

**SESSIONE IV**  
METODOLOGIE DI SINTESI E ANALISI DEL  
TERRITORIO

---

Popolazione e vulnerabilità sismica

Juri Corradi, Fabrizio De Fausti, Gianluigi Salvucci e Valerio Vitale

## Popolazione e vulnerabilità sismica<sup>1</sup>

Corradi Juri - De Fausti Fabrizio - Salvucci Gianluigi - Vitale Valerio

Istat

vitale@istat.it

### Sommario

*La Rilevazione dei Numeri Civici (2010), consente di valutare puntualmente, mediante le caratteristiche individuate, il livello di vulnerabilità sismica di ciascun edificio georeferenziato. Ricerche precedenti hanno utilizzato il censimento degli edifici quale chiave di lettura del rischio sismico a scala comunale, manifestando la necessità di una conoscenza dettagliata delle effettive caratteristiche dell'edificato alla massima risoluzione geografica (livello puntuale). Nel presente lavoro è stato sviluppato un indicatore di sintesi dell'edificio, esprimendo per ogni singola unità il suo livello di vulnerabilità. Le caratteristiche di vulnerabilità dei fabbricati sono state confrontate spazialmente, a livello sub-comunale, con la sismicità di base del terreno e con la popolazione esposta al fine di individuare aree caratterizzate da un maggior rischio sismico.*

**Parole chiave:** RNC, Vulnerabilità, Popolazione

### Abstract

*The House Numbers Survey (2010), allows us to evaluate the seismic vulnerability of each georeferenced building. Previous researches had used the census data about housing to evaluate the seismic risk at the municipal scale, showing the need of a detailed knowledge of the buildings characteristics at the maximum geographic resolution (point level) for not to estimate them at the census area scale. In this paper an indicator of vulnerability for each units was developed. The characteristics of the vulnerability of the buildings were spatially compared, at the sub-municipal level, with the seismicity and the exposed population in order to identify areas with greater seismic risk.*

**Key words:** RNC, vulnerability, population

---

<sup>1</sup> Frutto di un lavoro comune sono da attribuire a J. Corradi § 2 a J. Corradi - G. Salvucci § 3; a G. Salvucci i §§ 4, 7; a V. Vitale §§ 1,5, sono da attribuire a F. De Fausti il § 6, introduzione e conclusioni in comune agli autori

## Introduzione

Studi svolti in passato (uno per tutti Bernardini, 2000) hanno evidenziato la necessità di approfondire l'analisi della vulnerabilità sismica dell'edificato a livello di sezione censuaria, auspicando che si potessero raggiungere risoluzioni maggiori dei dati relativi agli edifici. Con la Rilevazione dei numeri civici dell'Istat, in occasione dell'ultimo censimento (2011), è stato possibile rilevare, a livello puntuale, alcune caratteristiche dell'edificato, precedentemente disponibili solo a livello di sezione. In lavori precedenti, si è già dimostrata (Corradi, Salvucci, and Vitale 2014; Corradi, Salvucci, and Vitale 2013) la possibilità di individuare gruppi di edifici per classi di vulnerabilità, consentendone il confronto con la carta di pericolosità sismica elaborata dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). Alla luce degli ultimi eventi sismici, e dei disastri legati ad altri fenomeni naturali, si è sempre più convinti della necessità dell'integrazione nella pianificazione territoriale di indicatori a risoluzioni sempre più elevate, capaci di fare emergere l'esposizione al rischio, vale a dire la quantità di elementi potenzialmente coinvolti in un evento naturale. Per realizzare tali indicatori è necessario disporre di una conoscenza estremamente elevata del territorio, dovendo abbinare la popolazione alle caratteristiche costruttive di ogni singolo edificio abitato.

### 1 Il rischio sismico e il ruolo delle indagini statistiche

Come noto per rischio sismico si intende la misura dei danni attesi in un dato intervallo di tempo, in relazione al tipo di sismicità basandosi su frequenza e forza con cui si manifestano gli eventi, al grado di resistenza delle costruzioni oltre a quello di antropizzazione ovvero: natura, qualità e quantità dei beni esposti (Camero 2004). La costruzione di un indicatore di rischio richiede pertanto l'opportuna combinazione di tre elementi: la pericolosità, la vulnerabilità e l'esposizione.

La pericolosità sismica rappresenta la probabilità che si verifichi nel territorio un evento sismico di una certa magnitudo in un certo intervallo di tempo, che è del tutto indipendente dalla volontà e agire umano.

La vulnerabilità è una misura della propensione al danneggiamento degli elementi esposti al rischio, in questo caso le costruzioni sottoposte alle sollecitazioni. La valutazione della vulnerabilità ha come obiettivo quello di aumentare la resilienza dell'edificio ovvero la capacità di un corpo di assorbire la sollecitazione esterna ritornando al suo stato iniziale nel più breve tempo possibile.

La terza componente del rischio, l'esposizione va intesa come la quantità e la qualità di elementi antropici esposti all'evento sismico, inclusa la popolazione.

La riduzione del rischio sismico può essere perpetrata essenzialmente attraverso una diminuzione della vulnerabilità in termini considerati "accettabili", non potendo intervenire né sulla pericolosità (non è possibile evitare il verificarsi del fenomeno), né sull'esposizione (non è possibile eliminare la presenza dell'uomo e delle sue opere). Diminuire la vulnerabilità dell'edificato, date le conoscenze tecnologiche significa, ad esempio, costruire secondo le più recenti normative antisismiche, adeguare le costruzioni esistenti ai nuovi standard di sicurezza, ottimizzando la manutenzione e il monitoraggio degli edifici, migliorare i servizi di emergenza locali per un pronto intervento al verificarsi dell'evento.

Passando all'esposizione al rischio, l'analisi della distribuzione territoriale della popolazione può contribuire ad una riduzione complessiva del rischio sismico. Analizzare l'esposizione al rischio per classi di età può ridurre le conseguenze, per i diversi modi in cui normalmente le persone possono reagire potenzialmente ad un evento in relazione ad esempio alla loro età. Ne deriva che, prendere in considerazione la concentrazione di popo-

lazione anziana può indurre a pianificare un migliore processo di evacuazione in quei luoghi se si pensa che le persone anziane hanno maggiori difficoltà di movimento.

## 2 Caratteristiche rilevate e realizzazione di un Indice di vulnerabilità dell'edificio

Dalle informazioni acquisite dalla Rnc sull'epoca di costruzione, sul numero di piani fuori terra, sullo stato di conservazione e sulla tipologia strutturale dell'edificio si può elaborare un indicatore sintetico che esprime per ogni fabbricato il suo livello di vulnerabilità.

Il materiale di costruzione è quello rilevato nella struttura portante: muratura, cemento armato (a piano terra chiuso, a piano terra aperto) o altro materiale (strutture in acciaio, legno, miste). La classificazione adottata, rispecchia quella della European Macroseismic Scale 1998 (EMS-98) che costituisce il riferimento europeo in materia (Grünthal 1998). Ai fini della vulnerabilità vengono riassunti in due macro-categorie: strutture in muratura, la cui rigidità comporta una vulnerabilità massima; strutture più deformabili, tra le quali la quasi totalità è in cemento armato, con una vulnerabilità variabile nel tempo che tenga conto della carbonatazione del calcestruzzo copri-ferro, del conseguente degrado dell'armatura e quindi "dell'irrigidimento" del telaio (Pedferri 2000). Lo stato di conservazione è stato oggetto di valutazione visiva dei rilevatori, sulle condizioni dell'intonaco, degli infissi, degli elementi strutturali e del tetto, mediante quattro livelli di giudizio (ottimo, buono, mediocre e pessimo).

L'epoca di realizzazione è raggruppata in nove classi temporali nelle quali la realizzazione dell'edificio è terminata. L'altezza, altra componente della vulnerabilità, influisce su di essa in maniera esponenziale all'aumentare del numero dei piani.

## 3 Costruzione dell'indicatore di vulnerabilità

Una volta note le caratteristiche di ciascun edificio, è stato necessario superare il problema della diversa unità di misura delle differenti variabili attraverso opportune trasformazioni (normalizzazioni, standardizzazioni, utilizzo dei ranghi, etc.), non sempre neutrali rispetto il risultato finale (Terzi and Moroni 2005) e scegliere un opportuno metodo di sintesi degli indicatori riclassificati, attraverso medie, sintesi fattoriali, o basati sulla distanza statistica tra le variabili. A tal fine, le variabili rilevate sono state riclassificate per raggiungere un duplice obiettivo: il primo è quello di eliminare la diversa dimensione delle stesse, riportandola a quella dell'indicatore finale, oppure semplicemente trasformandole in numeri puri; il secondo è quello di riportare la correlazione tra tutte le variabili e l'indicatore in un'unica direzione. Dal momento che le diverse componenti considerate non sono tra loro sostituibili, dovranno avere lo stesso peso all'interno dell'indicatore finale e pertanto, una volta trasformate in una scala opportuna, saranno normalizzate rispetto il range che queste possono teoricamente assumere, oppure, nel caso in cui non esista un massimo teorico, saranno rapportate a quello effettivo (Tabella 1).

Per poter classificare il livello di vulnerabilità sismica di ciascuna classe sono stati esaminati gli indicatori sintetici ( $V_i$ ) calcolati mediante il metodo tassonomico (Wroclaw), che misura la distanza statistica delle variabili normalizzate ( $I_n$ ) rispetto alla situazione ottimale di bassa vulnerabilità ( $I_n^*$ ):

$$V_i = \sqrt{\sum_1^n (I_n - I_n^*)^2}$$

**Tabella 1 – Costruzione dei singoli indicatori**

Variabile	Tipo di variabile	range	proporzionalità	Trasformazione	Indice
epoca di costruzione (x)	Qualitativo ordinale	1 edifici antecedenti al 1918 – 9 edifici successivi al 2006	Inversa	l'indicatore subisce una trasformazione del tipo $(2^9 - 2^x)$ dove x è la classe epoca di costruzione a cui appartiene l'edificio, ed una successiva normalizzazione rispetto il range dal minimo $2^{-9}$ al suo massimo $2^{-1}$	$\frac{2^9 - 2^x}{2^9 - 2^1}$
Numero dei piani (n)	Quantitativo discreto	1 - ∞	Diretta	l'indicatore subisce una trasformazione del tipo $(1 - 2^{-(n-1)})$ dove n è il numero dei piani; l'indice è già normalizzato	$(1 - 2^{-(n-1)})$
Materiale di costruzione	Qualitativo sconnesso	-	-	Se muratura assume un valore pari a 1 altrimenti $\sqrt{9} - \sqrt{x}$ dove x è la classe epoca di costruzione; normalizzazione rispetto il range dal minimo $\sqrt{1}$ al suo massimo $\sqrt{9}$	Muratura: 1 Altro: $\frac{\sqrt{9}-\sqrt{x}}{\sqrt{9}-\sqrt{1}}$
Stato conservazione (S)	Qualitativo ordinale	1(ottimo)-4(pessimo)	Diretta	L'indicatore subisce una trasformazione del tipo $(S - 1)$ , dove S è lo stato di conservazione e successiva normalizzazione rispetto il range da ottimo 1 a pessimo 4	$\frac{(S - 1)}{(4 - 1)}$

#### 4 La classificazione dell'edificato urbano

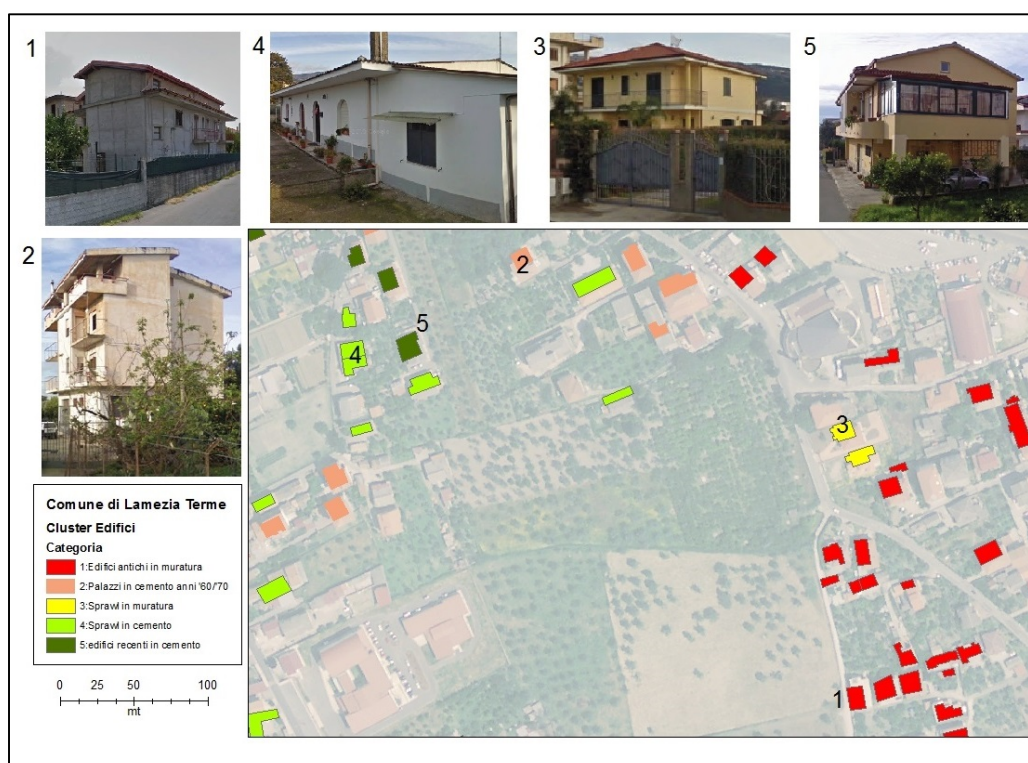
Al fine di definire i diversi livelli di criticità dell'indice, si è proceduto ad un'analisi di tipo esplorativo cluster non gerarchica, con il metodo K- means per classificare gli edifici in cinque gruppi omogenei:

- 1) a maggiore vulnerabilità, è relativo agli edifici “antichi” costruiti prevalentemente nel periodo post-bellico (1946-1960), aventi mediana di 2 piani fuori terra in muratura, con una condizione di stato “buono”;
- 2) con criticità ancora elevata, è costituito dalle costruzioni degli anni '70, la cui peculiarità principale è l'altezza, con una mediana di 4 piani, sono realizzate prevalentemente in cemento armato e in buono stato di conservazione;
- 3) mediamente vulnerabile, raggruppa gli edifici a bassa densità abitativa, mediana due piani, di recente costruzione, in cemento armato.
- 4) molto simile al precedente come vulnerabilità complessiva, ha un'altezza mediamente più bassa, costruita in muratura ma risulta meno recente;
- 5) bassa criticità, contiene le nuove palazzine che a differenza dei primi due gruppi sono più recenti e più basse.

Esempi delle diverse tipologie individuate sono visibili in Figura 1

#### 5 La vulnerabilità sismica per edificio nel contesto della pericolosità sismica

Le caratteristiche di vulnerabilità degli edifici espresse sinteticamente dall'indicatore ricavato, sono state sovrapposte al modello di pericolosità sismica del territorio nazionale al fine di determinare i livelli di rischio associato al verificarsi di possibili eventi sismici. Il modello di pericolosità adottato è rappresentato dai dati di accelerazione orizzontale massima (PGA - Peak Ground Acceleration) dell'INGV (Meletti 2007).

**Figura 1 – Comune di Lamezia Terme: Tipologie di edificato Rnc.**

Fonte: Elaborazione su Istat Rnc, 2010 in corso di validazione, e Google Earth

I valori puntuali di pericolosità sismica sono espressi in termini di accelerazione massima del suolo  $a_g$ , definita come frazione o multiplo dell'accelerazione di gravità ( $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ ) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita a suoli rigidi (con  $V_{S30} > 800 \text{ m/s}$ , ovvero categoria A, punto 3.2.1 del D.M. 14.09.2005). I valori di  $a_g$  rappresentati in questo strato informativo sono stati calcolati su una griglia con passo 0.02 gradi, per un totale di 104.565 punti. Per ciascun punto vengono forniti i valori standard di  $a_g$  (50mo percentile) e le misure delle incertezze espresse in termini di 16mo e 84mo percentile.

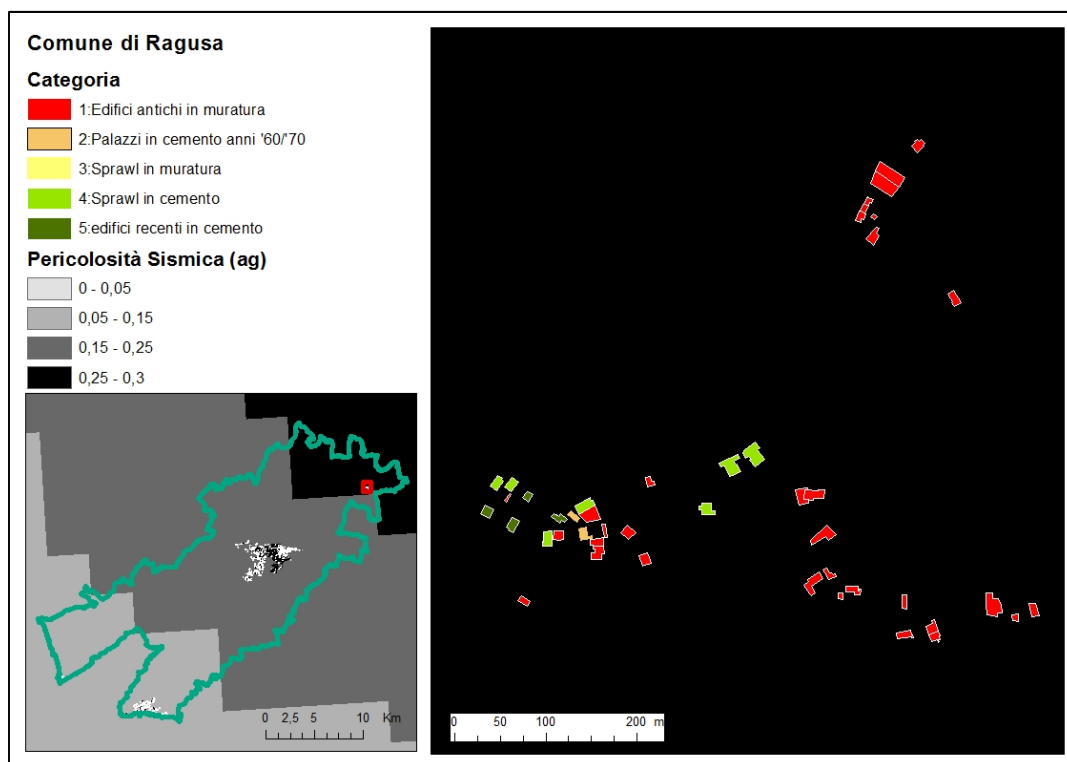
I risultati ottenuti da una prima analisi della sovrapposizione dei dati Rnc con quelli della pericolosità sismica, riguardanti le sole aree urbane dei maggiori Comuni italiani, mostrano uno scenario già noto, che riflette la storia sismica italiana più o meno recente, con le situazioni più rischiose concentrate nella Sicilia Orientale, in Calabria, sulla dorsale appenninica (Irpina, Sannio e Abruzzo) e in Veneto. Un esempio di tale analisi, relativa ad una porzione del comune di Ragusa, Figura 2. Il livello informativo relativo alla vulnerabilità degli edifici è classificato in scala dal verde (bassa vulnerabilità) al rosso (alta vulnerabilità), mentre la pericolosità è rappresentata in quattro classi in tonalità di grigio, da quella più scura, 1 (alta pericolosità) a quella più chiara, 4 (bassa pericolosità). Nel caso in ispece manca la classe 4 di pericolosità, più bassa.

## 6 Linkage dati censuari e vulnerabilità: metodologie e problematiche riscontrate

Il collegamento tra dati di origine geografica e quelli degli edifici nonché della popolazione, può avvenire solo in base agli indirizzi che costituiscono la chiave di aggancio naturale utilizzabile potenzialmente per tutti gli archivi di natura amministrativa-demografica.

La localizzazione delle informazioni demografiche può essere condotta solo dopo aver rilevato l'esatta ubicazione dei civici. In questo studio si è voluto verificare lo stato attuale di

**Figura 2 - Sovrapposizione dello strato dell'edificato urbano classificato sulla carta di pericolosità sismica**



Fonte: Elaborazione su Istat Rnc, 2010 in corso di validazione

confrontabilità di questi archivi per il comune di Ragusa dove sono censiti 69.794 abitanti, al 2011, di cui più del 99% risiede in località di centro abitato. La località di centro del comune, dispone di 14.822<sup>2</sup> edifici residenziali a cui è stata abbinata la popolazione sulla base dell'indirizzo rilevato durante le operazioni censuarie. I due dati sono stati precedentemente normalizzati, con una procedura che ha previsto la combinazione tra il Software commerciale EGON e l'intervento dell'operatore consentendo un record linkage deterministico supervisionato tra chiavi normalizzate al fine di aumentare la corrispondenza tra archivi. Dati i problemi di normalizzazione degli indirizzi e la diversa intensità di affollamento degli edifici, il 75% della popolazione ragusana è stata collegata ad un edificio, mentre per quanto concerne gli edifici la percentuale di aggancio scende al 58% individuando un gap informativo sugli edifici più piccoli.

I mancati agganci tra i diversi archivi costituiscono un problema che si sta cercando di risolvere migliorando le procedure di record linkage e le banche dati degli stradari<sup>3</sup>.

<sup>2</sup> Dato provvisorio in corso di validazione

<sup>3</sup> A tale proposito è in corso di svolgimento la creazione dell'Archivio Nazionale Numeri Civici e Strade Urbane (ANNCSU) in collaborazione con l'Agenzia delle Entrate per collegare la banca dati dell'Anagrafe con quella catastale

## 7 La popolazione esposta al rischio sismico: analisi territoriale e demografica

Dal punto di vista demografico il 21% della popolazione ragusana è costituito da over 64 in contrapposizione al 13% dei giovani (massimo 14 anni). La popolazione dipendente è quindi pari al 35% ed è quella più vulnerabile in caso di calamità. Attraverso un incrocio tra caratteristiche demografiche, vulnerabilità edificato e pericolosità sismica è possibile individuare le aree più critiche della località di centro del comune di Ragusa. Se si considerano i cluster dell'edificato 1, 2 e 3, come i più vulnerabili, e allo stesso tempo le classi di pericolosità sismica 1 e 2, come le più pericolose, si vede come il 78% della popolazione ragusana si trovi in una forte situazione di rischio, ma esaminando i dati per classi di età ed in particolare la popolazione dipendente (0-14, over64) il dato si incrementa all'81% evidenziando una criticità superiore.

**Tabella 4 - Distribuzione della popolazione della località di centro del comune di Ragusa per cluster di vulnerabilità e classe di accelerazione sismica**

		Cluster di vulnerabilità dell'edificato					Totale
		1	2	3	4	5	
Classe di pericolosità sismica	1	0,02%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,02%
	2	17,82%	60,40%	0,05%	12,22%	5,81%	96,31%
	3	0,85%	1,43%	0,00%	0,99%	0,40%	3,67%
	4	-	-	-	-	-	-
Totale		18,68%	61,83%	0,05%	13,22%	6,22%	100,00%

Fonte Istat (Rnc, Sgr) in corso di validazione

**Tabella 5 - Distribuzione della popolazione dipendente della località di centro del comune di Ragusa per cluster di vulnerabilità e classe di accelerazione sismica**

		Cluster di vulnerabilità dell'edificato					Totale
		1	2	3	4	5	
Classe di pericolosità sismica	1	0,02%	0,00%	0,00%	0,01%	0,00%	0,03%
	2	20,17%	61,39%	0,03%	10,34%	4,83%	96,75%
	3	1,04%	1,04%	0,00%	0,94%	0,20%	3,22%
	4	-	-	-	-	-	-
Totale		21,23%	62,43%	0,03%	11,28%	5,03%	100,00%

Fonte Istat (Rnc, Sgr) in corso di validazione

### Conclusioni, problematiche e sviluppi futuri

Scopo di una rilevazione censuaria non è quello di catalogare le caratteristiche costruttive degli edifici, che verosimilmente costituiscono la mission di altri enti e istituti di ricerca. Il ruolo della Rnc, e delle rilevazioni che la stanno seguendo per l'implementazione di uno stradario nazionale unico, possono consentire nel futuro di riuscire ad effettuare il collegamento tra dati catastali e anagrafici. L'analisi della vulnerabilità pone in luce lacune informative nei dati censuari, che potrebbero essere ricavate da altre fonti di natura amministrativa a costi relativamente contenuti. Fondamentali sarebbero informazioni più dettagliate che esulano dagli scopi censuari ma che consentano valutazioni qualitative e quantitative più approfondite sulle caratteristiche degli elementi strutturali (dimensioni di travi-pilastrini, distanze tra gli stessi, materiali costruttivi, etc), sulla configurazione planimetrica e altimetrica dell'edificio, sull'interazione tra fondazioni e suolo e su altri aspetti esaminati in altre indagini con una copertura comunque inferiore (Dolce and Martinelli 2005).

Per quanto riguarda il modello di pericolosità adottato la scelta è stata effettuata nella consapevolezza che esso non considera le caratteristiche del moto sismico al suolo di essere fortemente influenzato dalle proprietà dinamiche degli strati di terreno più superficiale e dalla morfologia del sito. Tali effetti di amplificazione sismica locale possono essere analizzati unicamente attraverso indagini di microzonazione sismica che non vengono considerati in questo lavoro. Altra considerazione riguarda la sovrapposizione di livelli informa-



tivi con differenti risoluzioni dove la bassa risoluzione del modello di pericolosità è ricompensata dalla produzione di un dato omogeneo a copertura nazionale.

Nonostante tutte le difficoltà esposte, l'esperienza condotta resta un'utile approccio innovativo ampliabile per studi futuri di esposizione della popolazione ad altri eventi quali il rischio idrogeologico o eventi di frana che saranno analizzati in futuro.

### Ringraziamenti

Si ringrazia il Dott. Di Pede per la messa a disposizione dei dati Rnc in corso di validazione, la lettura critica e i suggerimenti che hanno consentito la stesura del lavoro.

### Bibliografia

- Bernardini, A. 2000. *La Vulnerabilità Degli Edifici: Valutazione a Scala Nazionale Della Vulnerabilità Sismica Degli Edifici Ordinari*. Rome: CNR-Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti.
- Camero, Pompeo. 2004. *Manuale Tecnico-Giuridico Di Protezione Civile E Di Difesa Civile: Con Supporti Operativi per La Pianificazione Comunale Di Emergenza E La Pianificazione Strategica*. Santarcangelo di Romagna (RN): Maggioli.
- Corradi, Juri, Gianluigi Salvucci, and Valerio Vitale. 2013. "Applicazioni Dei Dati Censuari Della Rnc Nella Vulnerabilità Dell'edificato per Lo Studio Della Resilienza Urbana." In *III Giornata Di Studio in Geografia Economica "Oltre La Globalizzazione" - Resilienza/Resilience*. Firenze: in press.
- Corradi, Juri, Gianluigi Salvucci, and Valerio Vitale. 2014. "Valutazione Puntuale Della Vulnerabilità Sismica Dell'edificato Urbano." In *GEOMedia*. GEOMedia.
- Dolce, M., and A. Martinelli. 2005. *Inventario E Vulnerabilità Degli Edifici Pubblici E Strategici dell'Italia Centro-Meridionale - Vol. II - Analisi Di Vulnerabilità E Rischio Sismico*. L'Aquila: INGV/GNDT.
- Grünthal, Gottfried. 1998. *European Macroseismic Scale 1998: EMS-98*. Luxembourg: European Seismological Commission Subcommittee on Engineering Seismology Working Group Macroseismic scales.
- Meletti, C. 2007. "Stime Di Pericolosità Sismica per Diverse Probabilità Di Superamento in 50 Anni: Valori Di Ag. Progetto INGV-DPC S1, Deliverable D2."
- Pedferri, Pietro. 2000. *La Durabilità Del Calcestruzzo Armato*. Milano: McGraw-Hill Libri Italia.
- Terzi, Silvia, and Luca Moroni. 2005. "Graduatorie Della Qualità Della Vita E Loro Sensibilità Al Pre-Trattamento Delle Variabili Che La Definiscono: Alcune Critiche Al Dossier de Il Sole 24 Ore." *Quaderni Di Statistica* 6: 105–127.