



## Utilizzo della scheda Cartis per aggiornamento dell'inventario ed effetto sulle stime di vulnerabilità a scala territoriale

M. Polese<sup>a</sup>, M. Di Ludovico<sup>a</sup>, A. Prota<sup>a</sup>, G. Tocchi<sup>a</sup>, M. Gaetani d'Aragona<sup>a</sup>

<sup>a</sup> *Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura, Università degli studi di Napoli Federico II, Via Claudio 21, 80125 Napoli, Italia*

*Keywords:*

### ABSTRACT

L'inventario del costruito a larga scala è generalmente condotto facendo affidamento su fonti di informazione facilmente reperibili, come ad esempio database basati su dati censuari. Questi ultimi consentono di caratterizzare pochi parametri su gruppi di edifici, quali materiale costruttivo (cemento armato CA, muratura o altro), epoca di costruzione e numero di piani. Molti dei modelli di vulnerabilità esistenti, tuttavia, avrebbero bisogno di ulteriori informazioni sugli edifici, quali ad esempio la tipologia degli orizzontamenti per edifici in muratura, eventuale irregolarità in pianta o elevazione per edifici in CA ecc., per una migliore caratterizzazione della vulnerabilità. La scheda Cartis, recentemente introdotta e sperimentata nell'ambito del Progetto Reluis 2015-2018, consente l'arricchimento delle informazioni sull'edificato con un approccio speditivo basato su un protocollo di intervista. In questo lavoro si valuta l'effetto dell'utilizzo della scheda Cartis sull'inventario del costruito e sulla conseguente stima della vulnerabilità per diversi comuni della regione Campania. Facendo riferimento a set di comuni campione, rappresentativi di assegnate percentuali in termini di popolazione residente in Campania, si valuta lo scarto di vulnerabilità media comunale che si ottiene effettuando l'inventario a partire dai soli dati ISTAT o integrando le informazioni con la scheda Cartis. Si mostra come tale variazione risulti funzione della classe di popolazione del comune e come si pervenga ad una sottostima della vulnerabilità dei comuni più piccoli, con popolazione minore, qualora non si adoperino dati forniti da un inventario integrato. Su tale base, vengono proposti dei fattori di modifica della vulnerabilità da potersi applicare al fine di valutare la vulnerabilità a scala regionale. L'introduzione di pochi parametri aggiuntivi per la caratterizzazione del costruito può avere significativi effetti sulla quantificazione della vulnerabilità e del rischio a scala regionale.

### 1 INTRODUZIONE

Il rischio sismico rappresenta la stima delle perdite complessive che possono interessare una determinata area, in un dato periodo di tempo, a causa di un evento sismico. La valutazione del rischio sismico è legata all'analisi di tre fattori fondamentali, ovvero la pericolosità, la vulnerabilità e l'esposizione dei beni a rischio, la cui convoluzione consente di stimare la probabilità che venga raggiunto, in un certo intervallo di tempo, un prefissato livello di perdite, espresse ad esempio in termini di perdite economiche, di abitazioni inagibili a breve o lungo termine oppure perdite sociali (morti, feriti e senzatetto). La

valutazione del rischio per una regione di interesse richiede dunque l'adozione di modelli e dati territoriali sulla pericolosità sismica, sulla vulnerabilità e sull'esposizione. Quest'ultima, che considera sia le informazioni inerenti la quantità e la qualità dei beni esposti sia la distribuzione di popolazione e il valore economico delle attività in un'area territoriale, è correlata all'inventario degli edifici. L'inventario, ai fini dell'analisi del potenziale danno da sisma, fornisce la distribuzione delle classi di vulnerabilità sismica degli edifici a scala territoriale, ovvero il numero di edifici in ciascuna unità territoriale di analisi e la distribuzione percentuale di tali edifici all'interno delle classi di vulnerabilità considerate dal modello di vulnerabilità adottato.

Tipicamente, l'inventario degli edifici a scala comunale è compilato facendo affidamento sul solo dato Istat. Tuttavia, come si vedrà al §2.1, è possibile integrare le informazioni censuarie con i dati acquisiti con la scheda Cartis-Comparti, basata su un protocollo di intervista. La scheda di 1° livello Cartis (Zuccaro et al. 2015) è finalizzata al rilevamento delle tipologie edilizie ordinarie prevalenti nell'ambito di zone omogenee denominate comparti.

In questo lavoro si valuta l'effetto della variazione dell'inventario, scaturita dall'utilizzo di un numero variabile di informazioni sulle tipologie edilizie presenti sul territorio, sulle stime di vulnerabilità a scala comunale. Facendo riferimento ad un parametro sintetico di danno medio stimato a livello comunale, quale fattore rappresentativo della vulnerabilità comunale, e confrontando il valore ottenuto considerando la variazione di inventario (con e senza i dati acquisiti con approccio Cartis) per 26 comuni della regione Campania, il lavoro mostra che il danno medio predetto, tenendo conto delle informazioni acquisite con la Cartis, può risultare incrementato fino al 50% per le città più piccole, con popolazione minore, mentre per quelle più grandi l'incremento è più contenuto, di circa il 10%.

## 2 VULNERABILITÀ SISMICA DEGLI EDIFICI

I modelli di vulnerabilità più semplici classificano gli edifici esclusivamente in base al materiale del sistema resistente ai carichi laterali, come ad esempio avviene nella scala macrosismica Europea EMS'98 (Grunthal 1998). Tuttavia i modelli di vulnerabilità possono essere significativamente migliorati se sono disponibili ulteriori informazioni rilevanti per la caratterizzazione del comportamento sismico. Ad esempio, in (Braga et al. 1982) si propongono matrici di probabilità di danno DPM per la caratterizzazione della vulnerabilità sismica di diverse tipologie edilizie, sulla base dei danni rilevati in alcuni comuni irpini successivamente al sisma del 1980. Nel ridefinire le tipologie edilizie tenendo conto di tutte le possibili combinazioni di elementi strutturali, gli autori hanno riscontrato la maggiore influenza della tipologia di orizzontamenti e del tipo di strutture verticali sulla resistenza sismica degli edifici. La combinazione delle caratteristiche di questi due fattori (es. solai in legno, in c.a., etc; muratura in pietrame non

squadrato, in mattoni, etc;) dà luogo, complessivamente a 13 tipologie edilizie, a loro volta riaggregate nelle tre classi di vulnerabilità A,B e C.

In altri approcci viene valutata in maniera diretta la variazione di vulnerabilità indotta da alcune caratteristiche (fattori di vulnerabilità) in grado di migliorare o peggiorare il comportamento medio dell'edificio sotto l'azione sismica. Nel metodo SAVE (Zuccaro et al. 2015) la iniziale classificazione tipologica, effettuata in accordo con la EMS'98, è migliorata in funzione di ulteriori fattori di vulnerabilità (es. tipologia di struttura orizzontale, tipologia di copertura, regolarità in pianta, regolarità delle tamponature nelle strutture in c.a., posizione dell'edificio, etc.). Secondo tale approccio per indicare sinteticamente il danno medio, è definitivo un Indice Sintetico di Danno medio (SPD) che varia in funzione dei diversi gradi di intensità e della tipologia di struttura considerata. Determinato l'SPD iniziale in funzione delle sole strutture verticali (coerentemente con EMS'98) è possibile correggere tale valore grazie a indici peggiorativi o migliorativi in funzione degli ulteriori fattori di vulnerabilità considerati e assegnare la classe di vulnerabilità in funzione del valore finale di SPD.

Un altro metodo che considera esplicitamente l'influenza di diversi fattori di vulnerabilità è l'approccio macrosismico proposto in (Lagomarsino e Giovinazzi 2006), noto come Risk-UE. In questo metodo la classificazione preliminare deriva dalle classi definite in EMS'98, ovvero basandosi sul materiale da costruzione e sulle informazioni di base del sistema strutturale. È possibile affinare la classificazione considerando ulteriori fattori di vulnerabilità, tra cui ad esempio la tipologia di orizzontamenti, per gli edifici in muratura, oppure la tipologia di progettazione, per carichi sismici o soli carichi gravitazionali, per gli edifici in cemento armato. Con tale approccio la vulnerabilità è rappresentata mediante un indice di vulnerabilità,  $V$ , che assume valori differenti in funzione della tipologia strutturale considerata (muratura irregolare, muratura in pietra squadrata, strutture in c.a. progettate sismicamente, etc.). Questo indice di vulnerabilità tipologica  $V$  può subire variazioni, in aumento o in diminuzione, sulla base degli ulteriori fattori di vulnerabilità individuati, prima citati. Facendo uso della teoria degli insiemi sfocati gli autori hanno inoltre associato i valori

dell'indice V alle classi di vulnerabilità della EMS'98.

### 2.1 *Problematiche di inventario*

Al fine di utilizzare modelli di vulnerabilità più raffinati, come quelli citati, è necessario avere a disposizione sufficienti informazioni sul costruito, non comunemente presenti nei database disponibili e diffusi a larga scala. La compilazione "ideale" di un inventario di edifici esaustivo comporterebbe l'indagine a tappeto o per sub-set di edifici a campione su una percentuale relativamente alta di edifici nell'area di indagine, con conseguenti costi elevati e tempi lunghi, spesso non compatibili con le risorse disponibili e i tempi contingentati per le valutazioni su larga scala. Pertanto, l'inventario è spesso basato sui dati del censimento dell'ISTAT (es. ISTAT 2001), disponibili su tutto il territorio nazionale. I dati ISTAT in Italia forniscono, oltre al numero di edifici per ogni sezione censuaria, distinguendo in base al tipo di occupazione (se residenziale o meno), anche informazioni sul numero di piani, l'epoca di costruzione e la tipologia di struttura (muratura, cemento armato o altro). Tali dati tuttavia non sono sufficienti per l'applicazione dei metodi di vulnerabilità precedentemente introdotti. Pertanto è necessario integrare i dati ISTAT con altre fonti di informazione. Ad esempio in (Di Pasquale et al. 2005) sono proposte correlazioni statistiche tra i dati di censimento sulle abitazioni e le classi di vulnerabilità. Cacace et al. (2018) propongono una procedura per l'associazione delle informazioni censuarie con le informazioni di vulnerabilità disponibili nel database Pliniv, che comprende dati raccolti durante campagne di rilevamento post-sisma e dati raccolti in tempo di pace.

Un recente avanzamento verso la compilazione di inventari su scala regionale è fornito dall'approccio Cartis, implementato in Italia nell'ambito del progetto ReLUIS "Temi territoriali", finanziato dal Dipartimento nazionale della Protezione Civile. La scheda di 1° livello Cartis (Zuccaro et al. 2015) è finalizzata al rilevamento delle tipologie edilizie ordinarie prevalenti nell'ambito di zone sub-comunali, denominate comparti, caratterizzate da omogeneità del tessuto edilizio per epoca di costruzione o tipologia strutturale. Tale scheda è compilata mediante un protocollo di intervista ad uno o più tecnici locali afferenti ad un ente pubblico o che svolgano la professione privata

nell'area oggetto di studio. L'individuazione delle tipologie prevalenti in ciascun comparto deve essere condotta con particolare attenzione alle caratteristiche che influenzano il comportamento sismico, come ad esempio il numero di piani, l'epoca di costruzione, le caratteristiche delle murature e dei solai, per gli edifici in muratura, o la presenza di telai in una sola direzione, per quelli in cemento armato. Per ogni tipologia, mediante la scheda Cartis è possibile raccogliere molte più informazioni rispetto ai dati del censimento, consentendo l'utilizzo di modelli di vulnerabilità più raffinati. Le stesse informazioni sulle tipologie raccolte attraverso la scheda Cartis di 1° livello sono anche contenute nella Cartis-Edificio; quest'ultima è una scheda da utilizzarsi per il rilievo sul campo degli edifici. La compilazione della scheda di 2° livello Cartis-Edifici per una percentuale adeguata di edifici in comparti già indagati con il protocollo di intervista Cartis ha la finalità di verificare l'attendibilità dell'approccio Cartis comunale e di valutarne il grado di approssimazione (Di Ludovico et al. 2019). I database provenienti da indagini di censimento hanno la caratteristica di essere basati sul conteggio effettivo degli edifici (o abitazioni per censimenti fino al 2001) con le relative caratteristiche di base (es. materiale costruttivo: cemento armato, muratura o altro, numero di piani, età), anche se la diffusione del dato avviene in modo aggregato, come si discuterà nel seguito. Di contro, le informazioni reperite tramite le indagini Cartis di 1° livello possono essere più approssimative in termini di conteggio degli edifici appartenenti a diverse macro-tipologie costruttive (ad es. edifici in cemento armato e muratura in un comparto urbano) in quanto l'attribuzione percentuale delle macro-tipologie avviene in base al giudizio esperto del tecnico intervistato. Tuttavia la scheda Cartis ha il vantaggio di fornire informazioni di dettaglio, quali ad esempio il tipo di muratura o la tipologia di orizzontamenti, altrimenti non reperibili, se non tramite indagini in loco. È quindi auspicabile l'integrazione delle informazioni provenienti dai due database per cogliere gli aspetti positivi di entrambi.

In (Polese et al. 2019a) è stato proposto un approccio semplificato che consente di combinare le informazioni presenti nel database ISTAT e nella scheda Cartis per ottenere un inventario integrato con i due livelli informativi. L'inventario combinato è denominato CC dalla combinazione

di dato Censuario e dato Cartis, in contrapposizione all'inventario basato sul solo dato Censuario, denominato CE.

In questo studio è applicato l'approccio proposto in (Polese et al. 2019a) per stimare la variazione di inventario (da CE a CC), e relativa vulnerabilità, in 26 comuni Campani per i quali è stata compilata la scheda Cartis di 1° livello. Verrà mostrato che tale variazione dipende dalla classe di popolazione del comune e generalmente diminuisce con l'aumento della classe di popolazione. Il campione di 26 comuni è stato successivamente ampliato a 48 comuni, che coprono quasi il 10% della popolazione campana, al fine di stimare la variazione attesa dei risultati ottenuti su un campione maggiormente rappresentativo dell'intera regione.

### 3 IL MODELLO DI VULNERABILITÀ RISK-UE

Il modello di vulnerabilità Risk-UE (Lagomarsino e Giovinazzi 2006), utilizzato in questo studio, impiega il metodo macrosismico, che misura la vulnerabilità sismica in termini di indice di vulnerabilità  $V$  e indice di duttilità  $Q$ , entrambi valutati tenendo conto della tipologia e delle caratteristiche costruttive dell'edificio. La scala di danno utilizzata nel modello è quella definita in EMS'98. La scala identifica cinque gradi di danno  $D_k$  ( $k = 1/5$ ), definiti in base al danno osservato per componenti strutturali e non strutturali, oltre al danno  $D_0$  che rappresenta l'assenza di danno. La pericolosità è descritta in termini di intensità macrosismica  $I$ , sempre secondo la EMS98, considerato come parametro costante valutato rispetto a una condizione di terreno rigido. Dunque la classificazione preliminare degli edifici è basata esclusivamente sul materiale da costruzione e sulle informazioni di base del sistema strutturale verticale (muratura o cemento armato) secondo l'approccio EMS'98. Facendo uso della teoria degli insiemi sfocati, gli autori trasformano le assegnazioni linguistiche della scala EMS'98 in valori numerici, derivando le assegnazioni di base dell'indice di vulnerabilità  $V$  per 13 tipologie di edifici. L'indice  $V$  varia da valori più alti per le tipologie con maggiore vulnerabilità ( $V = 0.873$  per M1 – edifici in pietra grezza) a quelli inferiori per edifici con un miglior comportamento sismico ( $V = 0.224$  per RC6 – edifici con pareti di taglio in c.a. con livello di progettazione sismica elevato). In tabella 1 è

riportato un estratto con l'indicazione di alcune tipologie di edifici, la descrizione e i relativi indici  $V$ .

Le curve di vulnerabilità, che rappresentano la correlazione tra input sismico, espresso in termini di intensità macrosismica, ed il danno medio atteso sono descritte con una funzione analitica chiusa dipendente dall'indice di vulnerabilità  $V$ .

Tabella 1. Estratto della classificazione tipologica del costruito secondo il modello Risk-UE

Tipologie	Descrizione	V
M1	Pietra grezza (ciottoli, pietrame, mista)	0.873
M2	Case in terra o con mattoni rudi	0.84
M3	Pietre sbozzate o a spacco	0.74
M5	Mattoni	0.74
RC1	Telaio in c.a. (in assenza di progetto antisismico)	0.644
RC2	Telaio in c.a. (con progetto antisismico a bassa duttilità)	0.484

Come osservato in (Lagomarsino e Giovinazzi 2006, Polese et al. 2015) per ogni valore dell'intensità  $I$  il danno medio  $\mu_{D,I}$  rappresenta la media pesata della distribuzione discreta del danno; inoltre, nell'ipotesi di distribuzione binomiale, il valore di  $\mu_{D,I}/5$  può essere utilizzato quale parametro indipendente della distribuzione e quindi per ricavare la probabilità di attingere i diversi livelli di danno, data  $I$ . Dunque, dato  $V$  per una tipologia di edificio, è possibile calcolare gli elementi della DPM per tale tipologia. Le relative curve di fragilità, che rappresentano la probabilità di raggiungere il livello di danno assegnato per le diverse intensità sismiche, possono essere ricavate di conseguenza.

Tabella 2. Variazioni del parametro  $V$  per diverse range di altezza

Tipologia	Altezza	n° piani	$\Delta V$
Muratura	Low	1-2 piani	-0.08
	Medium	3-5 piani	0
	High	Più di 6	0.08
C.a.	Low	1-3 piani	-0.02
	Medium	4-7 piani	0
	High	Più di 8	0.04

Come osservato in (Lagomarsino e Giovinazzi 2006), quando sono disponibili informazioni su ulteriori fattori di vulnerabilità è possibile affinare la caratterizzazione tipologica del costruito, tramite una opportuna variazione  $\Delta V$  dell'indice di vulnerabilità  $V$ . Un fattore di vulnerabilità

rilevante comunemente riconosciuto è l'intervallo di altezza dell'edificio (o il numero di piani). La variazione del range di altezza (Low, Medium, High) è rappresentata da una variazione del parametro V, come riportato nella tabella 2.

Altri fattori di vulnerabilità rilevanti sono la tipologia di orizzontamenti, per gli edifici in muratura, o lo stato di conservazione e la presenza di irregolarità, come mostrato nelle tabelle 3 e 4, adattate da (Giovinazzi e Lagomarsino 2004).

Tabella 3. Variazioni del parametro V per caratteristiche degli orizzontamenti

Tipologia di orizzontamenti	$\Delta V$
Soletta deformabile	-0.02
Volte in muratura	0.08
Soletta semirigida	-0.06
Soletta rigida	-0.09

Tabella 4. Variazione del parametro V per stato di conservazione e presenza di irregolarità

Tipologia	Stato di conservazione	$\Delta V$
Muratura	Buono	-0.04
	Cattivo	0.04
C.a.	Buono	0
	Cattivo	0.04

Tipologia	Irregolarità	$\Delta V$
Muratura	In Pianta	0.04
	In Elevazione	0.04
C.a.	In Pianta	0.04
	In Elevazione	0.04

## 4 INVENTARIO INTEGRATO ISTAT-CARTIS

### 4.1 Inventario ISTAT

I dati ISTAT in Italia forniscono, oltre al numero di edifici presenti per sezione censuaria, distinti in base al tipo di utilizzo (residenziale o no), anche informazioni come il numero di piani, l'epoca di costruzione e la tipologia di struttura principale (muratura, cemento armato o altro). Tuttavia i dati per le singole sezioni censuarie sono rilasciati in forma aggregata per motivi di privacy. Non è dunque possibile conoscere, ad esempio, il numero di edifici in muratura costruiti in uno specifico intervallo temporale né quanti di questi siano a 1, 2, 3 o più piani. Pertanto per utilizzare i dati ISTAT per la costruzione dell'inventario è necessario applicare un adeguato processo di disaggregazione del dato. In (Polese et al. 2019a) è stato proposto un approccio semplificato che

sfrutta statistiche a livello provinciale (percentuale di edifici per tipologia di materiale ed epoca di costruzione), per effettuare la disaggregazione.

In questo lavoro ci si è avvalsi della disponibilità di dati di censimento (ISTAT 2001) disaggregati a livello comunale relativi alla distribuzione per epoca di costruzione e numero di piani sia degli edifici in muratura che in cemento armato. Tali dati sono ricavabili attraverso IRMA ,Italian Risk Maps (Dolce et al. 2019), una piattaforma di calcolo e rappresentazione del rischio a scala nazionale sviluppata da Eucentre su mandato del Dipartimento della Protezione Civile (DPC, 2018). Per ogni intervallo di epoche (<1919; '19 -'45; '46 -'61; '62 -'71; '72 -'81 ; '82 -'91;> 1991) può dunque ricavarsi una distribuzione sul numero di piani (da 1 a 8). Ad esempio si riporta in figura 1 e in figura 2 la distribuzione percentuale degli edifici rispettivamente in muratura e cemento armato per ogni epoca e numero di piani, per il comune di Gragnano.

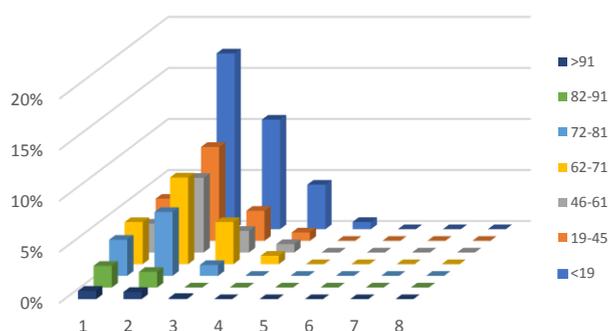


Figura 1. Distribuzione di edifici in muratura per epoca di costruzione e numero di piani, per il comune di Gragnano.

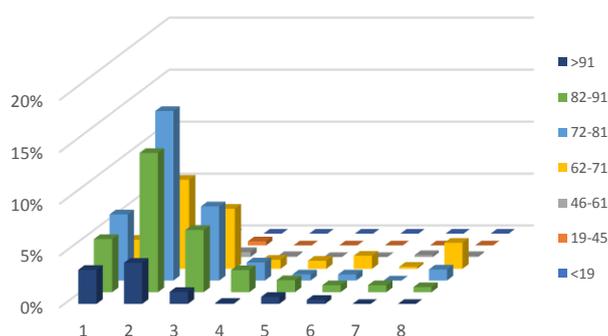


Figura 2. Distribuzione di edifici in cemento armato per epoca di costruzione e numero di piani, per il comune di Gragnano.

Come illustrato in maggior dettaglio in (Polese et al. 2019b) tali statistiche valide a livello comunale sono utilizzate nel processo di disaggregazione finalizzato ad ottenere, per ogni sezione censuaria, il numero di edifici in muratura e in cemento armato appartenenti a ciascun

sottogruppo (epoca di costruzione – numero di piani). L'opportunità di ricondursi alla distribuzione degli edifici al livello della sezione censuaria scaturisce dalla necessità di valutare l'incidenza dell'edificato sul singolo comparto, dipendente dalle sezioni censuarie (o la loro porzione) effettivamente appartenenti a ciascun comparto, come sarà discusso nel paragrafo 4.2.

In particolare, per ogni sezione censuaria gli edifici in muratura e cemento armato sono suddivisi in numero di piani (da 1 a 8) per ogni fascia d'età, e successivamente raggruppati in intervalli di altezza (Low, Medium e High) coerentemente alla proposta del modello Risk-UE. Gli edifici in cemento armato possono essere suddivisi anche in base al livello di progettazione sismica, desunta confrontando l'epoca di costruzione e l'anno di prima classificazione sismica del comune. Successivamente, al fine di attribuire l'indice di vulnerabilità *V* secondo l'approccio Risk-UE, parametro necessario per il calcolo delle DPM ed in definitiva per caratterizzare le curve di fragilità, è necessario determinare la tipologia costruttiva sia per gli edifici in muratura che in c.a.. In Italia gli edifici in cemento armato sono per lo più con struttura a telaio, quindi è ragionevole adottare la tipologia RC1 in quanto predominante. Per quanto riguarda gli edifici in muratura, la tipologia varia da regione a regione e dipende dal tipo di materiale disponibile nelle diverse aree. Quale tipologia di muratura di base da attribuire agli edifici in Campania si è scelta la M3, analoga alla M5 (mattoni) nell'attribuzione dell'indice di vulnerabilità *V*, considerando la larga diffusione del tufo nella regione. Dopo aver scelto le tipologie per muratura e cemento armato, è possibile assegnare i corrispettivi valori dell'indice *V*. Ricavate, dunque, il numero di edifici in muratura e cemento armato caratterizzati da prefissati valori dell'indice *V* per ogni sezione censuaria, l'inventario CE a livello comunale si ottiene raggruppando le distribuzioni così ottenute per tutte le sezioni censuarie, ed in definitiva anche i comparti, del comune.

#### 4.2 *Il rilievo CARTIS di 1° livello*

La scheda di primo livello Cartis è finalizzata al rilevamento delle tipologie edilizie ordinarie prevalenti nell'ambito di zone sub-comunali, denominate comparti. I comparti sono aree omogenee che si caratterizzano per la presenza, al loro interno, di edifici omogenei dal punto di vista

tipologico-strutturale e per età di costruzione. Come evidenziato in (Zuccaro et al. 2015), l'obiettivo primario della scheda è lo sviluppo di una metodologia sistematica per la valutazione dell'esposizione a scala territoriale, allo scopo ridurre le incertezze legate alle stime di vulnerabilità sismica. La scheda viene compilata mediante intervista ad un tecnico, che opera in istituzioni locali. Dunque a differenza dei classici metodi di indagine sul campo, che prevedono l'ispezione visiva delle caratteristiche degli edifici, l'approccio Cartis si basa sulla conoscenza dell'ambiente costruito e delle pratiche costruttive derivanti dall'esperienza dei tecnici intervistati, fermo restando il controllo delle informazioni acquisite da parte del compilatore tramite uno o più sopralluoghi.

Per compilare la scheda Cartis, il territorio comunale in esame deve essere preventivamente suddiviso in comparti. La compartimentazione del territorio deve essere affrontata tenendo conto di informazioni derivanti da indagini storiche, di tipo bibliografico e documentario, che consentano di definire le varie fasi costruttive dell'edificato. Al fine di identificare le tipologie prevalenti all'interno di ciascun comparto, nella scheda sono riportati gli elementi distintivi dell'edificio che hanno un'influenza significativa sul comportamento sismico.

Alcuni degli elementi distintivi raccolti nella Cartis sono, ad esempio: epoca di costruzione, numero totale di piani, regolarità in pianta e in elevazione. In aggiunta per gli edifici in muratura, si considerano altri fattori quali, ad esempio, la tipologia di muratura, tipologia di orizzontamento e presenza di volte; per gli edifici in cemento armato, il tipo di sistema resistente, tipologia di tamponatura, presenza di telai in una sola direzione, ecc.

In figura 3 è mostrato un esempio di compartimentazione Cartis per il comune di Gragnano, con l'indicazione delle tipologie prevalenti individuate in ogni comparto.

Quindi l'approccio Cartis consente di raccogliere informazioni su ulteriori caratteristiche rilevanti per la risposta sismica degli edifici rispetto ai dati disponibili nei database ISTAT.

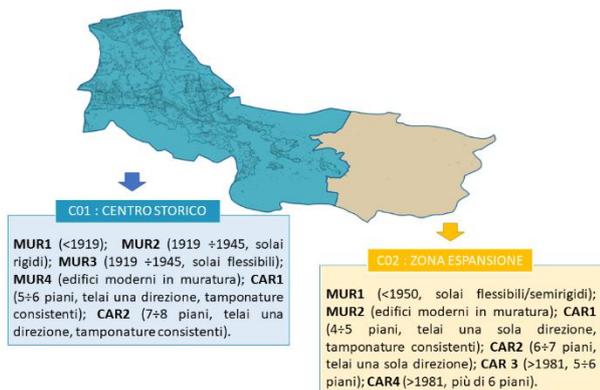


Figura 3. Esempio di compartimentazione per il comune di Gragnano con l'indicazione delle principali tipologie individuate in ogni comparto.

Potendo dunque considerare l'influenza di un numero di fattori di vulnerabilità aggiuntivi rispetto all'inventario CE, la classificazione dell'edificato è più raffinata, consentendo l'uso di modelli di vulnerabilità più complessi.

### 4.3 Un approccio integrato per l'inventario

L'inventario degli edifici può essere migliorato considerando le informazioni aggiuntive sui fattori di vulnerabilità disponibili nella scheda Cartis. I passaggi per ottenere l'inventario integrato, introdotti in (Polese et al. 2019b), sono sintetizzati in figura 4.

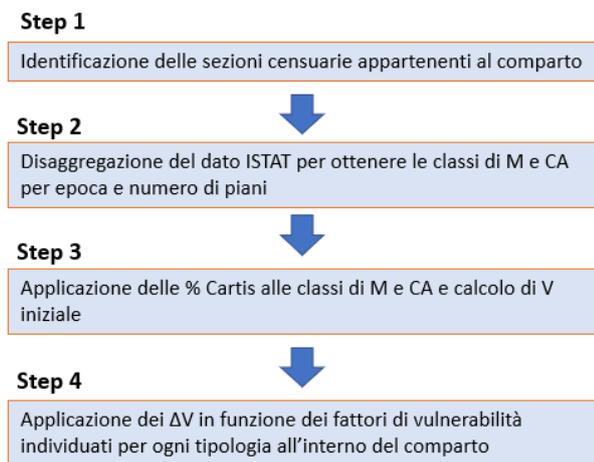


Figura 4. Descrizione dei vari step seguiti per ottenere l'inventario integrato CC.

L'incidenza percentuale relativa a ciascuna tipologia di edifici identificata nella scheda Cartis, così come i fattori di vulnerabilità che la caratterizzano, sono forniti a livello di ciascun comparto del comune. Pertanto la prima operazione per combinare le informazioni del database CE e della scheda Cartis è identificare le sezioni censuarie appartenenti a ciascun comparto,

in modo tale da attribuire solo agli edifici ad esse pertinenti le informazioni desunte per il relativo comparto Cartis; se alcune sezioni censuarie appartengono a più comparti, viene valutata l'incidenza percentuale della loro area in ciascun comparto mediante l'utilizzo di mappe con un software GIS (step1). Ad esempio, in figura 5 vengono mostrate alcune sezioni censuarie del comune di Portici, associate per colore ai relativi comparti di appartenenza.

Successivamente, considerando tutte le sezioni censuarie appartenenti al comparto, e applicando la stessa metodologia di disaggregazione dei dati descritta per il database CE, si ricava il numero di edifici appartenenti a ciascuna classe di epoca-intervallo di piani per sezione censuaria e infine si assemblano per ottenere il numero di edifici di ogni tipologia appartenenti all'intero comparto (step 2).

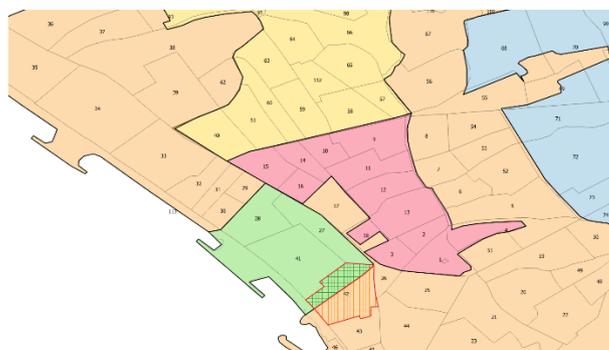


Figura 5. Indicazione delle sezioni censuarie del comune di Portici appartenenti a diversi comparti, tra cui la sezione censuaria 42, dai contorni in evidenza, appartenente in parte al comparto 1, in arancio, e in parte al comparto 3, in verde.

Ai gruppi di edifici appartenenti al comparto così ricavati, vengono applicate le informazioni disponibili nella scheda Cartis. In una prima fase viene attribuita la percentuale di distribuzione di edifici nelle relative tipologie di muratura e cemento armato presenti (ad esempio gli edifici in muratura in un comparto vengono suddivisi in MUR1 e MUR 2 in base alle relative percentuali, se queste sono le due tipologie di muratura presenti nel comparto) e viene assegnato un valore di V iniziale in base al tipo di sistema resistente; infatti nella scheda Cartis, ciascuna tipologia è caratterizzata non solo dal materiale (muratura o cemento armato) ma anche dall'attribuzione del tipo di strutture verticali (tipologia di muratura, ad esempio pietra squadrata o mattoni, per gli edifici in muratura, o tipologia di sistema a telaio o a pareti per gli edifici in cemento armato) ed è dunque possibile effettuare un'attribuzione più congrua della tipologia e del relativo V (si veda

tabella 1) rispetto all'attribuzione fatta nel caso di inventario CE. La combinazione delle classi di epoca-intervallo di piani con l'incidenza percentuale delle tipologie consente di ottenere una prima distribuzione delle sottoclassi di edifici e, dunque, di parametro  $V$  associato a livello di comparto (step 3). Successivamente un ulteriore modifica di  $V$  viene applicata a tutte le sottoclassi del comparto, in funzione della variazione di vulnerabilità ( $\Delta V$ ) applicabile a ciascuna tipologia di edificio in funzione di ulteriori fattori di vulnerabilità (ad esempio presenza di catene e relativa incidenza percentuale per ogni tipologia) (step 4).

Ripetendo i precedenti passaggi per tutti i comparti di un comune si ottiene l'inventario integrato CC per l'intero comune considerato.

## 5 APPLICAZIONE IN CAMPANIA

La metodologia proposta per la costruzione dell'inventario basato sui soli dati censuari (CE) e dell'inventario integrato (CC) è applicata a 26 comuni della Regione Campania, per i quali è stata compilata la scheda Cartis.

Nella tabella 5 si riporta l'elenco dei 26 comuni campione con le relative classi di popolazione, di altimetria e zona sismica, nonché il numero di edifici in muratura ed in c.a. in esso presenti.

I comuni considerati appartengono a diverse classi di popolazione  $C_{pop}$ , da 2 a 6 ( $<500$ ,  $C_{pop} = 1$ ; 501-2000,  $C_{pop} = 2$ ; 2001-5000,  $C_{pop} = 3$ ; 5001-10000,  $C_{pop} = 4$ ; 10001-50000,  $C_{pop} = 5$ ; 50001-250000,  $C_{pop} = 6$ ;  $> 250000$ ,  $C_{pop} = 7$ ) e a diverse classi altimetriche  $C_a$  (montagna interna,  $C_a = 1$ , montagna vicino alla costa,  $C_a = 2$ , collina interna,  $C_a = 3$ , collina vicino alla costa,  $C_a = 4$ , pianura,  $C_a = 5$ ) e alle diverse zone sismiche secondo la Delibera della Giunta Regionale DGR n. 5447 del 7/11/2002. Per ogni comune è inoltre riportato il numero complessivo di edifici in muratura (Edifici Mur) e cemento armato (Edifici c.a.). Si noti che il numero totale di edifici del comune è quasi sempre maggiore della somma di edifici in muratura e in c.a.; questo poiché l'ISTAT classifica alcuni edifici come "altro", inserendo all'interno di questa categoria tutti gli edifici di altre tipologie, come ad esempio quelli in acciaio o quelli a struttura mista. In questo lavoro, gli edifici definiti come "Altro" vengono accorpati a ciascuna delle tipologie considerate (Muratura e c.a.) in base all'incidenza percentuale di queste ultime sull'intero territorio comunale.

Tabella 5. Elenco dei comuni campani per i quali sono stati costruiti gli inventari CE e CC

Comune	Classe di pop	Classe altimetrica	Classe sismica	Edifici Mur	Edifici C.a.
Agerola	4	4	3	786	589
Agropoli	5	4	3	1889	1249
Alife	4	3	2	1585	233
Angri	5	5	2	1591	1495
Aversa	6	5	2	1656	1712
Bacoli	5	4	2	2352	435
Bonea	2	1	2	382	21
Calvanico	2	3	2	159	74
Casamarciano Casola di	3	3	2	376	59
Napoli	3	4	3	186	211
Cicerale	2	3	3	523	35
Frasso Telesino	3	1	2	783	5
Gragnano	5	4	3	842	1035
Lettere	4	4	3	291	375
Liveri Piano di	2	5	2	229	80
Sorrento Pollena	5	4	3	745	303
Trocchia	5	4	2	952	336
Pompei	5	5	2	1290	1795
Portici	6	4	2	863	811
Pozzuoli	6	4	2	2743	2646
San Potito Sannitico	2	1	1	594	61
San Tammaro	3	5	2	458	249
Sant'Agnello	4	4	3	482	460
Sant'Anastasia	5	4	2	1531	1132
Solopaca	3	1	2	956	232
Vietri sul Mare	4	4	3	520	153

Applicando le procedure descritte in precedenza si ottengono gli inventari CE e CC per i 26 comuni campione. Il fattore di vulnerabilità  $V$  ottenuto alla fine della procedura assume valori compresi tra  $V=0.36$  (ad esempio per gli edifici in c.a. RC1 di classe di duttilità media, in zona sismica II, classe di altezza *Low* e nessuna irregolarità) e  $V=0.95$  (ad esempio per gli edifici in muratura M1 con irregolarità in pianta e cattivo stato di conservazione). Quindi in termini di indice  $V$  l'inventario non risulta facilmente rappresentabile.

Per consentire una rappresentazione più semplice dell'inventario, gli edifici appartenenti agli intervalli di  $V$  vengono assegnati alle classi di vulnerabilità corrispondenti. Gli intervalli di  $V$  per l'attribuzione in classi di vulnerabilità sono stabiliti in base alle funzioni di appartenenza definite in (Lagomarsino e Giovinazzi 2006) per rappresentare le classi di vulnerabilità introdotte in EMS98; in particolare si adotta l'associazione riportata nella Tabella 6.

Tabella 6. Associazione tra le classi di vulnerabilità della scala EMS98 e gli intervalli di valori dell'indice V

Classe	V [EMS'98]	
A	0.82	1.02
B	0.66	0.82
C	0.5	0.66
D	0.34	0.5
E	0.2	0.34
F	0	0.2

Le figure 6(a) - (b) mostrano l'inventario CE e CC, rappresentato come percentuale di edifici appartenenti a ciascuna classe di vulnerabilità, per due comuni campione, relativamente di classe di popolazione 2 e 5.

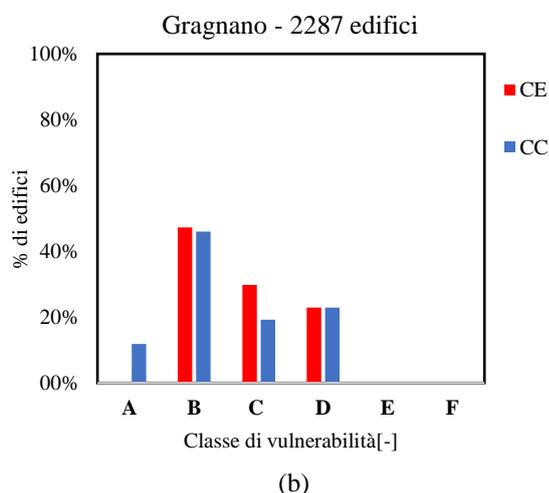
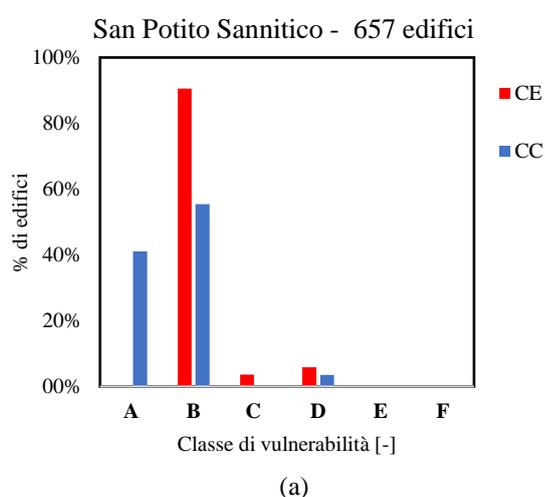


Fig. 6. Inventario CE e CC rappresentato in termini di % di edifici nelle classi di vulnerabilità da A a F per i comuni di San Potito Sannitico (a) e Gragnano (b)

Come si può notare, la distribuzione delle classi di vulnerabilità può cambiare in modo significativo dall'inventario CE all'inventario CC. Ad esempio, riferendoci al comune di San Potito Sannitico ( $C_{pop} = 2$ ) circa il 90% degli edifici è classificato in B con l'inventario CE, mentre con

l'inventario CC quasi la metà di questi viene riclassificata, distribuendo circa il 40% in classe A e il 60% in classe B. Apparentemente i cambiamenti di inventario sono più significativi per i comuni più piccoli rispetto a quelli più grandi, come si può vedere anche dal confronto con il comune di Gragnano ( $C_{pop} = 5$ ).

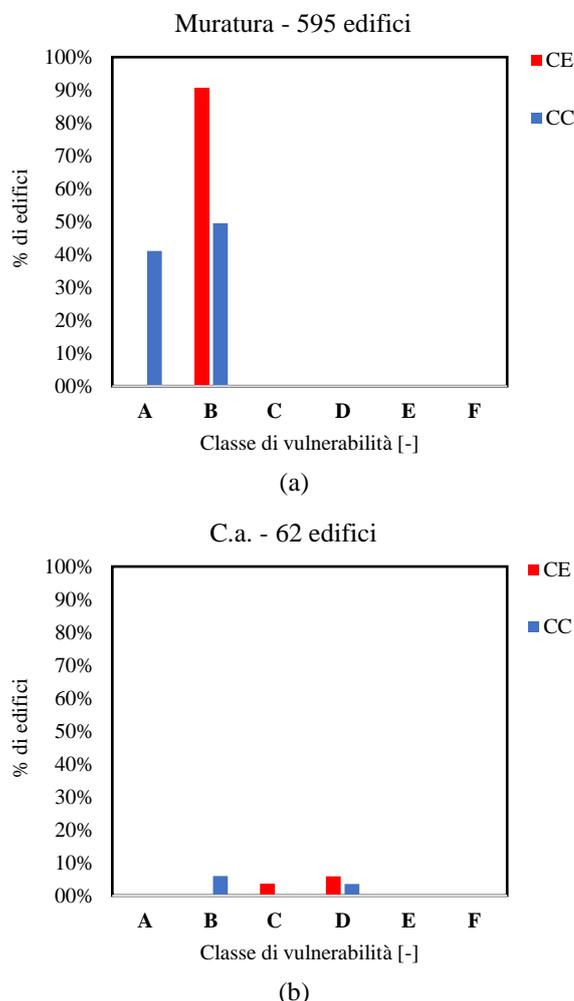
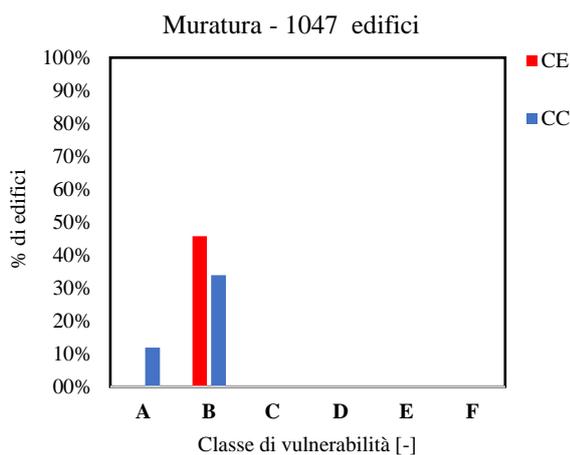


Figura 7. La % di edifici in muratura (a) e cemento armato (b) nelle classi di vulnerabilità da A a F per gli inventari CE e CC nel comune di San Potito Sannitico.

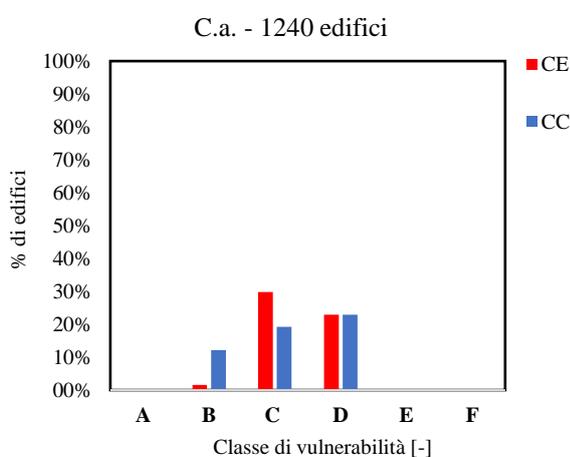
La figure 7(a) - (b) e 8(a) - (b) mostrano per entrambi i comuni la distribuzione percentuale degli edifici in muratura e cemento armato appartenenti a ciascuna classe di vulnerabilità. Come si può notare, il passaggio alla classe più vulnerabile con l'inventario CC è dovuto soprattutto al contributo della distribuzione degli edifici in muratura. La scheda Cartis infatti consente di tener conto di parametri molto incisivi sulla vulnerabilità sismica in particolare proprio per gli edifici in muratura; informazioni quali la tipologia di muratura (irregolare, sbazzata, squadrata,...), la tipologia di orizzontamenti o la presenza di volte, o ancora la presenza o l'assenza di elementi quali cordoli o catene, possono portare

a una classificazione molto differente degli edifici in muratura rispetto all'inventario CE.

Inoltre, gli edifici in cemento armato hanno generalmente una vulnerabilità inferiore rispetto a quelli in muratura, come evidenziato anche dai valori dell'indice V che assumono i valori più bassi per le tipologie in cemento armato. Pertanto si prevede che i comuni con una percentuale maggiore di edifici in muratura saranno caratterizzati da una vulnerabilità media maggiore rispetto a quelli con una percentuale inferiore di edifici in muratura.



(a)



(b)

Figura 8. La % di edifici in muratura (a) e cemento armato (b) nelle classi di vulnerabilità da A a F per gli inventari CE e CC nel comune di Gragnano.

La figura 9 mostra la distribuzione media della percentuale di edifici in muratura per le diverse classi di popolazione considerando un campione di 48 comuni della regione Campania; tutti i comuni considerati sono stati indagati anche con l'approccio Cartis ed i dati sono consultabili e scaricabili dalla piattaforma online sviluppata nel progetto Reluis 2015-2018 ([cartis.plinivs.it](http://cartis.plinivs.it)).

Come si può vedere i comuni più piccoli tendono ad avere una percentuale di edifici in muratura maggiore rispetto a quelli appartenenti a classi di popolazione più elevate. Quindi è ragionevole attendersi una maggiore vulnerabilità media per i centri più piccoli.

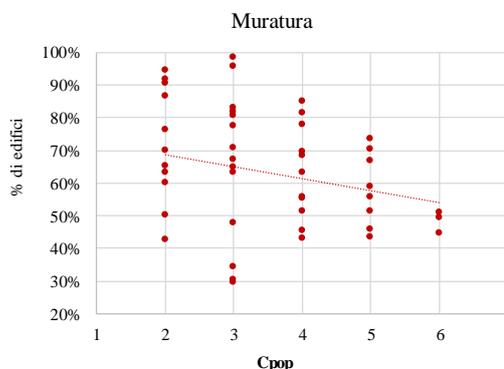


Figura 9. Variazione della % di edifici in muratura per le città campione in funzione della C<sub>pop</sub>

### 5.1 Danno medio comunale per i comuni studiati

Adottando il modello di vulnerabilità Risk-UE, per ogni valore dell'intensità sismica, noto l'indice di vulnerabilità V, è possibile ricavare la probabilità di attingere i diversi livelli di danno introdotti in EMS'98. Dunque, dato l'inventario edilizio per il generico comune, ovvero noto l'intervallo di variazione di V rilevante per il comune ed il numero di edifici associati a ciascun valore di V, esso può essere utilizzato per stimare il valore medio del danno sull'intero comune d<sub>m</sub>, con la seguente equazione:

$$d_m = \frac{1}{5} \sum_{k=0}^5 \left( \frac{N_{k|I}}{N_{tot}} \cdot k \right) \quad (1)$$

Nella (1) N<sub>tot</sub> il numero di edifici nel comune, k il livello di danno e N<sub>k|I</sub> il numero di edifici con livello di danno k relativo all'intensità sismica I. Il valore medio di d<sub>m</sub> nell'intervallo di intensità I = 6-8, d<sub>m,6-8</sub>, è utilizzato come parametro rappresentativo della vulnerabilità a livello comunale.

Volendo riferirsi alla PGA come parametro di intensità, è necessario operare una trasformazione PGA-I per il calcolo del danno medio attraverso la (1). Esistono diverse proposte in letteratura (es. Guagenti & Petrini 1989; Margottini et al. 1992) per la conversione I-PGA. In questo lavoro si è adottata la formula di correlazione proposta in (Lagomarsino e Giovinazzi 2006). Il

corrispondente danno medio  $d_{m,68}$  è calcolato sia a partire dalle distribuzioni delle tipologie di edifici ottenute con l’inventario CE che con l’inventario CC per i 26 comuni riportati in tabella 5. La figura 10 mostra la variazione di  $d_{m,6-8}$  con la classe di popolazione, per entrambi gli inventari. Come si può osservare, il  $d_{m,6-8}$  ottenuto a partire dall’inventario CC è generalmente maggiore rispetto a quello corrispondente all’inventario CE; dunque quando vengono considerate informazioni aggiuntive su altre caratteristiche tipologiche che rappresentano peculiarità locali o punti deboli che incidono sulla vulnerabilità sismica, ad esempio attraverso l’inventario integrato CC, il relativo danno medio comunale aumenta. Inoltre l’inventario integrato mostra un andamento leggermente decrescente con la classe di popolazione. Questa tendenza conferma quanto già osservato relativamente ai comuni più piccoli con una percentuale maggiore di edifici in muratura.

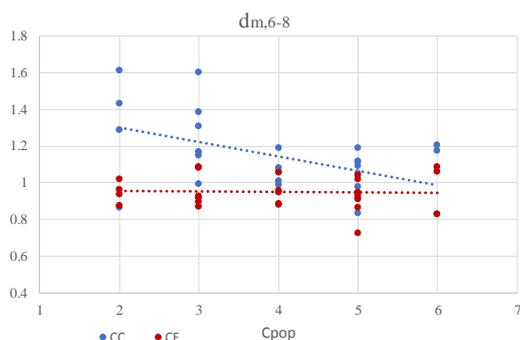


Fig.10. Variazione del  $d_{m,6-8}$  con la  $C_{pop}$ , ottenuta a partire dagli inventari CE e CC

Tale tendenza è stata confermata conducendo uno studio di sensibilità che ha previsto l’inclusione, per il calcolo del  $d_{m,6-8}$ , di altri 22 comuni campani, per i quali era stata compilata la scheda Cartis. La figura 11 mostra la variazione del rapporto degli indici di danno medio  $\Delta d_{m,6-8} = (d_{m,6-8})_{CC} / (d_{m,6-8})_{CE}$  con la classe di popolazione, considerando il campione finale di 48 comuni. Il  $\Delta d_{m,6-8}$  è generalmente più alto per comuni di classe di popolazione inferiore e si osserva una tendenza decrescente con la classe, confermando il maggior peso delle informazioni aggiuntive, introdotte con la scheda Cartis, soprattutto per i comuni più piccoli.

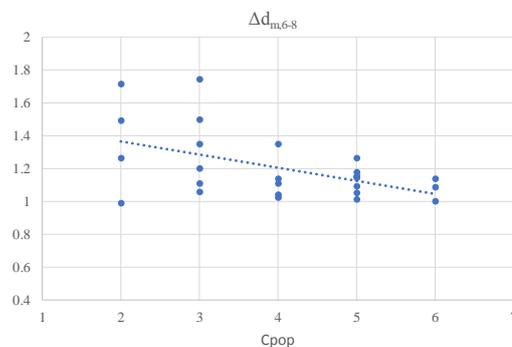


Figura 11 – Variazione del rapporto  $d_{m,6-8}$  CC/  $d_{m,6-9}$  CE con la  $C_{pop}$

## 5.2 Variazione della vulnerabilità a scala regionale

Le variazioni  $\Delta d_m$  valutate possono essere utilizzate per calibrare dei fattori di correzione dipendenti dalla classe di popolazione,  $CF(C_{pop})$ , da applicare alle stime preliminari del danno medio comunale, tenendo conto delle informazioni sulle tipologie che caratterizzano localmente l’ambiente edilizio. In particolare, sulla base dell’andamento decrescente osservato in figura 11, si può assumere per il  $CF(C_{pop})$  un valore pari a un valore pari a 1.5, 1.4, 1.3, 1.2, 1.1 e 1 rispettivamente per le classi di popolazione da 1 a 6. Per il comune di Napoli ( $C_{pop} = 7$ ), estrapolando la legge di variazione dalla fig. 11, risulterebbe un  $CF$  di poco inferiore all’unità; si assume pertanto  $CF=1$ . Per stimare la variazione di vulnerabilità per l’intera regione Campania, il danno medio comunale  $d_{m,6-8}$  viene inizialmente stimato per tutti i comuni a partire dall’inventario dei dati censuari CE, con l’ausilio della piattaforma IRMA. La piattaforma consente all’utente di creare e caricare diversi database di esposizione/vulnerabilità e diversi set di curve di fragilità. I database esposizione/vulnerabilità forniscono una serie di regole per identificare le classi di vulnerabilità in base a caratteristiche tipologiche disponibili nel database dei dati censuari, ad esempio l’epoca di costruzione ed il numero di piani. In IRMA il database dei dati censuari è precaricato con dati disaggregati a livello comunale. Date le adeguate regole di esposizione/vulnerabilità corrispondenti al modello di vulnerabilità scelto, ad esempio Risk-UE, l’inventario basato sui dati censuari CE viene costruito automaticamente per i comuni appartenenti all’area di interesse. Analogamente le curve di fragilità inserite, coerentemente al modello di vulnerabilità adottato, sono utilizzate per le stime di danno in analisi di scenario o di rischio. Va osservato che per utilizzare la

piattaforma IRMA per la stima della vulnerabilità a scala regionale, bisogna riferirsi alla PGA quale parametro di intensità. Inoltre, al momento, non è possibile scegliere arbitrariamente il valore di PGA, ma per ogni comune è possibile effettuare analisi di scenario a periodo di ritorno prefissato, al quale corrispondono le PGA derivanti dalla mappa di pericolosità disponibile a scala nazionale (Stucchi et al. 2004, 2009).

Il valore del danno medio  $d_m$  si ottiene tramite la (1), per ogni valore di PGA considerato. Successivamente, mediando i  $d_m$  per le PGA corrispondenti all'intervallo di intensità scelto (6-8) si ottiene il valore del parametro  $d_{m,6-8}$  per l'intera regione, utilizzato come parametro rappresentativo della vulnerabilità comunale.

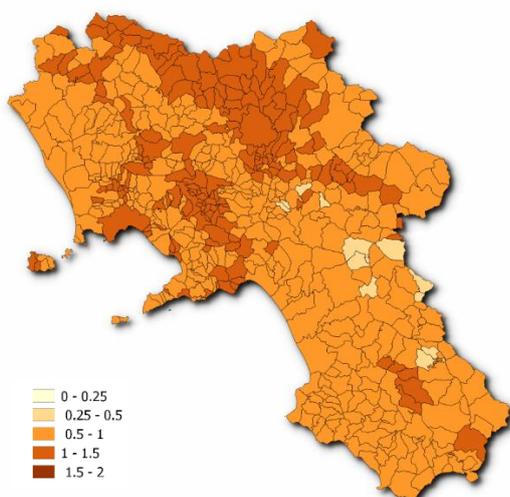


Figura 12. Mappa del danno medio comunale per l'intera regione Campania considerando l'inventario CE

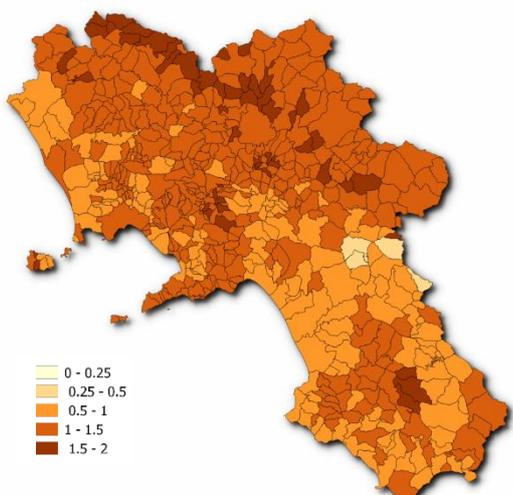


Figura 13. Mappa del danno medio comunale per l'intera regione Campania amplificato mediante i fattori di correzione

Valutato l'andamento del danno medio comunale con l'utilizzo dell'inventario CE, è possibile applicare i fattori di correzione CF ricavati in precedenza per valutare la variazione di

vulnerabilità regionale introdotta dall'inventario integrato CC. In figura 13 e in figura 14 si riportano le mappe di danno che mostrano l'andamento del  $d_{m,6-8}$  per tutti i comuni della regione Campania, con l'utilizzo dell'inventario CE (fig.12) e con la successiva applicazione dei fattori di correzione (fig.13).

## 6 CONCLUSIONI

In questo lavoro si valuta l'influenza della scelta dell'inventario degli edifici esposti sulle stime di vulnerabilità. Il modello di vulnerabilità considerato, Risk-UE (Lagomarsino e Giovinazzi 2006), consente di tener conto di diversi fattori di vulnerabilità per la classificazione degli edifici. Sono stati considerati due inventari: quello CE basato sui dati censuari ricavabili dall'ISTAT, e quello integrato CC, basato sull'integrazione dei dati censuari con ulteriori informazioni tipologiche ricavate con l'approccio Cartis per diversi comuni. Con l'applicazione del modello Risk-UE su 26 comuni campione, è stato effettuato un primo confronto sulla distribuzione delle classi di vulnerabilità, corrispondenti alle classi EMS'98. Il confronto tra i due inventari mostra che le variazioni sono più significative per i comuni più piccoli, portando a una riclassificazione di una porzione significativa di edifici nella classe più vulnerabile. Incisiva è in particolar modo la redistribuzione degli edifici in muratura, grazie a informazioni significative apportate dalla scheda Cartis, quali la tipologia di muratura (irregolare, sbazzata, squadrata,...), la tipologia di orizzontamenti o la presenza di volte. Una conferma della maggiore vulnerabilità dei comuni più piccoli si ottiene anche dalla stima della vulnerabilità in termini di danno medio comunale  $d_{m,6-8}$ . La stima basata sull'inventario CC porta ad un danno medio più elevato rispetto a quella basata sull'inventario CE e si mostra decrescente al crescere della classe di popolazione. In base alla variazione con la  $C_{pop}$  sono stati calibrati dei fattori di correzione CF per migliorare le stime di vulnerabilità ottenute tramite l'inventario dei dati censuari. Applicando questi fattori di correzione alle stime estese all'intera regione Campania, l'incremento di vulnerabilità raggiunge anche il 50%, con incrementi più significativi per i comuni più piccoli.

Questa applicazione su scala regionale consente di avere una prima stima quantitativa dell'effetto

dell'adozione di un inventario di edifici più raffinato, valutando l'incremento di vulnerabilità in termini di danno medio comunale. L'adozione di pochi parametri aggiuntivi, desunti dalle schede Cartis, può migliorare le stime di vulnerabilità sismica e dunque aumentare l'affidabilità delle analisi di rischio a larga scala.

## RINGRAZIAMENTI

Questo studio è stato eseguito nell'ambito di PE 2019-2021, programma congiunto DPC-Reluis sottoprogetto RC-WP2: inventario delle tipologie di edifici esistenti – CARTIS e WP4 – mappe di rischio sismico e sottoprogetto WP4 : Mappe di rischio sismico e scenari di danno.

## REFERENCES

- Braga, F., Dolce, M., Liberatore, D., 1982. A statistical study on damaged buildings and an ensuing review of the MSK-76 scale, In: *Proceedings of the seventh European conference on earthquake engineering, Athens, Greece*, p. 431–50.
- Cacace, F., Zuccaro, G., De Gregorio, D., Perelli, F.L., 2018. Building Inventory at National scale by evaluation of seismic vulnerability classes distribution based on Census data analysis: BINC procedure. *International journal of disaster risk reduction*, 28 (2018) 384-393.
- Delibera della Giunta Regionale. Aggiornamento della classificazione sismica dei comuni della Regione Campania, DGR n. 5447 del 7/11/ 2002.
- Di Ludovico, M., Polese, M., Prota, A., Santoro, A., Gaetani d'Aragona, M., 2019b. Dall'edificio al comparto: effetti di inventario approssimato sulla vulnerabilità a scala comunale, *XVIII Convegno ANIDIS "L'ingegneria sismica in Italia"*, Ascoli Piceno, 15-19 Settembre 2019.
- Di Pasquale, G., Orsini, G., Romeo, R.W., 2005. New Developments in Seismic Risk Assessment in Italy, *Bulletin of Earthquake Engineering*, 3 (1), (2005) pp. 101-128.
- Dolce, M., Borzi, B., Da Porto, F., Faravelli, M., Lagomarsino, S., Moroni, C., Penna, A., Prota, A., Speranza, E., Zuccaro, G., Verderame, G., 2019. Mappe di rischio per il territorio Italiano. In Atti del XVIII Convegno ANIDIS – L'Ingegneria sismica in Italia. Ascoli Piceno, Italia.
- DPC, Italian Civil Protection Department, National risk assessment. Overview of the potential major disasters in Italy: seismic, volcanic, tsunamis, hydro-geological/hydraulic and extreme weather, droughts and forest fire risks, (2018), updated December 2018.
- Giovinazzi, S., Lagomarsino, S., 2004. A macroseismic method for the vulnerability assessment of buildings. In *Proc. of 13th World Conf. on Earthq. Eng.* 2004.
- Grunthal, G., 1998. European Macroseismic Scale, *Chaiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie*, vol. 15 Luxembourg, 1998.
- ISTAT 2001, Edifici ed abitazioni Censimento 2001. Dati definitivi. 2004, rilasciato da ISTAT il 9 Dicembre 2004, download da [dawinci.istat.it](http://dawinci.istat.it).
- Lagomarsino, S., Giovinazzi, S., 2006. Macroseismic and mechanical models for the vulnerability and damage assessment of current buildings, *Bull Earthquake Eng*, 4:415–443, 2006.
- Polese, M., Marcolini, M., Zuccaro, G., Cacace, F., 2015. Mechanism Based Assessment of Damaged- Dependent Fragility curves for RC building classes, *Bull Earthquake Eng*, 13 (5), 1323-1345.
- Polese, M., Gaetani d'Aragona, M., Prota, A., 2019a. Simplified approach for building inventory and seismic damage assessment at the territorial scale: an application for a town in southern Italy, *Soil dyn and earthq Eng.*, in press, 2019a
- Polese, M., Di Ludovico, M., Gaetani d'Aragona, M., Prota, A., Manfredi, G., 2019b. Regional vulnerability and risk assessment accounting for local building typologies, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, (sottomesso).
- Zuccaro, G., Cacace, F., 2015. Seismic vulnerability assessment based on typological characteristics. The first level procedure "SAVE". *Soil Dyn Earthq Eng* 2015;69:262–9.
- 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 354° convegno nazionale GNGTS*, Trieste 2015