



# Uso di curve di fragilità empiriche per la valutazione del rischio sismico a scala nazionale

Annalisa Rosti<sup>a</sup>, Carlo Del Gaudio<sup>b</sup>, Marco Di Ludovico<sup>b</sup>, Guido Magenes<sup>a,c</sup>, Andrea Penna<sup>a,c</sup>, Maria Polese<sup>b</sup>, Andrea Prota<sup>b</sup>, Paolo Ricci<sup>b</sup>, Maria Rota<sup>c</sup>, Gerardo Mario Verderame<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Dipartimento di Ingegneria Civile e Architettura, Università di Pavia, Via Ferrata 3, 27100 Pavia

<sup>b</sup> Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura, Università di Napoli Federico II, Via Claudio 21, 80125 Napoli

<sup>c</sup> Dipartimento Costruzioni e Infrastrutture, Fondazione EUCENTRE, Via Ferrata 1, 27100 Pavia

*Parole chiave: Rischio sismico; mappe di rischio, vulnerabilità sismica, curve di fragilità empiriche, dati di danno post-terremoto*

## SOMMARIO

La valutazione del rischio sismico a scala territoriale è fondamentale per la gestione dell'emergenza post-terremoto, quantificazione delle perdite socio-economiche dovute a terremoti futuri, definizione di strategie di mitigazione del rischio, ottimizzazione di piani di intervento. Affinché le conseguenze dovute a futuri eventi sismici possano essere efficacemente mitigate, è necessario disporre di stime di rischio accurate e affidabili. In questo contesto, la difficoltà principale è legata alla definizione del rischio stesso, che, risultando dalla convoluzione di pericolosità, esposizione e vulnerabilità, richiede il coinvolgimento di diverse discipline scientifiche. In questo lavoro, modelli di vulnerabilità per edifici residenziali in muratura e c.a., derivati empiricamente sulla base di dati di danno post-terremoto, sono implementati nella piattaforma nazionale del rischio sismico, al fine di produrre stime di rischio a scala territoriale. Diversi sono i casi studio presentati, focalizzati sulla valutazione del rischio incondizionato. I risultati sono mostrati per diversi tipi di conseguenze, quali vittime, perdite economiche, impatto in termini di abitazioni inagibili e crollate e numero di sfollati.

## 1 INTRODUZIONE

La valutazione del rischio sismico a scala territoriale è fondamentale per la definizione ed implementazione di strategie finalizzate alla riduzione del danno e delle conseguenze dovute a futuri eventi sismici. In questo contesto, le mappe nazionali di rischio sismico rappresentano un valido strumento, in quanto possono essere utili sia per la gestione dell'emergenza post-terremoto sia per l'ottimizzazione di piani di intervento. La quantificazione delle perdite economiche è inoltre di interesse per ottimizzare la distribuzione e l'allocazione dei fondi nella fase di ricostruzione post-terremoto.

Al fine di valutare la distribuzione spaziale del danno e delle perdite attese in Italia, diversi studi si sono focalizzati sulla stima del rischio sismico a scala nazionale (e.g. Lucantoni et al. 2001; Di Pasquale et al. 2005; Crowley et al. 2009; Rota et

al. 2011; Silva et al. 2018; Dolce et al. 2019). Tuttavia, perché i danni e le conseguenze dovute a futuri eventi sismici possano essere efficacemente mitigate, è necessario disporre di stime di rischio accurate e affidabili. In questo caso, la difficoltà principale riguarda la definizione del rischio stesso che, risultando dalla convoluzione di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione, necessita il coinvolgimento di diverse discipline scientifiche.

In questo lavoro, i modelli di vulnerabilità proposti da Rosti et al. (2019) e Del Gaudio et al. (2019) per gli edifici residenziali in muratura e cemento armato, rispettivamente, sono utilizzati per effettuare valutazioni di rischio sismico a scala nazionale. A tale scopo, si è utilizzata la piattaforma nazionale del rischio sismico, IRMA (Borzi et al. 2018, <http://irma.eucentre.it/irma/web/home>), che, ai fini computazionali, si serve del motore di calcolo

OpenQuake v3.2.0 (Pagani et al. 2014). In IRMA la pericolosità sismica è definita dal modello di pericolosità nazionale MPS04 (Stucchi et al. 2004, 2011) mentre l'esposizione deriva dai dati del censimento nazionale (ISTAT).

Il rischio sismico è quantificato in termini di danno e conseguenze attese annualmente sul territorio nazionale. I risultati ottenuti, presentati sotto forma di mappe, hanno mostrato l'adeguatezza dei modelli di vulnerabilità proposti ad essere utilizzati nell'ambito di applicazioni di rischio sismico a larga scala.

## 2 PERICOLOSITÀ SISMICA

Il modello di pericolosità sismica implementato nella piattaforma IRMA è il modello MPS04 (Stucchi et al. 2004, 2011), diventato mappa di riferimento per il territorio nazionale con l'emanazione dell'Ordinanza PCM 3519/2006 e adottato successivamente dalle norme tecniche (NTC08) per la definizione dell'azione sismica di riferimento. La mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale, in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni e riferita a suoli rigidi, è mostrata in Figura 1.

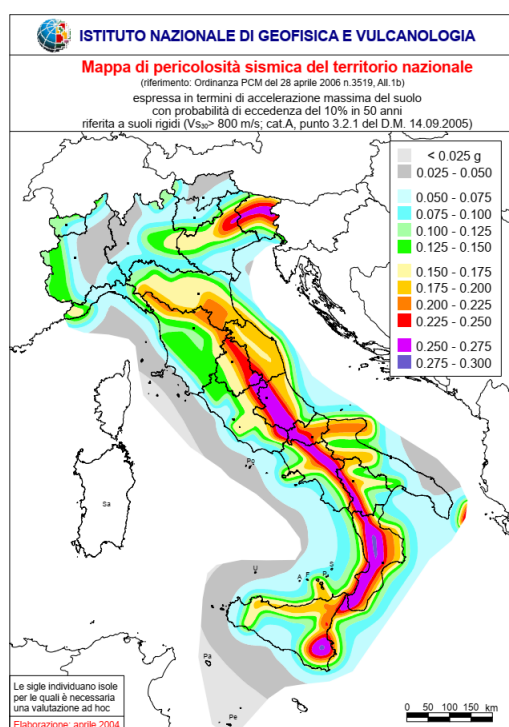


Figura 1. Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale, in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di superamento del 10% in 50 anni su suolo rigido (OPCM 3519 del 28 aprile 2006).

## 3 VULNERABILITÀ

Le valutazioni di rischio sismico a scala nazionale sono state effettuate implementando nella piattaforma IRMA i modelli di vulnerabilità proposti da Rosti et al. (2019) e Del Gaudio et al. (2019) per il costruito residenziale in muratura e c.a., rispettivamente.

I modelli di vulnerabilità utilizzati sono derivati coerentemente tra loro, elaborando statisticamente i dati di danno post-terremoto raccolti a seguito degli eventi sismici di Irpinia (1980) e L'Aquila (2009).

La vulnerabilità sismica è descritta in termini di curve di fragilità lognormali definite per cinque stati di danno della EMS-98 (Grünthal et al. 1998), adottando l'accelerazione di picco al suolo (PGA) da shakemap come misura dello scuotimento sismico. Le curve di fragilità sono definite per cinque classi di vulnerabilità (A, B, C1, C2 e D), di cui tre (A, B e C1), a vulnerabilità decrescente, per gli edifici in muratura e due (C2 e D), a vulnerabilità decrescente, per gli edifici in cemento armato. La definizione delle cinque classi di vulnerabilità è riportata in Tabella 1.

Le classi di vulnerabilità sono state ulteriormente suddivise sulla base del numero di piani. Nel caso degli edifici in muratura, si sono considerate due classi di piano, quali L (edifici bassi: 1-2 piani) e MH (edifici medio-alti: >2 piani). Gli edifici in c.a. sono stati classificati in edifici bassi (L: 1-2 piani), edifici di media altezza (M: 3-4 piani) ed edifici alti (H: >4 piani).

La Figura 2 e la Figura 3 mostrano le curve di fragilità, derivate per classi di vulnerabilità e classi di piano, relative agli edifici in muratura e c.a., rispettivamente.

Per ulteriori dettagli sulla derivazione e caratteristiche dei modelli di vulnerabilità utilizzati, si rimanda a Rosti et al. (2019) e Del Gaudio et al. (2019).

Tabella 1. Definizione delle classi di vulnerabilità (Rosti et al. 2019, Del Gaudio et al. 2019).

Materiale	Tessitura e qualità muraria	Rigidezza dei solai	Catene/cordoli	Progettazione	Classe di vulnerabilità
Muratura	Irregolare o cattiva qualità	Flessibile	No	-	A
		Rigido	No		
	Regolare e buona qualità	Rigido	Si		B
		Flessibile	No		
Regolare e buona qualità	Flessibile	Si	C1		
	Rigido	No			
c.a.	-	-	-	Gravitazionali	C2
	-	-	-	Sismici pre-81	
				Sismici post-81	D

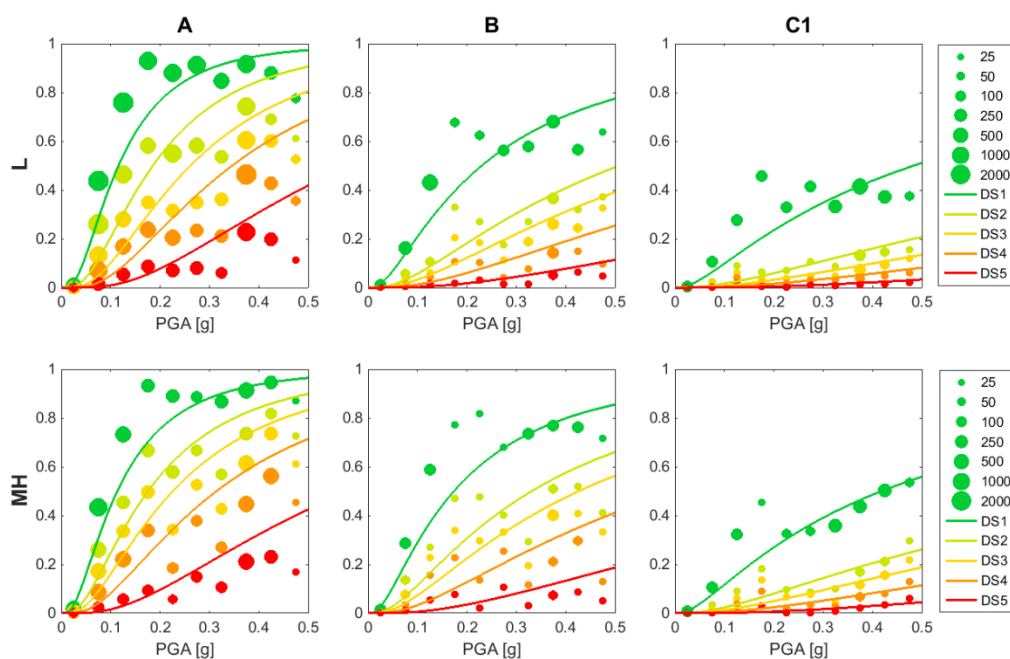


Figura 2. Curve di fragilità empiriche per classi di vulnerabilità e classi di piano per gli edifici residenziali in muratura (Rosti et al. 2019).

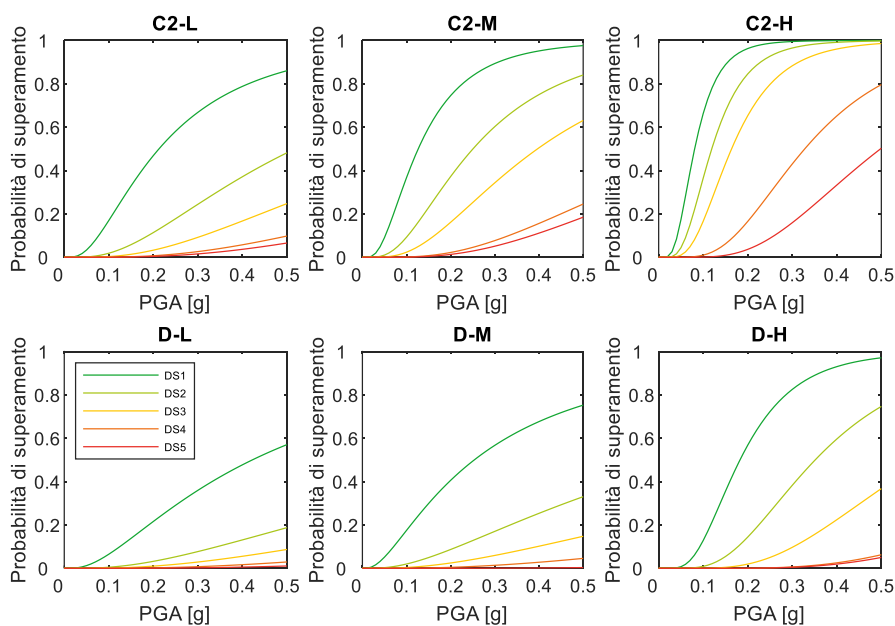


Figura 3. Curve di fragilità empiriche per classi di vulnerabilità e classi di piano per gli edifici residenziali in c.a. (Del Gaudio et al. 2019).

#### 4 ESPOSIZIONE/VULNERABILITÀ

La consistenza del costruito esistente deriva dai dati del censimento nazionale ISTAT (2001), implementato nella piattaforma IRMA. In Figura 4 si mostra la distribuzione geografica del numero di edifici e di abitazioni, della popolazione e della

superficie esposta, secondo il censimento nazionale ISTAT (2001). In Tabella 2, i dati di esposizione sono riportati con riferimento all'intero territorio nazionale. Si osserva che diverse stime di rischio potrebbero risultare utilizzando database di esposizione più recenti (ISTAT 2011).

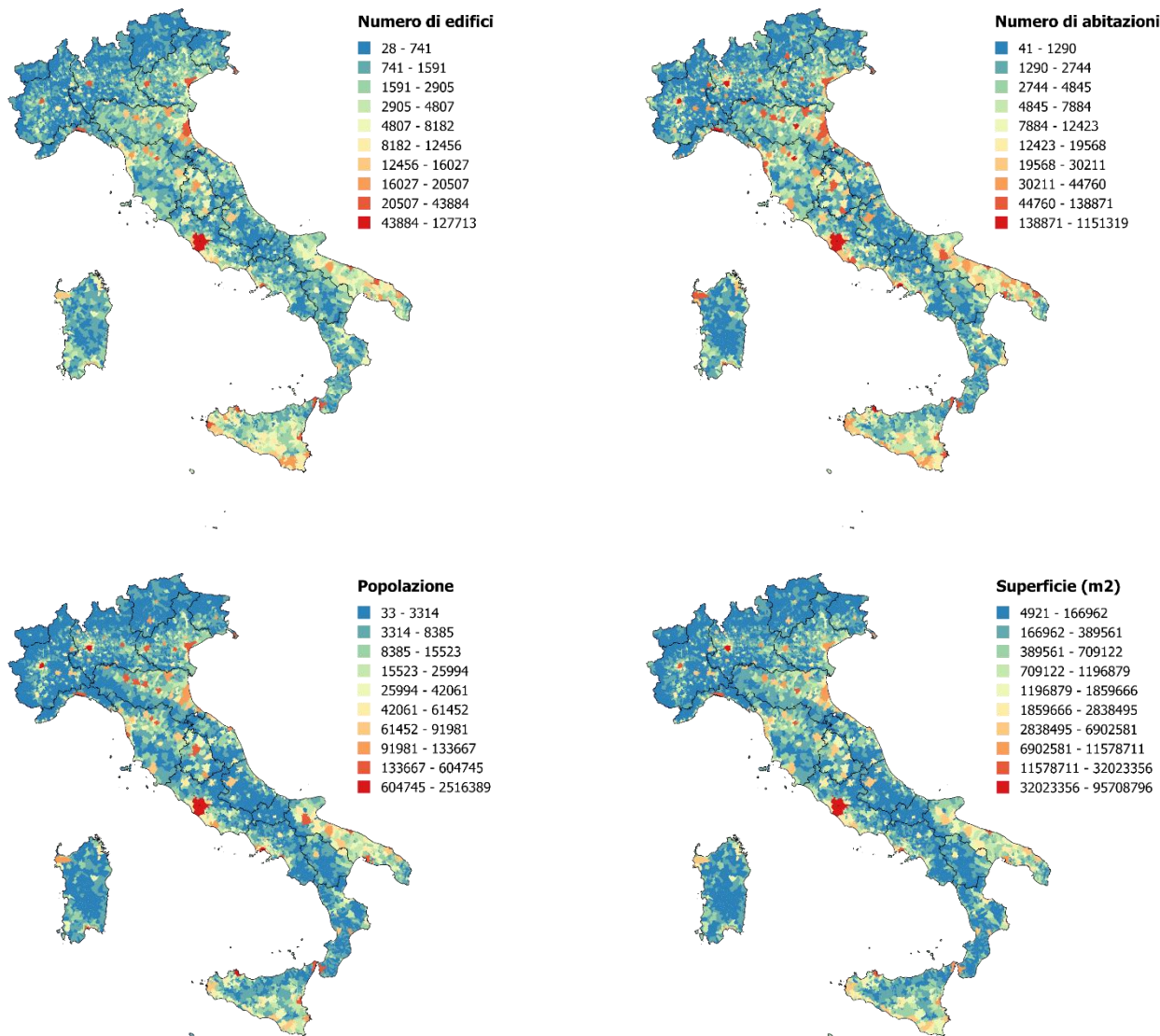


Figura 4. Esposizione: numero di edifici, numero di abitazioni, popolazione e superficie (ISTAT 2001).

Tabella 2. Esposizione dai dati del censimento nazionale ISTAT (2001) - scala nazionale.

	Edifici	Abitazioni	Superficie (m <sup>2</sup> )	Popolazione
Muratura+altro	7899973	14456388	1313355330	27966377
c.a.+altro	3326622	12827952	1188701734	28627138
<b>Totale</b>	<b>11226595</b>	<b>27284340</b>	<b>2502057064</b>	<b>56593515</b>

Le informazioni sul costruito esistente rilevabili dal censimento nazionale riguardano materiale da

costruzione, numero di piani ed epoca di costruzione. Per associare le curve di fragilità

definite per classi di vulnerabilità (Sezione 3) a categorie di edifici identificate sulla base delle caratteristiche rilevabili dal censimento nazionale, è quindi stato necessario definire la composizione del patrimonio abitativo in termini di classi di vulnerabilità. La suddivisione del costruito in muratura nelle classi di vulnerabilità A, B e C1 è stata effettuata mediante un approccio statistico (Rosti et al. 2019). Gli edifici in c.a. sono stati suddivisi nelle classi di vulnerabilità C2 e D sulla

base dell'epoca di costruzione e dell'anno di classificazione sismica del comune di appartenenza.

La composizione del costruito esistente nelle cinque classi di vulnerabilità, con riferimento all'intero territorio nazionale, è mostrata in Figura 5. Le mappe mostrano la distribuzione geografica delle percentuali di abitazioni che appartengono a ciascuna classe di vulnerabilità.

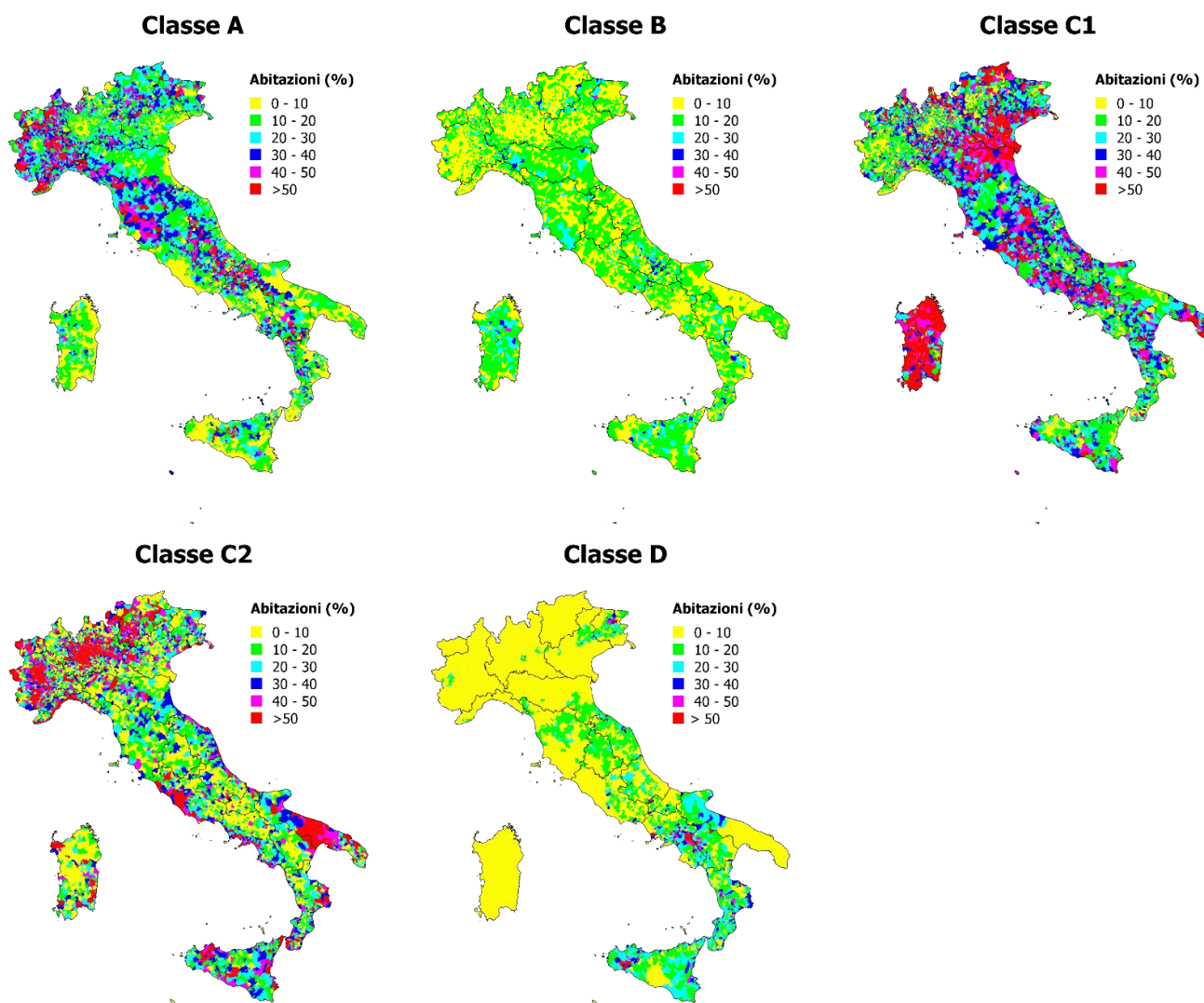


Figura 5. Composizione del costruito esistente in termini di percentuali di abitazioni che appartengono alle classi di vulnerabilità predefinite.

## 5 VALUTAZIONE DEL RISCHIO SIMICO A SCALA NAZIONALE

A partire da pericolosità, vulnerabilità ed esposizione definiti nelle Sezioni 2, 3 e 4, rispettivamente, si sono effettuate valutazioni di rischio sismico incondizionato a scala nazionale.

Le elaborazioni riportate nel seguito si riferiscono alla finestra temporale di un anno e sono ottenute considerando suolo rigido, coerentemente con il modello di pericolosità MPS04. Benché valutazioni riferite a suolo rigido potrebbero sottostimare il rischio, la scelta di considerare un suolo di tipo A deriva dall'assenza di informazioni accurate che consentano di tener

opportunamente conto di effetti di amplificazione locale. Le analisi potrebbero essere ripetute considerando un suolo di tipo B.

Il rischio è stato quantificato sia in termini di livelli di danno fisico (Sezione 5.1) sia per diversi tipi di conseguenze sul patrimonio abitativo e sulla popolazione (Sezione 5.2).

### 5.1 Stima del danno atteso annualmente

Le mappe di rischio sismico sono state in primo luogo prodotte in termini di livelli di danno, dal momento che le conseguenze sono ottenute a

partire dalle stime del numero di edifici e abitazioni nei diversi stati di danno, utilizzando opportuni modelli di correlazione tra danno fisico e perdite.

La Figura 6 mostra la distribuzione geografica del danno, in termini numero di abitazioni che eccedono i cinque livelli di danno, normalizzato rispetto al numero totale di abitazioni in ogni comune. Per ogni livello di danno, il numero di abitazioni atteso annualmente è riportato in Tabella 3, con riferimento all'intero territorio nazionale.

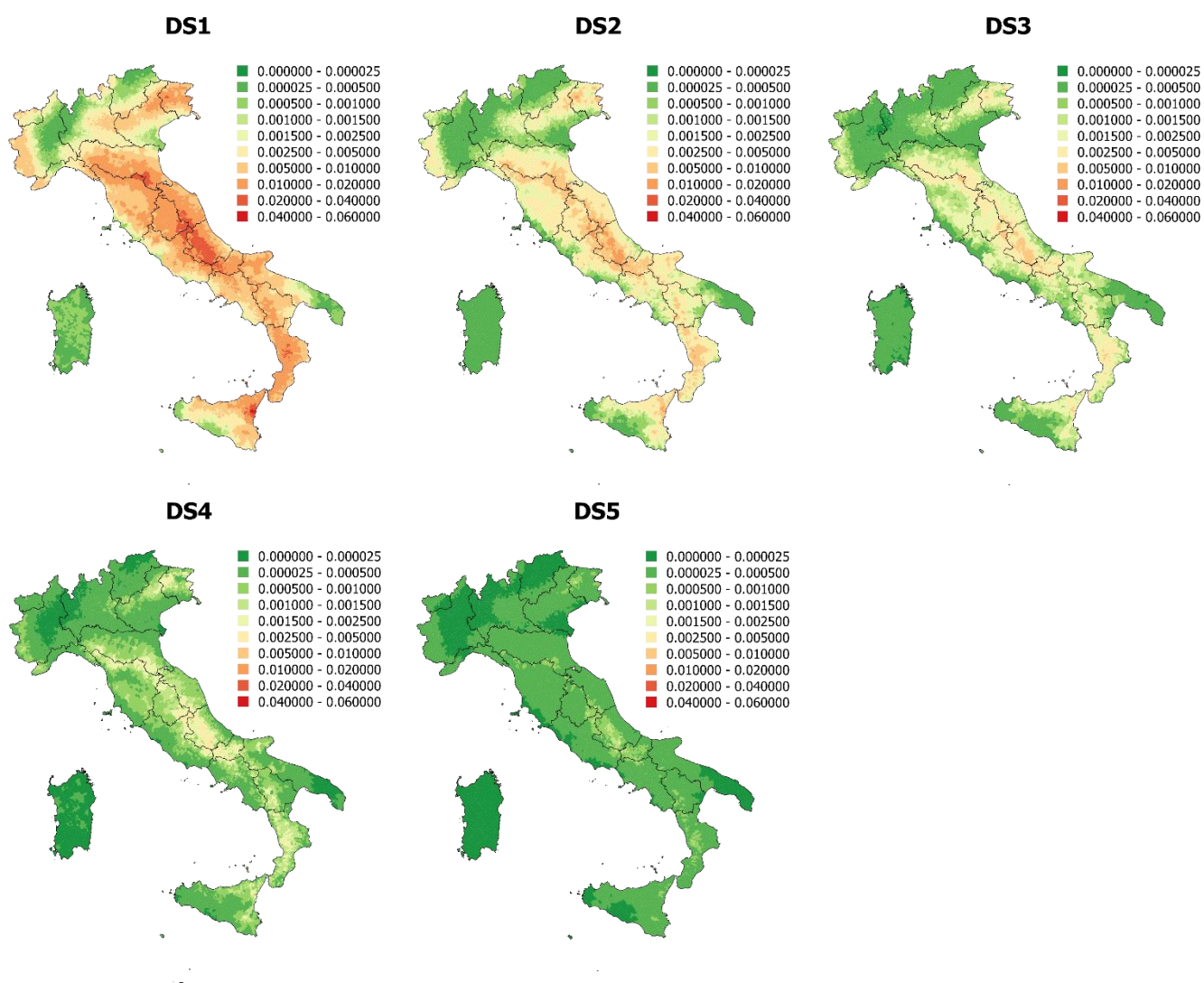


Figura 6. Numero atteso di abitazioni che eccedono annualmente i diversi livelli di danno, normalizzato rispetto al numero totale di abitazioni in ciascun comune.

Tabella 3. Numero di abitazioni danneggiate atteso annualmente a livello nazionale

Livello di danno	Numero abitazioni
DS1	114617
DS2	29957
DS3	19412
DS4	8114
DS5	3281

### 5.2 Stima delle perdite attese annualmente

Le conseguenze attese annualmente sul patrimonio edilizio e sulla popolazione sono state valutate in termini di perdite economiche dirette (Sezione 5.2.1), perdite umane (Sezione 5.2.2), abitazioni inagibili e crollate e numero di sfollati

(Sezione 5.2.3). Come anticipato in Sezione 5.1, la valutazione delle perdite è stata effettuata utilizzando opportuni modelli di correlazione tra i livelli di danno fisico e le conseguenze.

### 5.2.1 Perdite economiche dirette

Al fine di quantificare la perdita economica diretta si è considerato un costo unitario di ricostruzione pari a 1350 €/m<sup>2</sup>, comprensivo di spese tecniche e IVA. I parametri di costo adottati per la stima delle perdite attese sono stati calibrati sulla base dei costi di riparazione relativi al processo di ricostruzione a seguito di recenti eventi sismici (Di Ludovico et al. 2017 a, b). Le percentuali (minime e massime) del costo di ricostruzione, adottate per la stima delle perdite economiche dirette, sono riportate in Tabella 4.

Le mappe in Figura 7 e Figura 8 mostrano la stima (minima e massima, rispettivamente) della perdita economica diretta attesa annualmente, normalizzata rispetto al valore del costruito esistente. Quest'ultimo è stato stimato moltiplicando la superficie esposta per il costo unitario di 1350 €/m<sup>2</sup>.

Tabella 4. Percentuali del costo di ricostruzione per la valutazione delle perdite economiche dirette.

Livello di danno	$c_{r,min}$ (%)	$c_{r,max}$ (%)
DS1	2	5
DS2	10	20
DS3	30	45
DS4	60	80
DS5	100	100

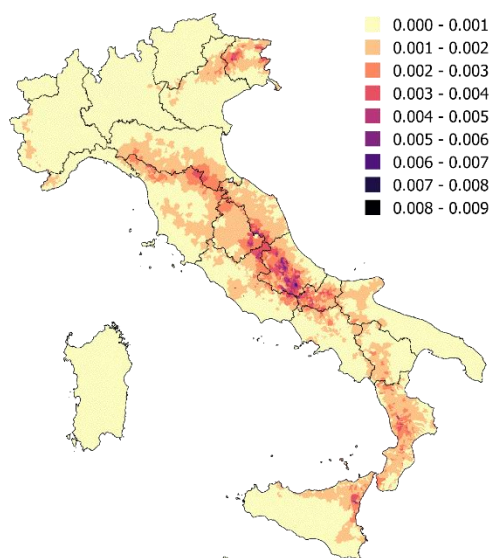


Figura 7. Perdite economiche dirette (minime) attese annualmente normalizzate rispetto al valore del costruito in ogni comune.

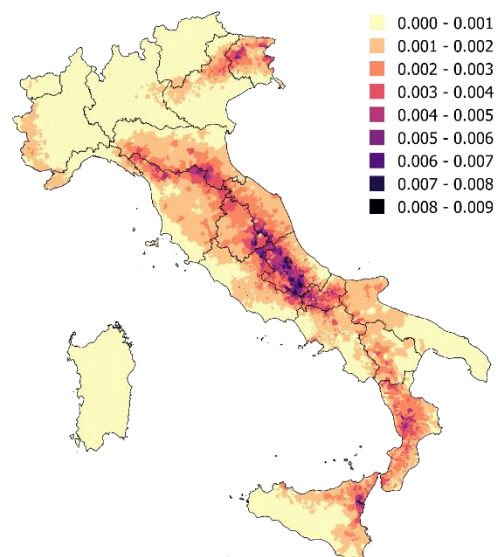


Figura 8. Perdite economiche dirette (massime) attese annualmente normalizzate rispetto al valore del costruito in ogni comune.

In Tabella 5 si riporta la stima della perdita economica diretta attesa annualmente sull'intero territorio nazionale. Si osserva che la perdita totale annua varia tra un minimo di 2.30 miliardi di euro ed un massimo di 3.62 miliardi di euro. Considerando che il valore totale del costruito esistente è dell'ordine di 3'400 miliardi di euro, il rapporto tra perdita economica diretta annua e valore del costruito varia tra un minimo di 0.068% ed un massimo di 0.107%.

Tabella 5. Stima delle perdite economiche dirette attese annualmente.

	Costo (MLD €)	Costo/valore (-)
Minimo	2.30	0.068%
Massimo	3.62	0.107%

### 5.2.2 Perdite umane

Le perdite umane (morti e feriti gravi) attese annualmente sono state stimate utilizzando le relazioni tra livelli di danno fisico e vittime riportate in Tabella 6, definite nell'ambito del progetto ReLUIS-DPC 2018 (Dolce et al. 2019). Si osserva che tali percentuali sono state adottate indipendentemente dal materiale da costruzione.

La Figura 9 e la Figura 10 mostrano, rispettivamente, la distribuzione spaziale del numero di morti e di feriti attesi annualmente, normalizzato rispetto alla popolazione in ciascun comune.

Tabella 6. Relazioni danno-vittime per la valutazione delle conseguenze umane.

Livello di danno	Morti (%)	Feriti gravi (%)
DS1	0	0
DS2	0	0
DS3	0	0
DS4	1	5
DS5	10	30

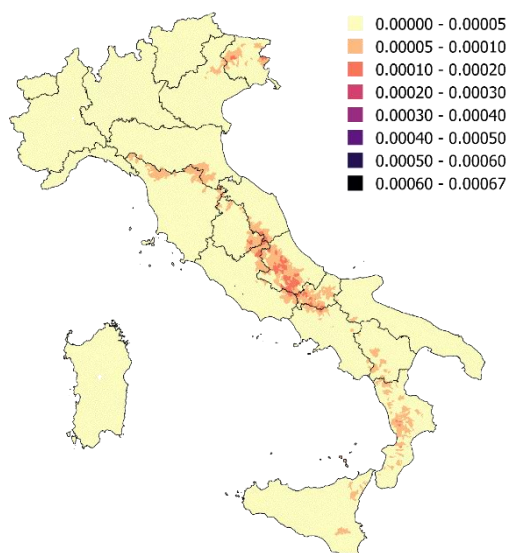


Figura 9. Numero di morti attesi annualmente normalizzato rispetto alla popolazione in ogni comune.

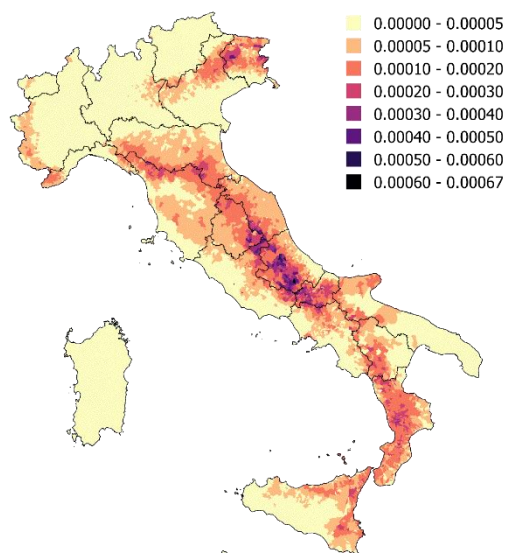


Figura 10. Numero di feriti gravi attesi annualmente normalizzato rispetto alla popolazione in ogni comune.

In Tabella 7 è riportato il numero totale di vittime attese annualmente a livello nazionale. La stima del numero di morti sembrerebbe sovrastimare considerevolmente il numero di morti osservato negli ultimi 50 anni (circa 5100, NRA 2018). Tuttavia, se si considera l'arco temporale 1860-2010, la previsione sottostima fortemente il numero di morti registrato (più di 200'000, NRA 2018).

Tabella 7. Stima delle perdite umane attese annualmente a livello nazionale.

	Numero	Vittime/popolazione
Morti	763	0.0135 ‰
Feriti gravi	2588	0.0457 ‰

### 5.2.3 Abitazioni inagibili e collassate, sfollati

Le conseguenze sono state infine valutate in termini di abitazioni inagibili nel breve e lungo periodo, abitazioni collassate e numero di sfollati. A seguito di un evento sismico, la possibilità di disporre di questo tipo di informazioni è infatti di estrema utilità sia la pianificazione di alloggi temporanei per gli sfollati sia per la stima dei costi indiretti.

Il numero atteso di abitazioni inagibili e collassate è stato stimato utilizzando il modello di perdita riportato in Tabella 8, definito nell'ambito del progetto ReLUIIS-DPC 2018 (Dolce et al. 2019).

I risultati ottenuti sono mostrati in Figura 11, Figura 12 e Figura 13 che rappresentano, rispettivamente, il numero di abitazioni inagibili nel breve periodo, il numero di abitazioni inagibili nel lungo periodo ed il numero di abitazioni collassate atteso annualmente, normalizzato rispetto al totale di abitazioni in ciascun comune.

Il numero di sfollati è stato calcolato a posteriori, considerando il numero di persone in edifici inagibili e collassati, a cui è stato sottratto il numero di morti (Figura 14).

I risultati ottenuti a livello nazionale sono riassunti in Tabella 9. Si osserva che il numero di sfollati atteso annualmente è dell'ordine di 80'000 persone, mentre il numero di abitazioni inagibili (sia nel breve che nel lungo periodo) ammonta a circa 39'000.



Tabella 8. Relazioni danno-agibilità per la valutazione delle abitazioni agibili, inagibili (nel breve o lungo periodo) e collassate.

Livello di danno	Agibili (%)	Inagibili breve periodo (%)	Inagibili lungo periodo (%)	Collassati (%)
DS1	100	0	0	0
DS2	60	40	0	0
DS3	0	40	60	0
DS4	0	0	100	0
DS5	0	0	0	100

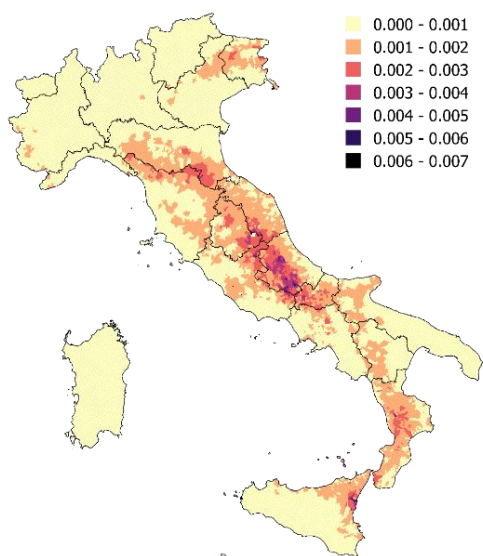


Figura 11. Numero di abitazioni inagibili nel breve periodo atteso annualmente normalizzato rispetto al numero di abitazioni in ogni comune.

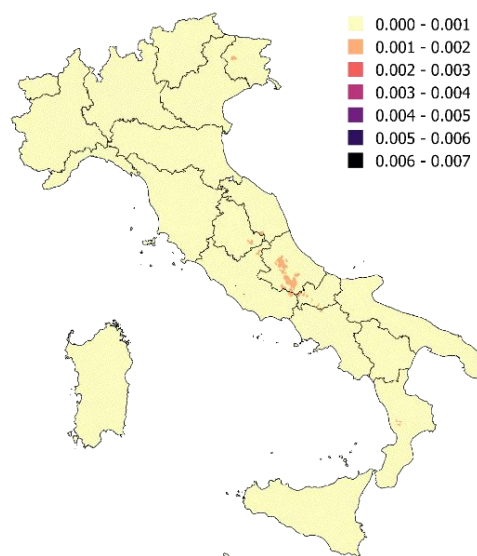


Figura 13. Numero di abitazioni collassate nel lungo periodo atteso annualmente normalizzato rispetto al numero di abitazioni in ogni comune.

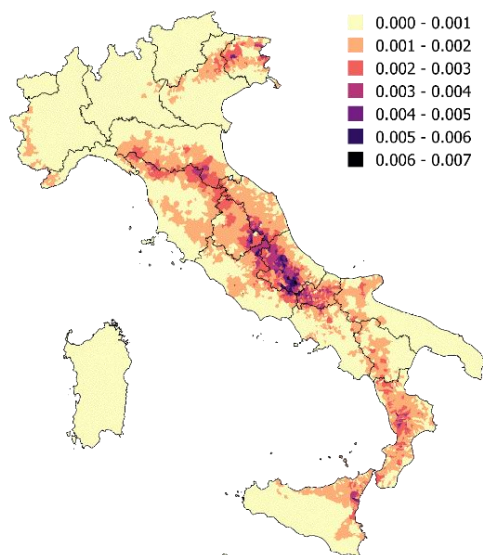


Figura 12. Numero di abitazioni inagibili nel lungo periodo atteso annualmente normalizzato rispetto al numero di abitazioni in ogni comune.

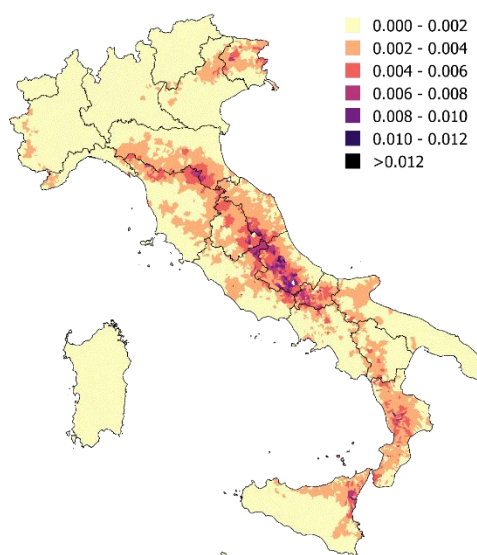


Figura 14. Numero di sfollati atteso annualmente, normalizzato rispetto alla popolazione in ciascun comune.

Tabella 9. Numero di sfollati, numero di abitazioni inagibili nel breve e lungo periodo e numero di abitazioni crollate, attesi annualmente

	Sfollati	Abitazioni inagibili - breve termine	Abitazioni inagibili - lungo termine	Abitazioni crollate
Numero	83932	19748	19761	3281
(%)	0.148	0.072	0.072	0.012

## 6 CONCLUSIONI

In questo lavoro, i modelli di vulnerabilità per edifici residenziali italiani in muratura e c.a., rispettivamente proposti da Rosti et al. (2019) e Del Gaudio et al. (2019), sono utilizzati per effettuare valutazioni di rischio sismico a scala nazionale. I modelli di vulnerabilità sono coerentemente definiti tra loro, elaborando statisticamente i dati di danno post-terremoto relativi a Irpinia (1980) e L'Aquila (2009). Le curve di fragilità sono derivate per cinque classi di vulnerabilità (A, B, C1, C2 e D), di cui tre sono definite per gli edifici in muratura (classi A, B e C1) e due per gli edifici in c.a. (classi C2 e D).

Le valutazioni di rischio sismico sono state effettuate utilizzando la piattaforma nazionale IRMA, in cui è implementato il modello di pericolosità MPS04 (Stucchi et al. 2004, 2011). La composizione del costruito esistente nelle classi di vulnerabilità è stata definita a partire dai dati del censimento nazionale (ISTAT 2001).

Le mappe nazionali di rischio sismico sono state prodotte in termini di danno e di diversi tipi di perdita. Le conseguenze attese annualmente sono state quantificate in termini di perdite economiche dirette, vittime (morti e feriti), abitazioni crollate ed inagibili e numero di sfollati. I risultati ottenuti hanno mostrato l'adeguatezza dei modelli di vulnerabilità proposti ad essere utilizzati nell'ambito di valutazioni di rischio sismico a scala territoriale.

Il modello empirico presentato è stato utilizzato insieme ad altri modelli di vulnerabilità per la derivazione di mappe nazionali di rischio sismico, nell'ambito del progetto ReLUIIS-DPC 2018 (Dolce et al. 2019).

## RINGRAZIAMENTI

Gli autori desiderano ringraziare il Dipartimento della Protezione Civile, che ha finanziato questo lavoro, svolto nell'ambito del progetto ReLUIIS-DPC 2014-2018.

## RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Borzi, B., Faravelli, M., Onida, M., Polli, D., Quaroni, D., Pagano, M., Di Meo, A., 2018. IRMA Platform (Italian Risk Maps). Atti della 37° Conferenza Nazionale GNGTS. Novembre 19-21, Bologna, Italia.
- Crowley, H., Colombi, M., Borzi, B., Faravelli, M., Onida, M., Lopez, M., Polli, D., Meroni, F., Pinho, R., 2009. A comparison of seismic risk maps for Italy, *Bulletin of Earthquake Engineering*, 7(1),149-180.
- Del Gaudio, C., Rosti, A., Rota, M., Ricci, P., Penna, A., Verderame, G.M., 2019. Derivazione di curve di fragilità empiriche per edifici residenziali in c.a.. Atti del XVIII Convegno Nazionale in Ingegneria Sismica ANIDIS. Settembre 15-19, Ascoli Piceno, Italia.
- Di Ludovico, M., Prota, A., Moroni, C., Manfredi, G., Dolce, M., 2017a. Reconstruction process of damaged residential buildings outside historical centres after the L'Aquila earthquake: part I - "light damage" reconstruction, *Bulletin of Earthquake Engineering*, 15(2), 667-692.
- Di Ludovico, M., Prota, A., Moroni, C., Manfredi, G., Dolce, M., 2017b. Reconstruction process of damaged residential buildings outside historical centres after the L'Aquila earthquake - part II: "heavy damage" reconstruction, *Bulletin of Earthquake Engineering*, 15(2), 693-729.
- Di Pasquale, G., Orsini, G., Romeo, R.W., 2005. New Developments in Seismic Risk Assessment in Italy. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 3(1), 101-128.
- D.M.14.01.2008. Decreto Ministeriale 14 Gennaio 2008: "Norme tecniche per le costruzioni", Ministero delle Infrastrutture. S.O. n.30 alla G. U. del 4/02/2008, No. 29.
- Dolce, M., Borzi, B., Da Porto, F., Faravelli, M., Lagomarsino, S., Magenes, G., Moroni, C., Penna, A., Prota, A., Speranza, E., Zuccaro, G., Verderame, G.M., 2019. Mappe di rischio per il territorio italiano. Atti del XVIII Convegno Nazionale in Ingegneria Sismica ANIDIS. Settembre 15-19, Ascoli Piceno, Italia.
- Grünthal, G. (ed.), Musson, R.M.W., Schwarz, J., Stucchi M., 1998. European Macroseismic Scale. Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, Vol. 15 - European Macroseismic Scale 1998. European Centre for Geodynamics and Seismology, Luxembourg.
- ISTAT (2001). 14<sup>mo</sup> Censimento generale della popolazione e delle abitazioni.
- ISTAT (2011). 15<sup>mo</sup> Censimento generale della popolazione e delle abitazioni.
- Lucantoni, A., Bosi, V., Brammerini, F., De Marco, R., Lo Presti, T., Naso, G., Sabetta, F., 2001. Il rischio sismico in Italia. *Ingegneria Sismica*, 1, 5-35.
- National Risk Assessment (2018) Overview of the potential major disasters in Italy: seismic, volcanic, tsunamis, hydro-geological/hydraulic and extreme weather,

- droughts and forest fire risks. Dipartimento Nazionale della Protezione Civile.
- OPCM n.3519 del 28.04.2006 (2006) Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle stesse zone. G.U. 11.05.2006 n. 108
- Pagani, M., Monelli, D., Weatherill, G., Danciu, L., Crowley, H., Silva, V., Henshaw, P., Butler, L., Nastasi, M., Panzeri, L., Simionato, M., Vigano, D., 2014. OpenQuake Engine: An Open Hazard (and Risk) Software for the Global Earthquake Model, *Seismological Research Letters*, **85**(3),692-702.
- Rosti, A., Rota, M., Magenes, G., Penna, A., 2019. Derivazione di curve di fragilità empiriche per edifici residenziali in muratura. Atti del *XVIII Convegno Nazionale in Ingegneria Sismica ANIDIS*. Settembre 15-19, Ascoli Piceno, Italia.
- Rota, M., Penna, A., Strobbia, C., Magenes, G., 2011. Typological seismic risk maps for Italy. *Earthquake Spectra*, **27**(3), 907-926.
- Silva, V., Amo-Oduro, D., Calderon, A., Dabbeek, J., Despotaki, V., Martins, L., Rao, A., Simionato, M., Viganò, D., Yepes-Estrada, C., Acevedo, A., Crowley, H., Horspool, N., Jaiswal, K., Journeay, M., Pittore, M., 2018. Global Earthquake Model (GEM). Seismic Risk Map (version 2018.1), DOI: 10.13117/GEMGLOBAL-SEISMIC-RISK-MAP-2018
- Stucchi, M., Akinci, A., Faccioli, E., Gasperini, P., Malagnini, L., Meletti, C., Montaldo, V., Valensise, G., 2004. Mappa di Pericolosità sismica del territorio Nazionale  
<http://zonesismiche.mi.ingv.it/documenti/rapportoconclusivo.pdf>.
- Stucchi, M., Meletti, C., Montaldo, V., Crowley, H., Calvi, G.M., Boschi, E., 2011. Seismic hazard assessment (2003- 2009) for the Italian building code. Bulletin of the Seismological Society of America, **101**(4), 1885-1911.