



## Dall'edificio al comparto: effetti di inventario approssimato sulla vulnerabilità a scala comunale

Marco Di Ludovico<sup>a</sup>, Maria Polese<sup>a</sup>, Andrea Prota<sup>a</sup>, Andrea Santoro<sup>a</sup>, Marco Gaetani d'Aragona<sup>a</sup>  
<sup>a</sup> *Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura, Università Federico II di Napoli, Italy*

*Keywords: vulnerabilità sismica; rischio sismico; scheda CARTIS; edifici ordinari; censimento.*

### ABSTRACT

La scheda di rilievo Cartis-comparti compilata per zone omogenee opportunamente definite a livello comunale, consente di acquisire rapidamente una serie di informazioni utili alla caratterizzazione di tipologie edilizie presenti sul territorio. Utilizzando le informazioni presenti nella scheda Cartis è possibile migliorare l'inventario ed effettuare stime di danno, e relative perdite attese, che possono essere anche significativamente più gravose rispetto alle valutazioni che si ottengono partendo da dati più poveri, quali ad esempio i dati del censimento popolazione, abitazioni ed edifici (es. ISTAT). La scheda Cartis-comparti è basata su di un protocollo di intervista, che fa affidamento sulla conoscenza ed esperienza dei tecnici intervistati ed è quindi inevitabilmente affetta da imprecisioni e possibili errori di valutazione dei singoli tecnici. Di contro, la scheda Cartis-edificio raccoglie informazioni tipologiche analoghe a quelle contenute nella Cartis-comparti, ma riferite al singolo edificio oggetto di rilievo sul campo. Questo studio propone un confronto/validazione dei dati raccolti a livello comunale con la Cartis-Comparti, compilata per tutti i comparti di un comune, con i dati raccolti con la scheda Cartis-edificio per un numero significativo di edifici all'interno di diversi comparti del comune. Inoltre, si mostrerà l'effetto che le incertezze di inventario determinano sulla quantificazione del rischio a scala comunale.

### 1 INTRODUZIONE

Il rischio sismico in una data area dipende dalla combinazione della pericolosità sismica al sito, della vulnerabilità delle costruzioni e dell'esposizione dei beni a rischio.

L'inventario dell'edificato è uno dei fattori che aiuta a quantificare l'esposizione in quanto rappresenta la distribuzione delle classi di vulnerabilità degli edifici a scala territoriale. Difatti, scelto un modello di vulnerabilità, l'inventario degli edifici fornisce il numero di edifici in ciascuna unità territoriale di analisi e la distribuzione percentuale degli stessi all'interno delle classi di vulnerabilità considerate.

L'inventario degli edifici dipende dal modello di vulnerabilità adottato. Come evidenziato in (Polese et al., 2019a) i modelli di vulnerabilità più semplici classificano gli edifici in base al materiale che caratterizza il sistema strutturale resistente come ad esempio proposto nella scala macrosismica europea EMS98 (Grunthal, 1998). Tuttavia, i modelli di vulnerabilità possono essere significativamente migliorati se sono disponibili ulteriori informazioni rilevanti sulle

caratteristiche dell'edificio, come ad esempio il numero di piani, eventuale irregolarità in pianta o in elevazione o il tipo di orizzontamenti, solo per citare alcuni dei fattori rilevanti.

I dati censuari, es. (ISTAT, 2001) tipicamente usati quale fonte primaria per assemblare inventari dell'edificato a larga scala (Polese et al., 2019a) forniscono informazioni, sul materiale di costruzione, numero di piani ed epoca di costruzione. Come illustrato in (Polese et al., 2019b), per l'utilizzo di modelli di vulnerabilità più raffinati è necessario integrare le informazioni fornite dai dati censuari con altre fonti di informazione e l'approccio Cartis (Zuccaro et al., 2015) si pone come un valido strumento utile ad integrare i dati utili per l'inventario.

La scheda Cartis di I° livello, basata su un protocollo di intervista, consente di raccogliere dati sulle tipologie edilizie ordinarie prevalenti nell'ambito di zone comunali o sub-comunali, denominate Comparti, che sono zone della città caratterizzate da omogeneità del patrimonio edilizio in termini di epoca di costruzione e tecniche costruttive e/o tipologie strutturali.

Come descritto in (Zuccaro et al., 2015; Polese et al., 2019b), le informazioni raccolte dalla scheda Cartis includono molti più dati sulle tipologie edilizie rispetto ai dati del censimento e consentono di utilizzare modelli di vulnerabilità più raffinati.

Essendo basata su intervista, la scheda Cartis di I° livello, nel seguito indicata come Cartis-comparti, fa affidamento sulla conoscenza ed esperienza dei tecnici intervistati ed è quindi inevitabilmente affetta da imprecisioni e possibili errori di valutazione dei singoli tecnici. Al fine di coadiuvare le informazioni raccolte con la Cartis-comparti con dati di rilievo sul campo, nel 2016 è stata sviluppata anche la scheda Cartis di II° livello, denominata nel seguito come Cartis-edificio. La Cartis-edificio è compilata con rilievo diretto, in sito, per singoli edifici appartenenti ad una delle tipologie rilevate con la Cartis-comparti. La compilazione della Cartis-edificio per un numero statisticamente rilevante di edifici in un comparto consente di effettuare analisi statistiche tese al confronto e validazione sulla affidabilità del dato desunto dalla Cartis-comparti.

In questo lavoro, con riferimento a tre comuni in Campania, si presenta un confronto dei dati raccolti a livello comunale con la Cartis-comparti, compilata per tutti i comparti del comune, con i dati raccolti con la Cartis-edificio per un numero significativo di edifici all'interno di uno o più comparti del comune. In particolare, si effettua il confronto statistico di parametri rilevanti ai fini della caratterizzazione della vulnerabilità sismica in funzione delle diverse tipologie strutturali. Inoltre, si mostrerà l'effetto che le incertezze di inventario determinano sulla quantificazione della vulnerabilità sismica e del rischio a scala comunale.

## 2 VULNERABILITÀ SISMICA PER EDIFICI ORDINARI

Esistono diversi modelli per valutare e rappresentare la vulnerabilità sismica degli edifici. I principali approcci possono essere distinti in empirici e analitici. I metodi empirici si basano su dati di osservazioni dei terremoti del passato e le funzioni di vulnerabilità derivano dal trattamento statistico del danno osservato (es. Braga et al., 1982; Rota et al., 2008; Zuccaro e Cacace, 2015, solo per citarne alcuni). D'altro canto, i metodi analitici si basano su una modellazione semplificata del comportamento degli edifici e sulla valutazione analitica della loro attitudine a essere danneggiati da terremoti di

una determinata intensità. Nell'ultimo decennio sono stati proposti numerosi approcci analitici per derivare le curve di fragilità per gli edifici in muratura (es. D'Ayala et al., 2003; Erberik, 2008; Rota et al., 2010) e per gli edifici in cemento armato (es. Crowley et al., 2004; Borzi et al., 2008; Polese et al., 2008; Del Gaudio et al., 2015).

Il metodo RISK-UE, proposto in (Lagomarsino e Giovinazzi, 2006), adotta un approccio euristico, combinando il giudizio esperto implicito nella scala macrosismica EMS98 con una cross-validazione con un metodo meccanico.

Come illustrato in (Lagomarsino e Giovinazzi, 2006) la propensione al danno viene associata ad un indice di vulnerabilità  $V$ , attribuito in base alla tipologia degli edifici e facendo riferimento, essenzialmente, al sistema resistente delle strutture verticali, coerentemente con l'approccio della scala macrosismica europea EMS98 (Grunthal, 1998).

Tuttavia, riconoscendo l'importanza di ulteriori fattori di vulnerabilità ( $VF$ ) per la stima della vulnerabilità sismica, è possibile migliorare la classificazione dell'edificio quando sono disponibili informazioni su ulteriori fattori oltre al materiale da costruzione, ad esempio la tipologia di orizzontamenti (rigidi o deformabili) per edifici in muratura.

L'indice di vulnerabilità  $V$  è calcolato come somma dell'indice di vulnerabilità di base della tipologia edilizia e dell'eventuale contributo modificatore  $\Delta V$  dovuto ai possibili  $VF$  presenti (Lagomarsino e Giovinazzi, 2006).

Un  $VF$  riconosciuto comunemente come rilevante è il numero di piani (o intervalli di altezza) dell'edificio. Gli edifici in muratura ( $M$ ) e cemento armato ( $CA$ ) sono suddivisi in tre intervalli di altezza in base al numero di piani  $N_s$  ovvero: bassi LO ( $N_s=1-2$ ), medi ME ( $N_s=3-5$ ) e alti HI ( $N_s \geq 6$ ) per la muratura e LO ( $N_s=1-3$ ), medi ME ( $N_s=4-7$ ) e alti HI ( $N_s \geq 8$ ) per il cemento armato. Ad esempio, la Tabella 1, modificata da (Lagomarsino e Giovinazzi, 2006) riporta l'assegnazione di base del parametro  $V$  per la tipologia di muratura "pietra naturale" M3 e per cemento armato "Edifici intelaiati" RC1 con progettazione sismica di basso livello (indicato come duttilità di classe bassa DCL) e zona sismica II. Si può notare che la variazione del parametro  $V$  dal range di altezza ME a LO può essere ottenuta applicando un modificatore  $\Delta V = -0.08$  per edifici in muratura M; allo stesso modo,  $V$  aumenta di  $\Delta V = +0.08$  nel passaggio dal range di altezza ME a HI. Analogamente, la variazione dal range di altezza ME a LO per RC1 di bassa

ERD è rappresentato da  $\Delta V = -0.02$ , mentre da ME a HI di  $\Delta V = 0$ .

Tabella 1. Parametro  $V$  delle curve di vulnerabilità per alcune tipologie di edifici ( $Q = \text{cost} = 2.3$ )

Tipologia	V	Tipologia	V
M3_LO	0.66	DCL RC1_II_LO	0.50
M3_ME	0.74	DCL RC1_II_ME	0.48
M3_HI	0.82	DCL RC1_II_HI	0.48

In maniera analoga,  $VF$  aggiuntivi come ad es. la posizione dell'edificio nell'aggregato o la regolarità in pianta o in elevazione, possono essere esplicitamente considerati per modificare la vulnerabilità dell'edificio con la limitazione  $\Delta V_{\min/\max} = \pm 0.08$  (Giovinazzi e Lagomarsino, 2004).

Tabella 2. Modificatori di vulnerabilità per diversi  $VF$ .

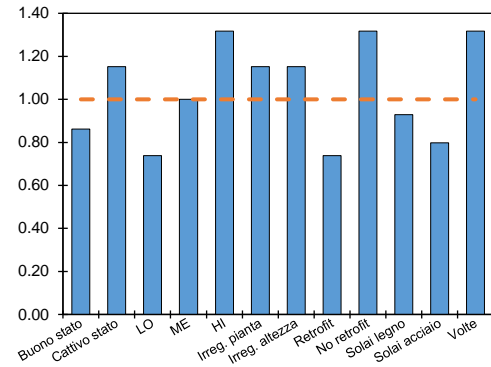
Modificatori di vulnerabilità	Muratura	$\Delta V$	Cemento Armato	$\Delta V$
Stato di conservazione	Buono stato	-0.04	Buono stato	+0.0
	Cattivo stato	+0.04	Cattivo stato	+0.04
Ns	LO (1-2)	-0.08	LO (1-3)	-0.02
	ME (3-5)	+0.0	ME (4-7)	+0.0
	HI ( $\geq 6$ )	+0.08	HI ( $\geq 8$ )	+0.0
Irregolarità in pianta	SI	+0.04	SI	+0.04
Irregolarità in altezza	SI	+0.04	SI	+0.04
Interventi di retrofit	SI	-0.08		
	NO	+0.08		
Strutture orizzontali	solai acciaio	-0.06		
	solai legno	-0.02		
	volte	+0.08		

La Tabella 2, adattata da (Giovinazzi e Lagomarsino, 2004), riporta i valori  $\Delta V$  considerati come modificatori di vulnerabilità per diversi  $VF$  e riferiti agli edifici  $M$  e  $CA$ , rispettivamente. Per valutare l'effetto di ogni singolo parametro sulla vulnerabilità, si è fatto riferimento al valore di danno medio  $\mu_{D,I}$  calcolato con l'eq. (1) (Lagomarsino e Giovinazzi, 2006)

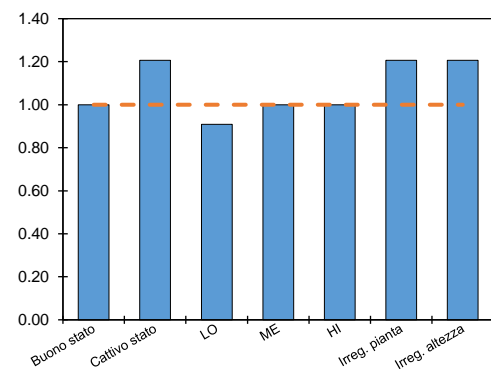
$$\mu_{D,I} = 2.5 \left[ 1 + \tanh \left( \frac{1 + 6.25V - 13.1}{2.3} \right) \right] \quad (1)$$

in cui  $I$  è l'intensità macrosismica e  $V$  l'indice di vulnerabilità della tipologia.  $\mu_{D,I}$  è stato dapprima calcolato a partire dall'assegnazione tipologica di base, cioè considerando la  $V$  attribuita sulla base del solo materiale da costruzione, e quindi ricalcolato considerando  $V \pm \Delta V$  per ogni singolo

parametro. Il rapporto tra il valore finale e il valore iniziale di  $\mu_D$ , in media per intensità  $I$  da 6 a 9,  $\Delta \mu_{D,6-9}$ , può essere considerato come una misura dell'effetto di ogni singolo parametro sulla vulnerabilità dell'edificio.



(a)



(b)

Figura 1. Variazione di  $\Delta \mu_{D,6-9}$  dovuta ai singoli  $VF$  per le tipologie edilizie per M3 (a) e RC1 di bassa ERD (b), rispettivamente; la linea tratteggiata rappresenta il riferimento per le tipologie che non considerano ulteriori  $VF$ .

La Figura 1 confronta le variazioni di  $\Delta \mu_{D,6-9}$  dovuta ai singoli parametri per edifici M3 (Fig 1 (a)) e RC1 edifici di bassa ERD in zona sismica II (Fig 1 (b)). La linea di riferimento (tratteggiata) in Figura 1 rappresenta la non variazione rispetto al valore iniziale  $\Delta \mu_{D,6-9}$ , che è calcolato per M3\_ME e RC1\_II\_ME, rispettivamente. Con riferimento ad edifici M3, la massima variazione relativa ad incremento di danno, ovvero un incremento del valore medio  $\mu_D$  di circa il 35%, risulta dovuta all'altezza dell'edificio (da ME a HI), alla presenza di volte o alla assenza di interventi di rafforzamento sismico, nessun retrofit. Viceversa, il massimo effetto migliorativo, dovuto all'altezza dell'edificio (da ME a LO) o agli interventi di retrofit, determina una diminuzione del valore medio di  $\mu_D$  di circa il 25%. Per RC1 e livello di progettazione sismica basso, l'irregolarità in pianta o elevazione o cattivo stato di conservazione hanno lo stesso effetto di peggioramento e determinano un

aumento medio di  $\mu_D$  di circa il 20%. Si può osservare che, a causa della non linearità dell'Eq. (1), l'effetto della stessa variazione di  $V$ , positiva o negativa, è non simmetrico nella stima di  $\Delta\mu_D$ , e nell'intervallo di intensità 6 ÷ 9, che rappresenta un intervallo  $I$  in cui sono disponibili più osservazioni di danno (Zuccaro, 2004), generalmente un  $\Delta V$  positivo determina una maggiore variazione di  $\Delta\mu_D$  rispetto a un  $\Delta V$  negativo.

### 3 CONFRONTO DATI CARTIS DI 1° E 2° LIVELLO PER ALCUNI COMUNI IN CAMPANIA

Questa sezione presenta l'analisi ed il confronto dei dati risultanti dalla schedatura di 1° e 2° livello Cartis per tre comuni della regione Campania: Aversa e Villa di Briano, entrambi in provincia di Caserta, e Casamarciano, in provincia di Napoli. La Tabella 3 riporta la classe di popolazione ( $C_{pop}$ ), la classe altimetrica ( $C_a$ ), la classe sismica ( $C_s$ ) e numero di edifici in muratura (M) e in cemento armato (CA) per i tre comuni considerati. Da notare che gli edifici con tipologia costruttiva "altro" sono stati suddivisi e accorpati alla tipologia muratura e cemento armato in proporzione alla loro percentuale all'interno del comune considerato. In ISTAT (ISTAT, 2004) i comuni sono suddivisi in 7 classi di popolazione  $C_{pop}$  in funzione del numero di abitanti (<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,  $C_{pop}=7$ ), mentre per la classe altimetrica  $C_a$  il range di variazione è (montagna interna,  $C_a=1$ ; montagna litoranea,  $C_a=2$ ; collina interna,  $C_a=3$ ; collina litoranea,  $C_a=4$ ; pianura,  $C_a=5$ ). I tre comuni considerati, secondo la classificazione dell' l'Ordinanza n. 3274 del 20 marzo 2003 (O.P.C.M. n. 3274 del 20/03/2003) appartengono alla zona sismica di categoria 2.

Tabella 3. Il campione di comuni analizzati in regione Campania.

Città	$C_{pop}$	$C_a$	$C_s$	M	CA
Aversa	6	5	2	1656	1712
Villa di Briano	4	5	2	496	770
Casamarciano	3	3	2	376	59

In una prima fase, si è proceduto all'individuazione dei comparti per ciascun comune considerato, la relativa perimetrazione su mappa, e alla compilazione della scheda Cartis-comparti. La compartimentazione è stata eseguita

secondo i criteri descritti in (Zuccaro et al., 2015), avvalendosi di informazioni derivanti da indagini storiche, di tipo bibliografico e documentario, che consentano di definire le varie fasi costruttive dell'edificato.

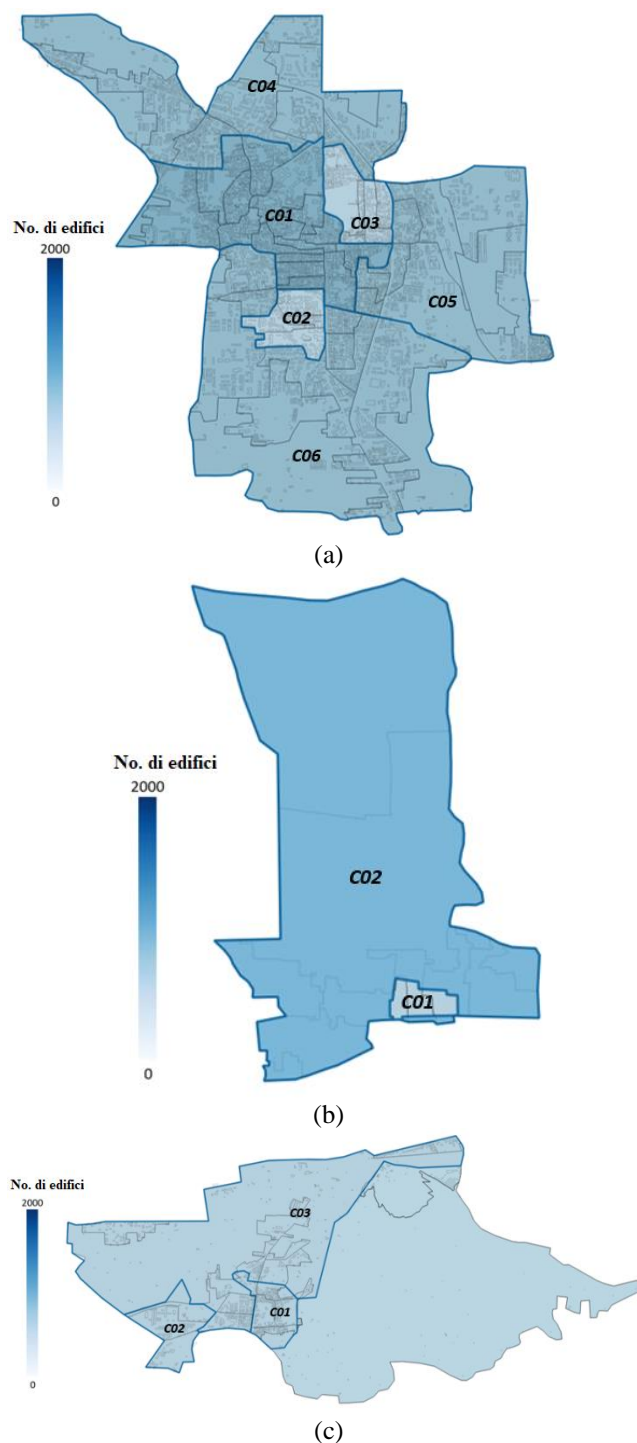


Figura 2. Mappe comunali con la delimitazione delle zone censuarie (contorni in grigio) secondo ISTAT 2004 e con la delimitazione dei comparti comunali secondo l'approccio Cartis (contorni in blu): (a) Aversa; (b) Villa di Briano; (c) Casamarciano.

La documentazione reperita, come ad esempio il Piano di Recupero del Centro Storico ed il PUC, è risultata utile per la perimetrazione del

centro storico e per l'individuazione delle zone di espansione per i tre comuni considerati.

Le mappe dei tre comuni di analisi, con la compartimentazione effettuata sono riportate in Figura 2a-c. In particolare, i contorni delle zone censuarie secondo ISTAT 2004 sono rappresentati dalle linee in grigio mentre la delimitazione dei comparti comunali con linee blu.

Nella seconda fase è stata compilata la Cartis-edificio per una certa percentuale di edifici all'interno di alcuni comparti, come descritto di seguito.

### 3.1 Comune di Aversa

La città di Aversa, fondata ufficialmente nel 1030, si trova al centro dell'agro aversano, una vasta area pianeggiante situata a nord della conurbazione metropolitana di Napoli. Alla metà dell'Ottocento, come si può notare dalla "Carta topografica dei contorni di Napoli" (risalente al 1836-40), la struttura urbana era caratterizzata essenzialmente dalla compresenza, in un rapporto di contiguità, di due organismi morfologicamente opposti, che costituivano insieme la quasi totalità dell'edificato urbano: la città medioevale, ad andamento anulare (si veda zona grigio scuro in Figura 3), e la città sviluppata dal '600 in poi sul versante meridionale, in un'area pressoché quadrata, con un sistema viario rettilineo ed ortogonale (zona in grigio chiaro in Figura 3). All'inizio del sec. XIX la struttura urbana di Aversa subì consistenti modifiche e sventramenti determinati dall'apertura di nuove arterie stradali e dall'abbattimento di edifici civili e conventuali in abbandono. In base a tali informazioni e mappe è stato possibile stabilire il perimetro dei comparti C01-centro storico e C02, C03 nelle sue immediate adiacenze.

La storia urbanistica moderna della città di Aversa può essere esemplificata nella crescita incontrollata di edilizia residenziale che ha di fatto unito la città con tutti i centri minori dell'agro formando quell'agglomerato notoriamente noto come "Città Aversana". Nell'ambito del territorio comunale, i quartieri che si sono venuti a formare, in base ai quali è stata effettuata la compartimentazione al di fuori del centro storico, sono:

- Comparto C04: il quartiere nord ovest (S. Lorenzo) comprendente gli insediamenti

PEEP, l'area artigianale commerciale ed il "corno occidentale" del territorio comunale.

- Comparto C05: il quartiere est (Ferrovia) comprendente gli insediamenti residenziali e produttivi realizzati nell'ultimo secolo fino al confine comunale con Teverola, Carinaro, Gricignano, al di qua ed al di là della ferrovia.
- Comparto C06: il quartiere sud (Savignano – Cappuccini – Cirigliano) comprende gli insediamenti residenziali e produttivi, nonché il cimitero, l'area dell'Ippodromo, l'ospedale ed aree inedificate.

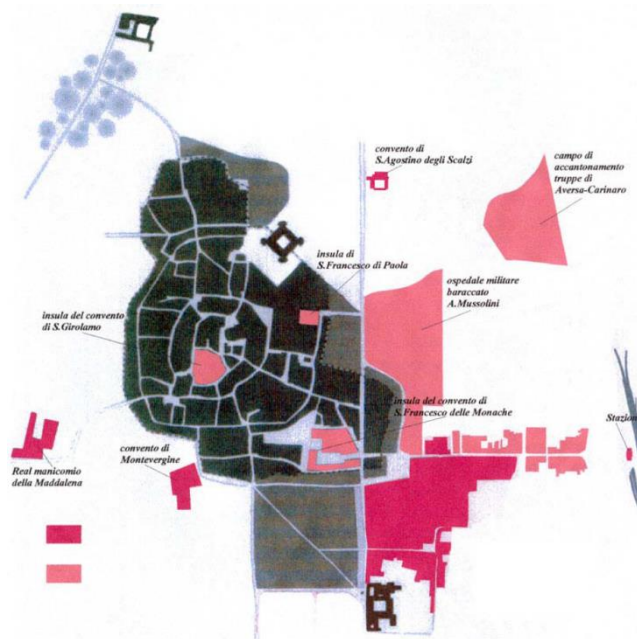


Figura 3. La città consolidata di Aversa: la città del 1836 rosa intenso); la città del 1955 (rosa cipria). Fonte: [www.ecodiaversa.com](http://www.ecodiaversa.com)

Come riportato in Figura 2a, per Aversa sono stati definiti sei comparti per i quali, successivamente, si è proceduto alla compilazione della scheda Cartis-comparti grazie all'intervista di tecnici locali. Il numero e la percentuale di edifici residenziali distinti per tipologia costruttiva, per ognuno dei comparti in cui è stata suddiviso il comune di Aversa, sono rappresentati in Figura 4.

La Figura 4 mostra la prevalenza di muratura antica (MUR1, 80%, e MUR2, 15%) nel comparto "Centro Storico" C01. Il comparto C02 "Parco Coppola" presenta la maggior percentuale di edifici in cemento armato di primo insediamento (telai monodirezionali) per una percentuale di 75%, mentre nelle restanti zone di espansione diviene prevalente la tipologia costruttiva cemento armato di più recente edificazione, caratterizzata da telai tridimensionali.

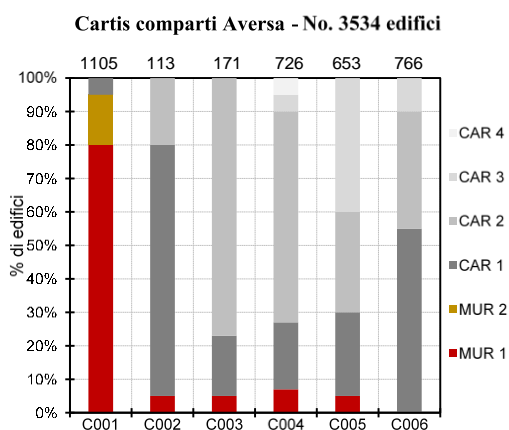


Figura 4. Comune di Aversa: numero e percentuale di edifici residenziali in ogni comparto, distinti per tipologia costruttiva.

La compilazione della Cartis-edificio per una percentuale significativa di edifici all'interno di un comparto consente di controllare l'attendibilità delle informazioni sull'edificato raccolte con il protocollo di intervista Cartis-comparti. In particolare, per il comune di Aversa si è compilata la Cartis-edificio per i due comparti C01 "Centro Storico" e C02 "Parco Coppola". Nel primo caso (C01), in particolare, la scheda Cartis-edificio è stata compilata relativamente alle sezioni censuarie no. 17 e 22 (Figura 6), per un numero di edifici tale da coprire il 10% dell'intero comparto.

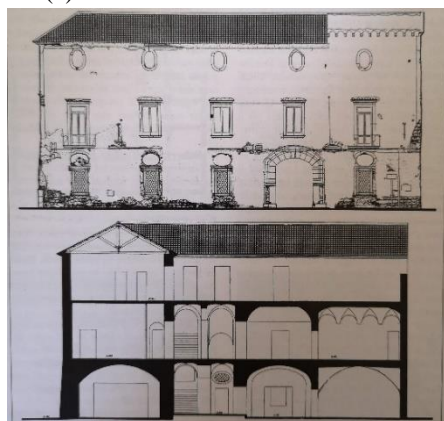
Il rilievo dei singoli edifici è stato condotto compilando per ciascuno le voci presenti nella Cartis-edificio; inoltre, si è effettuata la mappatura GIS degli edifici rilevati assegnando ciascuno un numero identificativo ed associandovi le informazioni rilevate. Particolare attenzione è stata posta al rilievo dei fattori di vulnerabilità *VF* più significativi per ogni tipologia (si veda §2) quali ad esempio la presenza di catene, lo stato conservativo, etc. In taluni casi le informazioni da rilievo diretto sono state integrate con informazioni dettagliate, sia architettoniche che strutturali, disponibili in (Fiengo e Guerriero, 2002), dove è presente uno studio di dettaglio su diversi edifici del centro storico di Aversa (si veda ad es. Figura 5).



Figura 6. Comune di Aversa: Comparto C01-Centro Storico con percentuale delle tipologie costruttive della Cartis-comparti e messa in evidenza delle sezioni censuarie per le quali è stata compilata la Cartis-edificio.



(a) (b)



(c)

Figura 5. Comune di Aversa: immagini estratte da "Il Centro Storico di Aversa – Analisi del patrimonio edilizio" (Fiengo et al. 2002).

La Figura 7a-d riporta il confronto dei risultati ottenuti dalla Cartis-comparti con quelli ottenuti dalla Cartis-edificio, considerando la tipologia costruttiva MUR1 e come *VF* il tipo di orizzontamento e la presenza dei cordoli di piano. Dalle Figure 7a-b si può osservare come la Cartis-comparti tenda a sottostimare la presenza di volte nel comparto (circa 20% in meno). Ancor più alta è la variazione percentuale riguardo la presenza di solai deformabili rispetto alla tipologia semirigida: infatti nella Cartis-comparti si ha 30% di solai flessibili, contro il 93% stimato in Cartis-edificio, mentre per solai con struttura semirigida si ha 70% in Cartis-comparti e solo 7% in Cartis-edificio.

Quest'ultimo risultato può trovare spiegazione nel fatto che la maggior parte degli edifici del centro storico hanno subito interventi come cambio destinazione d'uso e/o ampliamenti, che presuppongono interventi di irrigidimento degli orizzontamenti; ciò può aver indotto il tecnico intervistato a supporre una maggior presenza della tipologia semirigida.

Il confronto in termini di presenza di cordoli di piano (Figura 7c-d) mostra un andamento molto vicino tra Cartis-comparti e Cartis-edificio.

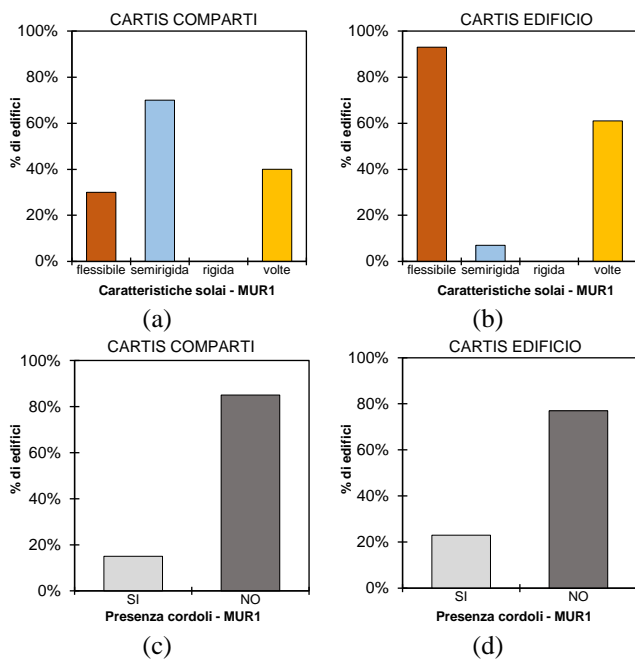


Figura 7. Comune di Aversa: Confronto Cartis-comparti e Cartis-edificio per tipologia costruttiva MUR1 nel comparto C01, in termini di tipo di orizzontamento e presenza di cordoli.

Ad ogni modo, è necessario precisare che il numero di edifici considerato per il confronto rappresenta circa il 10% degli edifici dell'intero comparto ed appartiene a sole 2 sezioni censuarie, pertanto il risultato del confronto potrebbe variare considerando una percentuale maggiore di edifici.

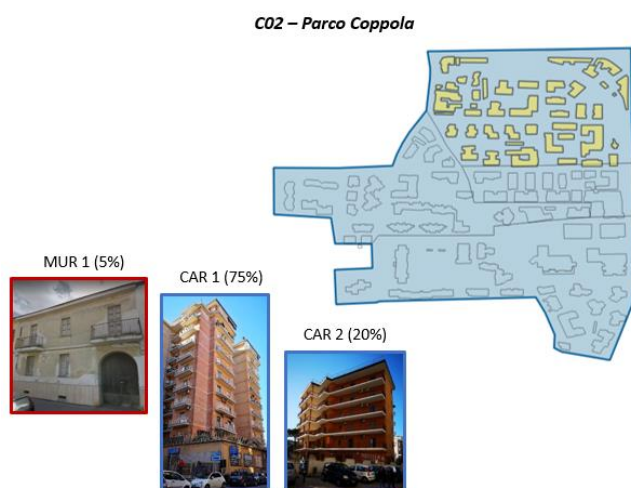


Figura 8. Comune di Aversa: Comparto C02-Parco Coppola con percentuale delle tipologie costruttive della Cartis-comparti e messa in evidenza della sezione censuarie per la quale è stata compilata la Cartis-edificio.

Riguardo la tipologia costruttiva cemento armato, è stata compilata la Cartis-edificio per la sezione censuarie n. 37, rilevando circa il 40% degli edifici con struttura in cemento armato CAR1 appartenenti al comparto C02 (Figura 8).

La Figura 9a-d riporta il confronto dei risultati ottenuti dalla Cartis-comparti con quelli ottenuti dalla Cartis-edificio, considerando la tipologia costruttiva CAR1, in termini di tipo di tamponature e irregolarità in elevazione. La figura mostra che i risultati sono molto vicini tra loro; ciò sembra mostrare che la confidenza del tecnico per edifici in cemento armato è risultata maggiore rispetto al giudizio per edifici in muratura. Da notare, tuttavia, che, nel caso di edifici in c.a., il tipo di informazione e la maggiore semplicità nella individuazione dei parametri considerati può aver facilitato una maggiore coerenza tra i dati Cartis-comparti e Cartis-edificio.

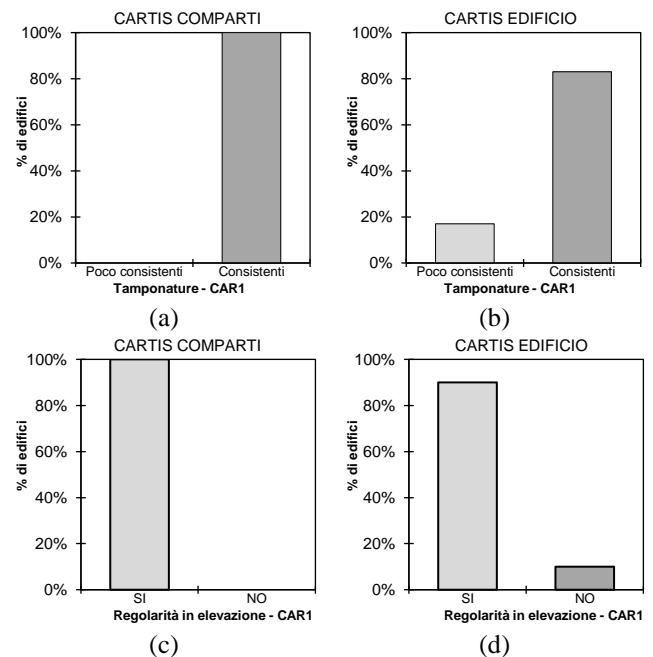


Figura 9. Comune di Aversa: Confronto Cartis-comparti e Cartis-edificio per tipologia costruttiva CAR1 nel comparto C02, in termini di tipo di tamponature e irregolarità in elevazione.

### 3.2 Comune di Villa di Briano

Villa di Briano è situata nella parte sud della provincia di Caserta ed è al centro dell'agro aversano. La maggior parte degli edifici/abitazioni sono stati costruiti nel dopoguerra.

La compilazione della scheda Cartis-comparti per Villa di Briano ha portato alla definizione di 2 comparti (C01: Centro storico; C02: Espansione). I dati riguardanti il numero di edifici e le

tipologie costruttive all'interno di ogni comparto sono riportate in Figura 10.

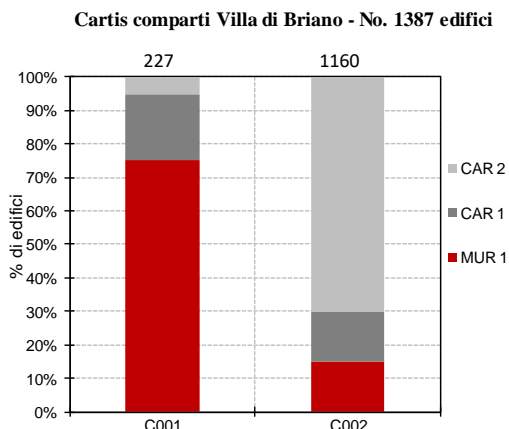


Figura 10. Comune di Villa di Briano: numero e percentuale di edifici residenziali in ogni comparto, distinti per tipologia costruttiva.

Si può osservare che il comparto “Centro Storico” presenta una prevalenza di muratura antica per circa il 75%, mentre nella “Zona di espansione” tale tipologia costruttiva è presente solamente per il 15% del totale di edifici.

Il confronto Cartis-comparti con Cartis-edificio è stato effettuato relativamente alla tipologia costruttiva MUR1 del comparto C01-Centro Storico rilevando la totalità degli edifici di tale tipologia.

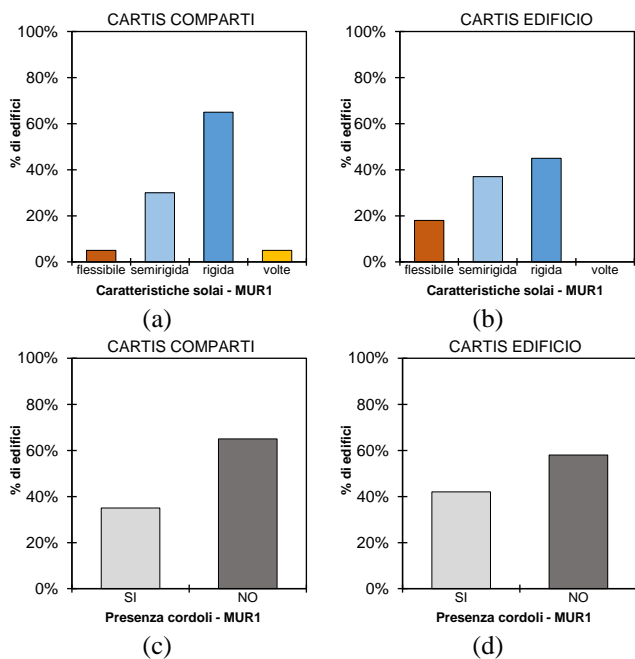


Figura 6. Comune di Villa di Briano: Confronto Cartis-comparti e Cartis-edificio per tipologia costruttiva MUR1 nel comparto C01, in termini di tipo di orizzontamento e presenza di cordoli.

La Figura 11a-d mostra le statistiche dei parametri tipo di orizzontamento e presenza dei cordoli di piano; dal confronto si evince che le percentuali rilevate con i due approcci Cartis-

comparto e Cartis-edificio sono molto simili tra loro. Tale risultato può dipendere, da un lato, dal fatto che per comuni di piccola-media grandezza il tecnico ha probabilmente una maggior conoscenza delle tipologie costruttive presenti nel territorio, dall'altro dal fatto che con la Cartis-edificio si è rilevata la quasi totalità degli edifici del comparto.

### 3.3 Comune di Casamarciano

Il comune di Casamarciano si trova nella zona collinare a nord-est della città metropolitana di Napoli. Lo studio preliminare delle caratteristiche comunali ha portato alla definizione di 3 comparti (C01: Centro storico; C02: Espansione 1; C03: Espansione 2) per i quali, successivamente, è stata compilata la Cartis-comparti. La Figura 12 riassume i dati riguardanti il numero di edifici e le tipologie costruttive per ogni comparto.

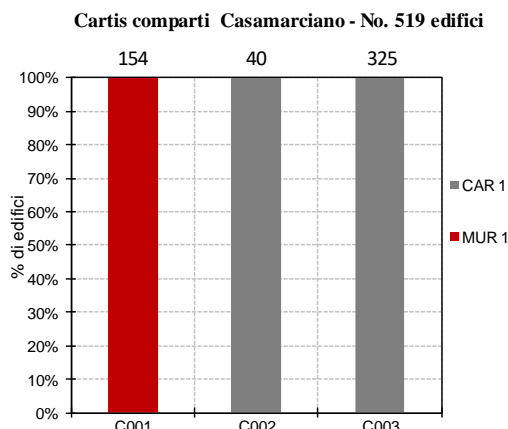


Figura 72. Comune di Casamarciano: numero e percentuale di edifici residenziali in ogni comparto, distinti per tipologia costruttiva.

La scheda Cartis-edificio è stata compilata per la quasi totalità degli edifici della tipologia costruttiva CAR1 del comparto C02-Espansione. La Figura 13a-d mostra il confronto Cartis-comparti con Cartis-edificio per tale tipologia; si può osservare che i parametri tipo di tamponature e irregolarità in elevazione hanno distribuzione percentuale molto simile con la Cartis-comparti e la Cartis-edificio. Tale risultato dimostra ancora una volta che per la tipologia strutturale cemento armato il dato sembra essere meno sensibile alla conoscenza del territorio da parte del tecnico.



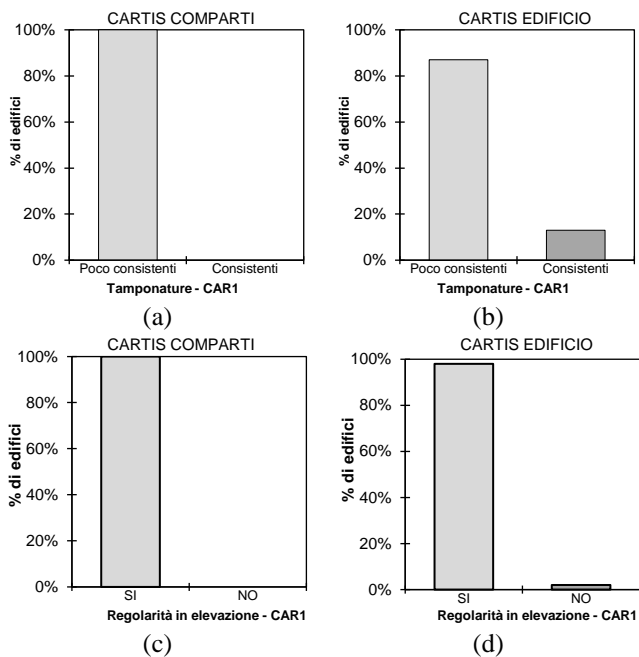


Figura 13. Comune di Casamarciano: Confronto Cartis-comparti e Cartis-edificio per tipologia costruttiva CAR1 nel comparto C02, in termini di tipo di tamponature e irregolarità in elevazione.

#### 4 VARIAZIONE DI INVENTARIO E STIME DI VULNERABILITÀ E RISCHIO

In questa sezione si vuole mostrare l'effetto che le incertezze sulla caratterizzazione dei parametri tipologici, in particolare per fattori di vulnerabilità  $VF$  significativi quali ad esempio tipo di orizzontamento e presenza di cordoli per edifici in muratura e tipo di tamponature e irregolarità in elevazione per edifici in cemento armato, possono avere sull'inventario degli edifici e di conseguenza sulla stima della vulnerabilità sismica e sul rischio stimato a livello di comparto e comunale.

##### 4.1 Variazione di inventario

Come descritto in maggior dettaglio in (Polese et al., 2019b) è possibile stimare un inventario più raffinato rispetto a quello che si otterrebbe dal solo dato ISTAT, grazie alla opportuna combinazione del dato Censuario con informazioni tratte dalle scheda Cartis. Tale inventario combinato, denominato CC, si ottiene con una procedura integrativa che sfrutta le statistiche sui  $VF$  tipologici desunte dal rilievo Cartis (Polese et al., 2019a,b,c).

In questo lavoro, facendo riferimento all'inventario combinato CC, si valuta la variazione di inventario che si ottiene considerando i dati sull'edificato (statistiche sui

$VF$  per tipologie) risultanti dalla Cartis-comparti e dalla Cartis-edificio, rispettivamente, per ciascuno dei singoli comparti indagati con la Cartis-edificio. In particolare, la variazione di inventario è espressa in termini di variazione della percentuale di edifici appartenenti alle classi di vulnerabilità, da A a D, introdotte in (Lagomarsino e Giovinazzi, 2006) conformemente alla classificazione proposta in EMS98.

Dalle Figure 14-16, che riportano il confronto per i diversi comparti nei comuni indagati, si può notare che la distribuzione delle classi di vulnerabilità risultanti dall'inventario Cartis-comparti e dall'inventario Cartis-edificio può cambiare in modo significativo nel caso in cui si considerino i parametri tipologici di edifici in muratura, mentre nel caso del cemento armato le variazioni sono meno evidenti. Ad esempio, riferendoci al comune di Aversa (comparto C01) la maggior presenza di solai flessibili rilevata dalla Cartis-edificio rispetto alla Cartis-comparti comporta un incremento della percentuale di edifici dal 5% al 19% nella classe di vulnerabilità A. Più in generale, l'inventario basato sulla Cartis-comparti mostra che circa l'84% degli edifici è classificato in B, mentre con l'inventario basato sui dati ottenuti dalla Cartis-edificio quasi il 14% di questi viene riclassificato in classe A (Figura 14a).

La Figura 15 mostra le variazioni di inventario per il comune di Villa di Briano sempre relativamente agli edifici in muratura. Apparentemente sembrerebbe che i cambiamenti di inventario siano meno significativi per i comuni più piccoli rispetto a quelli più grandi. Difatti, anche in questo caso la maggior presenza di solai flessibili e semirigidi rilevati dalla Cartis-edificio rispetto al caso della Cartis-comparti comporta una variazione di edifici in classe di vulnerabilità A, ma in misura percentuale minore (da meno dell'1% per Cartis-comparti al 7% nella Cartis-edificio). Tale evidenza, necessita evidentemente di ulteriori conferme derivanti da altri casi studio per trarne un risultato di valenza generale.

Le Figure 14b e 16 mostrano la variazione di inventario, rispettivamente per Aversa (comparto C02 e per Casamarciano (comparto C02) circa la distribuzione percentuale degli edifici in cemento armato appartenenti a ciascuna classe di vulnerabilità. Come si può notare, la variazione di inventario è non significativa. Ciò è

principalmente dovuto alla minore variazione delle statistiche dei VF considerati per il CA, e secondariamente anche alla loro minore influenza sulla variazione di  $V$  (minore  $\Delta V$ ).

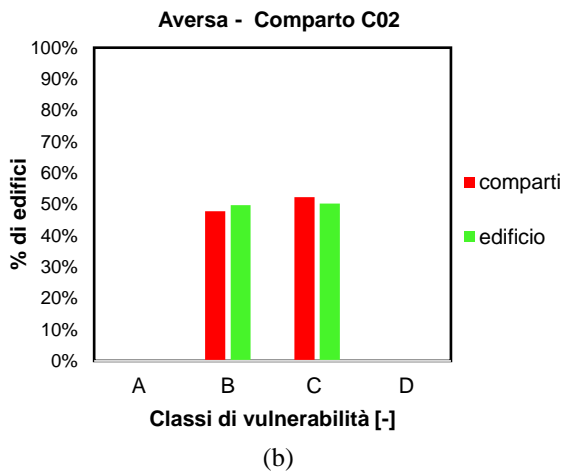
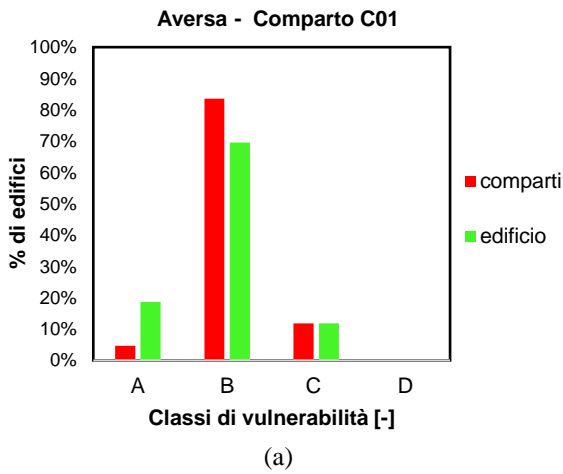


Figura 8. Comune di Aversa: Inventario Cartis-comparti e inventario Cartis-edificio per comparto C01 (a) e comparto C02 (b) in termini di % di edifici nelle classi di vulnerabilità da A a D.

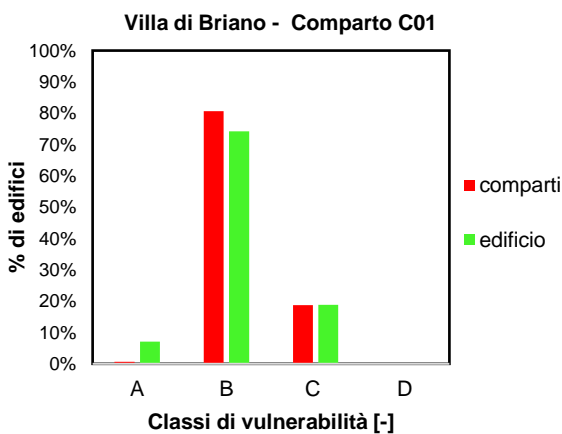


Figura 9. Comune di Villa di Briano: Inventario Cartis-comparti e inventario Cartis-edificio per comparto C01 in termini di % di edifici nelle classi di vulnerabilità da A a D.

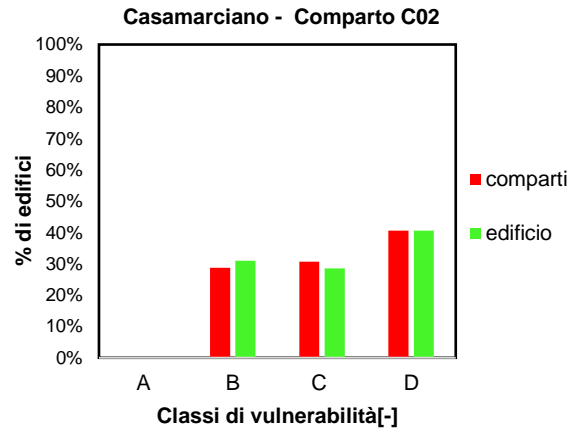


Figura 10. Comune di Casamarciano: Inventario Cartis-comparti e inventario Cartis-edificio per comparto C02 in termini di % di edifici nelle classi di vulnerabilità da A a D.

#### 4.2 Effetti della variazione di inventario sulla stima della rischio sismico a scala comunale

Il rischio sismico in una determinata area può essere espresso in termini di perdite economiche attese in un arco temporale prefissato. Secondo la proposta riportata in (DPC, 2018), le perdite economiche dirette  $L$  possono calcolarsi in funzione del livello di danno raggiunto dagli edifici e tenendo conto della effettiva esposizione, ovvero della superficie esposta delle diverse classi di vulnerabilità, espressa tramite l'inventario. In (DPC, 2018),  $L$  è calcolato con la seguente Eq. (2):

$$L = CU \left( \sum_{j=1}^{n_M} \sum_{k=1}^5 A_{Mj} p_{Mj,k} c_k + \sum_{j=1}^{n_{RC}} \sum_{k=1}^5 A_{RCj} p_{RCj,k} c_k \right) \quad (2)$$

dove  $n_M$ ,  $n_{RC}$  sono rispettivamente il numero di classi di edifici in muratura e cemento armato;  $CU$  è il costo unitario ( $\text{€}/\text{m}^2$ ) comprensivo delle spese tecniche e IVA;  $A_{Mj}$ ,  $A_{RCj}$  sono rispettivamente l'area totale della  $j$ -esima classe di edificio in muratura e cemento armato;  $p_{Mj,k}$ ,  $p_{RCj,k}$  rappresentano la probabilità di attingere lo stato di danno strutturale  $k$  per la  $j$ -esima classe di edificio in muratura e cemento armato, rispettivamente;  $c_k$  è il costo percentuale di riparazione o sostituzione (rispetto alla  $CU$ ) per ogni livello di danno strutturale  $k$ .

Tabella 4. Parametri di costo utilizzati per il calcolo delle perdite economiche dirette.

CU ( $\text{€}/\text{m}^2$ )	c1 (%)	c2 (%)	c3 (%)	c4 (%)	c5 (%)
1350	2	10	30	60	100

I parametri di costo adottati in Eq. (2) sono calibrati in base agli effettivi costi di riparazione nel processo di ricostruzione seguito ai recenti terremoti italiani (Di Ludovico et al, 2017a,b), vedi Tabella 4.

Le Tabella 5 e 6 mostrano il rischio annuale, stimato in termini di perdite economiche per unità di superficie, con riferimento a ciascuno dei comparti studiati con la Cartis-comparti e Cartis-edificio in questo lavoro, ed adottando l'inventario ottenuto considerando i dati rilevati con la Cartis-comparti (Tabella 5) o con la Cartis-edificio (Tabella 6), rispettivamente. Per effettuare il confronto, il rischio è calcolato, per ogni comparto indagato, variando le sole statistiche dei fattori di vulnerabilità  $VF$  della tipologia in esame (es. la % di solai flessibili per MUR1 in C01 secondo la Cartis-comparti o secondo la Cartis-edificio, oppure la % di edifici non regolari per CAR1 in C02 secondo la Cartis-comparti o secondo la Cartis-edificio, per il comune di Aversa). Successivamente, sono state calcolate le perdite economiche in rapporto alla superficie coperta complessiva del comparto.

Tabella 5. Stima delle perdite Cartis-comparti

Città	Comparto	N. edifici	Loss (€/m <sup>2</sup> )
Aversa	1	1105	2.26
	2	113	1.48
Casamarciano	2	194	1.88
Villa di Briano	1	227	1.39

Tabella 6. Stima delle perdite Cartis-edificio

Città	Comparto	N. edifici	Loss (€/m <sup>2</sup> )
Aversa	1	1105	2.68
	2	113	1.50
Casamarciano	2	194	1.91
Villa di Briano	1	227	1.54

Le Tabelle 5 e 6 mostrano che, analogamente alla variazione di inventario sulla stima della vulnerabilità sismica, la variazione delle perdite economiche sono più marcate per comuni grandi e maggiormente per gli edifici in muratura. Ad esempio il rapporto delle perdite unitarie tra approccio Cartis-comparti e approccio Cartis-edificio è 20% per il comparto C01 di Aversa, e del 10% per il comparto C01 di Villa di Briano. Di contro, le variazioni delle perdite per comparti a prevalenza di edifici in cemento armato è meno significativa. Difatti, il rapporto delle perdite unitarie stimate con approccio Cartis-comparti e approccio Cartis-edificio è circa

unitario sia per il comparto C02 di Aversa che per il comparto C02 di Casamarciano.

## 5 CONCLUSIONI

In questo lavoro si è presentato un confronto dei dati raccolti a livello comunale con la scheda Cartis di I° livello (Cartis-comparti), con i dati raccolti con la scheda Cartis di II° livello (Cartis-edificio) per un numero significativo di edifici all'interno di uno o più comparti in un comune. Il confronto delle statistiche ottenute con la Cartis di I° e II° livello per parametri rilevanti ai fini della caratterizzazione della vulnerabilità sismica consente la stima preliminare dell'effetto delle incertezze di inventario sulla stima della vulnerabilità e del rischio a scala comunale.

Lo studio è stato effettuato con riferimento a 4 comparti appartenenti a 3 comuni Campani, Aversa, Villa di Briano e Casamarciano, considerando 2 comparti per Aversa (uno con tipologia prevalente muratura ed uno cemento armato), uno a Villa di Briano (a prevalente muratura) ed uno a Casamarciano (a prevalente CA). La variazione delle statistiche di fattori di vulnerabilità  $VF$  rilevanti, ottenute a partire dalla Cartis-comparti o dalla Cartis-edificio, comporta la variazione dell'inventario che si può ottenere alla scala del comparto ed in definitiva anche dell'inventario comunale. Dai confronti preliminari sembrerebbe emergere che le differenze più significative in termini delle statistiche di  $VF$  si rilevano per comparti a tipologia prevalente muratura. Di conseguenza, il confronto in termini di inventario per i diversi comparti nei comuni indagati mostra che la distribuzione delle classi di vulnerabilità risultanti dall'inventario Cartis-comparti e dall'inventario Cartis-edificio può cambiare in modo significativo nel caso in cui si considerino comparti a tipologia prevalente in muratura, mentre nel caso del cemento armato le variazioni sono meno evidenti.

Questo risultato si riflette anche sulla stima delle perdite economiche. Per il caso dei comparti nei comuni indagati, si osserva una variazione di perdita economica di circa il 20% per il comparto C01 del comune di Aversa (a prevalente muratura) passando da una stima effettuata a partire dall'inventario costruito in base alla Cartis-comparti ad una calibrata in base alla Cartis-edificio. In questo caso, tuttavia, la percentuale di edifici rilevati con la Cartis-edificio ammonta solo a circa il 10% degli edifici

del comparto. Nel caso di Villa di Briano, sempre riferendosi ad un comparto a tipologia prevalente muratura, lo scarto dovuto al passaggio dalle statistiche calibrate sulla Cartis-comparsi alla Cartis-edificio scende al 10%; questo risultato è legato sia alla maggiore rappresentatività statistica degli edifici rilevati con la Cartis-edificio (la quasi totalità degli edifici del comparto) sia alla probabile maggiore confidenza del tecnico intervistato con la Cartis-comparsi in relazione alle caratteristiche tipologiche di un comune più piccolo.

La variazione di vulnerabilità e rischio riscontrabile nei comparti a tipologia prevalente in cemento armato è trascurabile, almeno per i casi esaminati.

I risultati trovati dipendono evidentemente dal modello di vulnerabilità utilizzato nonché dal campione di comuni/comparti analizzato; variando il modello di vulnerabilità potrebbe riscontrarsi una maggiore sensibilità rispetto ad alcuni VF, e minore rispetto ad altri, sia per edifici in muratura che CA.

## 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

- Borzi, B., Pinho, R., Crowley, H., 2008. Simplified pushover-based vulnerability analysis for large scale assessment of RC buildings. *Engineering Structures*, **30**(3), 804-820.
- Braga, F., Dolce, M., Liberatore, D., 1982. A Statistical Study on Damaged Buildings and an Ensuing Review of the MSK-76 Scale. *Proceedings of the Seventh European Conference on Earthquake Engineering*, Athens, Greece, pp. 431-450.
- Crowley, H., Pinho, R., & Bommer, J. J., 2004. A probabilistic displacement-based vulnerability assessment procedure for earthquake loss estimation. *Bulletin of Earthquake Engineering*, **2**(2), 173-219.
- D'Ayala, D., & Speranza, E., 2003. Definition of collapse mechanisms and seismic vulnerability of historic masonry buildings. *Earthquake Spectra*, **19**(3), 479-509.
- Del Gaudio, C., Ricci, P., Verderame, G. M., & Manfredi, G. 2015. Development and urban-scale application of a simplified method for seismic fragility assessment of RC buildings. *Engineering Structures*, **91**, 40-57.
- Di Ludovico M., Prota A., Moroni C., Manfredi G. and Dolce M., 2017a: Reconstruction process of damaged residential buildings outside historical centres after the L'Aquila earthquake: part I - "light damage" reconstruction. *Bull. Earthquake Eng.*, **15**, 667-692.
- Di Ludovico M., Prota A., Moroni C., Manfredi G. and Dolce M.; 2017b: Reconstruction process of damaged residential buildings outside historical centres after the L'Aquila earthquake: part II - "heavy damage" reconstruction. *Bull. Earthquake Eng.*, **15**, 693-729.
- 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.
- Erberik, M. A., 2008. Generation of fragility curves for Turkish masonry buildings considering in-plane failure modes. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, **37**(3), 387-405.
- Fiengo, G., Guerriero, L., 2002. Il centro storico di Aversa. Analisi del patrimonio edilizio
- 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.
- ISTAT 2001, Edifici ed abitazioni Censimento 2001. Dati definitivi. 2004, rilasciato da ISTAT il 9 Dicembre 2004, download da dawinci.istat.it.
- Lagomarsino, S., Giovinazzi, S., 2006. Macroseismic and mechanical models for the vulnerability and damage assessment of current buildings. *Bulletin of Earthquake Engineering*, **4**, 415-443.
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri (OPCM), 2003. "Primi Elementi in Materia di Criteri Generali per la Classificazione Sismica del Territorio Nazionale e di Normative Tecniche per le Costruzioni in Zona Sismica", OPCM n. 3274/2005, 20 March 2003, Italy.
- Polese, M., Verderame, G. M., Mariniello, C., Iervolino, I., & Manfredi, G., 2008. Vulnerability analysis for gravity load designed RC buildings in Naples-Italy. *Journal of Earthquake Engineering*, **12**(S2), 234-245.
- 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.
- Polese, M., Di Ludovico, M., Prota, A., Tocchi, G., Gaetani d'Aragona, M., 2019b. Utilizzo della scheda Cartis per aggiornamento dell'inventario ed effetto sulle stime di vulnerabilità a scala territoriale, *XVIII Convegno ANIDIS "L'ingegneria sismica in Italia"*, Ascoli Piceno, 15-19 Settembre 2019.
- Polese M., Di Ludovico M., Gaetani d'Aragona M., Prota A., Manfredi G. (2019c) Regional vulnerability and risk assessment accounting for local building typologies, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, (sottomesso)
- Rota, M., Penna, A., & Strobbia, C. L., 2008. Processing Italian damage data to derive typological fragility curves. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **28**(10-11), 933-947.
- Rota, M., Penna, A., & Magenes, G., 2010. A methodology for deriving analytical fragility curves for masonry buildings based on stochastic nonlinear analyses. *Engineering Structures*, **32**(5), 1312-1323.
- Zuccaro G., 2004. Inventory and vulnerability for residential buildings at National territorial level, risk

- maps and socio-economic losses – Napoli, 2004 (in italian); *CD publishing the results of the Task 1 for SAVE, INGV/GNDT Project*, PQ 2000-2002.
- Zuccaro, G., & Cacace, F., 2015. Seismic vulnerability assessment based on typological characteristics. The first level procedure “SAVE”. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **69**, 262-269.
- 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, nel procedimento del GNGTS 2015.