



Confronto tra metodi per la raccolta di dati di vulnerabilità sismica nella predisposizione di scenari di danno: esperienze ed applicazioni

Andrea Digrisolo^a, Angelo Masi^a, Ivano Curcio^b, Giuseppe Ventura^a, Giuseppe Nicodemo^a

^a Scuola di Ingegneria, Università della Basilicata, Potenza, Italia

^b Esercito Italiano, 14° Reparto Infrastrutture, Cagliari, Italia

Keywords: edifici, vulnerabilità sismica, rischio sismico, raccolta dati di vulnerabilità, scenari di danno

ABSTRACT

La preparazione di scenari di danno rappresenta un aspetto di fondamentale importanza nelle attività volte alla mitigazione del rischio sismico. Per ottenere scenari di danno che siano in grado di ridurre le incertezze relative alla stima delle conseguenze attese a causa di un terremoto, è indispensabile possedere anche dati dove siano riportate le principali caratteristiche dell'edificato presente nel territorio oggetto di studio. Ad oggi l'unica banca dati presente in maniera omogenea sull'intero territorio italiano è il censimento degli edifici ISTAT, il quale però, contiene dati poveri e di limitata affidabilità riguardo le caratteristiche strutturali.

Nel presente lavoro vengono discussi i risultati di scenari di danno predisposti utilizzando dati di vulnerabilità sismica derivanti dall'applicazione di tre diverse metodologie di raccolta dati. La prima è una metodologia speditiva che permette di raccogliere informazioni utili per valutazioni di vulnerabilità, individuando le tipologie edilizie più diffuse all'interno di comparti sub-comunali omogenei dal punto di vista dell'edificato. La seconda si basa esclusivamente sull'utilizzo dei dati ISTAT 2011, mentre la terza deriva da un accurato rilievo building by building svolto da tecnici esperti. Queste tre diverse metodologie sono state applicate su tre centri urbani della Val d'Agri (Basilicata). Il confronto tra i risultati espressi in termini di danni attesi, vittime e feriti ha permesso di esaminare l'accuratezza dei metodi ed ha fornito importanti indicazioni su come questi possano venire utilizzati per le valutazioni di vulnerabilità su larga scala.

1 INTRODUZIONE

I recenti terremoti che hanno colpito l'Italia (L'Aquila 2009, Emilia 2012 e Centro Italia 2016) hanno confermato come le aree urbane con un'elevata densità di popolazione, di strutture e di infrastrutture siano maggiormente esposte a subire perdite economiche ed umane. Pertanto, la definizione di strategie di mitigazione è di assoluta rilevanza per una politica globale volta alla riduzione del rischio sismico.

In tale contesto le analisi di rischio sono indispensabili per la definizione di politiche di prevenzione a medio-lungo termine mentre gli scenari di danno sono uno strumento di fondamentale importanza per la redazione dei piani di protezione civile i quali, dopo un evento sismico, permettono di avviare in modo organizzato tutte le procedure necessarie per gestire e superare l'emergenza.

Negli ultimi anni sono stati sviluppati progetti di ricerca europei finalizzati alla stima della vulnerabilità sismica su vasta scala (Milutinovic

2003; Syner-G 2011), che valutano la distribuzione del danno atteso sia sugli edifici che sulle lifelines, le quali influiscono sull'efficienza dei soccorsi a seguito di un evento, oltre ad essere strettamente correlate ai danni economici. Tali progetti hanno sviluppato diverse applicazioni con l'obiettivo di calcolare scenari di danno sismico ed analisi d'impatto globale per la definizione di piani di gestione utili per la riduzione del rischio.

Per le differenti tipologie costruttive maggiormente diffuse in ambito europeo, il WP4 del RISK-UE (Milutinovic 2003) ha avuto l'intento di sviluppare modelli di vulnerabilità che descrivono la relazione tra la probabilità condizionata di potenziali danni agli edifici in funzione di una pericolosità sismica adeguatamente determinata. All'interno del progetto, diversi gruppi di ricerca di sette nazioni europee hanno proposto differenti metodi per lo sviluppo di modelli di fragilità. L'importanza di stimare le perdite attese viene affrontata anche nel

progetto NERIES (NETwork of Research Infrastructures for European Seismology) (Stafford et al. 2007), finanziato dalla Commissione Europea. Sempre in ambito europeo, nel progetto SYNER-G 2011, è stata valutata la vulnerabilità sismica sia degli edifici che delle lifelines, oltre alla stima delle perdite per tutti gli elementi esposti al rischio e alla definizione di curve di fragilità. A tal fine è stata sviluppata l'applicazione EQVIS che, analogamente a quanto sviluppato in America dalla FEMA (Federal Emergency Management Agency) (HAZUS 2003), fornisce il legame tra la causa e l'effetto dell'evento disastroso con diverse opzioni di mitigazione.

Il problema della stima delle perdite causate da catastrofi naturali è stato affrontato anche negli Stati Uniti dove le ricerche condotte dalla FEMA e dal NIBS (National Institute of Building Sciences) hanno prodotto un software, HAZUS (HAZard United State), per la stima delle perdite dovute a vari rischi naturali (Whitman et al. 1997, HAZUS 2003), tra cui anche quello sismico.

Passando in ambito nazionale, negli ultimi anni si è rafforzata sempre più l'esigenza, da parte del Dipartimento della Protezione Civile (DPC), di migliorare le stime di vulnerabilità e rischio riferite ad ambiti più o meno estesi. Tra i primi progetti italiani è di particolare interesse il progetto Catania (Faccioli et al. 1999), finanziato dal DPC ed eseguito dal Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti (GNDT), che ha avuto come principale obiettivo la preparazione di scenari di danno per la città di Catania, avente una popolazione di circa 500.000 abitanti. Altro progetto di fondamentale rilevanza è il progetto SAVE (Strumenti Aggiornati per la Vulnerabilità sismica del patrimonio Edilizio e dei sistemi urbani) del GNDT, finanziato nel programma quadro 2000-2002 (Dolce e Martinelli 2005). Nell'ambito di tale progetto il primo task era interamente dedicato alla valutazione della vulnerabilità del patrimonio edilizio residenziale del territorio nazionale, con la redazione di mappe di rischio e perdite socio-economiche.

Tra i principali progetti attualmente in corso troviamo il Progetto triennale ReLUIS 2019-2021, (svolto dal consorzio "Rete dei Laboratori Universitari di Ingegneria Sismica"), che nel Work Package 2 tratta il tema: Inventario delle tipologie strutturali ed edilizie esistenti (CARTIS). Tra le varie attività, il WP si pone come obiettivo quello di ampliare lo studio di caratterizzazione tipologico-strutturale del patrimonio edilizio nazionale, iniziato nel quinquennio 2014-2018. L'attività mira all'individuazione qualitativa delle caratteristiche

costruttive "regionali" che, nel corso dei secoli, hanno notevolmente inciso sulle peculiarità e sulla qualità delle costruzioni, determinando sostanziali differenze locali anche in termini di risposta sismica.

2 PROCEDURE PER LA PREPARAZIONE DI SCENARI DI DANNO

Gli scenari di danno sismico permettono di valutare il danno strutturale e non strutturale di edifici ed infrastrutture e, mediante specifici modelli di perdite, le conseguenze attese in termini di feriti, vittime, senz'altro, nonché le perdite economiche dirette ed indirette.

La preparazione di scenari di danno sismico degli edifici richiede dettagliate informazioni di input tra cui un inventario degli edifici presenti, la stima della vulnerabilità degli stessi, la valutazione della pericolosità sismica dell'area e dei possibili effetti di sito (Dolce e Calvi 1997).

La valutazione della vulnerabilità può basarsi su informazioni ricavate da differenti fonti come l'analisi storica, il censimento degli edifici, la fotogrammetria aerea, i rilievi in sito, le interviste agli esperti locali unite alla consultazione di documentazione tecnica (Dolce et al. 2003). Particolarmente importante è l'analisi storica che può fornire informazioni molto utili sull'età, sulle caratteristiche strutturali, sulla normativa adottata per la progettazione, sulle trasformazioni subite nel corso degli anni e, soprattutto, sulla sismicità storica (Dolce et al. 2002).

Tuttavia ad oggi l'unica banca dati presente in maniera omogenea sull'intero territorio italiano è il censimento degli edifici ISTAT, il quale, oltre a presentare dati poveri, è di limitata affidabilità. (Samela et al. 2009).

L'ISTAT inoltre, per i singoli comuni, fornisce i dati in maniera aggregata per sezione censuaria; in altre parole è possibile conoscere quanti edifici vi sono per una data tipologia, ma non è possibile combinare le singole tipologie con altri parametri a disposizione (e.g. l'età di costruzione o il numero di piani), ciò limita l'uso dei dati e, soprattutto, le possibilità di analisi ed elaborazioni.

Per ottenere informazioni di maggiore dettaglio sulle tipologie degli edifici presenti in un'area, è possibile realizzare delle banche dati mediante l'ausilio di metodologie che permettono l'individuazione delle principali caratteristiche degli edifici utili alla valutazione del comportamento sotto azione sismica. Tali metodologie possono essere applicate su ogni singolo edificio, attraverso un rilievo a tappeto,

oppure individuando delle categorie di costruzioni aventi caratteristiche omogenee all'interno di comparti, ovvero aree che si caratterizzano per la presenza di edifici simili dal punto di vista tipologico-strutturale e/o per età di costruzione (Dolce et al. 2002, Zuccaro et al. 2015). Nel primo caso è possibile utilizzare la scheda di 1° livello per il rilevamento delle caratteristiche tipologiche di edifici ordinari (scheda AEDES; Baggio, 2002), nel secondo, invece, è possibile applicare il protocollo di intervista (Dolce et al. 2002) o la sua attuale evoluzione, ovvero la scheda CARTIS (Cartis 2014, Zuccaro et al. 2015). Naturalmente, i dati raccolti secondo l'una o l'altra metodologia risultano avere un grado di dettaglio ed un'affidabilità differente.

Per la stima della vulnerabilità degli edifici possono essere applicati diversi modelli presenti in letteratura (Calvi et al. 2006). Tali modelli valutano la probabilità di occorrenza o di superamento di un certo livello di danno valutato secondo la Scala Macrosismica Europea EMS-98 (Grünthal 1998), in funzione di un parametro di input che sia rappresentativo della severità del sisma. In genere, per studi su vasta scala, i modelli di vulnerabilità si basano su pochi parametri e spesso la loro validazione si basa sulle osservazioni dei terremoti passati. Tra questi, va ricordato il modello empirico delle Matrici di Probabilità di Danno (DPM) (Braga et al. 1982; Dolce et al. 2003) che valuta le conseguenze attese a causa di un terremoto in funzione dell'intensità macrosismica per determinate categorie di edifici.

Recentemente sono stati sviluppati altri modelli di stima del danno, e tra questi ricordiamo in primis le curve di fragilità, che utilizzano come parametri per definire la severità del sisma le intensità strumentali, come la PGA (Kappos et al. 2006), o parametri integrali, come l'Intensità di Housner (Masi et al. 2015). Tuttavia questi modelli richiedono una conoscenza degli edifici molto più dettagliata (Masi et al. 2012).

Qualora siano disponibili dettagliate informazioni, la scelta del metodo di stima risulta possibile, viceversa, l'uso di un modello di stima semplificato risulterà obbligato.

La pericolosità sismica di base può essere valutata mediante differenti metodi, i quali possono essere suddivisi principalmente in deterministici e probabilistici (McGuire, 2001).

I metodi deterministici possono basarsi sull'evento massimo credibile, che viene individuato tramite l'analisi dei cataloghi storici in termini di intensità macrosismica, oppure modellando processi di rottura delle sorgenti, nel

caso in cui si disponga di una conoscenza approfondita delle faglie presenti nell'area in esame (Chiauzzi, et al. 2012).

I metodi probabilistici, invece, associano una probabilità al verificarsi di un evento aleatorio com'è il terremoto. In Italia un riferimento standard è la mappa di pericolosità sismica (OPCM 3519/06), utilizzata dalle attuali Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC2018), la quale fornisce i parametri per la definizione dello spettro di risposta elastico per differenti periodi di ritorno.

In questo lavoro la pericolosità sismica è stata valutata con il secondo metodo, considerando uno spettro di risposta elastico su suolo rigido per un evento con una probabilità di superamento del 10% in 50 anni, ovvero un evento con un periodo di ritorno pari a 475 anni.

3 METODI DI RACCOLTA DATI PER LA MESSA A PUNTO DI BANCHE DATI PER LA STIMA DELLA VULNERABILITÀ

La preparazione di scenari di danno non è una procedura univoca in quanto è fortemente dipendente dalla disponibilità e qualità dei dati relativi alle caratteristiche degli edifici e dal livello di precisione nella stima dei parametri rappresentativi della pericolosità sismica.

Nel presente lavoro, la stima della vulnerabilità del costruito è stata eseguita utilizzando tre diverse tipologie di raccolta dati:

- Censimento ISTAT 2011;
- Rilievo Building by Building (BbyB);
- Rilievo speditivo tramite scheda CARTIS.

I tre database differiscono per la tipologia dei dati rilevati, per la loro accuratezza e per la fonte d'informazione.

Il database ISTAT rappresenta l'unica base dati ad oggi disponibile in forma omogenea su tutto il territorio italiano. Purtroppo esso contiene limitate informazioni sulle caratteristiche tipologiche degli edifici utili alla stima della vulnerabilità sismica. Inoltre, essendo i dati rilevati da personale non tecnico, possono essere affetti da errori sia di rilievo sia di interpretazione (Masi et al. 2001). In particolare, la scheda di rilievo utilizzata dai rilevatori ISTAT consente di ottenere informazioni sul materiale della struttura portante, l'epoca di costruzione, il numero di piani fuori terra, lo stato di conservazione e la contiguità. Tuttavia, il dato ISTAT viene fornito in maniera aggregata per sezioni censuarie e questo comporta la parziale fruibilità del dato, già inizialmente povero ed affetto da errori.

La seconda banca dati fa riferimento ai dati raccolti tramite un accurato rilievo building by building. Tali dati derivano da studi precedenti (Masi et al. 2014), in cui sono state effettuate due campagne di rilievo a tappeto per 18 comuni della Val d'Agri. In particolare nella prima campagna (2001-2003) è stata utilizzata la scheda di 1° livello di rilevamento danno, pronto intervento e agibilità per edifici ordinari nell'emergenza post-sisma "AeDES" (AeDES 2002; Baggio et al. 2002), la quale permette di ricavare informazioni dettagliate sulle tipologie in muratura, ma pochi dati per gli edifici in cemento armato. I comuni considerati in questo lavoro sono stati rilevati proprio durante la prima campagna, dunque per le tipologie in c.a. si hanno informazioni non del tutto esaustive.

Il terzo ed ultimo database utilizzato è stato realizzato mediante rilievi in sito con l'ausilio di un particolare protocollo di intervista che permette di rilevare le tipologie edilizie ordinarie prevalenti nell'ambito comunale o sub-comunale, suddividendo il territorio oggetto di studio in comparti caratterizzati da omogeneità del tessuto edilizio per età di primo impianto e/o tecniche costruttive strutturali. Nel presente lavoro, è stato utilizzato un particolare protocollo d'intervista denominato scheda CARTIS (CARatterizzazione Tipologica Strutturale), (CARTIS 2014; Zuccaro et al. 2015), sviluppata e sperimentata all'interno del progetto ReLUI5 2014-2018, linea: "Sviluppo di una metodologia sistematica per la valutazione dell'esposizione a scala territoriale sulla base delle caratteristiche tipologico-strutturali degli edifici".

La scheda in questione si riferisce ai soli edifici ordinari, quelli prevalentemente ad uso abitativo e/o commerciale. Sono escluse dalla caratterizzazione tutte le tipologie riconducibili a beni monumentali (edifici religiosi, palazzi storici, etc.), a strutture speciali, (capannoni industriali, centri commerciali, etc.) o strategiche (ospedali, scuole, caserme, prefetture, sedi di protezione civile, etc.), le cui caratteristiche non rientrano in quelle degli edifici ordinari.

La scheda viene compilata da un tecnico rilevatore con l'ausilio di esperti conoscitori delle tipologie e delle tradizioni costruttive del territorio oggetto di studio. Tuttavia, preliminarmente alle interviste rivolte agli esperti, occorre effettuare uno studio autonomo del territorio, così da migliorare lo spirito critico nella raccolta delle informazioni stesse e, soprattutto, comprendere meglio le informazioni fornite. Alle fonti bibliografiche e documentarie, si possono aggiungere quella cartografica e catastale, nonché la consultazione di foto aeree e

satellitari. La scheda in questione è divisa in 4 sezioni: la sezione 0 identifica il comune in esame e i comparti in esso individuati; la sezione 1 identifica ciascuna delle tipologie prevalenti che caratterizzano il comparto; la sezione 2 identifica le caratteristiche generali delle tipologie individuate e, infine, la sezione 3 identifica le caratteristiche degli elementi strutturali di ogni tipologia ed è suddivisa in due sottosezioni, una relativa alla muratura ed una al cemento armato.

3.1 Raccolta dati per tre comuni della Val d'Agri

Il prodotto finale del presente lavoro è la predisposizione di scenari di danno sismico per tre comuni della Val D'Agri (Viggiano, Grumento Nova e Tramutola) a partire dalle informazioni ricavate da tre diverse metodologie di raccolta dati per la stima della vulnerabilità.

I dati ISTAT sono stati ricavati dal sito ufficiale (ISTAT 2011), mentre i dati del rilievo building by building sono stati ottenuti dall'analisi di studi già effettuati in passato (Masi et al. 2014).

Per la predisposizione del database relativo alla scheda CARTIS, è stato necessario recarsi di persona nei comuni interessati e compilare la scheda in ogni sua parte con l'ausilio di tecnici esperti del territorio. Grazie ad essi è stato possibile perimetrare il territorio e ricavare gran parte delle informazioni richieste.

Nella Figura 1 si riportano le perimetrazioni dei comparti per i comuni di Viggiano, Grumento Nova e Tramutola, mentre nelle Tabelle 1, 2 e 3 sono riportati i principali dati per ognuno dei comparti individuati (Co), distinguendo le tipologie in muratura (MUR) da quelle in cemento armato (CAR).

In generale, i comparti in rosso (e giallo per Viggiano) sono riferiti ai centri storici, mentre in viola e in verde si identificano i comparti che fanno riferimento rispettivamente alle prime aree di espansione e a quelle di recente costruzione. Le molteplici caratteristiche individuate per le singole tipologie non vengono qui riportate per motivi di sintesi.

Come si evince dalle Tabelle 1, 2 e 3, i comparti relativi ai centri storici (e.g. Co1 per i 3 comuni) sono caratterizzati quasi esclusivamente da costruzioni in muratura portante. Inoltre le strutture in muratura possono essere suddivise in diverse tipologie in funzione della molteplicità di configurazioni date dalla combinazione tra paramento verticale e solaio, altezza, età di costruzione, dettagli costruttivi ed eventuali interventi strutturali.

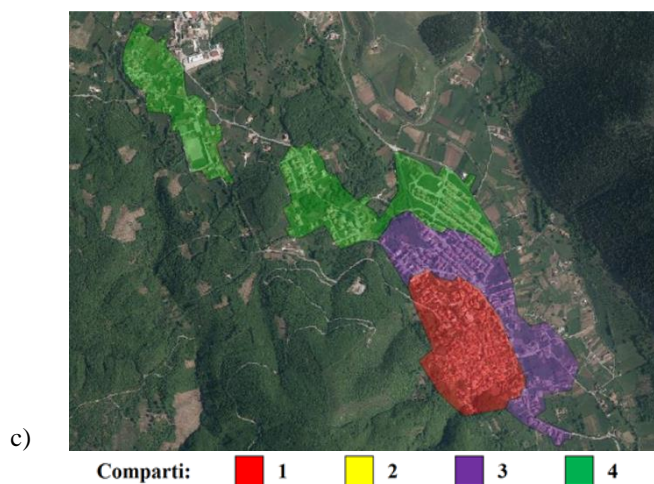
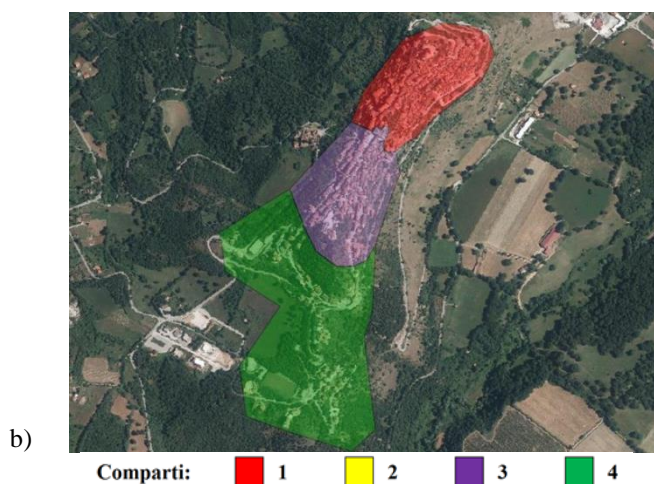
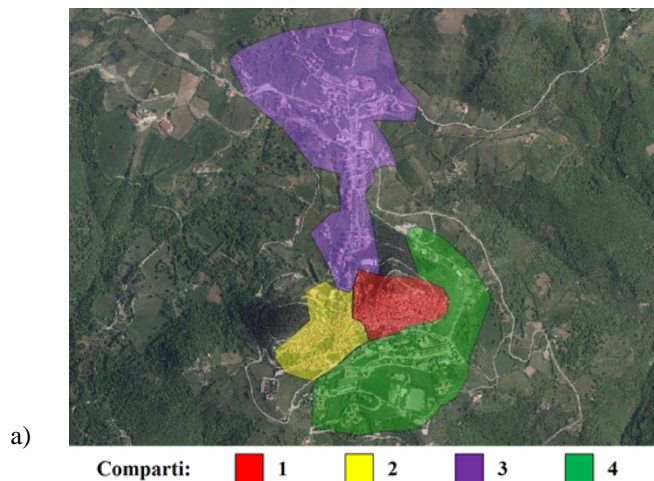


Figura 1. Divisione del centro abitato in comparti omogenei: a) Viggiano; b) Grumento Nova; c) Tramutola.

Negli altri comparti (e.g. Co3) invece, la tipologia più diffusa è quella in cemento armato che presenta diverse configurazioni determinate dalle caratteristiche geometriche-strutturali e dall'età di costruzione.

A valle della raccolta dati tramite scheda CARTIS, le informazioni sono state informatizzate e successivamente confrontate con i dati ricavati da ISTAT e quelli provenienti dal rilievo building by building.

Tabella 1. Stima edifici nel comune di Viggiano.

Comparto	Tipologia	n. edifici	
		Tipolog.	Comp.
Co1	MUR 1	300	570
	MUR 2	180	
	MUR 3	60	
	CAR 1	30	
Co2	MUR 1	170	550
	MUR 2	350	
	CAR 1	30	
Co3	CAR 1	160	190
	CAR 2	30	
Co4	MUR 1	20	160
	CAR 1	80	
	CAR 2	60	
		Tot.	1470

Tabella 2. Stima edifici nel comune di Grumento Nova.

Comparto	Tipologia	n. edifici	
		Tipolog.	Comp.
Co1	MUR 1	550	580
	CAR 1	30	
Co2	MUR 1	260	340
	MUR 2	40	
	CAR 1	40	
Co3	CAR 1	60	65
	CAR 2	5	
		Tot.	985

Tabella 3. Stima edifici nel comune di Tramutola.

Comparto	Tipologia	n. edifici	
		Tipolog.	Comp.
Co1	MUR1	660	900
	MUR2	190	
	CAR1	50	
Co2	MUR1	90	230
	CAR1	70	
	CAR2	70	
Co3	CAR1	150	250
	CAR2	100	
		Tot.	1380

È stato effettuato un primo confronto in termini di età di costruzione degli edifici considerando le tre diverse banche dati. In Figura 2 viene riportata la percentuale di edifici in funzione di tre classi di età (≤ 1945 ; 1946-1981 e > 1981), rispettivamente per i comuni di Viggiano, Grumento Nova e Tramutola.

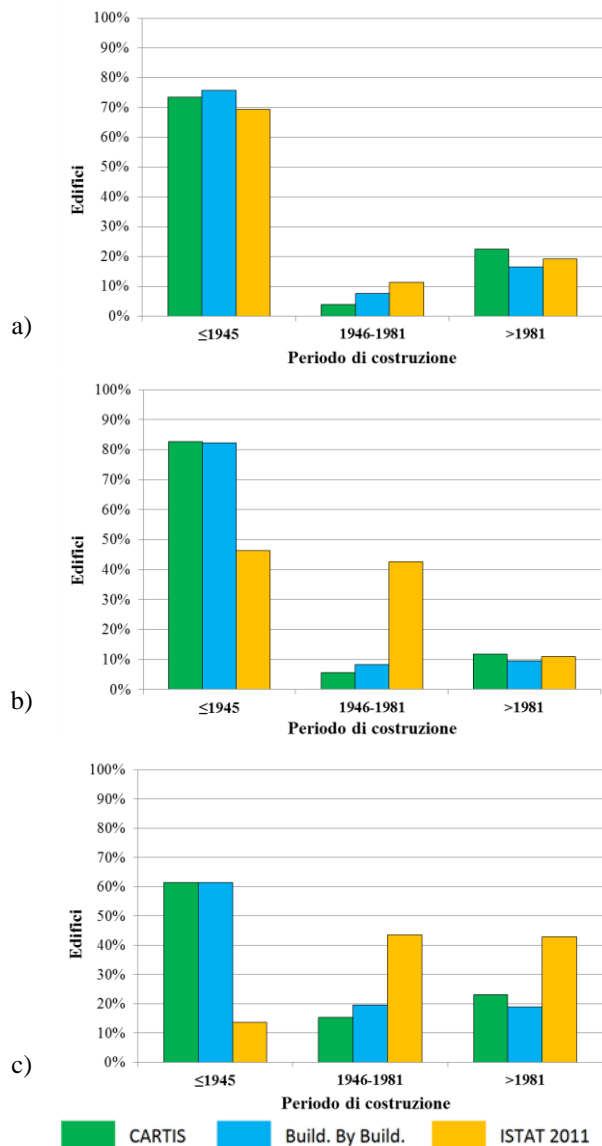


Figura 2. Distribuzione degli edifici per età di costruzione: a) Viggiano; b) Grumento Nova; c) Tramutola.

Nei tre centri urbani analizzati, i risultati ottenuti da CARTIS risultano simili a quelli ottenuti dai più accurati rilievi building by building. Situazione diversa si ottiene con i dati ISTAT i quali, in alcuni casi, producono una distribuzione molto più discordante. In particolare, il dato ISTAT sottostima notevolmente il numero di edifici costruiti prima del 1945 nei comuni di Grumento Nova e Tramutola, amplificando la presenza di quelli costruiti dopo il 1981, rappresentativi di edifici di nuova costruzione o ricostruiti a seguito del sisma del 1980. Tale situazione porta a far emergere una distribuzione che non risulta credibile in un territorio che, come potuto costatare dalle indagini svolte in situ, negli ultimi decenni non ha subito profonde trasformazioni urbanistiche. Le dirette conseguenze di questo errore si ripercuotono su una inadeguata stima della vulnerabilità, soprattutto quando viene attribuita in funzione dell'età di costruzione.

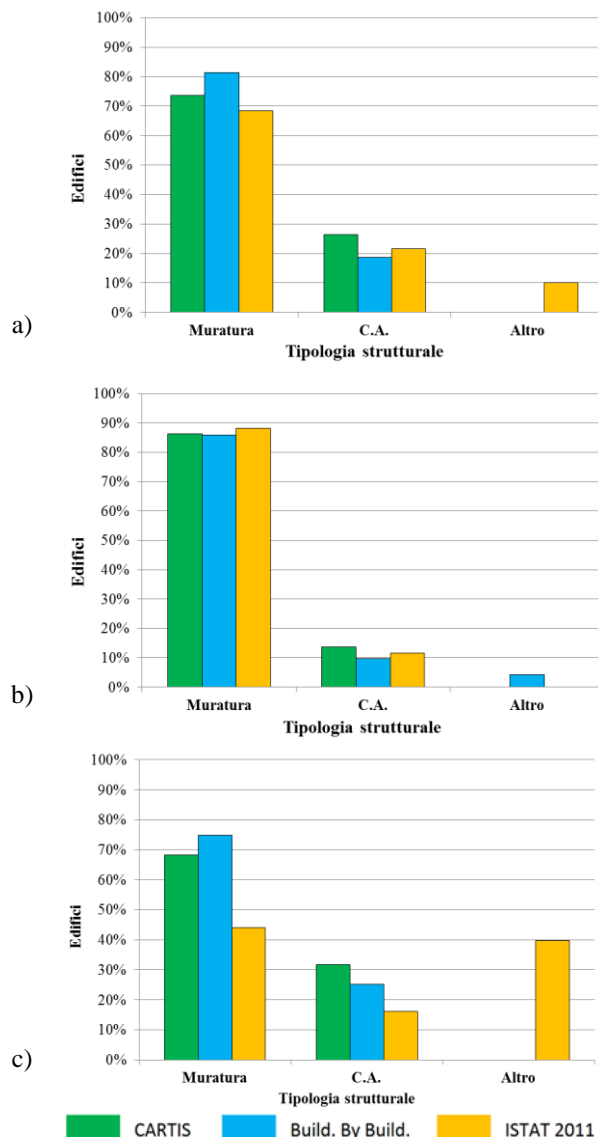


Figura 3. Distribuzione delle tipologie strutturali: a) Viggiano; b) Grumento Nova; c) Tramutola.

Analizzando la tipologia costruttiva presente nei comuni (Figura 3), si ottengono percentuali abbastanza simili tra i dati relativi al rilievo speditivo (CARTIS) e quelli building by building. Anche in questo caso, si hanno forti incertezze sul dato ricavato da ISTAT, il quale mostra un'elevata percentuale di edifici costruiti con materiali diversi da c.a. e muratura, definiti "Altro" (vedi il comune di Tramutola con il 40%). Tali valori sono di discutibile veridicità in quanto, tradizionalmente, nelle aree di studio i principali materiali da costruzione appartengono sempre alle prime due categorie con una prevalenza della muratura, tipica dei borghi antichi. Tuttavia, per il comune di Tramutola, tale anomalia si aggiunge a quella prima evidenziata sull'età di costruzione. Analisi mirate, e su più comuni, in questa direzione, potrebbero essere utili per capire se esiste una certa correlazione e eventualmente provare ad effettuare operazioni di

correzione del dato ISTAT prima di utilizzarlo per valutazioni di vulnerabilità.

Effettuando un'analisi di maggiore dettaglio, per il comune di Viggiano sono state analizzate le distribuzioni di frequenza dell'età di costruzione per ogni comparto considerando soltanto il rilievo CARTIS e a quello BbyB (Figure 4a e 4b). Il dato ISTAT è stato trascurato perché risulta meno affidabile e non immediatamente applicabile a livello di comparto (non sempre i comparti coincidono con le sezioni censuarie ISTAT). Il risultato ottenuto mostra che, all'aumentare della risoluzione, si iniziano ad osservare maggiori discrepanze tra i valori ricavati dal rilievo CARTIS e quelli ottenuti dal rilievo BbyB. Per i primi due comparti, caratterizzati perlopiù da muratura (<1945), i rilievi producono risultati simili. Nel terzo comparto, dal rilievo BbyB emerge una piccola percentuale di edifici costruiti prima del 1945 che non è stata rilevata tramite il rilievo CARTIS.

Le maggiori differenze si ottengono nel quarto comparto dove per CARTIS circa il 90% degli edifici è stato costruito dopo il 1981, mentre dal rilievo BbyB emerge una distribuzione più omogenea delle classi di età, presentando comunque con una percentuale più alta per gli edifici costruiti dopo il 1981.

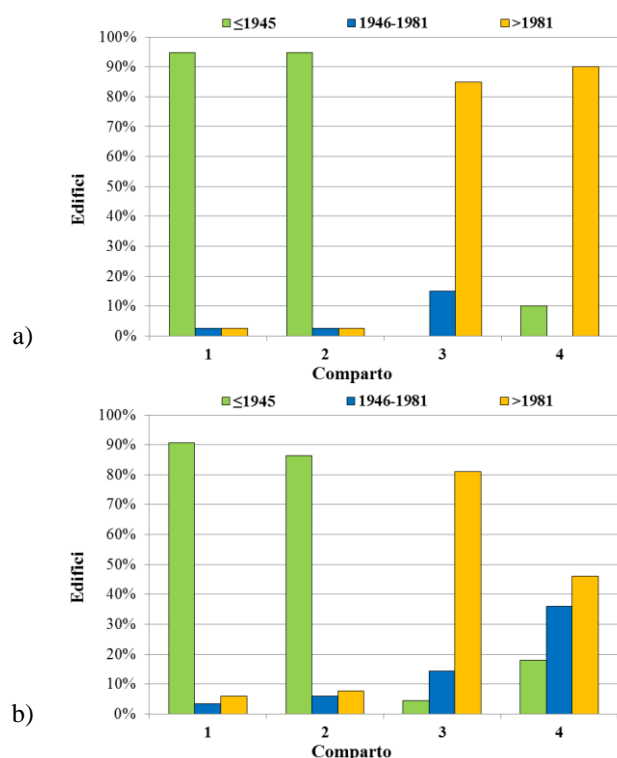


Figura 4. Distribuzione dell'età di costruzione nei comparti del comune di Viggiano: a) scheda CARTIS; b) rilievo building by building.

L'analisi appena descritta è stata eseguita anche per gli altri due comuni e, anche se non riportata per brevità, ha confermato quanto

emerso su Viggiano. Da qui si può dedurre che la scheda CARTIS risulta tanto più affidabile quanto maggiore è l'omogeneità del comparto, mentre dove vi è una maggiore varietà di tipologie, gli errori tendono ad aumentare in quanto la loro individuazione è fortemente dipendente dal livello di conoscenza e/o affidabilità del tecnico intervistato. Questo conferma l'utilità di un'accurata indagine sulla storia dell'evoluzione dell'edificato, nonché di un attento rilievo in campo da parte del rilevatore.

4 MODELLI DI VULNERABILITÀ

Tra i modelli di vulnerabilità più utilizzati in letteratura troviamo il metodo delle DPM che consente di stimare la probabilità di ottenere un determinato livello di danno, assegnata l'intensità sismica e la classe di vulnerabilità. L'approccio proposto da Braga et al. 1982 prevede la classificazione degli edifici in tre classi di vulnerabilità (alta A, media B e bassa C) alle quali si è aggiunta una quarta (classe D) per portare in conto la minore vulnerabilità degli edifici antisismici nuovi o adeguati (Dolce et al. 2003). La definizione delle classi di vulnerabilità è condotta utilizzando la formulazione riportata in Tabella 4.

Tabella 4. Classi di vulnerabilità ottenute dalla combinazione di strutture verticali e orizzontali (Dolce et al. 2003).

Strutture orizzontali	Strutture verticali			
	Muratura di qualità scadente	Muratura di qualità media	Muratura di qualità buona	Cemento armato
Sistemi a volte o misti	A	A	A	
Solai in legno con o senza catene	A	A	B	
Solai in putrelle con o senza catene	B	B	C	
Solai o solette in C.A.	B	C	C	C
Edifici antisismici o adeguati	D	D	D	D

In virtù della disponibilità di informazioni raccolte dai diversi metodi, la valutazione di vulnerabilità è stata condotta in maniera rigorosa per il database proveniente dal rilievo BbyB e per quello derivante da CARTIS. In particolare, per le strutture in muratura è stata considerata la combinazione tra il paramento verticale e quello orizzontale, mentre per le strutture in c.a. la classe di vulnerabilità è stata assegnata in funzione

dell'età di costruzione, attribuendo la classe C agli edifici costruiti prima del 1981 e la classe D a quelli costruiti subito dopo. Inoltre per le strutture in muratura che hanno subito interventi di adeguamento sismico, è stata assegnata la classe C agli edifici che inizialmente ricadevano in classe A o B, mentre è stata attribuita la classe D agli edifici che inizialmente erano in classe C. Per gli edifici in cemento armato che hanno subito interventi di adeguamento si è assegnata la classe di vulnerabilità D.

A causa delle limitate informazioni disponibili dal database ISTAT, la Classe di Vulnerabilità (Cv) è stata assegnata in funzione della sola età di costruzione, come di seguito riportato:

- Cv A= età di costruzione <1919;
- Cv B= età di costruzione 1920-1960;
- Cv C= età di costruzione 1961-1980;
- Cv D= età di costruzione >1981.

La classe di vulnerabilità D è stata attribuita con assoluta certezza dal momento che rappresenta le costruzioni realizzate dopo il 1981. Per le altre classi sono state fatte delle assunzioni in funzione delle tecniche costruttive tradizionali ricavate dall'analisi storica nei luoghi oggetto di studio. Infatti prima del 1920, le costruzioni erano costruite con struttura in muratura portante con solai deformabili in legno o con volte. Nelle epoche successive, fino agli anni '60, si è costruito sempre in muratura ma con solai semirigidi costituiti perlopiù da putrelle di ferro, invece a partire dagli anni '60, le tradizioni costruttive si sono orientate sul c.a. o su strutture in muratura con solaio in latero-cemento. Tuttavia si è trascurata una variabile importante per la valutazione della vulnerabilità, ossia gli interventi strutturali, i quali non possono essere identificati a partire dai soli dati ISTAT.

In Figura 5 si riportano le distribuzioni delle classi di vulnerabilità ottenute al variare del database per ognuno dei tre comuni.

In generale si osserva che le distribuzioni delle classi di vulnerabilità ottenute dai dati ISTAT si discostano maggiormente dalle altre due banche dati. Nello specifico, per il comune di Viggiano, la distribuzione in classi, ricavata tramite i dati ISTAT, presenta un'elevata percentuale di edifici in classe A, che comporta una generale sovrastima della vulnerabilità degli edifici del centro urbano, mentre per il comune di Tramutola, si ha un'alta percentuale di edifici con bassa vulnerabilità (classe D) che, al contrario, comporta una sottostima della vulnerabilità.

La sovrastima della vulnerabilità è probabilmente dovuta al fatto che gli interventi strutturali di adeguamento sismico delle costruzioni non si sono potuti portare in conto utilizzando il solo dato ISTAT. Al contrario, una sottostima della vulnerabilità (vedi il comune di Tramutola) è dovuta principalmente all'errata assegnazione dell'epoca di costruzione degli edifici. Infatti, dai dati ISTAT, si rilevava un'elevatissima percentuale di strutture costruite dopo il 1981.

5 SCENARI DI DANNO

Gli scenari di danno sismico riportati in questo lavoro sono stati calcolati considerando esclusivamente la pericolosità sismica di base e trascurando i possibili effetti di sito. La pericolosità sismica del territorio oggetto di studio è stata stimata facendo riferimento alla probabilità di superamento dello Stato Limite di Salvaguardia della Vita previsto dalle attuali Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC2018) che, per le costruzioni ordinarie, corrisponde ad un evento con periodo di ritorno pari a 475 anni e assumendo, come tipologia di terreno, un suolo di tipo A.

L'applicazione delle DPM prevede come parametro sismico di input il valore dell'intensità macrosismica. Questa è stata ricavata attraverso la relazione, proposta in Chiauzzi, et al. 2012, che lega l'intensità macrosismica al valore dell'intensità di Housner, parametro fortemente correlato al danno fisico degli edifici (Masi et al. 2009), il quale, a sua volta, è stato ricavato a partire dagli spettri di risposta previsti dalle attuali norme (NTC2018).

In definitiva, per tutti e tre comuni oggetto di studio, si sono ricavati i parametri sismici riportati nella Tabella 5.

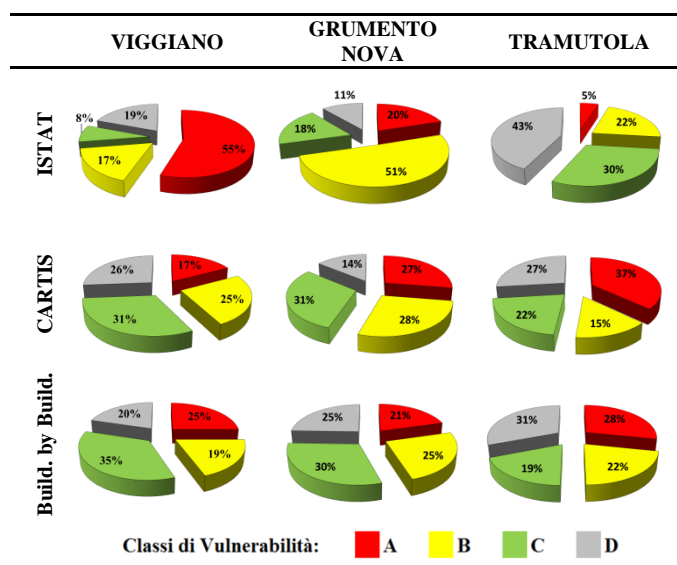


Figura 5. Distribuzione delle classi di vulnerabilità per i tre comuni in funzione del database.

Tabella 5. Parametri sismici per i tre comuni investigati.

Comune	Tr (anni)	PGA [g]	IH [m]	I EMS-98
Viggiano	475	0.248	0.56	VII
Grumento Nova	475	0.257	0.58	VII
Tramutola	475	0.260	0.58	VII

Gli scenari di danno fisico sono stati prodotti considerando, per tutti e tre i comuni oggetto di studio, un'intensità macrosismica pari al VII grado della scala EMS-98, rappresentativa di un evento sismico con periodo di ritorno di 475 anni.

Al fine di ottenere una stima globale del danno degli edifici, i risultati sono stati riportati in termini di Indice di Danno Medio (ID_{med}). Tale indice, che varia tra 0 e 1 (0 indica la completa assenza di danno, 1 indica il collasso totale), è stato calcolato mediante l'Equazione (1) riportata in Dolce et al. 2003:

$$ID_{med} = \sum_i^n \frac{L_{di} \cdot f_i}{n} \quad (1)$$

Dove:

- L_{di} è il livello di danno, in accordo con la scala EMS-98;
- n è il numero dei livelli di danno;
- f_i è la frequenza di occorrenza.

L'analisi è stata effettuata a livello di comparto, per i dati provenienti da CARTIS e dal rilievo building by building, e a livello comunale per tutti e tre i database analizzati (Figura 6). Modeste differenze sono emerse a livello di comparto tra i due database, tuttavia esse appaiono contenute e patologiche in quanto dovute essenzialmente dalla diversa fonte dei dati di origine. Passando ad osservare il livello di danno stimato per l'intero comune (colonna "Tot" di Figura 6), notiamo come il dato ISTAT, rispetto a quanto ottenuto dal più accurato rilievo building by building, tende a sovrastimare il danno per il comune di Viggiano, mentre lo sottostima per il comune Tramutola. Una limitata differenza si ottiene, invece, per il comune di Grumento Nova. Risultati migliori si ottengono con il dato ottenuto dal rilievo CARTIS, il quale mostra valori di ID_{med} molto simili a quelli ottenuti a partire dal database building by building in tutti e tre i casi analizzati.

Parallelamente, è stata fatta una stima del danno attraverso l'uso delle curve di fragilità (FC), le quali richiedono una definizione più accurata delle tipologie edilizie. Per tale motivo, sono state applicate agli unici database da cui è possibile trarre tali informazioni, ovvero dal database building by building e dal database CARTIS.

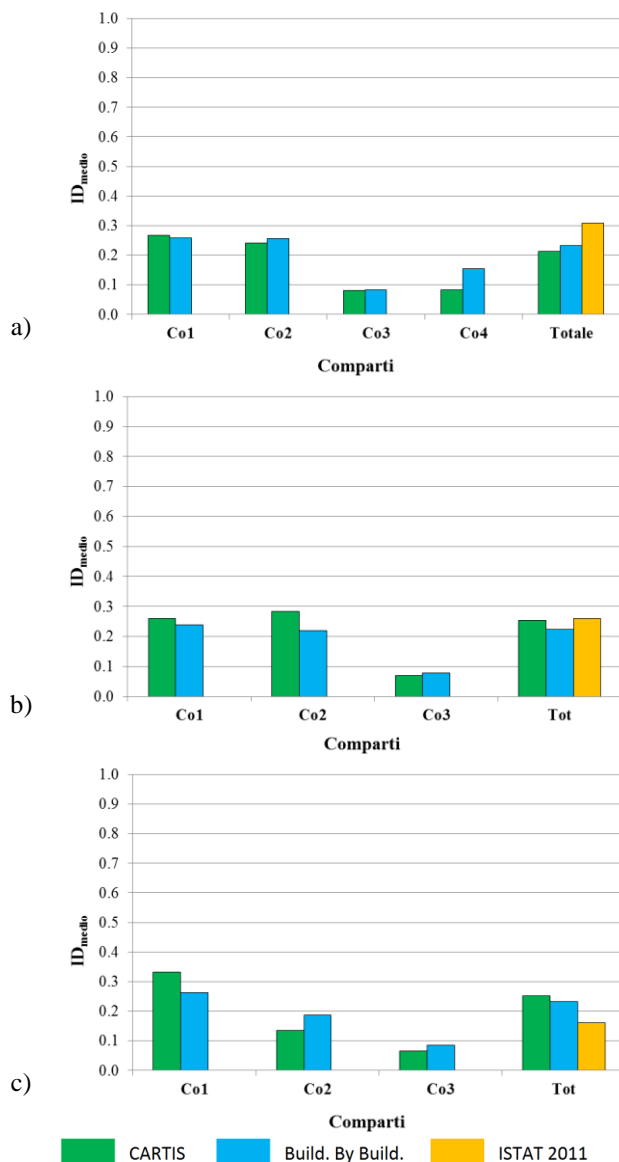


Figura 6. Valori di ID_{med} per: a) Viggiano; b) Grumento Nova; c) Tramutola.

Tra le varie curve di fragilità proposte dalla letteratura, nel presente lavoro sono state selezionate quelle che maggiormente si adattano al patrimonio edilizio in esame. Nello specifico, per la muratura e per il c.a. antisismico, sono state utilizzate quelle proposte in Lagomarsino et al. 2006, mentre per il c.a. non antisismico sono state utilizzate le curve di fragilità riportate in Masi et al. 2015.

I risultati ottenuti per le varie tipologie, sono stati combinati e sono stati espressi in termini di Indice di Danno Medio (Equazione 1). In Figura 7 si riporta il confronto tra i risultati ottenuti a scala comunale dall'applicazione delle FC e quelli ottenuti dalle DPM. Il confronto mostra come le FC stimino livelli di danno maggiori rispetto ai modelli empirici (DPM), confermando quanto già dimostrato in altri studi di letteratura (Masi et al. 2015). Tuttavia, in entrambi i casi, non emergono particolari differenze al variare della banca dati utilizzata.

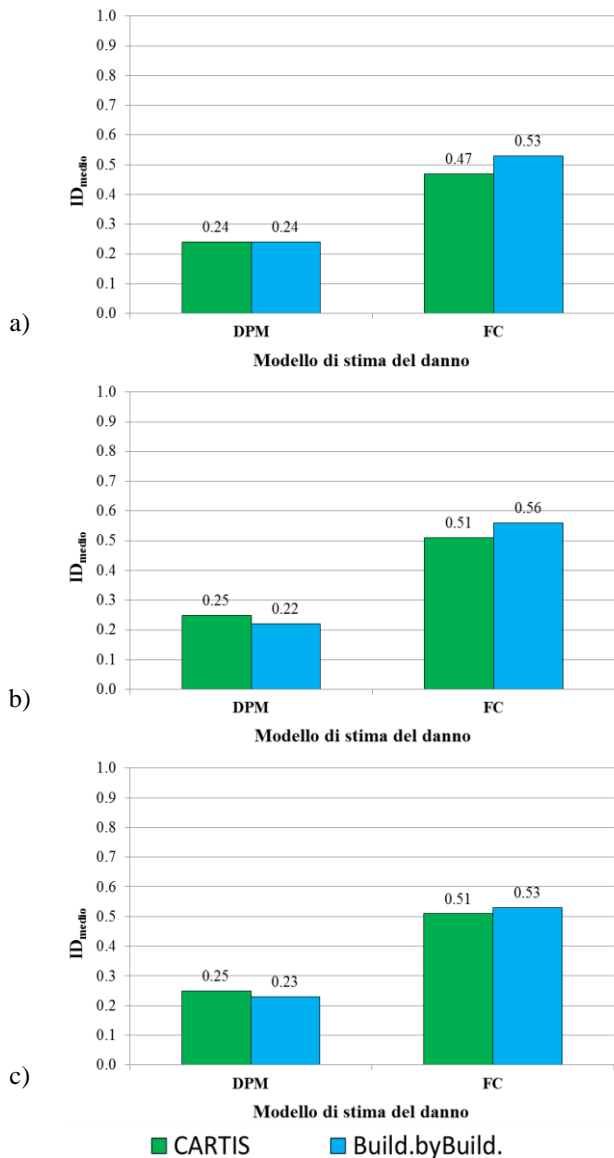


Figura 7. Confronto tra valori di ID_{med} ottenuti da DPM ed FC per: a) Viggiano; b) Grumento Nova; c) Tramutola.

Dai risultati ottenuti dalle DPM è stato effettuato il calcolo degli edifici inagibili mediante l'applicazione della matrice di inagibilità (Di Pasquale e Goretti 2001), la quale distingue le percentuali di edifici inagibili in funzione del livello di danno, della classe di vulnerabilità e della tipologia strutturale (cemento armato o muratura). I risultati ottenuti in termini di edifici inagibili sono riassunti in Figura 8.

Dai grafici di Figura 8 si osserva che il dato ISTAT tende a sovrastimare gli edifici inagibili (rispetto al BbyB) per i comuni di Viggiano e Grumento Nova, mentre li sottostima per il comune di Tramutola. Tuttavia tale risultato è abbastanza prevedibile considerando le notevoli differenze trovate precedentemente sia in termini di vulnerabilità che in termini di indice di danno medio. Buoni risultati si ottengono dal database relativo alla scheda CARTIS che stima una percentuale di edifici inagibili comparabile con quella ottenuta dal più accurato rilievo BbyB.

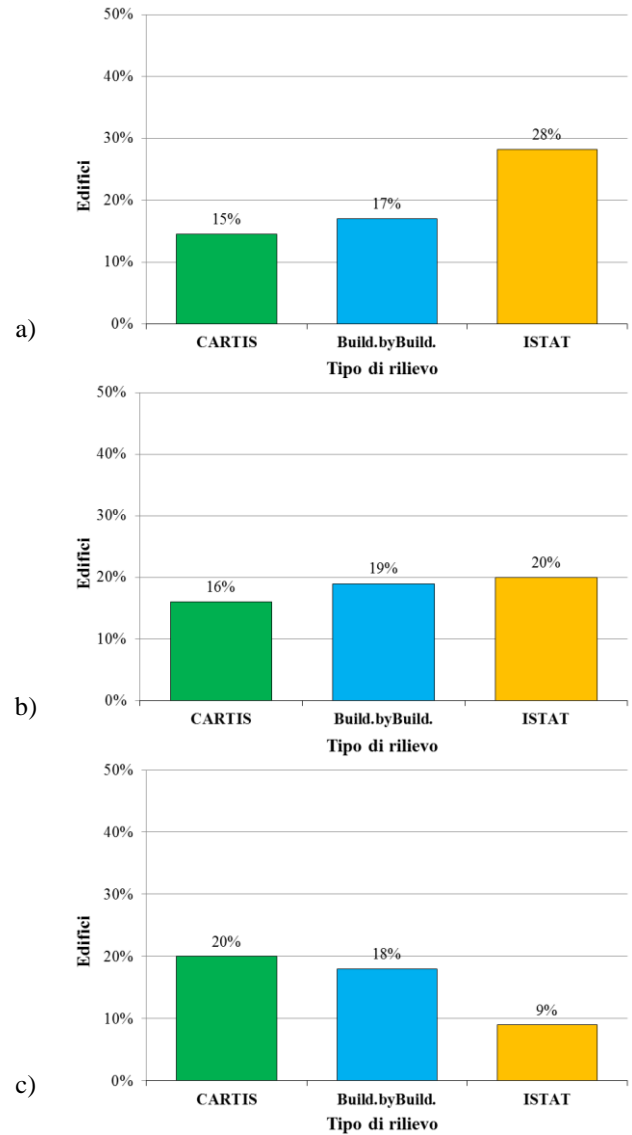


Figura 8. Stima degli edifici inagibili per: a) Viggiano; b) Grumento Nova; c) Tramutola.

Infine sono stati calcolati il numero di vittime e feriti in tutti e tre comuni per l'evento di riferimento. La stima delle conseguenze umane è stata effettuata attraverso l'espressione sviluppata in Coburn e Spence 2002, considerando un tipico scenario notturno in quanto ci si aspetta un maggior numero di abitanti coinvolti dato che il database è relativo a edifici residenziali. La stima ha portato ad ottenere un numero di vittime compreso tra 0 e 5 e un numero di feriti minore di 10 per tutte e tre le banche dati considerate in ognuno dei tre i comuni investigati. Tale risultato mostra che la stima delle vittime e dei feriti è meno condizionato dall'accuratezza del database. Tuttavia va precisato che il calcolo effettuato ha portato comunque ad avere numeri diversi per i tre database analizzati e che rispecchiavano sempre le situazioni emerse precedentemente. Si è preferito evitare di riportare un valore piccolo, e approssimato all'unità, che essendo figlio di una stima, è sicuramente soggetto ad una naturale variabilità. Da quanto emerso possiamo ritenere

che, almeno nei piccoli comuni, l'uso di database meno accurati non porta ad avere risultati che si discostano molto dall'utilizzo di database più rigorosi, pertanto il loro uso può ritenersi giustificato per tali scopi.

CONCLUSIONI

La preparazione di scenari di danno rappresenta un aspetto di fondamentale importanza per tutte le attività volte alla mitigazione del rischio sismico. A tal fine, nel presente lavoro sono stati messi a punto scenari di danno sismico per tre centri urbani della Val d'Agri (Viggiano, Grumento Nova e Tramutola) utilizzando i dati acquisiti da tre diverse metodologie di raccolta dati: scheda CARTIS, rilievo building by building e dati ISTAT2011.

In particolare, per la scheda CARTIS sono state effettuate campagne di rilievo in sito con il supporto di tecnici esperti del territorio che hanno contribuito ad individuare e definire le principali caratteristiche del patrimonio edilizio nell'ottica della valutazione della vulnerabilità sismica. Per il rilievo building by building si è fatto riferimento ai risultati di studi precedenti (e.g. Masi et al., 2014), mentre per i dati ISTAT si è fatto riferimento ai dati raccolti nell'ultimo censimento del 2011.

La stima dei danni attesi al patrimonio edilizio è stata effettuata dapprima con le Matrici di Probabilità di Danno (DPM) e successivamente con l'utilizzo delle Curve di Fragilità (FC), le quali, richiedendo in input informazioni di maggior dettaglio, sono state applicate solo ai dati ricavati da CARTIS e a quelli del rilievo building by building.

Dall'applicazione delle DPM emerge che la distribuzione in classi di vulnerabilità mostra percentuali molto simili tra il rilievo ottenuto da CARTIS e quello building by building, viceversa sono emerse rilevanti differenze con quello ottenuto tramite i dati ISTAT. In particolare, considerando la distribuzione degli edifici in classi di vulnerabilità, per il comune di Viggiano è emersa un'elevata sovrastima della vulnerabilità (alte percentuali per la classe A), mentre per il comune di Tramutola è stata ottenuta una sottostima della vulnerabilità (alte percentuali di classe D). Tale confronto conferma la limitata affidabilità dei dati ISTAT per la caratterizzazione della vulnerabilità sismica degli edifici. Analizzando i risultati ottenuti dalle curve di fragilità, emergono piccole differenze tra i due database utilizzati, mentre si rileva una generale

sovrastima del danno rispetto a quanto ottenuto dalle DPM.

I risultati ottenuti in termini di edifici inagibili mostrano ancora differenze tra i diversi database, anche se leggermente smorzate, soprattutto per i valori ottenuti dai dati ISTAT. Infine, per tutti i casi analizzati, la stima delle vittime e dei feriti appare essere meno condizionata dall'accuratezza del database.

A valle del lavoro svolto si può affermare che il punto di forza della scheda CARTIS è dato dalla possibilità di effettuare un rilievo sufficientemente speditivo in grado di fornire, se ben condotto, risultati simili ad un più accurato rilievo building by building. In particolare, è molto importante la suddivisione del territorio in comparti omogenei che permette la definizione della vulnerabilità in aree sub-comunali, consentendo, ad esempio, di evidenziare le peculiarità dei centri storici, i cui edifici risultano essere generalmente i più vulnerabili. Un limite attuale della scheda è legato alla difficoltà di disporre di dati volumetrici attendibili, che sono di fondamentale rilevanza nella stime della esposizione.

Ad oggi l'unica banca dati disponibile per tutto il territorio italiano proviene dal censimento degli edifici ISTAT, ma avendo informazioni povere può portare a stime di danno e conseguenze attese di limitata attendibilità. Per ovviare a ciò una delle strade perseguibili è quella di correggere il dato ISTAT sulla base dei risultati provenienti da una diffusa campagna nazionale di rilievo tramite scheda CARTIS.

RINGRAZIAMENTI

Il presente lavoro è stato svolto con il supporto del progetto di ricerca DPC-ReLUIS 2019-2021, Work Package 2: Inventario delle tipologie strutturali ed edilizie esistenti (CARTIS).

BIBLIOGRAFIA

- AeDES 05/2000/bis, 2002. Scheda di 1° livello di rilevamento danno, pronto intervento e agibilità per edifici ordinari nell'emergenza post-sismica. *Dipartimento della Protezione Civile*, Roma.
- Baggio, C., Bernardini, A., Colozza, R., Corazza, L., Della Bella, M., Di Pasquale, G., Dolce, M., Goretti, A., Martinelli, A., Orsini, G., Papa, F., Zuccaro, G. (a cura di), 2002. Manuale per la compilazione della scheda di 1° livello di rilevamento danno, pronto intervento e agibilità per edifici ordinari nell'emergenza post-sismica (AeDES), *Presidenza del Consiglio dei Ministri, Dipartimento della Protezione Civile*, Roma.
- Braga, F., Dolce, M., Liberatore, D., 1982. A statistical study on damaged buildings and ensuing review of

- MSK-76 Scale. *Proceedings of the 7th European Conference on Earthquake Engineering*, 7, Athens.
- Calvi, G.M., Pinho, R., Magenes, G., Bommer J.J., Restrepo-Vélez, L.F., Crowley, H., 2006. The development of seismic vulnerability assessment methodologies for variable geographical scales over the past 30 years. *ISET Journal of Earthquake Engineering Technology*, **43**(3), 75-104.
- CARTIS, 2014. Manuale di compilazione per la scheda di I livello per la caratterizzazione tipologico-strutturale dei comparti urbani costituiti da edifici ordinari. *Progetto ReLUIS 2014-2016*, Dipartimento della Protezione Civile.
- Chiauzzi, L., Masi, A., Mucciarelli, M., Vona, M., Pacor, F., Cultrera, G., Gallovič, F., Emolo, A., 2012. Building damage scenarios based on exploitation of Housner intensity derived from finite faults ground motion simulations. *Bulletin of Earthquake Engineering*, **10**(2), 517-545.
- Coburn, A., Spence, R., 2002. Earthquake protection. John Wiley & Sons.
- Di Pasquale, G., Goretti, A., 2001. Vulnerabilità funzionale ed economica degli edifici residenziali colpiti dai recenti eventi sismici italiani. *Atti del X Convegno ANIDIS L'Ingegneria Sismica in Italia*, 9-13 settembre, Potenza – Matera, IT.
- Dolce, M., Calvi, G. M., 1997. Seismic vulnerability evaluation and damage scenarios. *Technical Report NCEER*. US National Center for Earthquake Engineering Research. No. 97-0003, 85-102.
- Dolce, M., Zuccaro, G., Papa, F., 2002. Protocollo d'intervista. *Dipartimento della Protezione Civile*.
- Dolce, M., Masi, A., Marino, M., Vona, M., 2003. Earthquake damage scenarios of the building stock of Potenza (Southern Italy) including site effects. *Bulletin of Earthquake Engineering*, **1**(1), 115-140.
- Dolce, M.; Martinelli, A., 2005. Inventario E Vulnerabilità Degli Edifici Pubblici E Strategici dell'Italia Centro-Meridionale-Vol. II-Analisi Di Vulnerabilità E Rischio Sismico. *Istituto Nazionale di geofisica e Vulcanologia/Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti*, L'Aquila.
- Faccioli, E., Pessina, V., Calvi, G. M., Borzi, B., 1999. A study on damage scenarios for residential buildings in Catania city. *Journal of seismology*, **3**(3), 327-343.
- Grünthal, G., 1998. European Macroseismic Scale 1998 (EMS-98). *European Seismological Commission*.
- HAZUS-MH MR3., 2003. Multi-hazard Loss Estimation Methodology (Earthquake Model). *Technical Manual*. Department of Homeland Security Emergency Preparedness and Response Directorate. FEMA. Washington, D.C.
- ISTAT, 2011. 154° Censimento della Popolazione e delle Abitazioni. <http://www.istat.it/it/censimento-popolazione/censimento-popolazione-2011>.
- Kappos, A. J., Panagopoulos, G., Panagiotopoulos, C., Penelis, G., 2006. A hybrid method for the vulnerability assessment of R/C and URM buildings. *Bulletin of Earthquake Engineering*, **4**(4), 391-413.
- Lagomarsino, S., Giovinazzi, S., 2006. Macroseismic and mechanical models for the vulnerability and damage assessment of current buildings. *Bulletin of Earthquake Engineering*, **4**(4), 415-443.
- Masi, A., Samela, C., Chiauzzi, L., Tosco, L., 2001. Mappe di rischio sismico dei 131 comuni della regione Basilicata basate sui dati del censimento ISTAT 2001 corretti con dati di rilievo.
- Masi A., Vona M., Digrisolo A., 2009. Costruzione di curve di fragilità di alcune tipologie strutturali rappresentative di edifici esistenti in c.a. mediante analisi dinamiche non lineari. *Atti del XIII Convegno ANIDIS L'Ingegneria Sismica in Italia*, 28 giugno – 2 luglio, Bologna, IT.
- Masi, A., Vona, M., 2012. Vulnerability assessment of gravity-load designed RC buildings: Evaluation of seismic capacity through non-linear dynamic analyses. *Engineering Structures*, **45**, 257-269.
- Masi, A., Chiauzzi, L., Samela, C., Tosco, L., Vona, M., 2014. Survey of dwelling buildings for seismic loss assessment at urban scale: the case study of 18 villages in Val d'Agri, Italy. *Environmental Engineering & Management Journal (EEMJ)*, **13**(2).
- Masi, A., Digrisolo, A., Manfredi, V., 2015. Fragility curves of gravity-load designed RC buildings with regularity in plan. *Earthquakes and Structures*, **9**(1), 1-27.
- McGuire, R. K., 2001. Deterministic vs. probabilistic earthquake hazards and risks. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **21**(5), 377-384.
- Milutinovic, Z.V., Trendafiloski, G.S., 2003. RISK-UE: An advanced approach to earthquake risk scenarios with applications to different European towns. WP4: Vulnerability of current buildings.
- NTC2018 2018 Norme tecniche per le costruzioni 2018, , Decreto 17 Gennaio 2018, p 530
- OPCM 3519 del 28/04/2006. Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone, G.U. n.108 del 11/05/2006.
- Samela, C., Masi, A., Chiauzzi, L., Tosco, L., Vona, M., 2009. Valutazione della vulnerabilità sismica del patrimonio edilizio privato della regione Basilicata sulla base del database Istat 2001 e di dati di rilievo. *Atti del XXVIII Convegno Nazionale GNGTS*, 16-19 Novembre 2009, Trieste, IT.
- SAVE, 2004. Strumenti Aggiornati per la Vulnerabilità Sismica del Patrimonio Edilizio e dei Sistemi Urbani, *Progetto GNDT, Programma quadro 2000-2002*.
- Stafford, P. J., Strasser, F. O., Bommer, J. J., 2007 “Preliminary report on the evaluation of existing loss estimation methodologies,” NERIES Project Report, January 2007
- SYNER-G, 2011. Systemic Seismic Vulnerability and Risk Analysis for Buildings, Lifeline Networks and Infrastructures Safety Gain. *Research Project, European Commission, 7th Framework Programme*.
- Whitman, R. V., Anagnos, T., Kircher, C. A., Lagorio, H. J., Lawson, R. S., & Schneider, P., 1997. Development of a national earthquake loss estimation methodology. *Earthquake Spectra*, **13**(4), 643-661.
- Zuccaro, G., Dolce, M., De Gregorio, D., Speranza, E., Moroni, C., 2015. La scheda CARTIS per la caratterizzazione tipologico-strutturale dei comparti urbani costituiti da edifici ordinari. Valutazione dell'esposizione in analisi di rischio sismico. *Atti del XXXIV Convegno Nazionale GNGTS*, 17-19 novembre 2015, Trieste, IT.