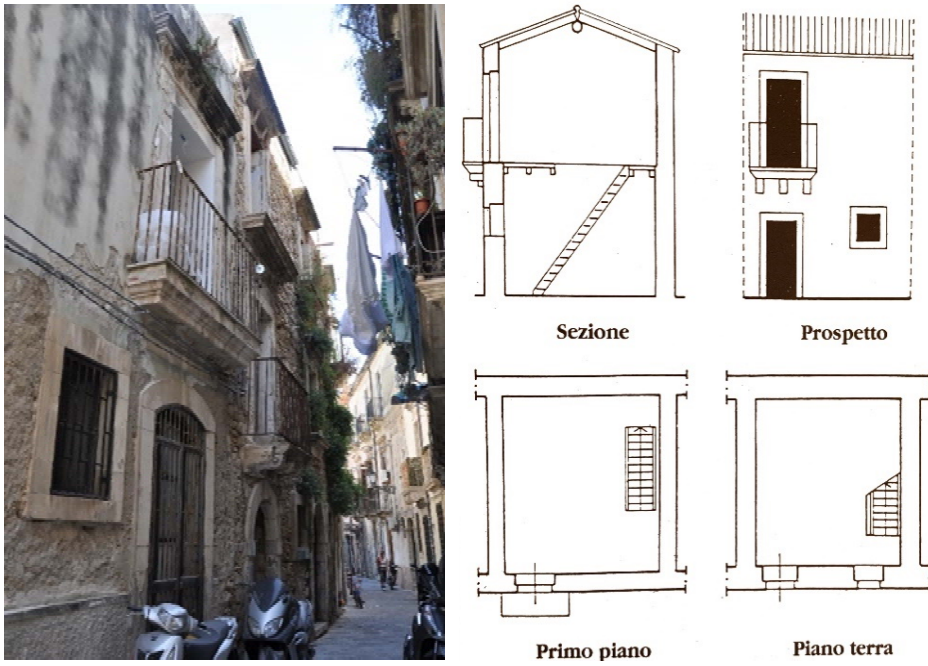


Figura 56 Casa terranea su due elevazioni nel quartiere della Giudecca (sx). Casa terranea su due elevazioni fuori terra(dx) (fonte: Giuffrè, 1993).



Figura 57 Casa a schiera (ISO.60) con fronte strada a tre aperture(sx) e con due aperture(dx).



Figura 58 Palazzo (ISO. 61) ad angolo con via Maestranza e via della Giudecca (sx). Palazzo con corte (ISO. 61) con doppio affaccio su via Maestranza e vicolo dell'Ulivo (dx).



Figura 59 Case in linea (ISO. 85).

7 APPLICAZIONE E RISULTATI RICERCA

7.1 Mappa della vulnerabilità delle unità architettoniche

Il campione analizzato per questa sperimentazione è composto da 190 Unità Edilizie (U.E.) raccolte per righe in un Data Base suddiviso nelle Sezioni A e B.

La Sezione A (S_A), composta da 116 U.E., è stata oggetto di una indagine diretta finalizzata al calcolo della vulnerabilità intesa come l'attitudine al ribaltamento delle 383 Unità di Facciata (U.F.) interferenti con gli spazi pubblici. Ad ogni U.F. è stato assegnato il valore numerico della vulnerabilità valutando un totale di 130 unità elementari informative:

- di base, per la individuazione, identificazione, misurazione, caratterizzazione, attivazione delle funzioni logiche e di calcolo;
- derivate, cioè costituenti gli attributi per il raggiungimento dei risultati, tra cui la misura della vulnerabilità, l'individuazione delle opere elementari degli interventi di mitigazione, i costi di intervento.

La Sezione B (S_B) composta dal 74 U.E. analizzate e caratterizzate con un minor grado di dettaglio e per le quali:

- la misura della vulnerabilità è stata attribuita attraverso una valutazione sintetica per analogia con le caratteristiche salienti di quelle della Sezione A;
- i costi sono stati associati a ciascuna U.E. attraverso un modello di regressione lineare multipla e con riferimento a tre variabili:
 1. l'indice di vulnerabilità;
 2. la superficie delle facciate esposte;
 3. la superficie delle parti interne dei vani corrispondenti alle U.F., cui si rivolgono le opere di completamento.

La Figura 60 mostra la distribuzione delle vulnerabilità evidenziandone minimo, massimo e quartili. La Figura 61 riporta i valori degli indici di rischio delle U.E. analizzate.

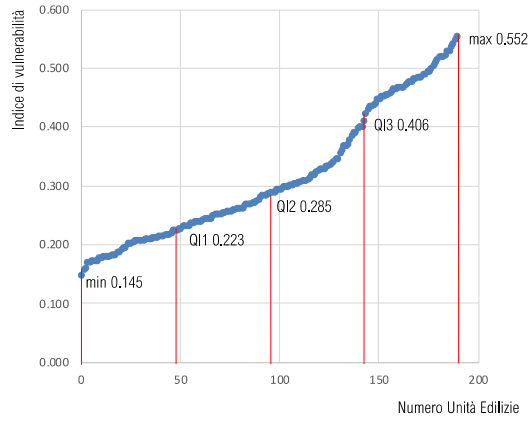


Figura 60 Distribuzione dell'indice di vulnerabilità con in evidenza i valori minimo, massimo e i quartili.

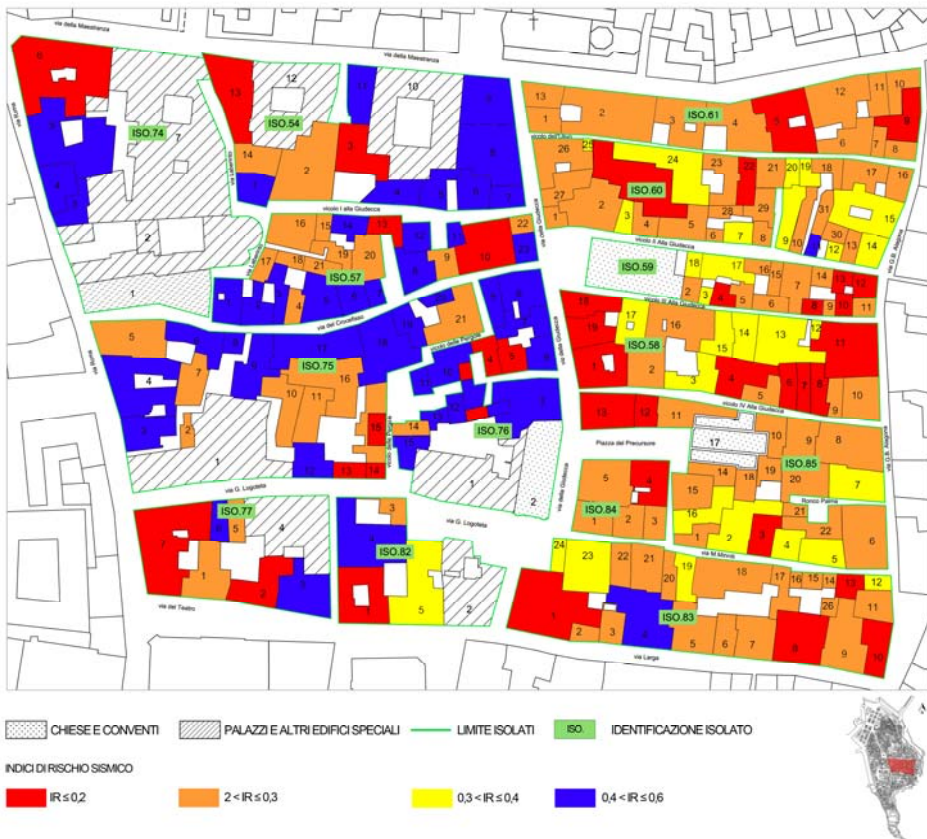


Figura 61 Mappa degli indici di rischio.

7.2 Calcolo dei costi di riduzione della vulnerabilità

Il calcolo dei costi di intervento per la mitigazione della vulnerabilità delle Unità Edilizie è stato calcolato sulla base della selezione degli interventi che si associano a ciascuna U.E. in ragione della geometria del manufatto, del quadro dei difetti, di diversi aspetti costruttivi.

Il grafico di Figura 62 mostra la distribuzione dei costi totali tra le unità edilizie evidenziando la maggiore frequenza di U.E. con costi relativamente contenuti e di pochi casi, invece, di U.E. cui è associato un costo consistente, certamente dipendente dalla estensione delle facciate e notevole della consistenza complessiva.

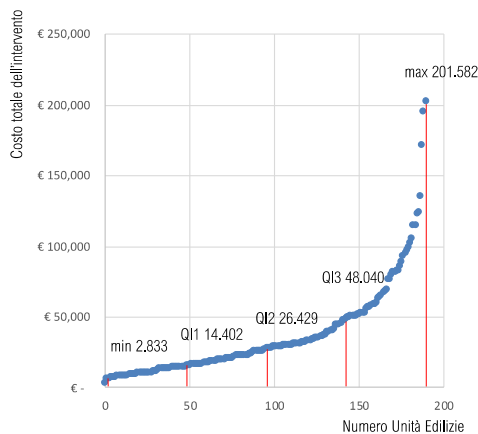


Figura 62 Distribuzione dei costi totali di intervento tra le UE del campione con l'indicazione dei valori minimo, massimo e dei quartili.

Fin qui la valutazione del costo ha riguardato le U.E. nell'ipotesi di massima completezza degli interventi a carico del pubblico.

La necessità di indicare strategie mediate, in particolare in situazione di vincoli di budget quanto al finanziamento pubblico di una politica mitigazione del rischio sismico – come accade con la definizione della CLE, la quale si rivolge ai soli edifici interferenti le vie principali di fuga e gli spazi di sosta e ammassamento – implica la necessità di prefigurare allocazioni differenziate del budget disponibile, in particolare finanziando solo le opere strettamente necessarie, di primario interesse pubblico etc. o combinando gradi diversi di queste screature.

Sono stati calcolati i costi complessivi di tutte le 25 strategie di intervento ottenute combinando i livelli di completezza ed i livelli di soglia di attivazione (o estensione) introdotti nel paragrafo 5.3.4. La sintesi proposta con i due grafici di Figura 63

consente di confrontarle e di evidenziare l'andamento del costo al crescere simultaneo di entrambi i livelli.

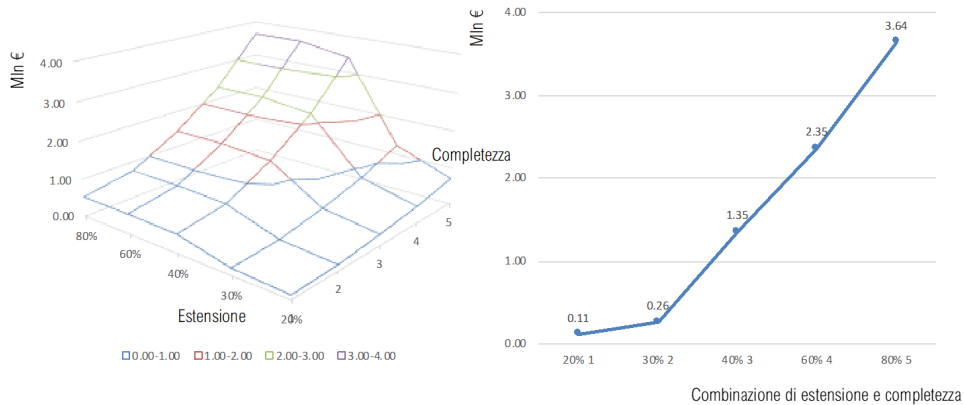


Figura 63 Mappatura del costo complessivo degli interventi nell'intero contesto urbano studiato in considerazione dell'estensione dell'intervento e della completezza delle opere.

7.3 Calcolo dei benefici della riduzione della vulnerabilità

Il valore monetario dei benefici che derivano dalla riduzione della vulnerabilità è, come detto, esteso alla considerazione di una quota del danno che il verificarsi dell'evento sismico determina a svantaggio di una comunità insediata, specie se caratterizzata da particolari aspetti di pregio che ne determinano il profilo socioeconomico, che nel caso di Ortigia è significativamente di impronta turistica.

Le due matrici del capitale che si sono prese in considerazione sono il capitale urbano e il capitale umano, lasciando fuori da queste due nozioni e più in generale dal recinto di questa ricerca altre forme del capitale che caratterizza le comunità urbane, come il capitale pubblico o sociale e il capitale economico, che con quelli precedenti si intrecciano, sovrappongono, connettono, senza coincidere o confondersi. Questa delimitazione, più che un limite, costituisce una scelta che ha comunque, come si vedrà più avanti, consentito di fornire "indicazioni di scala" tra costo e beneficio difficilmente comparabili e che non lasciano dubbi sulla necessità di marcare le politiche territoriali e urbane con l'impronta della prevenzione.

7.3.1 *La valutazione monetaria del capitale urbano*

Come anticipato nella Proposta metodologica (capitolo 3), il valore economico-monetario del capitale urbano è calcolato in base:

- al valore immobiliare e quindi al flusso di redditi che si immagina possano perdersi per effetto della temporanea inagibilità del centro storico o di sue consistenti parti;
- al valore di costo di ricostruzione delle unità edilizie danneggiate in base a un valore medio ipotizzato; è da precisare che l'intervento di prevenzione, verosimilmente, non elimina la probabilità di danneggiamento ma è principalmente finalizzato alla protezione delle persone realizzando quelle opere che non potranno evitare danni alle fabbriche, ma ne eviteranno con buona probabilità il crollo tutelando l'integrità delle persone.

Valore immobiliare delle U.E.

A partire dalle indagini di mercato effettuate in base ai quattro segmenti, residenziale, commerciale, ricettivo e della ricettività complementare, si sono formate le funzioni di regressione lineare che collegano il prezzo per unità di superficie a un indice di qualità aggregato. Questo pondera le caratteristiche di localizzazione, intrinseche, tecnologiche e architettoniche pertinenti a ciascuna U.E. in base agli attributi presenti nel database.

Successivamente si è ipotizzato il range di variazione del saggio di capitalizzazione per ciascuno dei quattro segmenti e si è calcolato il reddito netto annuo di ciascuna U.E. Questo si è moltiplicato per il numero di anni che si ipotizza possano intercorrere dall'evento sismico al completamento della ricostruzione.

La Figura 64 e la Figura 65 mostrano una sinossi delle scale dei valori e dei prezzi per ciascuno dei quartieri di Ortigia su cui è stata svolta un'indagine di mercato nel segmento residenziale.

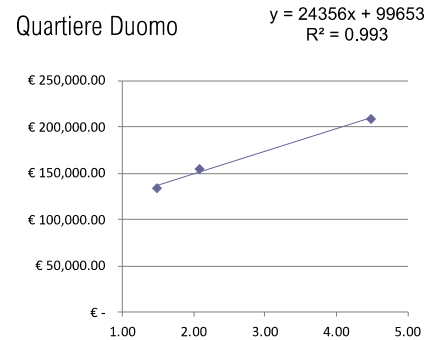
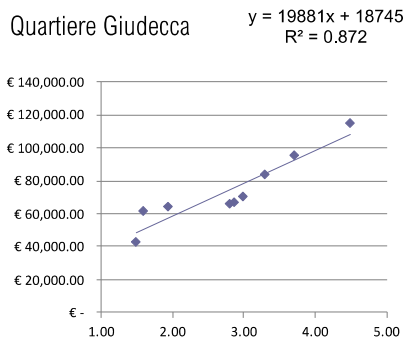
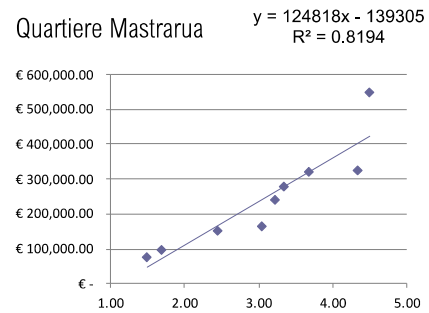
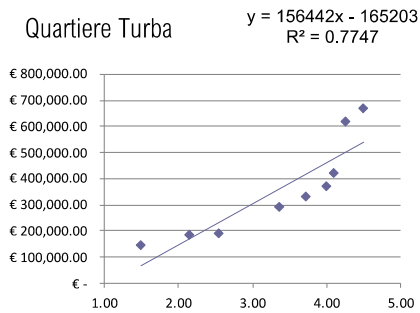
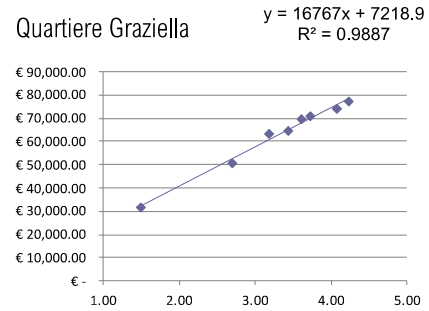
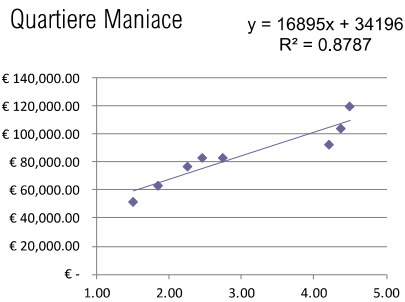
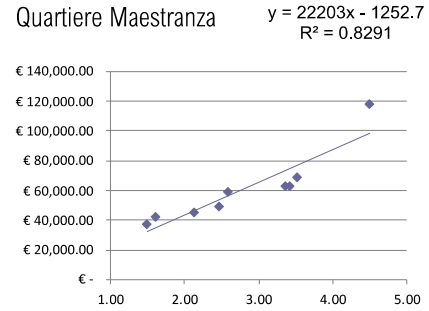
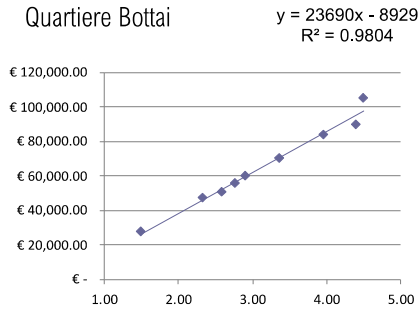


Figura 64 Osservazioni mercato immobiliare segmento residenziale nei quartieri di Ortigia (prezzi in €/mq).

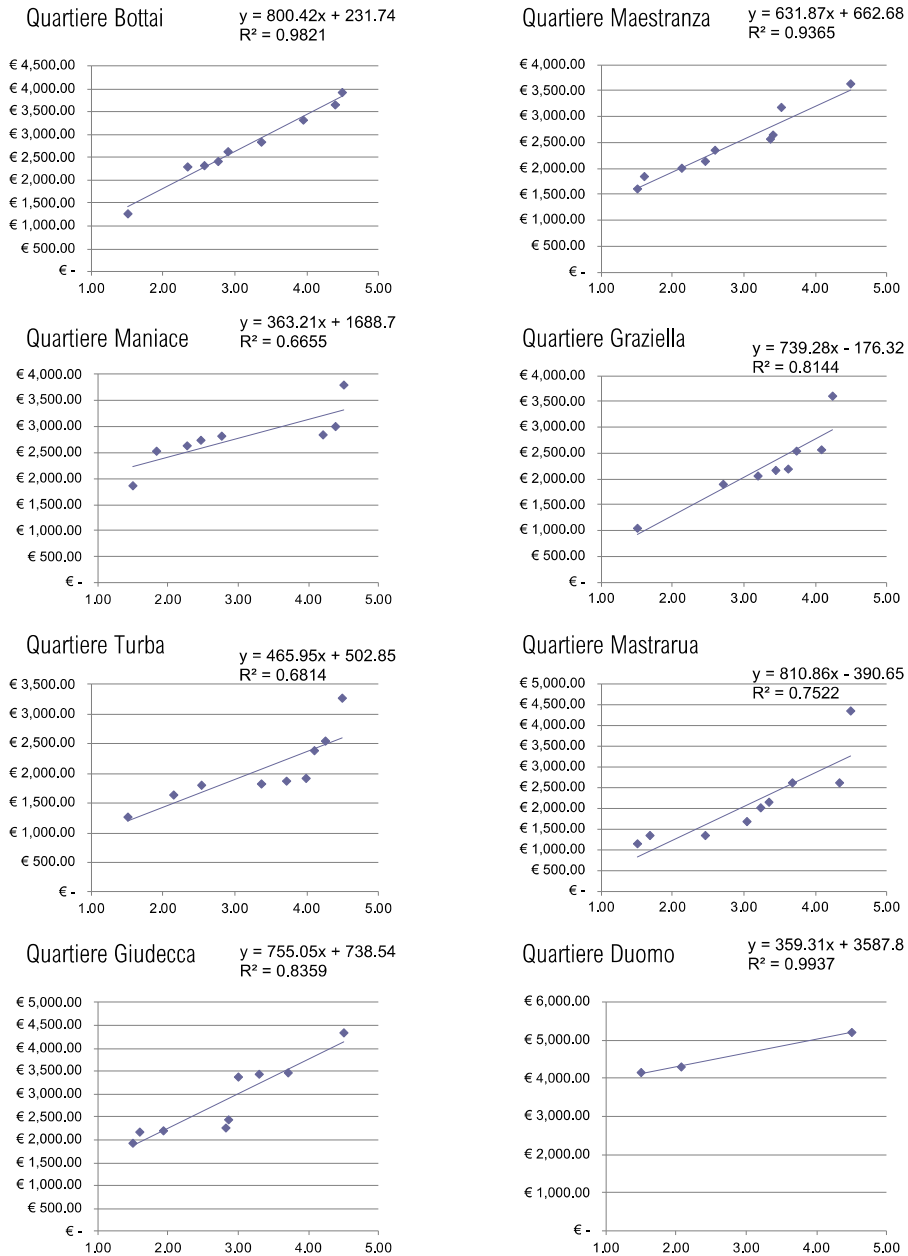


Figura 65 Osservazioni mercato immobiliare segmento residenziale nei quartieri di Ortigia (prezzi in €/vanno).

Il valore di mercato costituisce una delle due determinanti del valore del capitale urbano rispetto al quale è calcolato il valore del danno temuto.

La seconda componente è il costo di costruzione, valutato moltiplicando la superficie totale di ciascuna unità edilizia per un costo unitario medio desunto dall'esperienza abruzzese. Anche questo termine dovrà essere oggetto di ulteriore approfondimento e vale qui in via prudenziale.

Il valore del capitale immobiliare esposto e la somma tra questo e il valore di costo di ricostruzione sono rappresentati, per ciascuna unità edilizia, dalle distribuzioni in Figura 66. I diagrammi riportano i valori significativi, minimo, quartili e massimo evidenziando la variazione all'interno dell'intervallo più significativo, compreso tra i due quartili.

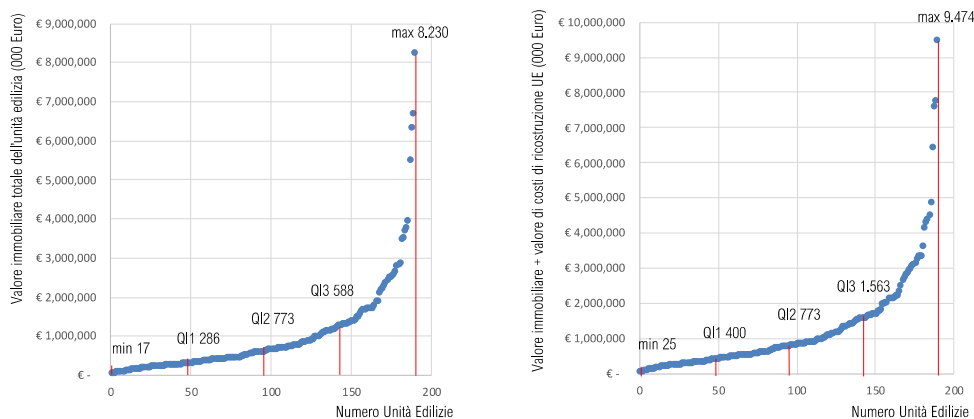


Figura 66 Confronto tra le distribuzioni del valore immobiliare (sx) e totale di valore immobiliare e costo di ricostruzione del capitale immobiliare esposto (dx).

Costo di ricostruzione

Il costo di ricostruzione è stato calcolato con riferimento a un valore medio di 600 €/mq con un incremento di spesa per gli oneri aggiuntivi del 40%. Il costo di ricostruzione unitario risulta, pertanto, pari a 840 €/mq. Il grafico di Figura 67 mostra la distribuzione dei costi di ricostruzione di ogni U.E.

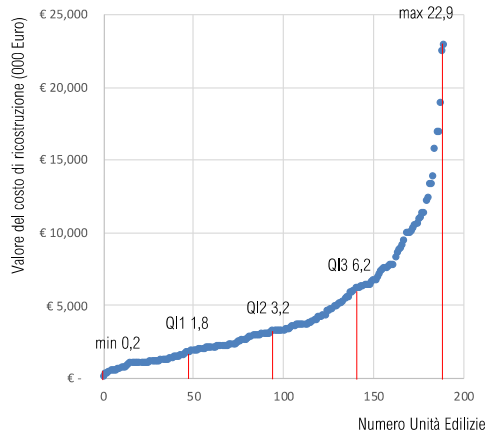


Figura 67 Distribuzione del costo di ricostruzione del patrimonio edilizio esposto.

7.3.2 La valutazione monetaria del capitale umano

Il valore del capitale umano è stato calcolato in base al modello esposto nell'ampia sezione del metodo dedicata a questa componente, che si è rivelata quella che più e meglio motiva l'implementazione di una politica proattiva.

Sulla base di uno studio delle caratteristiche della condizione socio-professionale dell'intero contesto urbano di Ortigia riferito ai dati forniti dall'Istat al dettaglio delle sezioni censuarie, è stato calcolato il valore monetario del capitale umano per le sezioni censuarie tra le quali si distribuisce il patrimonio edilizio studiato.

Successivamente, sulla base dei dati di consistenza di superficie, questo valore medio si è attribuito a ciascun isolato con riferimento alla componente della superficie di esso destinata ad attività residenziale.

Il valore del capitale umano che si associa agli edifici destinati ad attività non residenziali, quindi commerciali e ricettive (hotel, B&B e case-vacanza) e in ragione della loro consistenza, si aggiunge a quello calcolato in base alla presenza effettiva dei residenti nelle sezioni censuarie di riferimento.

Questo valore è stato calcolato in base al valore medio per persona calcolato su scala nazionale dall'Istat (pari a circa €750.000).

Infatti, dato il profilo marcatamente turistico di Ortigia, è verosimile che le persone ivi presenti provengano in parte significativa dall'intero territorio italiano. Sarà oggetto di un futuro approfondimento l'analisi del valore del capitale umano

riferibile alle persone provenienti dall'estero la cui presenza in Ortigia è, anch'essa consistente.

Il valore del capitale umano attribuibile alle attività commerciali è stato calcolato - per le due principali classi di attività (commercio e ristorazione) - in base alla consistenza dei locali destinati a queste attività e conseguentemente al numero di fruitori potenzialmente presenti e negli orari di effettiva attività, tipici della funzione. Per le attività della ristorazione, in particolare, il numero di persone presenti è stato esteso considerando anche la quota degli spazi pubblici che queste attività prendono in concessione per aumentare lo spazio a disposizione della clientela. Anche nel caso di ristoranti e pub sono stati considerati gli orari di effettiva attività.

Una volta calcolato il valore del capitale umano ascrivibile direttamente al settore residenziale in base agli effettivi residenti e applicando il modello Fraumeni-Jorgenson esposto nel paragrafo 3.3.4 e indirettamente, cioè con riferimento al valore unitario medio nazionale, per le altre attività, si è ridotto questo valore tenendo conto della percentuale di persone la cui integrità fisica potrebbe essere presumibilmente lesa con il verificarsi del sisma.

A tal fine si è considerato il numero di morti e feriti che nel più ampio contesto del terremoto in Abruzzo dell'aprile del 2009 ha provocato, rispetto a una popolazione di circa 70.000 persone, quella del cratere sismico, 309 morti e 1500 feriti. Di conseguenza, il valore del capitale umano calcolato considerando la somma tra lo 0,43% quanto alle lesioni estreme (morte) e lo 0,05% quanto alle lesioni minori (feriti); quest'ultima percentuale è stata attribuita moltiplicando la percentuale dei feriti, 2,29% per un coefficiente riduttore pari al 2% che considera la gravità media di queste lesioni minori; quest'ultimo coefficiente è da sottoporre a ulteriore verifica.

I termini di riferimento del valore del capitale umano calcolati per i due quartieri di Ortigia in cui sono inclusi gli edifici censiti sono riportati nella tabella seguente.

Tabella 14 Elaborazioni del modello Fraumeni-Jorgenson per la determinazione del valore del capitale umano nelle sezioni censuarie in cui ricade il patrimonio censito [migliaia di euro].

Isolato	Sez. Cens.	Valore totale attività		Valore attività mercato per fasce di età			Valore attività di non mercato per fasce di età		
		mercato	non mercato	15-34	35-54	55-64	15-34	35-54	55-64
75	4	37.122	42.051	17.236	15.529	920	13.801	16.424	2.013
85	5	19.125	21.386	10.564	7.325	414	8.857	7.455	838
54	7	30.087	35.382	15.012	12.599	782	12.741	13.116	1.832
57	7	30.087	35.382	15.012	12.599	782	12.741	13.116	1.832
74	7	30.087	35.382	15.012	12.599	782	12.741	13.116	1.832
82	513	6.147	6.857	1.668	2.637	230	1.481	2.586	518
84	514	8.154	6.912	7.228	4.688	138	5.895	4.706	358
76	514	11.388	12.946	7.228	4.688	138	5.895	4.706	358
59	515	6.147	6.857	3.892	2.051	138	3.325	1.794	358
60	516	18.654	20.046	8.340	8.497	276	6.229	8.550	657
58	517	15.243	16.449	7.784	5.860	322	5.866	5.964	737
83	518	25.539	30.586	11.676	0	0	9.583	14.490	918
61	924	18.450	21.049	10.008	9.083	138	8.298	9.179	358
77	926	12.321	15.148	6.116	7.325	46	4.973	8.107	139

Sulla base di questi riferimenti complessivi è stato determinato il valore finale dell'esposizione in termini di capitale umano.

8 DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

8.1 Potenzialità interpretative del modello

Sulla base di questi risultati è possibile prefigurare una risposta alla domanda di ricerca riguardante la ragionevolezza di implementare una politica proattiva di mitigazione del rischio sismico in un contesto urbano di pregio e ad elevata esposizione turistica.

Questi risultati vanno quindi combinati in un modello pur semplificato di analisi costi-benefici in grado di fornire risposte in termini assoluti e relativi. Alcuni richiami sono a questo fine necessari.

Le valutazioni monetarie fin qui svolte per ciascuna unità edilizia forniscono:

- il Costo di Intervento per la Riduzione del Rischio Sismico;
- i benefici in termini di:
 - o Costo di Ricostruzione evitato;
 - o Danno evitato in termini di Perdite Temporanee di utilità funzionale ed economica;
 - o Valore Economico-monetario delle lesioni alle persone esposte, evitate per effetto della riduzione della vulnerabilità.

Tutti questi importi sono stati infine ridotti applicando ad essi un Fattore di probabilità (F_p) che consente infine di confrontarli.

Si presentano i risultati di due serie di ipotesi entrambe rappresentate in termini di valori cumulati, cioè in un diagramma cartesiano in cui sull'asse delle ascisse sono rappresentate le unità edilizie su cui si prevede di intervenire e sull'asse delle ordinate i valori del costo totale degli interventi di riduzione della vulnerabilità e dei benefici totali (non sono quindi relativi a ciascuna U.E.). I costi indicati si vanno sommando man mano che l'intervento sul patrimonio procede includendo via via ulteriori U.E. a partire dalle più vicine alla via di fuga principale fino a quelle più distanti. Questo ordine degli interventi dipende dalla logica che informa la CLE che prevede di mettere in sicurezza le parti del tessuto urbano che massimamente e prioritariamente sono funzionali a garantirne la resilienza in caso di terremoto.

La prima elaborazione (Figura 68) mostra l'andamento delle variabili globali:

- Benefici Totali;
- Costi di Riduzione della Vulnerabilità;
- Valore Aggiunto (di quanto i benefici superano i costi);

e le singole aliquote dei Benefici Totali rappresentate dalle variabili di Esposizione:

- Valore del Capitale Umano;
- Costi di Ricostruzione del Capitale Urbano;
- Perdite Temporanee Redditi del Capitale Urbano.

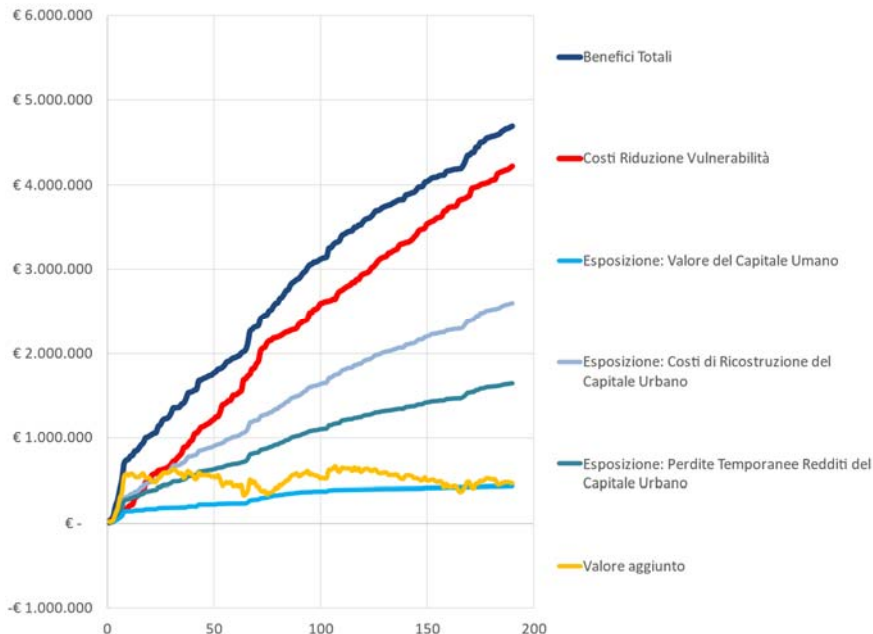


Figura 68 Rappresentazione delle funzioni del costo di riduzione della vulnerabilità, dei benefici in termini di danni evitati al capitale umano ed urbano, e delle funzioni dei costi e dei benefici complessivi.

Il grafico di Figura 68 mostra l'avanzo dei benefici totali sui costi di riduzione della vulnerabilità (Valore Aggiunto positivo) in corrispondenza dell'intero dominio (asse delle ascisse) degli edifici studiati. Questo risultato, in estrema sintesi, e per quanto riguarda i fini principali di questo studio, sottende in particolare due ipotesi sostanzialmente "espansive", cioè ottimistiche quanto a propensione alla "solidarietà spaziale" e alla "solidarietà temporale".

Questi due atteggiamenti specificano i concetti di solidarietà intra-generazionale e intergenerazionale più generali e frequenti in letteratura: la prima rivolta a comunità localizzate in un ambito esterno (sovralocale) e con riferimento a esigenze percepite

nello stesso istante; la seconda alla stessa comunità locale ma alle esigenze percepite nel futuro. Più in particolare, in questo ambito applicativo si assumono le ipotesi che seguono.

- Si intende per “solidarietà spaziale” la bassa o assente discriminazione tra beni e persone più distanti dalle vie di fuga, che sono considerate, insieme ai manufatti interferenti, di valore strategico, al punto da sostenere che l’applicazione della CLE debba riguardare l’area più strettamente funzionale alla condizione di emergenza. Di conseguenza, in caso di intervento di iniziativa pubblica volto alla riduzione della vulnerabilità, stringenti limiti finanziari inducono a includere solo gli edifici strettamente interferenti con le vie di fuga, le aree di attesa e ammassamento e gli assi di collegamento tra gli edifici strategici. La considerazione di aspetti che eccedono quelli esclusivamente funzionali sostiene, invece, l’opportunità di prendere in considerazione, almeno in sede scientifica, ipotesi meno restrittive, e non in astratto, ma proprio con riferimento agli equilibri tra i valori in gioco, qui misurati in termini monetari. L’ipotesi presentata in Figura 68, si presenta massimamente espansiva (massima solidarietà spaziale) in quanto non considera alcuna differenza tra edifici prossimi e lontani dall’asse di primo soccorso.
- Si intende per “solidarietà temporale” la predisposizione al trasferimento dei benefici presenti (investimenti nella sicurezza) nel futuro (maggiore probabilità di disporre dei servizi del capitale fisso sociale urbano da parte delle future generazioni), attribuendo quindi grande importanza alla conservazione materiale dell’edificato. Questo grado di solidarietà è misurato dalla dimensione del saggio di sconto sociale con il quale (in generale) si scontano benefici e costi futuri, e che in questo caso studio è stato utilizzato per attualizzare l’indice di rischio e i costi evitati delle perdite temporanee previste. Un più elevato saggio di sconto sociale valorizza di più il presente e viceversa.

8.1.1 *Solidarietà spaziale*

Due aspetti concorrono a definire le condizioni di solidarietà spaziale: il primo, di tipo materiale e tecnologico, riguarda i costi; il secondo, di tipo politico-decisionale, riguarda i benefici.

Quanto ai costi si è ipotizzato di implementare un fattore che amplifica i costi unitari per tenere conto delle diseconomie di scala legate alla più difficoltosa accessibilità alle U.E. più lontane dalla via Roma. In questa esemplificazione, per semplicità, si è considerato un fattore di crescita che varia linearmente in funzione della distanza.

Quanto ai benefici, si è ipotizzato di potere ridurre il valore del patrimonio esposto progressivamente, anche qui, in ragione della distanza dalle vie di fuga. Infatti, verosimilmente, in condizioni di emergenza le aree più distanti saranno frequentate da meno persone, mentre quelle più prossime alle vie di fuga e le aree di ammassamento, saranno attraversate sia dalle persone presenti sia da quelle che si riversano nelle aree sicure provenendo da quelle più distanti. Anche in questo caso il fattore di riduzione del valore del patrimonio esposto è funzione lineare della distanza.

La Figura 69 mostra in che misura per effetto dell'applicazione congiunta dei due fattori, esemplificativamente assunti dello stesso valore, le funzioni del Beneficio totale e del Costo di intervento si avvicinano fino a incrociarsi in un punto che individua la dimensione dell'intervento (135 degli edifici con valore aggiunto positivo o, al minimo, nullo) oltre il quale il valore aggiunto diventa negativo.

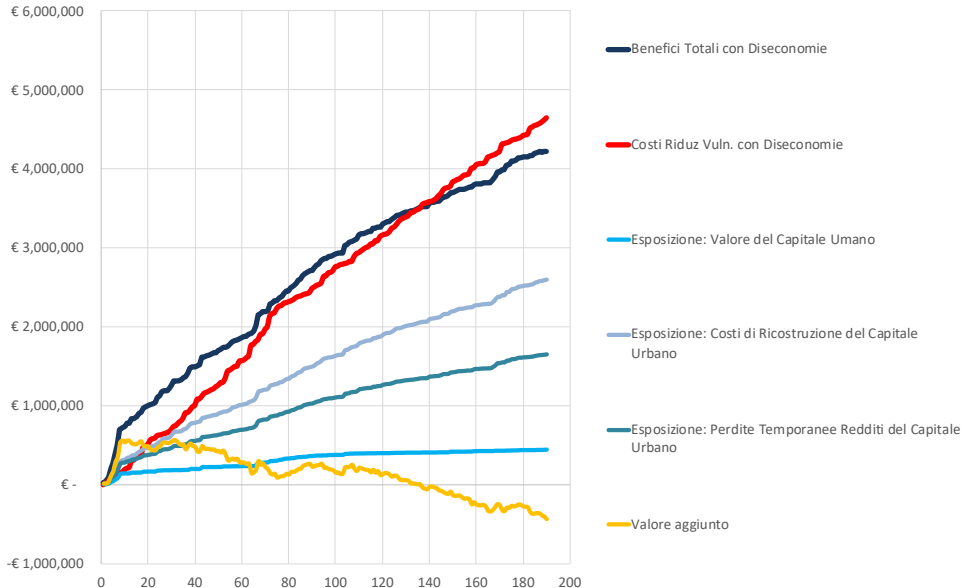


Figura 69 Confronto tra benefici e costi totali; determinazione della scala ottimale di intervento in considerazione degli effetti di una riduzione del saggio di “solidarietà spaziale”.

Questi due diversi modi di includere le aree prossime a quelle strategiche, e l'intensità di questa preferenza indica in che misura si riduce la solidarietà spaziale per effetto della considerazione di queste due forme di "diseconomie di posizione"; i valori sull'asse delle ascisse indicano l'intensità del progressivo incremento dei costi e decremento dei benefici in ragione della distanza: da 0 a 1 i costi raddoppiano e i benefici si dimezzano a svantaggio dell'edificio più lontano Figura 70.

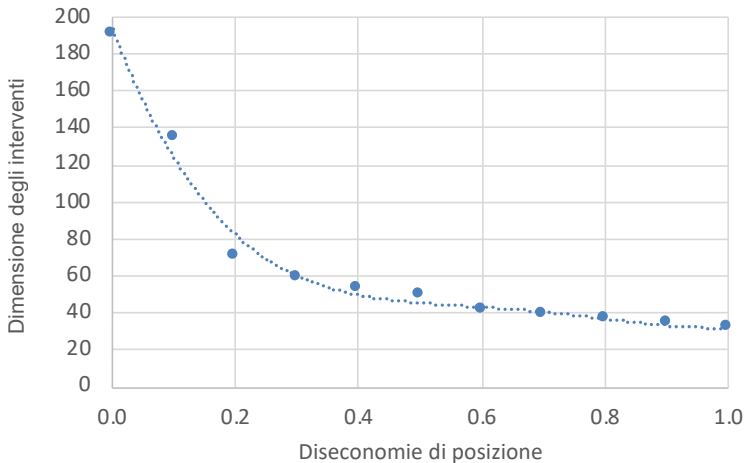


Figura 70 Progressiva riduzione dell'area di intervento per effetto della maggiore considerazione delle "diseconomie di posizione"

8.1.2 *Solidarietà temporale*

Il grado di "solidarietà temporale", come detto, varia in ragione del saggio di sconto, con cui si è calcolato il Fattore di probabilità (Fp) utilizzato per attualizzare il valore dell'esposizione. Anche in questo caso è possibile rappresentare con due grafici l'impatto dell'incremento del saggio di sconto sulla scelta della dimensione ottimale dell'intervento.

Il grafico di Figura 71 mostra che per un incremento del saggio di sconto di 0.25 punti percentuali, la dimensione ottimale passa da 190 a 158 U.E. per effetto della sola flessione della funzione dei Benefici Totali e di conseguenza del Valore Aggiunto.

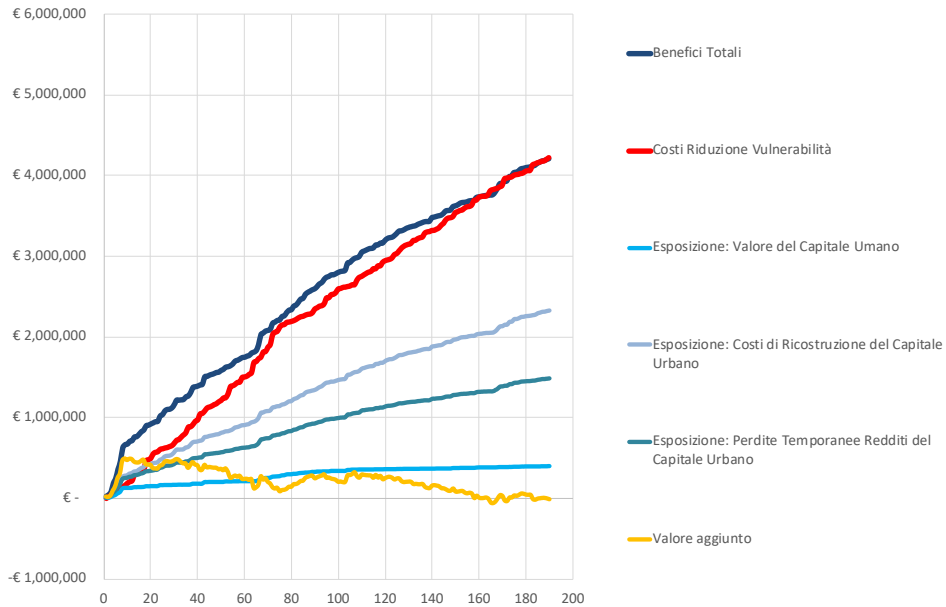


Figura 71 Confronto tra benefici e costi totali; determinazione della scala ottimale di intervento, in considerazione degli effetti di un incremento del saggio di solidarietà temporale (saggio di sconto sociale).

Inoltre, al variare progressivo del saggio di sconto e al netto della forma frastagliata della funzione del Valore Aggiunto – dovuta alla eterogeneità dimensionale, di vulnerabilità, materica, di stato di conservazione, di valore immobiliare, demografica del patrimonio esposto – è possibile apprezzare il significato di questa relazione. La forte variabilità della pendenza (Figura 72) lascia intravedere ampie possibilità interpretative dal punto di vista della responsabilità tanto tecno-scientifica quanto politico-economica circa le decisioni che riguardano l'implementazione di misure proattive in materia di protezione del patrimonio architettonico-urbanistico e sociale.

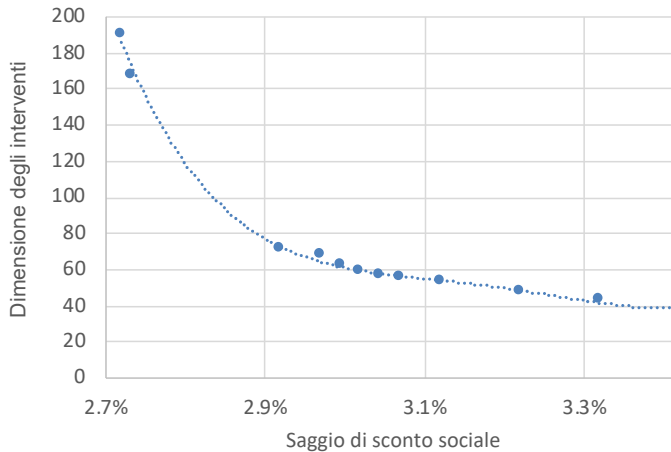


Figura 72 Progressiva riduzione dell’area di intervento per effetto dell’incremento del saggio di solidarietà temporale (saggio di sconto sociale).

8.2 Conclusioni

Quest’ultima considerazione consente di ripercorrere l’intero itinerario conoscitivo, valutativo e progettuale fin qui sperimentato.

Proprio il coinvolgimento del saggio di sconto sociale e quindi la combinazione tra solidarietà spaziale e temporale, svelano in che senso e in che misura le principali motivazioni dell’inazione nel fronteggiare la minaccia ambientale risiedono proprio nelle tante fonti di incertezza di questa materia, in particolare, circa l’effettiva possibilità che l’evento calamitoso possa verificarsi, quando ciò potrebbe accadere, che possa davvero provocare danni significativi, che le misure di prevenzione siano davvero in grado di evitarli, a chi spetti occuparsene, quali siano effettivamente i beni e i soggetti interessati dai possibili effetti dell’evento, quali siano le dimensioni efficienti ed efficaci di questi interventi etc.

Questo consistente, e in certa misura comprensibile, insieme di perplessità, responsabilizza il settore della ricerca quanto alla necessità di collegare in maniera robusta le elaborazioni delle scienze naturali e delle scienze sociali in modo da evitare che ampi margini dell’incertezza epistemica, e i ricorrenti malintesi sul significato di valore e sulle sue misure, legittimino “le mani libere” dei percorsi progettuali rivolti all’architettura e alla città, e dei processi decisionali rivolti alla società e alle comunità specie nel campo della gestione del rischio territoriale e

ambientale e quindi dell'azione di tutela, valorizzazione e trasmissione del patrimonio costruito, e di protezione delle persone e delle comunità insediate.

Questa esperienza ha coinvolto le conoscenze, le metodologie e le tecniche proprie delle discipline del Restauro, della Scienza delle costruzioni e della Valutazione economico-estimativa, convergenti nella formazione di un modello numerico di analisi, valutazione e progetto volto al dimensionamento di un programma di interventi di riduzione del rischio sismico in un contesto architettonico-urbano di rilevante pregio storico-artistico e consistente presenza turistica.

La coesistenza di queste due circostanze ha richiesto un'interpretazione di questo patrimonio che consentisse di confrontare in termini di valore, le azioni di riduzione del rischio (valore dell'investimento nella mitigazione della vulnerabilità del patrimonio edilizio) con gli esiti attesi (i benefici in termini di valore del danno evitato alle due forme del capitale, urbano e umano, che ne possono essere interessate).

L'aver scelto la valutazione quantitativo-monetaria ha semplificato l'intero spettro delle capacità di valere del contesto studiato, porzione di un centro storico complesso, stratificato e oggetto di numerosi interessi, culturali, economici, politico-territoriali, sede di importanti istituzioni e protagonista di trasformazioni che promettono avere effetti di trascinamento nel progresso dell'intera città.

Avere considerato la dipendenza esplicita delle variabili monetarie dai parametri affetti da incertezza ha fornito un importante riferimento quantitativo rispetto al quale potere argomentare, producendo alternative e verificandole attraverso analisi di scenario e di sensibilità.

La valutazione qualitativa multidimensionale che può occupare lo spazio di una nuova e ancor più estesa ricerca può solo aggiungere argomentazioni a supporto dell'implementazione di politiche territoriali urbane proattive, anche qualora le valenze artistiche, architettoniche e paesaggistiche si rappresentassero, a loro volta, in valori monetari attraverso l'impiego delle tecniche di simulazione dei mercati potenziali in accordo alla "valutazione di contingenza".

Quanto agli aspetti concettuali, metodologici e operativi, la ricerca ha impiegato modelli ed esperienze presenti in letteratura volti a rappresentare:

- nell'ambito del Restauro e della sicurezza strutturale in zona sismica, il grado di vulnerabilità dei manufatti edilizi in aggregato e singoli adottando

tre livelli di analisi riferiti all'Aggregato Edilizio, all'Unità Edilizia ed all'Unità di Facciata;

- nell'ambito della Valutazione economico-estimativa, la formazione di modelli di programmazione degli interventi di riduzione della vulnerabilità "cost-based".

Il riferimento a un contesto edilizio-urbano di pregio architettonico, immobiliare e turistico ha esteso la domanda di ricerca alla valutazione della esposizione in termini del valore del capitale urbano e del capitale umano.

I modi per misurare questi valori sono articolati ma anche consolidati soprattutto nel campo del capitale urbano dal punto di vista edilizio (i costi di produzione e/o riqualificazione-ricostruzione) e immobiliare (le relazioni tra l'insieme delle caratteristiche di localizzazione, intrinseche, tecnologiche, produttive e architettoniche ed infine i prezzi osservati sul mercato di riferimento). Molto meno offre la letteratura nel campo della valutazione del capitale umano, una branca di più recente formazione e di rado rivolta a questo contesto applicativo, relativamente al quale la presente ricerca aggiunge aspetti di innovazione.

Un ulteriore e ancor più rilevante aspetto innovativo riguarda l'uso della pericolosità nella valutazione dei benefici, quindi nella attualizzazione del valore dei patrimoni esposti. Infatti, avendo definito i benefici come il valore del danno evitato con l'implementazione degli interventi di riduzione del rischio sismico, è necessario contrapporre ai costi non certo il valore nominale, ma quello attualizzato a mezzo di un Fattore di probabilità, inedito in letteratura, qui calcolato dalla convergenza di aspetti specialistici di ingegneria sismica e di valutazione economica degli investimenti pubblici. Ciò ha consentito di estendere la portata dell'analisi e valutazione degli interventi dalla sfera tecnico-economica a quella politico-decisionale. Sfere che il modello proposto ha l'ambizione di tenere insieme in un unico strumento di programmazione capace di produrre e valutare strategie di intervento alternative, diverse quanto a intensità ed estensione degli interventi e alla luce di ipotesi diverse in merito al grado di solidarietà inter e intra-generazionale.

Bibliografia

ANCE/CRESME, *Lo stato del territorio italiano*, Rapporto 2012, Roma, 2012.

Athmani A., Gouasmia A., Ferreira T., Vicente R., *Earthquake Vulnerability and Repair Cost Estimation of Masonary Buildings in the Old City Center of Annaba, Algeria*, International Journal of Civil, Structural, Construction and Architectural Engineering, Vol.9 (6), 2015.

Barbat A.H, Carreño M.L., Pujades L.G., Lantada N., Cardona O.D and Marulada M.C., *Seismic vulnerability and risk evaluation methods for urban areas. A review with application to a pilot area*, Structure and Infrastructure Engineering, Vol. 6 (1-2), pp. 17-38, 2010.

Beck U., *La società del rischio. Verso una seconda modernità*, Carocci, Roma, 2001.

Becker G.S., *Il capitale umano*, traduzione italiana di Staiano M., Laterza, Roma-Bari, 2009.

Bernardini A., *Finalità, definizione e misura della vulnerabilità sismica di singoli edifici e di tipologie murarie. Problemi di coerenza tra osservazioni e previsioni*, Rapporto al seminario GNDT sulla Vulnerabilità edilizia muraria, Roma, 1996.

Bommer J.J., *Uncertainty about the uncertainty in seismic hazard analysis*, Engineering Geology, Vol. 70 (1-2), pp.165-168, 2003.

Cacace F., Zuccaro G., De Gregorio D., Perelli F.L., *Building Inventory at National scale by evaluation of seismic vulnerability classes distribution based on Census data analysis: BINC procedure*, International Journal of Disaster Risk Reduction, Vol. 28, pp. 384-393, 2018.

Camagni R., *Economia urbana. Principi e modelli teorici*, La Nuova Italia Scientifica, Roma, 1992.

Cardona O.D., Hurtado J.E., *Holistic seismic risk estimation of metropolitan center, 12th World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand, 2000*.

Carnelli F., Ventura S., (a cura di), *Oltre il rischio sismico- Valutare, comunicare e decidere*, Carocci, Roma, 2015.

Carocci C.F., *Conservazione del tessuto murario e mitigazione della vulnerabilità sismica. Introduzione allo studio degli edifici in aggregato*, in Blasi, C., (a cura di),

Architettura storica e terremoti. Protocolli operativi per la conoscenza e la tutela, Italia, Wolters Kluwer, pp.138-153, 2013

Carocci C.F., Copani P., Marchetti L., Tocci C., *Vulnerability reduction procedures in ordinary urban management, in The Urban Building Code of Faenza, Smart Built, 2014.*

Carrenõ M.L., Cardona O.D., and Barbat A.H., *A disaster risk management performance index, Natural Hazards, Vol. 41, pp.1-20, 2007.*

Carrenõ M.L., Cardona O.D., and Barbat A.H., *Urban Seismic Risk Evaluation: A Holistic Approach, Natural Hazards, Vol. 40, pp. 137-172, 2007.*

Carta dei diritti fondamentali dell'unione Europea, in Gazzetta Ufficiale delle Comunità europee, Nizza, 2000. https://www.europarl.europa.eu/charter/pdf/text_it.pdf

Cipollone P., *Sestito P., Il capitale umano, il Mulino, Bologna, 2020.*

Circolare applicativa norme tecniche per le costruzioni, Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, 21 gennaio 2019, N.7.

Comune di Siracusa, *Piano Particolareggiato Ortigia, approvato il 27/03/1990 (Decreto assessoriale n. 286/90).*

CONSEIL DE L'EUROPE, *Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, Volume 15, European Macroseismic Scale 1998, Editor G. GRÜNTAL, Luxembourg, 1998.*

Cornell C. A., *Engineering Seismic Risk Analysis, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 58, pp. 1583-1606, 1968.*

D'Ayala D., Spence R., Oliveira C.S., Pomonis A., *Earthquake loss estimation for Europe's historic town centres, Earthquake Spectra, Vol.13 (4), pp. 773-793, 1997.*

D'Ayala D., Speranza E., *An integrated procedure for the assessment of seismic vulnerability of historic buildings, in Processing of the 12th World Conference on Earthquake Engineering (WCEE), 2002.*

D'Eramo M., *Il selfie del mondo- Indagine sull'età del turismo, Feltrinelli, Milano, 2017.*

Davidson R, *A multidisciplinary urban earthquake disaster risk index., Earthquake Spectra, Vol. 13, pp. 211-223, 1997.*

De Medici S., Riganti P., Viola S., *Circular Economy, and the Role of Universities in Urban Regeneration: The Case of Ortigia, Syracuse, Sustainability, Vol. 10 (11),*

2018.

Di Sopra L., <<Modello Friuli>> *La risposta al terremoto del 1976*, Edizione Biblioteca dell'Immagine, Pordenone, 2016.

Dolce M., Di Pasquale G., Speranza E., *A multipurpose method for seismic vulnerability assessment of urban areas*, In Proceedings of the 15th World Conference on Earthquake Engineering (WCEE), Lisbona, 2012.

Douglas M., *Come percepiamo il pericolo. Antropologia del rischio*, Feltrinelli, 1991.

Douglas M., *Rischio e colpa*, Il Mulino, 1992.

Durigon M., *Effetti economici dei terremoti in Italia: un'analisi quantitativa*. Tesi di Laurea Magistrale in Economia degli scambi internazionali. Venezia: Università Ca' Foscari, 2012.

Duzgun H.S.B., Yucemen M. S. Kalaycioglu H. S., Celik K., Kemec S., Ertugay K., Deniz A., *An integrated earthquake vulnerability assessment framework for urban areas*, Natural Hazard, Vol.59, Fasc. 2, 2011.

Eisner, R. *The Total Income System in Accounts*, University of Chicago, Chicago, 1989.

Engel E., *Der Werth Des Menschen*, Berlin Verlag von Leonard Simion, Berlin, 1883.

European Seismic Commission Working Group on Macrosismic Scales. European macroseismic scale. EMS-98, <http://www.gfz-postdam.de/pb5/pb53/projekt/ems/eng/index_eng.html>.

Fazio F., *La Giudecca di Siracusa. Aspetti di storia urbana tra il XII e XVII secolo*, in Archivio storico Siracusano, serie IV, Vol. II, pp. 265-297, 2010.

Forte, C., *Elementi di estimo urbano*, Etas Kompass, Milano, 1968.

Fraumeni B.M., *Human Capital Accounts: Choice of Rates and Construction of Volume Indices*, Working paper 16865, National Bureau of Economic Research, Cambridge, USA, 2011.

Gagliano F., Giuffrida S., Tocci C., *La condizione limite per l'emergenza nei centri storici*, Assiologia della vulnerabilità sismica e progettualità, in Società Italiana di Estimo e Valutazione, n.15, 2015.

Gavarini C., *Rischio sismico e danneggiamento*, in Atti del 5° Convegno

“L’ingegneria sismica in Italia”, Palermo, 1991.

Gavrilovic P., *Stima del rischio sismico e misura per la riduzione delle conseguenze dei terremoti in zone urbane*, in Atti del Convegno “Ricostruzione e protezione civile”, 1984.

Gerundo R., Fasolino I., *Sicurezza Territoriale ed efficienza urbanistica*, Edizione Scientifica Italiane, Napoli, 2010.

Gini C., *L’ammontare e la Composizione Della Ricchezza Delle Nazioni*, UTET, Torino, 1962.

Giovanazzi S., *Vulnerability assessment and the damage scenario in seismic risk analysis*, PhD thesis, Department of Civil Engineering and Technology, University of Carlo-Wilhelmina at Braunschweig and Department of Civil Engineering, University of Florence, Italy, 2005.

Giuffrè A., *Lettura sulla Meccanica delle murature storiche*, Edizioni Kappa, Roma, 1991.

Giuffrè A., (a cura di), *Sicurezza e Conservazione dei Centri Storici Il caso Ortigia*, Editore Laterza, Bari, 1993.

Giuffrè A., *A Mechanical Model for Statics and Dynamics of Historical Masonry Buildings*, in Petrini V., Save M. (eds) *Protection of the Architectural Heritage Against Earthquakes*. International Centre for Mechanical Sciences (Courses and Lectures), vol 359, Springer, Vienna, 1996.

Giuffrè A., Carocci C., *Codice di pratica per la sicurezza e la conservazione del centro storico di Palermo*, Laterza, Bari, 1999.

Giuffrida, S.; Marchetti, L.; Nonni, E.; Tocci, C., *Il valore della prevenzione del danno sismico nella città storica. Il danno*, in *Elementi giuridici, urbanistici e economico-estimativi*, pp 201-226, 2015.

Giuffrida S., Trovato M.R., Circo C., Ventura V., Giuffrè M., Macca V., *Seismic Vulnerability and Old Towns. A Cost-Based Programming Model*, *Geosciences*, Vol. 9 (10), 2019.

Giuffrida S., Carocci C., Circo C., Giuffrè M., Ventura V., *Axiological Strategies in the Old Towns Seismic Vulnerability Mitigation Planning*, *Journal valori e valutazioni*, n.°25-2020.

Giuffrida S., Trovato M.R., Strigari A., Napoli G., *“Houses for one euro” and the territory. Some estimation issues for the “geographic debt” reduction*, in Bevilacqua C. et alii., *New Metropolitan Perspectives*. NMP 2020. Smart Innovation, Systems

and Technologies, vol 178, pp. 1043-1052, Springer, 2021.

Grigoratos I., Dabeek J., Faravelli M., Di Meo A., Cerchiello V., Borzi B., Monteiro R., Ceresa P., *Development of a Fragility and Exposure Model for Palestine-Application to The City of Nablus*, Procedia Engineering, Vol.161, 2016.

Guettiche A., Guèguen P., Mimoune M., *Economic and Human Loss Empirical Models for Earthquakes in the Mediterranean Region, with Particular Focus on Algeria*, International Journal of Disaster Risk Science, Vol. 8, pp.415-434, 2017.

Guidoboni E., Valentini G., *Il peso economico e sociale dei disastri sismici in Italia negli ultimi 150 anni*, Bononia University Press, Bologna, 2011.

HAZUS 99, *Estimated annualised earthquake losses for the United States. Federal Emergency Management Agency (FEMA)*, Washington, USA, 2000.

Hosseini A.K., Hosseini M., Jafari M.K. and Hosseinioon S., *Recognition of Vulnerable Urban Fabrics in Earthquake Zones: A case Study of the Tehran Metropolitan Area*, JSEE, Vol. 10 (4), 2009.

ISTAT, *Il Valore Monetario Dello Stock di Capitale Umano in Italia – Anni 1998-2008*, Stealth, 2014.

Jorgenson D.W., Fraumeni B., *The accumulation of Human and non-human capital 1948–1984*, in Lipsey R.E., Tice H.S., *The Measurement of Savings, Investment and Wealth*, University of Chicago Press, Chicago, 1989.

Jorgenson D.W., Fraumeni B., *The output of education sector*, in Griliches Z., *Output Measuring in the Services Sector*, University of Chicago Press, Chicago, 1992.

Kendrick, J.W., *The accounting treatment of human investment and capital, The review of income wealth*, Vol. 20, pp.469–482, 1974.

Kundak S., *Economic loss estimation for earthquake in Istanbul*, 44th European Congress of the European Regional Science Association, 2004.

Lucchese F., Ghirardo E., Festa M., *Sisma: un'analisi del "rischio economico" nell'ottica della prevenzione*, Territorio Italiano, 2019.

Luhmann N., *Sistemi Sociali*, Franco Angeli, Milano, 1990.

Luhmann N., *Sociologia del rischio*, Armando, Roma, 2013.

Lupton D., *Il rischio. Percezione, simboli, culture*, il Mulino, Bologna, 2013.

Marshall A., *Principles of Economics*, Macmillan, New York, 1922.

Merchler R., *Cost-benefit Analysis of Natural Disaster Risk Management in Developing Countries*, GTZ- German Society for Technical Cooperation, Eschborn, 2005.

Mincer J., *Investment in Human Capital and Personal Income Distribution*, The Journal of Political Economy, Vol. 66, pp. 281-302, 1958.

Motamed H., Khazai B., Ghafory-Ashtiany M., Amini-Hosseini K., *An automated model for optimizing budget allocation in earthquake mitigation scenarios*, Natural Hazards, Vol. 70 (1), 2014.

Napoli G., Giuffrida S., Trovato M.R., Valenti A., *Cap Rate as the Interpretative Variable of the Urban Real Estate Capital Asset: A Comparison of Different Sub-Market Definitions in Palermo*, Buildings, Vol. 7(3), 2017.

OCSE. *Building Human capital accounts for the purpose of international comparisons: A project proposal*, in Proceedings of the OCSE Committee on Statistical Meeting, 2009.

OECD, *Human capital investment: an international comparison*, OECD, Parigi, 1998.

OECD, *Special focus: Measuring leisure*, in Society at Glance 2009, OECD Social Indicators; cap.2, OECD, Parigi, 2009.

Petty W., *Aritmetica Politica*, Liguori Editore, Napoli, 1986.

Polese M., Di Ludovico M., Marcolini M., Prota A., Manfredi G., *Assessing reparability: simple tools for estimation of costs and performance loss of earthquakedamage reinforced concrete buildings*, Earthquake Engineering & Structural Dynamics, Vol. 44 (10), 2014.

Polese M., *Un approccio a Doppio Livello per la valutazione della Vulnerabilità Sismica delle Strutture in C.A.*, Tesi di dottorato in Ingegneria delle strutture-XV Ciclo, Relatore: G. Manfredi, Università degli studi Federico II- Facoltà di Ingegneria, 2002

Postpischl D. (ed), *Atlas of isoseismal maps of Italian earthquakes*, Quaderni della Ricerca Scientifica, 114(2A), 1980.

Radius, Risk assessment tools for diagnosis of urban areas against seismic disasters report, 1999, http://www.geohaz.org/contents/publications/RADIUS_Risk_Assessment.pdf

Regio Decreto n. 193 del 18 Aprile 1909 (G.U. n. 95 del 22 Aprile 1909) “*Norme tecniche ed igieniche obbligatorie per le riparazioni ricostruzioni e nuove costruzioni degli edifici pubblici e privati nei luoghi colpiti dal terremoto del 28 dicembre 1908 e da altri precedenti elencati nel R.D. 15 aprile 1909 e ne designa i Comuni.*”

Resciniti R., *Economics and marketing of leisure time*, in Profiles and Prosepectives of an Emerging Industry; Philips Morris Marketing Award; FrancoAngeli, Milano, 2002.

RISK-UE, *An advanced approach to earthquake risk scenarios with applications to different European towns*. RISK-UE Project, ICC/CIMNE, WP08, Application to Barcelona, 2004.

Rizzo F., *Dalla rivoluzione keynesiana alla nuova economia. Dis.equilibrio, trasinformazione e co-efficiente di capitalizzazione*, FrancoAngeli, Milano, 2002.

Rizzo F., *Economia del patrimonio architettonico ambientale*, FrancoAngeli, Milano, 1992.

Rizzo F., *Valore e valutazioni. La scienza dell'economia o l'economia della scienza*, FrancoAngeli, Milano, 1999.

Rizzo F., *Il capitale sociale della città*, FrancoAngeli, Milano, 2003.

Samuelson P., Nordhaus W., Bollino C., *Economia*, McGraw Hill, 2019.

Sandi H., *Vulnerability and Risk analysis for individual structures and systems*, in Proceedings of 8° ECEE, Lisbon, 1986.

Scalora G., Monti G., *La conservazione dei centri storici in zona sismica*, Academia Universa Press, Milano, 2010.

Schultz T.W., Investment in human capital, The American Economic Review, Vol. 51, pp. 1-17, 1961.

Schumacher I., Strobl E., *Economic development and losses due to natural disaster: The role of hazard exposure*, Ecological Economics, Vol. 72, 2011.

Semi G., *Gentrification. Tutte le città come Disneyland?*, il Mulino, Bologna, 2015.

Slejko D. (a cura di), *Pericolosità sismica del territorio nazionale*, Documento per il coordinamento della Protezione Civile, Roma, 1996.

Smith A., *Ricchezza delle Nazioni* (Original Title: An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations, 1776), UTET, Torino, 1948.

Stucchi M., Camassi R., Rovida A., Locati M., Ercolani E., Meletti C., Migliavacca P., Bernardini F., Azzaro R., *DBMI04 Il database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico CPTI04*, Quaderni di Geofisica, n.49, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, 2007.

Tiendemann H., *Earthquake and Volcanic Eruptions*, A Handbook on Risk Assment, Swiss Reinsurance Company, Zurich, 1992.

Tocci C., *Vulnerabilità sismica e scenari di danno: analisi speditiva delle catene di danno*, in Blasi C., (a cura di) *Architettura storica e terremoti. Protocolli operative per la conoscenza e la tutela*, pp.113-119, Wolkers Kluwer, Lucca, 2014.

Trovato M.R., *Human Capital Approach in the Economic Assessment of Interventions for the Reduction of Seismic Vulnerability in Historic*, Sustainability, Vol. 12 (19), 2020.

Wei H., Shohet I.M., Skibniewski M.J., Shapira S., Levy R., Levi T., Salamon A., Zohar M., *Assessment of casualty and economic losses from earthquakes Using Semi-empirical Model*, Vol. 123, pp. 599-605, Procedia Engineering 2015.

Wells D., Coppersmith K., *New Empirical Relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement*, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.84 (4), pp.974-1002, 1994.

Wieland M., Pittore M., Parolai S., Begaliev U., Yasunov P., Tyagunov S., Moldobekov B., Saidiy S., Ilyasov I., Abakanov T., *A Multiscale Exposure Model for Seismic Risk Assessment in Central Asia*, Seismological Research Letters, Vol. 86 (1), pp. 210-222, 2015.

Yong C., Ling C., Güendel F., Kulhánek O., Juan L., *Seismic Hazard and Loss Estimation for Central America, Natural Hazards*, Vol.25 (2), pp. 161-175, 2002.

Zuccaro G., Cacace F., *Seismic Casualty Evaluation: The Italian Model, an application to the L'Aquila 2009 Event*, in Spence R. et alii, *Human casualties in earthquakes*, pp.171-184, Springer, 2011

Zuccaro G., Cacace F., *Seismic vulnerability assessment based on typological characteristics. The first level procedure "SAVE"*, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol. 69, pp. 262-269, 2015.

Lista delle figure

Figura 1 Mappa della pericolosità sismica del territorio italiano con valori in PGA (sx) e in MCS (dx) (fonte: Slejko, 1996).	16
Figura 2 Confronto tra vecchia (sx) e nuova (dx) classificazione del territorio italiano (fonte: DMLP 14/07/1984 e OPCM 3274, 2003).	18
Figura 3 Curve di fragilità di un edificio (Fonte: Polese, 2002).	21
Figura 4 Generica matrice di probabilità del danno.....	23
Figura 5 Tavola di vulnerabilità della scala EMS-1998 (fonte: EMS 98, Scala Macrosismica Europea).	25
Figura 6 Livelli di danno previsti dalla scala EMS 98 per edifici in muratura (fonte: EMS 98, Scala Macrosismica Europea).....	25
Figura 7 Classificazione del danno agli edifici in cemento armato della scala EMS-1998 (fonte: EMS 98, Scala Macrosismica Europea).	26
Figura 8 Quadro concettuale del rischio sismico di disastri sismici (fonte: Davidson, 1997).....	32
Figura 9 Variabilità dell'indice EDRI per effetto del tipo di riparametrazione (fonte: Davidson & Shah, 1997).	34
Figura 10 Valori indice EDRI e dei singoli fattori con ridimensionamento tipo e (fonte: Davidson & Shah, 1997).	34
Figura 11 Possibile scelta di descrittori e pesi da tenere in conto per il calcolo dell'indice di rischio totale (fonte: Cardona & Hurtado, 2000).	36
Figura 12 Rischio <i>hard</i> e <i>soft</i> (sx) e totale (dx) dei distretti di Bogotá (fonte: Cardona & Hurtado, 2000).....	37
Figura 13 Possibili descrittori di rischio fisico (sx) e fattori indiretti (dx) (fonte: Carreño et alii, 2007).	38
Figura 14 Funzioni di trasformazione per i descrittori di rischio fisico (fonte: Carreño et alii, 2007).	38
Figura 15 Funzioni di trasformazione per i descrittori di fragilità socio-economica (fonte: Carreño et alii, 2007).....	39
Figura 16 Funzioni di trasformazione per i descrittori di carenza di resilienza (fonte: Carreño et alii, 2007).....	39
Figura 17 Pesi impiegati per i vari descrittori (fonte: Carreño et alii, 2007).	40
Figura 18 Indice di rischio complessivo per i distretti di Bogotá (fonte: Carreño et alii, 2007).	40
Figura 19 L'epoca di costruzione degli edifici ad uso prevalentemente residenziale in Italia (fonte: Elaborazione e stima CRESME su dati ISTAT).	41
Figura 20 Edifici ad uso abitativo per epoca di costruzione e stato di conservazione fino al 2011 (fonte: ISTAT).....	42
Figura 21 Mappa delle Provincie ad elevato rischio sismico (zona 1- zona 2A- zona 2B) (fonte: Elaborazione e stima CRESME su dati ISTAT).	43

Figura 22 Mappa delle Provincie a elevato rischio sismico- Edilizia residenziale (fonte: Elaborazione e stima CRESME su dati ISTAT).....	44
Figura 23 Schema generale del processo di analisi, valutazione e progetto.	47
Figura 24 Sintesi dei risultati dell'indagine di mercato.....	59
Figura 25 La parete muraria come assemblaggio di elementi lapidei (sx) e il tessuto come assemblaggio di case (dx).	70
Figura 26 Effetti del terremoto del 2009; crollo del timpano di facciata della chiesa della madonna dei Raccomandati a San Demetrio de' Vestini (sx); crollo totale dell'Hotel Duca degli Abruzzi a L'Aquila (dx).....	71
Figura 27 Schemi esemplificativi del meccanismo di primo modo (sx) e ribaltamento della facciata laterale della cattedrale di Sant'Angelo dei Lombardi colpita dal terremoto del 1980 (dx).	72
Figura 28 Schemi esemplificativi del meccanismo di secondo modo (sx) e danni nel piano della parete di facciata (lesioni diagonali) di una chiesa del Friuli colpita dal terremoto del 1976 (dx)..	73
Figura 29 Schemi esemplificativi di trasformazioni che introducono vulnerabilità nell'organismo murario.....	75
Figura 30 Posizione della cellula nel tessuto aggregato e meccanismi di danno correlati.	75
Figura 31 Cellule murarie in aggregato: accostamenti murari in assenza e in presenza di elementi di connessione (morse di attesa).	76
Figura 32 Abaco delle tessiture murarie di Ortigia ordinate per efficacia meccanica decrescente (fonte: Giuffrè,1993).	79
Figura 33 Abaco della disposizione delle orditure lignee di copertura in relazione alla posizione della cellula muraria nel tessuto edilizio (fonte: Giuffrè,1993).	79
Figura 34 Andamento demografico in Ortigia.	83
Figura 35 Terremoti con intensità superiore a 4 susseguitesi dal 1110 al 2010 a Siracusa (fonte: DBM15).....	88
Figura 36 Mappa delle isosisme relative al terremoto del 1693 con epicentro in Val di Noto	89
Figura 37 Classificazione sismica del territorio siciliano.	90
Figura 38 – Relazione tra intensità sismica e Tempo di ritorno.....	92
Figura 39 Andamento del Periodo di Ritorno in funzione dell'Indice di rischio.....	94
Figura 40 Andamento della Probabilità di superamento in funzione della Vita nominale per IR=0,295	
Figura 41 Andamento della Probabilità di superamento in funzione della Vita nominale per IR=0,595	
Figura 42 Andamento di PVn in funzione della Vita nominale in corrispondenza di diversi indici di rischio	96
Figura 43 Andamento dei diversi rapporti tra IR di progetto e IR0,2 in funzione della Vita nominale	96
Figura 44 Identificazione delle Unità di Facciata.	100
Figura 45 Configurazioni base e variate per una parete a due piani	101

Figura 46 Carta di riferimento del P.P.O. con individuazione della fascia lungo mare di Levante-Ponente oggetto di redazione della nuova carta base	114
Figura 47 Stralcio aerofotogrammetrico di Ortigia estrapolato dal P.P.O.	115
Figura 48 Stralcio della carta base elaborata come risultato della sovrapposizione del rilievo murario del Piano Pagnano all'aerofotogrammetria (Figura 47) e dell'aggiornamento eseguito mediante il confronto con Google Earth.	115
Figura 49 Stralcio della carta d'identificazione degli aggregati.	118
Figura 50 Sopraelevazioni in Ortigia (fonte: Giuffrè,1993).	120
Figura 51 Esempificazione fotografica degli elementi localizzati sulla mappa delle vulnerabilità e resistenze: corpi svettanti (sx), sopraelevazioni parziali (dx).....	121
Figura 52 Esempificazione degli elementi localizzati sulla mappa delle vulnerabilità e resistenze: disallineamento delle aperture in facciata (sx), allargamento apertura al piano terra (cent), disallineamento degli orizzontamenti (dx).....	122
Figura 53 Esempificazione fotografica degli elementi localizzati sulla mappa delle vulnerabilità e resistenze: incatenamenti solai intermedi (sx), incatenamenti sulle orditure di copertura (dx).	122
Figura 54 Stralcio della carta delle vulnerabilità e resistenze.....	123
Figura 55 Pianta degli isolati con le U.E. (sx), foto aerea degli isolati (dx).	124
Figura 56 Casa terranea su due elevazioni nel quartiere della Giudecca (sx). Casa terranea su due elevazioni fuori terra(dx) (fonte: Giuffrè, 1993).....	129
Figura 57 Casa a schiera (ISO.60) con fronte strada a tre aperture(sx) e con due aperture(dx).....	129
Figura 58 Palazzo (ISO. 61) ad angolo con via Maestranza e via della Giudecca (sx). Palazzo con corte (ISO. 61) con doppio affaccio su via Maestranza e vicolo dell'Ulivo (dx).....	130
Figura 59 Case in linea (ISO. 85).	130
Figura 60 Distribuzione dell'indice di vulnerabilità con in evidenza i valori minimo, massimo e i quartili.....	132
Figura 61 Mappa degli indici di rischio.....	132
Figura 62 Distribuzione dei costi totali di intervento tra le UE del campione con l'indicazione dei valori minimo, massimo e dei quartili.....	133
Figura 63 Mappatura del costo complessivo degli interventi nell'intero contesto urbano studiato in considerazione dell'estensione dell'intervento e della completezza delle opere.	134
Figura 64 Osservazioni mercato immobiliare segmento residenziale nei quartieri di Ortigia (prezzi in €/mq).....	136
Figura 65 Osservazioni mercato immobiliare segmento residenziale nei quartieri di Ortigia (prezzi in €/vano).....	137
Figura 66 Confronto tra le distribuzioni del valore immobiliare (sx) e totale di valore immobiliare e costo di ricostruzione del capitale immobiliare esposto (dx).	138
Figura 67 Distribuzione del costo di ricostruzione del patrimonio edilizio esposto.	139

- Figura 68** Rappresentazione delle funzioni del costo di riduzione della vulnerabilità, dei benefici in termini di danni evitati al capitale umano ed urbano, e delle funzioni dei costi e dei benefici complessivi. 144
- Figura 69** Confronto tra benefici e costi totali; determinazione della scala ottimale di intervento in considerazione degli effetti di una riduzione del saggio di “solidarietà spaziale” 146
- Figura 70** Progressiva riduzione dell’area di intervento per effetto della maggiore considerazione delle “diseconomie di posizione” 147
- Figura 71** Confronto tra benefici e costi totali; determinazione della scala ottimale di intervento, in considerazione degli effetti di un incremento del saggio di solidarietà temporale (saggio di sconto sociale). 148
- Figura 72** Progressiva riduzione dell’area di intervento per effetto dell’incremento del saggio di solidarietà temporale (saggio di sconto sociale)..... 149

Lista delle tabelle

Tabella 1 Classi di danno della scala MSK.....	22
Tabella 2 Valore complessivo pro capite dello stock di capitale umano per genere - Anno 2008 (fonte: Istat, 2014).....	65
Tabella 3 Valore complessivo pro capite dello stock di capitale umano nelle attività non di mercato per genere. Anno 2008 (fonte: ISTAT).....	67
Tabella 4 Sintesi terremoti più rilevanti in Sicilia.	87
Tabella 5 Classificazione zone sismiche.....	90
Tabella 6 Misure della Probabilità di eccedenza in funzione del Periodo di ritorno (in alto) e dell'Indice di rischio (in basso) per diversi valori della vita nominale.....	97
Tabella 7 Indice di probabilità dell'evento sismico in ragione del Periodo di ritorno e del saggio di sconto.....	98
Tabella 8 Variazione di F_p al variare del saggio di sconto e della Vita nominale	98
Tabella 9 Lavorazioni elementari per categorie di opere.....	104
Tabella 10 Individuazione dei Livelli di Completezza: indice di attivazione delle tipologie di intervento.....	105
Tabella 11 Quotazioni immobiliari negli otto quartieri oggetto di indagine di mercato.	110
Tabella 12 Individuazione delle vulnerabilità e resistenze-Isolato 54.	124
Tabella 13 Individuazione delle vulnerabilità e resistenze-Isolato 74.	125
Tabella 14 Elaborazioni del modello Fraumeni-Jorgenson per la determinazione del valore del capitale umano (in migliaia di euro) nelle sezioni censuarie in cui ricade il patrimonio censito..	141

Appendice 1: Indagine di mercato di 75 immobili dislocati in Ortigia

Appendice 2: Carta d'identificazione degli aggregati

Appendice 3: Carta delle vulnerabilità e delle resistenze osservate

APPENDICE 1

Indagine di mercato di 75 immobili dislocati in Ortigia

Identificazione					
id	latitudine	longitudine	ubicazione	civ.	piano
immobili in vendita					

01 QUARTIERE BOTTAI					
V1	37.061843	15.292141	via dei Candelai	33	2
V2	37.061389	15.292499	via Amalfitania	46	2
V3	37.061192	15.292561	via Amalfitania	52	1
V4	37.062922	15.292578	Ronco I ai Bottai	9a	0 e 1
V5	37.060962	15.292071	via Ruggero Settimo	10	0 e 1 e 2
V6	37.061439	15.292153	Ronco dei Cassari	4	1
V7	37.061897	15.293528	corso GiacomoMatteotti	13	1
V8	37.0632705	15.2927591	Ronco I di corso Giacomo Matteotti	15	3
V9	37.062777	15.291800	via Savoia	8	0 e 1 e 2

02 QUARTIERE MANIACE					
V1	37.055998	15.294657	via delle Sirene	9	0 e 1
V2	37.055712	15.294689	via Gaetano Abela	1	0
V3	37.055709	15.294886	via Gaetano Abela	5	3
V4	37.055709	15.294886	via Gaetano Abela	5	2
V5	37.055809	15.294120	via del Castello Maniace	80	0
V6	37.057060	15.293370	lungo mare Alfeo entrata via del Castello Maniace	14	2 e 3
V7	37.057274	15.293239	ronco I al Castello Maniace	7	0
V8	37.056876	15.293591	via del Castello Maniace	19	0
V9	37.055699	15.294225	via del Castello Maniace	83	1

03 QUARTIERE TURBA					
V1	37.058976	15.294691	via Roma	106	2
V2	37.058976	15.294691	via Roma	106	1
V3	37.058359	15.294618	via Roma	124	2
V4	37.058681	15.294660	via Roma	116	3
V5	37.058007	15.295052	via Roma	113	1
V6	37.059201	15.295443	via Del Teatro	15	1
V7	37.060109	15.294923	via del Crocifisso	1	0
V8	37.057568	15.294147	via Capodieci	27	1
V9	37.055699	15.294225	via Roma	83	1

Identificazione					
id	latitudine	longitudine	ubicazione	civ.	piano
immobili in vendita					

04 QUARTIERE GIUDECCA					
V1	37.059969	15.298051	via Nizza	16	1
V2	37.059616	15.296543	via Larga	13	1
V3	37.059620	15.298103	via Nizza	34	1
V4	37.058153	15.297096	Largo della Gacia	1	R
V5	37.060453	15.296323	via San Filippo	4	1 e 2
V6	37.060138	15.297599	via Alagona	42	0
V7	37.060550	15.296470	via San Filippo	7	1
V8	37.0336.83	15.296307	via della Giudecca	42	1 e 2
V9	37.060966	15.296267	via della Giudecca	6	1 e 2

05 QUARTIERE MAESTRANZA					
V1	37.062288	15.295455	via Tommaso Gargallo	18	4
V2	37.062433	15.295202	via dei Mergulensi	53	1
V3	37.061876	15.294364	via dei Mergulensi	11	0 e 1
V4	37.062063	15.293842	via Dione	32	1
V5	37.061000	15.298138	via della Maestranza	136	1
V6	37.060867	15.295441	via della Maestranza	54	1
V7	37.061023	15.295320	via della Maestranza	50	2
V8	37.061083	15.294445	via della Maestranza	9	2
V9	37.061076	15.294679	via Maestranza	17	2

06 QUARTIERE GRAZIELLA					
V1	37.064783	15.293431	Ronco Cutali	4	0 e 1 e 2
V2	37.064687	15.294033	Roncosecondo di Vicolo Bagnara	16	0 e 1 e 2
V3	37.064833	15.294876	Via Paolo Sarpi	2	2
V4	37.064553	15.294407	Largo della Graziella	5	0 e 1
V5	37.063672	15.295463	Via Resalibera	79	1 e 2
V6	37.064557	15.294817	Via Paolo Sarpi	3	0 e 1 e 2
V7	37.064147	15.293976	Via delle Grazie	12	2
V8	37.064833	15.294876	Via Paolo Sarpi	2	3
V9	37.063786	15.294297	Via Resalibera	35	1

Identificazione					
id	latitudine	longitudine	ubicazione	civ.	piano
immobili in vendita					

07 QUARTIERE MASTRARUA					
V1	37.065667	15.293315	Piazza Cesare Battisti	3	1
V2	37.062167	15.296788	Lungomare di levante Elio Vittorini	24	2
V3	37.063409	15.295739	Via Vittorio Veneto	106	0 e 1 e 2
V4	37.063493	15.295634	via Vittorio Veneto	131	1
V5	37.063697	15.295791	via Vittorio Veneto	116	1
V6	37.062167	15.296788	via Vittorio Veneto	60	2
V7	37.062229	15.296700	Via Vittorio Veneto	66	2
V8	37.064435	15.295792	Largo San Giovannello	9	2
V9	37.065667	15.293315	Piazza Cesare Battisti	3	2

08 QUARTIERE DUOMO					
V1	37.059465	15.292430	via delle Carceri Vecchie	3	2
V2	37.059643	15.292397	via delle Carceri Vecchie	7	3
V3	37.058743	15.294076	via della Conciliazione	30	2

Consistenza								
Vani			Superficie					Verifica
Vani utili	Accessori	Vani Commerciali	Superficie residenziale	Superficie non residenziale	superficie commerciale (o convenzionale)	superficie pertinenze	rapporto mq/vano	

01 QUARTIERE BOTTAI								
V1	3,5	1	3,8	90		90	0	24
V2	5	2	5,5	115	0,75	115	0	21
V3	3	1	3,3	85		85	0	26
V4	5	2	5,5	99		99	0	18
V5	3	2	3,5	75		75	0	21
V6	3	1	3,3	70	0,25	70	0	22
V7	6	1	6,3	154		154	0	25
V8	5	1	5,3	150		150	0	29
V9	15	7	16,8	450	35	459	0	27

02 QUARTIERE MANIACE								
V1	4	3	4,8	120		120	0	25
V2	3	1	3,3	75		75	0	23
V3	2,5	1	2,8	60		60	0	22
V4	4	1	4,3	85	0,25	85	0	20
V5	2	1	2,3	55		55	0	24
V6	5	2	5,5	180	7,5	182	0	33
V7	1	1	1,3	30		30	0	24
V8	1	1	1,3	31		31	0	25
V9	4,5	2	5,0	125		125	0	25

03 QUARTIERE TURBA								
V1	6	3	6,8	185	5	186	0	27
V2	2	1	2,3	70		70	0	31
V3	3	1	3,3	145		145	0	45
V4	3	1	3,3	60		60	0	18
V5	5	1	5,3	145	17,5	149	0	28
V6	4	1	4,3	140		140	0	33
V7	1	1	1,3	30		30	0	24
V8	1	1	4,3	55		90	0	21
V9	4,5	2	5,0	125		125	0	25

Consistenza								
Vani				Superficie				Verifica
Vani utili	Accessori	Vani Commerciali	Superficie residenziale	Superficie non residenziale	superficie commerciale (o convenzionale)	superficie pertinenze	rapporto mq/vano	

04 QUARTIERE GIUDECCA								
V1	4	2	4,5	100		100	0	22
V2	5	2	5,5	146	4	147	0	27
V3	4	1	4,3	80	3	81	0	19
V4	3	2	3,5	85		85	0	24
V5	4	3	4,8	150	1,5	150	0	32
V6	1,5	1	1,8	65		65	0	37
V7	2,5	3	3,3	90	1	90	0	28
V8	3	2	3,5	60	3,5	61	0	17
V9	5	2	5,5	160	2,5	161	0	29

05 QUARTIERE MAESTRANZA								
V1	5	2	5,5	175		175	0	32
V2	3	1	3,3	80		80	0	25
V3	3	2	3,5	90		90	0	26
V4	5	1	5,3	150		150	0	29
V5	4	2	4,5	145		145	0	32
V6	8	2	8,5	350	5	351	0	41
V7	6	4	7,0	260	5	261	0	37
V8	6	2	6,5	230	25	236	0	35
V9	5	2	5,5	114		114	0	21

06 QUARTIERE GRAZIELLA								
V1	5	3	5,8	150		150	0	26
V2	3	2	3,5	60		60	0	17
V3	4,5	1	4,8	125		125	0	26
V4	3	2	3,5	90	0	90	0	26
V5	4	2	4,5	120		120	0	27
V6	12	8	14,0	420	3	421	0	30
V7	4	2	4,5	60	0,75	60	0	13
V8	3	1	3,3	65	16,25	69	0	20
V9	4	1	4,3	100	4,5	101	0	24

Consistenza								
Vani			Superficie				Verifica	
Vani utili	Accessori	Vani Commerciali	Superficie residenziale	Superficie non residenziale	superficie commerciale (o convenzionale)	superficie pertinenze	rapporto mq/vano	

07 QUARTIERE MASTRARUA								
V1	3	2	3,5	93		93	0	27
V2	5	4	6,0	150		150	0	25
V3	10	3	10,8	350	3,75	351	0	33
V4	4,5	1	4,8	145		145	0	31
V5	3	2	3,5	95		95	0	27
V6	4	2	4,5	120		120	0	27
V7	5	3	5,8	162	10	165	0	28
V8	5	2	5,5	160	6,25	162	0	29
V9	4,5	3	5,3	160		160	0	30

08 QUARTIERE DUOMO								
V1	6	2	6,5	240		240	12,5	37
V2	3	2	3,5	140		140	0	40
V3	2	1	2,3	70		70	0	31

Dati di Mercato			
	Prezzi richiesti o Canoni mensili (Cm)	prezzo/vano	prezzo/mq

01 QUARTIERE BOTTAI			
V1	€ 210.000	€ 56.000	€ 2.333,33
V2	€ 280.000	€ 50.909	€ 2.434,78
V3	€ 195.000	€ 60.000	€ 2.294,12
V4	€ 260.000	€ 47.273	€ 2.626,26
V5	€ 295.000	€ 84.286	€ 3.933,33
V6	€ 90.000	€ 27.692	€ 1.285,71
V7	€ 440.000	€ 70.400	€ 2.857,14
V8	€ 550.000	€ 104.762	€ 3.666,67
V9	€ 1.500.000	€ 89.552	€ 3.333,33

02 QUARTIERE MANIACE			
V1	€ 280.000	€ 58.947	€ 2.333,33
V2	€ 120.000	€ 36.923	€ 1.600,00
V3	€ 190.000	€ 69.091	€ 3.166,67
V4	€ 180.000	€ 42.353	€ 2.117,65
V5	€ 110.000	€ 48.889	€ 2.000,00
V6	€ 650.000	€ 118.182	€ 3.611,11
V7	€ 79.000	€ 63.200	€ 2.633,33
V8	€ 79.000	€ 63.200	€ 2.548,39
V9	€ 228.000	€ 45.600	€ 1.824,00

03 QUARTIERE TURBA			
V1	€ 525.000	€ 77.778	€ 2.818,79
V2	€ 210.000	€ 93.333	€ 3.000,00
V3	€ 270.000	€ 83.077	€ 1.862,07
V4	€ 170.000	€ 52.308	€ 2.833,33
V5	€ 550.000	€ 104.762	€ 3.793,10
V6	€ 355.000	€ 83.529	€ 2.535,71
V7	€ 79.000	€ 63.200	€ 2.633,33
V8	€ 150.000	€ 63.529	€ 3.000,00
V9	€ 228.000	€ 45.600	€ 1.824,00

Dati di Mercato			
	Prezzi richiesti o Canoni mensili (Cm)	prezzo/vano	prezzo/mq

04 QUARTIERE GIUDECCA			
V1	€ 195.000	€ 43.333	€ 1.950,00
V2	€ 280.000	€ 50.909	€ 1.917,81
V3	€ 275.000	€ 64.706	€ 3.437,50
V4	€ 295.000	€ 84.286	€ 3.470,59
V5	€ 330.000	€ 69.474	
V6	€ 135.000	€ 77.143	€ 2.076,92
V7	€ 230.000	€ 70.769	€ 2.555,56
V8	€ 260.000	€ 74.286	€ 4.333,33
V9	€ 350.000	€ 63.636	€ 2.187,50

05 QUARTIERE MAESTRANZA			
V1	€ 330.000	€ 60.000	€ 1.885,71
V2	€ 145.000	€ 44.615	€ 1.812,50
V3	€ 295.000	€ 84.286	€ 3.277,78
V4	€ 190.000	€ 36.190	€ 1.266,67
V5	€ 370.000	€ 82.222	€ 2.551,72
V6	€ 670.000	€ 78.824	€ 1.914,29
V7	€ 620.000	€ 88.571	€ 2.384,62
V8	€ 420.000	€ 64.615	€ 1.826,09
V9	€ 188.000	€ 34.182	€ 1.649,12

06 QUARTIERE GRAZIELLA			
V1	€ 320.000	€ 55.652	€ 2.133,33
V2	€ 155.000	€ 44.286	€ 2.583,33
V3	€ 325.000	€ 68.421	€ 2.600,00
V4	€ 100.000	€ 28.571	€ 1.111,11
V5	€ 240.000	€ 53.333	€ 2.000,00
V6	€ 550.000	€ 39.286	€ 1.309,52
V7	€ 79.000	€ 17.556	€ 1.316,67
V8	€ 280.000	€ 86.154	€ 4.307,69
V9	€ 165.000	€ 38.824	€ 1.650,00

Dati di Mercato			
	Prezzi richiesti o Canoni mensili (Cm)	prezzo/vano	prezzo/mq

07 QUARTIERE MASTRARUA			
V1	€ 225.000	€ 64.286	€ 2.419,35
V2	€ 680.000	€ 113.333	€ 4.533,33
V3	€ 800.000	€ 74.419	€ 2.285,71
V4	€ 320.000	€ 67.368	€ 2.206,90
V5	€ 215.000	€ 61.429	€ 2.263,16
V6	€ 520.000	€ 115.556	€ 4.333,33
V7	€ 550.000	€ 95.652	€ 3.395,06
V8	€ 390.000	€ 70.909	€ 2.437,50
V9	€ 350.000	€ 66.667	€ 2.187,50

08 QUARTIERE DUOMO			
V1	€ 1.000.000	€ 153.846	€ 4.166,67
V2	€ 730.000	€ 208.571	€ 5.214,29
V3	€ 300.000	€ 133.333	€ 4.285,71

CARATTERISTICHE ESTRINSECHE ED INTRINSECHE (i valori in % indicano i pesi)																
Immobili in Vendita	posizionali estrinseche, <i>ke</i>											posizionali intrinseche, <i>kj</i>				
	20%											peso 20%				
	complessità e forma urbana				dotazioni urbanistiche		accessibilità			caratteristiche micro ambientali						
	15%				15%		15%			55%						
	centralità e qualità spaziale insediativa	mix funzionale	socio-profess	manutenzione urbana	attrezzature	servizi	esterna mezzo privato	esterna mezzi pubblici	interna	funzionali	simboliche	panoramicità	prospicienza	luminosità	accessibilità	sicurezza
	40%	30%	15%	15%	50%	50%	30%	30%	40%	60%	40%	30%	15%	0,3%	10%	15%
	1%	1%	0%	0%	2%	2%	1%	1%	1%	7%	4%	6,0%	3,0%	0,06	2,0%	3,0%

01 QUARTIERE BOTTAI																
V1	4	3	3	3	3	2	1	1	1	1	3	2	2	4	3	4
V2	4	3	3	3	3	2	2	2	1	1	3	2	4	4	3	4
V3	4	3	3	3	3	2	2	2	1	1	4	3	4	4	3	4
V4	3	3	3	3	3	2	1	1	1	2	2	1	1	3	3	3
V5	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	4	4	4	5	3	3
V6	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	2	2	3	2	3
V7	4	4	4	3	3	3	3	3	3	4	5	4	4	5	3	4
V8	4	4	4	3	3	3	3	3	3	4	5	4	4	5	5	4
V9	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	4	5	5	5	3	4

02 QUARTIERE MANIACE																
V1	4	4	3	3	3	2	3	3	3	4	4	3	3	4	3	3
V2	5	4	3	3	3	2	3	3	3	4	4	3	4	5	4	3
V3	5	4	3	3	3	2	3	3	3	4	4	5	4	5	2	3
V4	5	4	3	3	3	2	3	3	3	4	4	5	4	5	2	3
V5	5	4	3	3	3	2	3	3	2	3	4	3	3	2	4	2
V6	5	4	4	4	3	2	3	3	2	3	5	5	5	5	2	4
V7	4	4	3	3	3	2	3	3	2	2	3	2	3	2	3	3
V8	5	4	3	3	3	2	3	3	2	3	4	3	3	3	3	3
V9	5	4	4	3	3	2	3	3	3	4	5	4	5	5	3	3

03 QUARTIERE TURBA																
V1	5	4	4	3	3	3	3	3	3	4	4	4	5	5	3	4
V2	5	4	4	3	3	3	3	3	3	3	4	4	5	5	3	4
V3	5	4	4	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	3	4
V4	5	4	4	3	3	3	3	3	3	3	4	4	5	5	2	4
V5	5	4	4	3	3	3	3	3	3	3	4	5	4	4	3	3
V6	5	4	4	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	2	4
V7	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
V8	4	4	4	3	3	2	3	3	3	4	4	4	4	5	2	3
V9	5	4	4	3	3	2	3	3	3	4	5	4	5	5	3	3

CARATTERISTICHE ESTRINSECHE ED INTRINSECHE (i valori in % indicano i pesi)																
Immobili in Vendita	posizionali intrinseche, <i>kj</i>											posizionali intrinseche, <i>kj</i>				
	20%											20%				
	complessità e forma urbana				dotazioni urbanistiche		accessibilità			caratteristiche micro ambientali						
	15%				15%		15%			55%						
	centralità e qualità spaziale insediativa	mix funzionale	socio-profess	manutenzione urbana	attrezzature	servizi	esterna mezzo privato	esterna mezzi pubblici	interna	funzionali	simboliche	panoramicità	prospicienza	luminosità	accessibilità	sicurezza
	40%	30%	15%	15%	50%	50%	30%	30%	40%	60%	40%	30%	15%	0,3%	10%	15%
	1%	1%	0%	0%	2%	2%	1%	1%	1%	7%	4%	6,0%	3,0%	0,06	2,0%	3,0%

04 QUARTIERE GIUDECCA

V1	4	4	4	3	3	3	3	3	3	4	4	5	5	5	3	4
V2	4	3	3	3	3	2	2	2	3	3	4	3	4	5	3	4
V3	4	4	4	3	3	3	3	3	3	4	4	4	5	4	3	3
V4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	4	4	5	5	4	4	4
V5	5	3	3	3	4	2	2	2	3	3	4	4	4	5	3	4
V6	4	3	3	3	3	2	2	2	3	3	4	3	4	2	4	3
V7	5	3	3	3	4	2	2	2	3	3	4	4	4	5	3	4
V8	5	3	3	3	4	2	2	2	3	3	4	4	5	5	2	3
V9	5	3	3	3	4	2	2	2	3	3	4	4	5	5	2	3

05 QUARTIERE MAESTRANZA

V1	4	4	3	3	3	3	3	3	3	4	4	3	4	4	4	4
V2	4	4	3	3	3	3	3	3	3	4	4	3	3	4	3	3
V3	4	4	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	3	3
V4	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	3	2	2	2	2	3
V5	5	4	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	5	3	4
V6	5	4	4	4	3	3	3	3	3	3	5	5	5	5	2	4
V7	5	4	4	4	3	3	3	3	3	3	5	4	5	5	3	4
V8	5	4	3	4	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	3	3
V9	5	4	4	4	3	3	3	3	3	3	5	4	4	4	3	3

06 QUARTIERE GRAZIELLA

V1	2	2	3	3	2	2	2	2	1	1	2	2	2	2	2	3
V2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2	1	2	2	1	2
V3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	4	3	4
V4	2	3	2	3	2	2	2	2	1	2	3	2	3	3	2	3
V5	3	2	3	3	2	2	2	2	2	2	3	3	3	4	3	4
V6	3	2	2	3	2	3	3	2	2	2	3	2	2	3	3	3
V7	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2	3	2	3	2	3
V8	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	5	3	4	3	4
V9	2	2	3	3	2	2	2	2	2	2	3	2	2	3	3	3

CARATTERISTICHE ESTRINSECHE ED INTRINSECHE (i valori in % indicano i pesi)																
Immobili in Vendita	posizionali intrinseche, <i>kj</i>											posizionali intrinseche, <i>kj</i>				
	20%											20%				
	complessità e forma urbana				dotazioni urbanistiche		accessibilità			caratteristiche micro ambientali						
	15%				15%		15%			55%						
	centralità e qualità spaziale insediativa	mix funzionale	socio-profess	manutenzione urbana	attrezzature	servizi	esterna mezzo privato	esterna mezzi pubblici	interna	funzionali	simboliche	panoramicità	prospicienza	luminosità	accessibilità	sicurezza
	40%	30%	15%	15%	50%	50%	30%	30%	40%	60%	40%	30%	15%	0,3%	10%	15%
	1%	1%	0%	0%	2%	2%	1%	1%	1%	7%	4%	6,0%	3,0%	0,06	2,0%	3,0%

07 QUARTIERE MASTRARUA																	
V1	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	5	3	4	5	2	3
V2	4	4	4	3	3	3	3	3	3	4	4	5	5	5	5	2	5
V3	4	4	4	3	3	3	3	3	3	4	4	5	5	5	5	5	5
V4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	4
V5	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	5	3	4
V6	4	4	4	3	3	3	3	3	3	4	4	5	5	5	5	2	5
V7	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	5	4	5	3	4
V8	4	4	3	3	3	3	3	3	3	4	4	5	5	5	5	3	4
V9	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	5	5	5	5	2	3

08 QUARTIERE DUOMO																	
V1	5	5	5	5	3	3	3	3	3	3	4	5	5	5	5	3	4
V2	5	5	5	5	3	3	3	3	3	3	4	5	5	5	5	3	4
V3	5	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	5	4	4	5	5	4

CARATTERISTICHE TECNOLOGICHE E PRODUTTIVE (i valori in % indicano i pesi)									
Immobili in Vendita	tecnologiche, <i>kt</i>							Produttive, <i>kp</i>	
	35%							10%	
	edificio				unità immobiliare				
	30%				70%				
	qualità strutturale	qualità impiantistica	qualità finiture e serramenti	stato di conservazione	finiture	impianti	stato di conservazione		
	15%	15%	25%	0,45	25%	25%	50%	50%	50%
	1,6%	1,6%	2,6%	0,04725	6,1%	6,1%	12,3%	5,0%	5,0%

01 QUARTIERE BOTTAI									
V1	3	3	3	3	5	5	5	4	4
V2	4	3	3	3	3	5	3	4	4
V3	4	5	5	5	5	5	5	5	4
V4	4	4	5	5	4	5	5	5	3
V5	5	5	5	5	5	5	5	5	3
V6	3	3	3	3	2	2	2	4	5
V7	4	3	3	4	4	2	4	4	4
V8	3	4	3	3	2	2	2	5	4
V9	5	3	5	5	5	5	5	4	3

02 QUARTIERE MANIACE									
V1	4	5	4	5	4	5	5	5	4
V2	2	3	3	2	3	4	4	3	4
V3	2	3	3	2	4	5	5	5	4
V4	2	3	3	2	4	5	5	5	4
V5	4	3	3	4	5	5	5	4	4
V6	5	4	5	4	5	5	5	4	4
V7	4	4	3	4	4	5	5	3	4
V8	4	4	3	2	5	5	5	4	4
V9	5	3	3	3	3	3	3	5	4

03 QUARTIERE TURBA									
V1	4	3	3	3	5	5	5	4	4
V2	4	3	3	3	5	5	5	4	4
V3	5	3	3	4	2	4	3	3	4
V4	5	3	4	4	4	5	5	4	4
V5	5	3	3	5	2	2	3	4	4
V6	5	3	4	4	3	3	4	4	4
V7	4	3	3	4	5	5	5	4	4
V8	5	3	4	5	3	3	3	4	4
V9	5	3	3	3	3	3	3	5	4

CARATTERISTICHE TECNOLOGICHE E PRODUTTIVE (i valori in % indicano i pesi)									
Immobili in Vendita	tecnologiche, kt							produttive	
	35%							10%	
	edificio				unità immobiliare				
	30%				70%				
	qualità strutturale	qualità impiantistica	qualità finiture e serramenti	stato di conservazione	finiture	impianti	stato di conservazione	reddito	valore
	15%	15%	25%	0,45	25%	25%	50%	50%	50%
	1,6%	1,6%	2,6%	0,04725	6,1%	6,1%	12,3%	5,0%	5,0%

04 QUARTIERE GIUDECCA

V1	5	3	4	5	4	4	4	4	4
V2	4	3	3	3	3	5	5	4	4
V3	5	3	4	5	3	5	3	4	4
V4	5	3	4	5	5	5	5	4	4
V5	3	4	4	4	3	5	5	4	5
V6	4	3	3	3	5	5	5	4	4
V7	3	3	4	5	4	5	5	4	5
V8	4	3	3	4	4	5	5	5	5
V9	4	3	3	4	2	2	3	5	5

05 QUARTIERE MAESTRANZA

V1	3	5	4	5	3	3	4	4	4
V2	3	2	2	2	2	2	2	4	4
V3	4	5	5	4	5	5	5	4	4
V4	4	3	2	2	2	2	2	4	4
V5	5	3	5	4	4	5	5	4	4
V6	5	4	5	5	5	5	5	5	4
V7	4	3	3	3	5	5	5	5	4
V8	4	2	2	2	2	2	3	5	4
V9	5	3	4	4	4	5	4	4	4

06 QUARTIERE GRAZIELLA

V1	4	5	5	5	4	5	5	5	4
V2	4	5	5	5	4	5	5	4	4
V3	5	3	5	3	5	5	5	4	4
V4	4	3	3	4	1	1	1	4	4
V5	4	3	3	3	3	3	4	4	4
V6	3	1	1	1	1	1	1	4	4
V7	2	2	2	2	4	5	5	4	4
V8	5	3	5	3	5	5	5	4	4
V9	3	3	3	3	3	3	3	4	4

CARATTERISTICHE TECNOLOGICHE E PRODUTTIVE (i valori in % indicano i pesi)									
Immobili in Vendita	tecnologiche, <i>kt</i>							tecnologiche, <i>kt</i>	
	35%							10%	
	edificio				unità immobiliare				
	30%				70%				
	qualità strutturale	qualità impiantistica	qualità finiture e serramenti	stato di conservazione	finiture	impianti	stato di conservazione	reddito	valore
	15%	15%	25%	0,45	25%	25%	50%	50%	50%
	1,6%	1,6%	2,6%	0,04725	6,1%	6,1%	12,3%	5,0%	5,0%

07 QUARTIERE MASTRARUA

V1	1	3	3	3	4	5	5	4	4
V2	5	3	5	5	5	5	5	5	4
V3	5	5	4	5	5	5	5	5	4
V4	4	3	4	4	3	5	4	5	4
V5	5	3	4	5	4	5	5	4	4
V6	5	3	5	5	5	5	5	5	4
V7	3	3	3	2	4	5	4	4	4
V8	4	3	3	3	5	5	5	5	4
V9	1	4	3	3	4	5	5	4	4

08 QUARTIERE DUOMO

V1	5	3	5	5	4	5	5	4	4
V2	5	3	5	5	4	5	5	4	4
V3	5	5	5	5	5	5	5	4	4

CARATTERISTICHE ARCHITETTONICHE (i valori in % indicano i pesi)									Caratterizzazione complessiva ipotetica	
Immobili in Vendita	architettoniche, k_a									k^*
	15%									
	edificio					unità immobiliare				
	40%					60%				
	adeguatezza tipologica e funzionale	aspetti costruttivi e impiantistici	finiture e tecnologie	valore e coerenza stilistica	decoro	consistenza distribuzione funzionalità	accessori	finiture		
	20%	20%	20%	20%	20%	40%	30%	30%		
1,2%	1,2%	1,2%	1,2%	1,2%	3,6%	2,7%	2,7%			

01 QUARTIERE BOTTAI									
V1	4	4	3	4	4	4	2,0	5	3,50
V2	4	5	3	4	4	4	2,9	3	3,21
V3	5	5	5	5	5	5	2,3	5	4,05
V4	5	3	5	3	5	3	2,9	4	3,44
V5	4	4	5	5	5	4	5,0	5	4,28
V6	4	3	4	4	4	3	2,3	2	2,78
V7	4	4	3	4	5	4	1,0	3	3,75
V8	5	3	3	3	3	4	1,3	1	3,34
V9	5	5	5	4	5	4	3,4	5	4,33

02 QUARTIERE MANIACE									
V1	3	5	3	4	4	4	3,7	3	4,02
V2	3	3	3	2	3	3	1,4	3	3,41
V3	4	5	3	2	3	4	1,8	5	3,98
V4	4	5	3	2	3	5	1,0	5	3,99
V5	2	5	4	3	4	3	2,3	5	3,71
V6	5	5	3	4	4	5	1,8	5	4,32
V7	3	3	3	3	3	3	5,0	4	3,45
V8	4	4	2	3	3	3	5,0	5	3,74
V9	4	4	2	4	3	4	2,0	2	3,61

03 QUARTIERE TURBA									
V1	4	3	5	5	4	5	3,7	5	4,24
V2	4	3	5	5	4	5	3,7	4	4,15
V3	4	3	3	5	4	3	2,3	2	3,39
V4	4	3	4	5	5	5	2,3	5	4,15
V5	4	3	3	3	4	4	1,3	3	3,41
V6	4	3	3	4	4	4	1,7	3	3,61
V7	3	3	3	3	3	3	7,7	5	3,85
V8	4	4	2	4	4	4	7,7	2	3,73
V9	4	4	2	4	3	4	3,2	2	3,64

CARATTERISTICHE ARCHITETTONICHE (i valori in % indicano i pesi)									Caratterizzazione complessiva ipotetica	
Immobili in Vendita	architettoniche, <i>ka</i>									<i>k*</i>
	15%									
	edificio					unità immobiliare				
	40%					60%				
	adeguatezza tipologica e funzionale	aspetti costruttivi e impiantistici	finiture e tecnologie	valore e coerenza stilistica	decoro	consistenza distribuzione funzionalità	accessori	finiture		
	20%	20%	20%	20%	20%	40%	30%	30%		
1,2%	1,2%	1,2%	1,2%	1,2%	3,6%	2,7%	2,7%			

04 QUARTIERE GIUDECCA									
V1	4	4	4	4	4	4	2,9	4	4,08
V2	4	5	3	5	4	4	1,6	3	3,76
V3	4	3	4	4	4	4	1,2	3	3,73
V4	4	4	4	4	4	4	4,1	5	4,35
V5	4	4	4	4	5	3	3,1	5	4,03
V6	3	3	3	4	3	3	2,8	2	3,60
V7	4	4	4	5	5	4	5,0	3	4,16
V8	3	4	3	4	4	3	2,8	1	3,94
V9	4	4	3	4	3	3	1,6	5	3,46

05 QUARTIERE MAESTRANZA									
V1	4	5	3	2	4	4	2,7	3	3,71
V2	4	3	3	3	3	3	2,1	2	2,92
V3	4	5	4	3	4	3	5,0	5	4,19
V4	4	3	2	3	3	3	1,0	3	2,50
V5	4	3	4	5	4	4	3,6	4	4,12
V6	5	4	4	5	4	5	1,4	5	4,44
V7	5	3	3	4	4	5	5,0	5	4,28
V8	4	3	2	3	3	4	2,1	2	3,17
V9	4	4	4	5	5	4	2,7	4	3,93

06 QUARTIERE GRAZIELLA									
V1	4	5	4	3	5	5	4,4	3	3,52
V2	3	4	4	4	4	3	5,0	3	3,27
V3	5	3	3	4	3	4	1,0	5	3,90
V4	3	1	1	3	3	3	5,0	1	2,39
V5	4	4	3	3	4	4	3,5	5	3,33
V6	4	1	1	3	2	3	5,0	5	2,29
V7	3	3	2	2	2	3	3,5	4	3,16
V8	5	3	3	4	3	4	2,0	5	3,98
V9	4	4	3	3	4	3	1,3	2	2,82

CARATTERISTICHE ARCHITETTONICHE (i valori in % indicano i pesi)									Caratterizzazione complessiva ipotetica	
Immobili in Vendita	architettoniche, k_a									k^*
	15%									
	edificio					unità immobiliare				
	40%					60%				
	adeguatezza tipologica e funzionale	aspetti costruttivi e impiantistici	finiture e tecnologie	valore e coerenza stilistica	decoro	consistenza distribuzione funzionalità	accessori	finiture		
	20%	20%	20%	20%	20%	40%	30%	30%		
1,2%	1,2%	1,2%	1,2%	1,2%	3,6%	2,7%	2,7%			

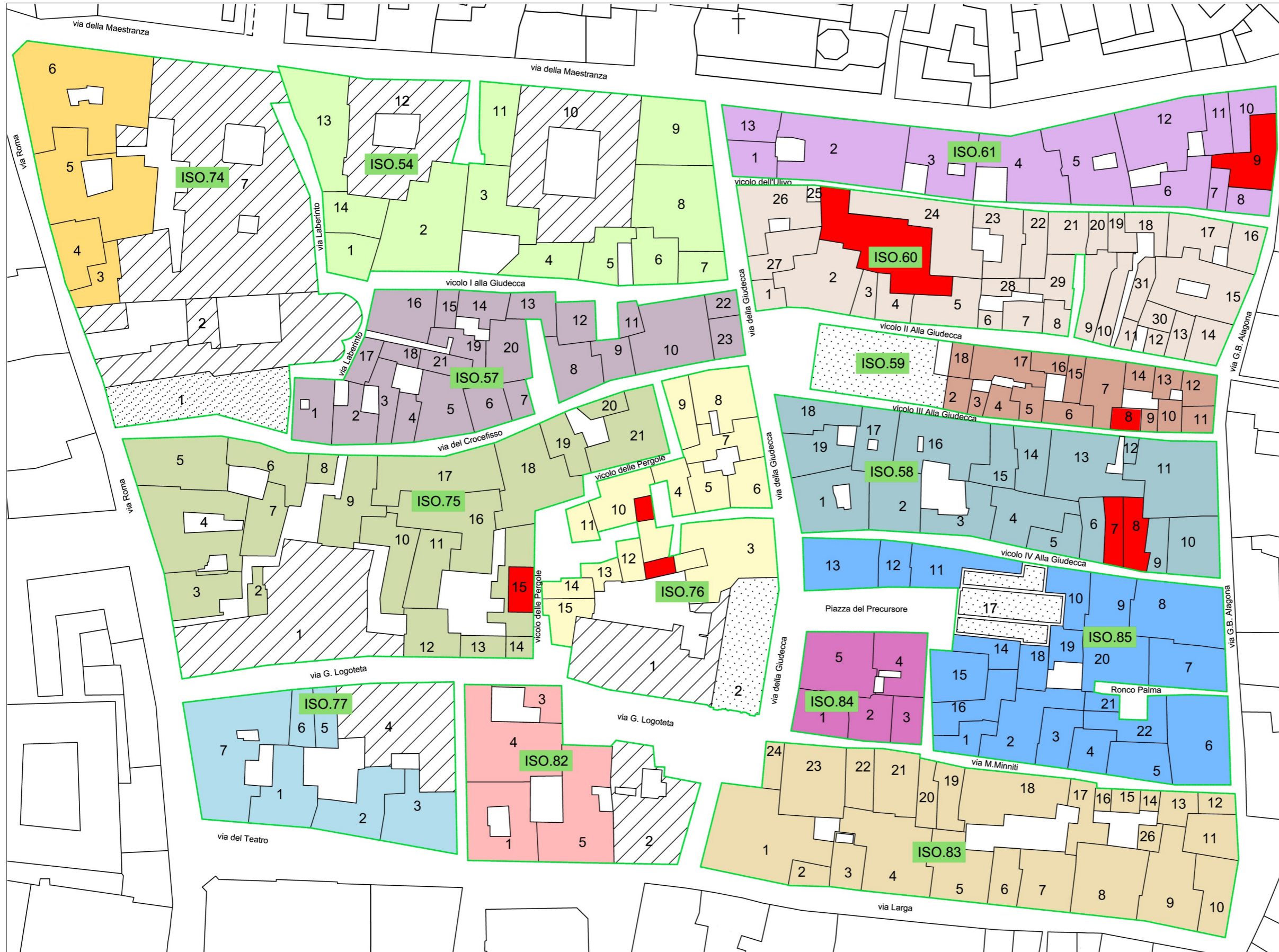
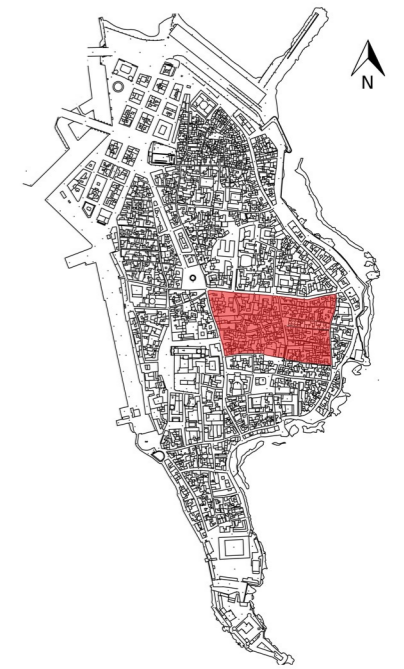
07 QUARTIERE MASTRARUA									
V1	4	4	4	2	4	4	5,0	4	3,95
V2	5	4	5	5	5	5	5,0	5	4,64
V3	5	5	5	5	5	5	1,5	5	4,62
V4	4	4	4	4	4	5	1,0	4	3,70
V5	5	4	4	5	4	4	4,1	4	4,09
V6	5	4	5	5	5	5	2,9	5	4,58
V7	4	4	2	3	4	4	3,6	5	3,81
V8	4	3	2	3	3	5	2,2	5	4,22
V9	4	4	4	2	4	4	4,1	5	4,11

08 QUARTIERE DUOMO									
V1	5	5	4	5	5	5	2,3	5	4,47
V2	5	5	4	5	5	5	5,0	5	4,54
V3	5	5	4	4	5	5	3,7	5	4,45

APPENDICE 2

Carta d'identificazione degli aggregati

CARTA D'IDENTIFICAZIONE DEGLI AGGREGATI



LEGENDA

-  CHIESE E CONVENTI
-  PALAZZI E ALTRI EDIFICI SPECIALI
-  CROLLI
-  LIMITE ISOLATI
-  IDENTIFICAZIONE ISOLATO CON COLORI DIVERSI E NUMERI U.E.

NOTE

Il criterio fondamentale per l'identificazione degli aggregati è la possibilità di percorrerne il perimetro senza oltrepassare delimitazioni permanenti o temporanee. L'aggregato, così definito, corrisponde sostanzialmente all'isolato del tessuto edilizio. Il perimetro degli aggregati può quindi essere corrispondente a un recinto, quando esso è a struttura muraria e di entità non trascurabile (sono escluse le piccole recinzioni metalliche, anche quando installate su muri bassi), o da una struttura di collegamento "aerea" tra i fabbricati, come in corrispondenza dei sottopassi.

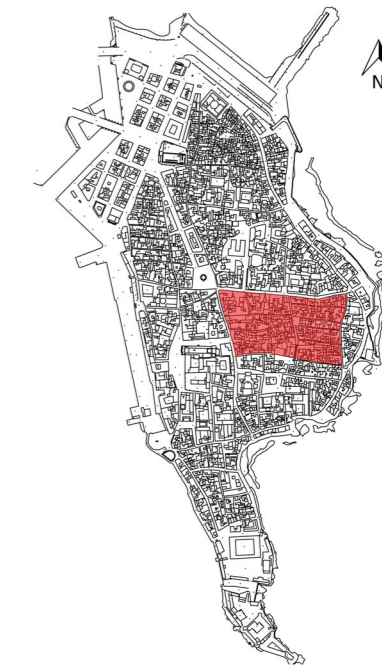
Nella carta sono identificati gli edifici esclusi dall'indagine, quali:

- gli edifici religiosi (chiese e conventi);
- i palazzi monumentali e gli altri edifici a destinazione speciale o pubblica (scuole, teatri, o cinema, ospedali, ecc.),

APPENDICE 3

Carta delle vulnerabilità e delle resistenze osservate

CARTA DELLE VULNERABILITA' E RESISTENZE OSSERVATE



LEGENDA

- EDIFICI OGGETTO DELL' INDAGINE
- CHIESE E CONVENTI
- PALAZZI E ALTRI EDIFICI SPECIALI (SCUOLE, TEATRI, OSPEDALI, ECC.)
- CROLLI
- LIMITE ISOLATI

VULNERABILITA' DEL TESSUTO EDILIZIO

- PRESENZA DI CORPI SVETTANTI
- PRESENZA DI SOPRAELEVAZIONI PARZIALI
- ALLARGAMENTO APERTURE AL PIANO TERRA
- DISALLINEAMENTO DEGLI ORIZZONTAMENTI
- DISALLINEAMENTO DELLE APERTURE IN FACCIATA

PUNTI DI FORZA

- INCATENAMENTI SUI SOLAI INTERMEDI
- INCATENAMENTI SULLE ORDITURE DI COPERTURA

NOTE

Le vulnerabilità e i punti di forza più rilevanti, identificati sul tessuto storico di Ortigia, sono individuati fra quelli osservati sul perimetro estero degli aggregati edilizi. Sono esclusi dall'indagine gli edifici speciali, quali:

- gli edifici religiosi (chiese e conventi);
- i palazzi monumentali e gli altri edifici a destinazione speciale pubblica (scuole, teatri o cinema, ospedali, ecc.)