



Caratterizzazione tipologico-strutturale e valutazione della vulnerabilità sismica degli edifici in cemento armato della Provincia di Caserta attraverso i parametri della scheda CARTIS

Valentina Corlito, Gianfranco De Matteis

Dipartimento di Architettura e Disegno Industriale – Università degli Studi della Campania "Luigi Vanvitelli", Aversa (CE)

Keywords: Scheda CARTIS; patrimonio edilizio esistente; edifici in c.a.; vulnerabilità sismica; scala territoriale

ABSTRACT

La valutazione del rischio sismico del patrimonio edilizio esistente rappresenta una questione di fondamentale importanza in Italia. Tale problema è rilevante non solo per gli edifici storici ma anche per gli edifici in cemento armato, molto spesso datati e caratterizzati da carenze strutturali connesse all'assenza di precisi criteri di progettazione antisismica. Attraverso una lettura critica dei dati raccolti mediante la compilazione della scheda CARTIS (sviluppata nell'ambito del progetto ReLUIS), la presente memoria si propone di indagare il patrimonio edilizio della Provincia di Caserta, individuando i principali caratteri tipologico-strutturali delle costruzioni in cemento armato (CAR) rilevate nel territorio. La memoria propone inoltre una metodologia semplificata finalizzata alla valutazione della vulnerabilità sismica delle tipologie CAR individuate. Tale metodologia è stata sviluppata dal gruppo di ricerca per lo studio delle scuole in cemento armato della Provincia di Caserta ed è stata riadattata all'edilizia ordinaria sulla base dei dati forniti dalla scheda CARTIS. La valutazione della vulnerabilità è stata quindi condotta attraverso una procedura *multi-step*, considerando parametri strutturali ritenuti significativi ed associando ad ogni tipologia individuata una specifica classe di vulnerabilità.

1 INTRODUZIONE

La valutazione della vulnerabilità sismica degli edifici esistenti in cemento armato rappresenta un argomento di grande interesse ed attualità in Italia.

L'elevata densità di edifici collocati nelle zone a rischio, spesso ormai fortemente datati e perciò progettati in assenza di specifiche normative antisismiche, o comunque con riferimento ad un quadro normativo vetusto, sottolinea l'importanza di definire procedure efficaci, finalizzate alla valutazione del livello di sicurezza delle strutture esistenti.

I dati emersi dal 15° censimento ISTAT (2011) evidenziano come, nel Sud Italia, circa l'11 % delle costruzioni in c.a. esistenti riversi in mediocri o pessime condizioni di conservazione e come il 90% delle stesse, seppur in buone condizioni, risulti costruito prima del 2006 (con riferimento quindi a vecchi codici normativi).

Gli ultimi eventi sismici registrati in Italia hanno di fatto messo in luce l'inadeguato

comportamento degli edifici in c.a. esistenti, troppo spesso caratterizzati da una scarsa resistenza alle azioni di natura sismica e di frequente soggetti a danneggiamenti diffusi e significativi (e.g. Verderame et al., 2009; Menna et al., 2016 - Figura 1)

La vulnerabilità degli edifici in c.a. può essere connessa a diversi fattori, tra cui:

1. la mancanza di prescrizioni adeguate e la conseguente disapplicazione di concetti solo oggi consolidati, basati sulla gerarchia delle resistenze e sul *capacity design*. Tale deficit implica molto spesso la presenza di dettagli costruttivi non idonei e la riduzione delle risorse strutturali in termini di resistenza e capacità di dissipazione in campo plastico; per cui, anche sotto fenomeni di intensità moderata, può prodursi un livello di danneggiamento strutturale non tollerabile, con crolli parziali o globali;



Figura 1. Tipici meccanismi di danno degli edifici in c.a. osservati a: (a) Pettino (AQ), sisma aquilano del 6 Aprile 2009 (Verderame et al., 2009), (b) Amatrice, evento sismico del Centro Italia del 24 Agosto 2016 (Menna et al., 2016).

2. l'utilizzo di materiali con caratteristiche meccaniche non sempre soddisfacenti e di dettagli costruttivi particolarmente inadeguati, principalmente a causa della mancanza di controlli adeguati in fase di esecuzione;
3. il degrado strutturale occorso nel tempo, a causa della mancanza di adeguata manutenzione;
4. la presenza di configurazioni strutturali improprie e di forti irregolarità, sia in pianta che in elevazione, con conseguente concentrazione del danno in specifiche zone (ad es. presenza di piani pilotis con conseguente attivazione di meccanismi di collasso parziali).

Le capacità strutturale degli edifici in c.a. risultano in particolare influenzate dall'epoca di costruzione e dalle disposizioni progettuali fornite dal panorama normativo vigente (Calderoni et al, 2017).

Risale al 1939 l'emanazione di una tra le prime significative norme italiane per le strutture in c.a. (R.D. 2229, 1939), applicata soprattutto

dopo la fine del conflitto e fino agli inizi degli anni Settanta. La successiva Legge n.1086 emanata nel 1971, ha provveduto ad un'importante riorganizzazione delle costruzioni in c.a. e in acciaio dal punto di vista tecnico-amministrativo, imponendo l'obbligo di deposito presso gli Uffici del Genio Civile. Tale disposizione normativa risulta senz'altro significativa ai fini della valutazione della vulnerabilità di una struttura, poiché rende documentabile il percorso progettuale e più semplice il reperimento di informazioni dettagliate sulla costruzione.

La Legge n. 64 del 1974 ha integralmente sostituito le disposizioni normative precedenti, introducendo un nuovo quadro di riferimento per la classificazione sismica del territorio nazionale e per la redazione di specifiche norme tecniche, prevedendo in particolare la possibilità di aggiornare le norme sismiche e la classificazione del territorio attraverso appositi decreti ministeriali. Con il D.M. 3/03/1975 sono in particolare emanate le prime disposizioni relative alle norme tecniche, successivamente integrate da una serie di decreti, tra cui il D.M.LL.PP. 12/02/1982, il D.M.LL.PP. 16/01/1996, il D.M. Infrastrutture e Trasp. 14/09/2005 e il D.M. 14/01/2008.

Gli studi di carattere sismologico effettuati a partire dagli eventi sismici del Friuli (1976) e dell'Irpinia (1980) comportano, inoltre, un notevole aumento delle conoscenze sulla sismicità del territorio nazionale, tradotto in una serie di decreti ministeriali che costituiscono il riferimento per la classificazione sismica del territorio fino all'emanazione dell'OPCM 3274, 2003. In particolare, con l'emanazione dell'ordinanza del 2003, a differenza di quanto previsto dalla normativa precedente, tutto il territorio italiano è classificato come sismico e suddiviso in 4 zone caratterizzate da livelli differenziati di pericolosità.

La capacità sismica delle strutture in cemento armato risulta quindi fortemente condizionata dai criteri progettuali adottati in relazione al quadro normativo vigente. Differenze rilevanti nella progettazione si possono ritrovare ad esempio a partire dagli anni Settanta, relativamente alle caratteristiche dei materiali impiegati (ad es. utilizzo di barre ad aderenza migliorata, migliori proprietà meccaniche del calcestruzzo) e alla presenza di disposizioni antisismiche di carattere generale.

Nell'ambito dello sviluppo di strategie di adeguamento agli standard antisismici definiti dalle attuali normative, la valutazione delle caratteristiche tipologico-strutturali degli edifici

esistenti (e della conseguente vulnerabilità degli stessi) rappresenta un punto cruciale anche alla luce delle indicazioni portate dai documenti normativi vigenti in campo nazionale ed europeo (NTC, 2018; Eurocodice 8).

In letteratura esistono metodi specifici finalizzati alla valutazione della vulnerabilità sismica delle strutture esistenti e alla valutazione della loro propensione al danneggiamento a seguito di un evento con assegnate probabilità di occorrenza. Molto diffuso in letteratura è il ricorso a metodi semplificati (ritenuti sufficientemente affidabili) di tipo tipologico-osservazionale o meccanico.

I modelli tipologici-osservazionali, facilmente applicabili a scala territoriale, prevedono l'utilizzo di un approccio statistico di tipo empirico, basato sull'osservazione dei danni indotti da eventi sismici occorsi su una determinata popolazione di edifici e sulla valutazione qualitativa di una serie di fattori tipologici e strutturali significativi (Giovinazzi e Lagomarsino, 2004; Podestà e Romano, 2013; Zuccaro e Cacace, 2015).

I metodi meccanici consentono invece di utilizzare analisi di vulnerabilità più sofisticate (capacità e input sismici espressi in termini spettrali) e di tener conto esplicitamente di alcuni parametri che definiscono la risposta strutturale.

Un'ampia categoria di studi sulle strutture in c.a. si riferisce in particolare all'adozione di approcci più o meno complessi, finalizzati alla valutazione diretta della capacità sismica di uno specifico edificio o gruppi di edifici (Calderoli et al., 2008; Gattesco et al., 2012; Sandoli, 2016). I metodi più complessi, sebbene necessariamente più affidabili, risultano tuttavia più dispendiosi in termini operativi e richiedono una conoscenza più specifica delle costruzioni.

La scheda di I livello CARTIS, sviluppata nell'ambito del Progetto ReLUI, in collaborazione con il DPC, è stata concepita proprio in tale contesto, al fine di indagare il panorama costruttivo nazionale, caratterizzando l'edilizia ordinaria e individuando le peculiarità tipologiche e strutturali di determinati contesti storici e territoriali (Zuccaro et al., 2015).

La presente memoria si propone in particolare di indagare il patrimonio edilizio in cemento armato di alcuni comuni della Provincia di Caserta, operando una lettura critica dei dati raccolti mediante la compilazione della scheda CARTIS.

La memoria presenta inoltre una metodologia semplificata (di tipo tipologico-osservazionale)

finalizzata alla valutazione della vulnerabilità sismica delle tipologie in cemento armato individuate, condotta per mezzo di una procedura sviluppata dal gruppo di ricerca per lo studio delle scuole in cemento armato della Provincia di Caserta (De Matteis et al., 2018) e riadattata all'edilizia ordinaria sulla base dei dati forniti dalla scheda CARTIS.

2 EDIFICI IN C.A. DEI COMUNI DELLA PROVINCIA DI CASERTA

2.1 Inquadramento territoriale

Lo studio proposto nella presente memoria è applicato ad 8 comuni della Provincia di Caserta, selezionati tra quelli analizzati dal gruppo di ricerca nell'ambito del progetto ReLUI 2014-2018.

I comuni selezionati sono riportati in Tabella 1. Nella stessa tabella sono indicati la data di prima classificazione sismica dei comuni in esame, la zonazione relativa alla vecchia classificazione e l'aggiornamento apportato con l'O.P.C.M. n. 3274/2003.

La distribuzione territoriale dei comuni indagati e la zonazione sismica del territorio della Provincia di Caserta sono riportati in Figura 2.

Tabella 1. Comuni analizzati nel territorio delle Provincia di Caserta. Vecchia e nuova classificazione sismica (O.P.C.M. n. 3274/2003).

| Comuni | Data di prima classificaz. sismica | Vecchia classificaz. sismica | Nuova classificaz. sismica |
|---------------------|------------------------------------|------------------------------|----------------------------|
| Caiazzo | 07/03/1981 | 2 | 2 |
| Castel Campagnano | 07/03/1981 | 2 | 2 |
| Castello del Matese | 07/03/1981 | 2 | 1 |
| Gioia Sannitica | 07/03/1981 | 2 | 1 |
| Liberi | 07/03/1981 | 2 | 2 |
| Piedimonte Matese | 07/03/1981 | 2 | 1 |
| Pontelatone | 07/03/1981 | 2 | 2 |
| Ruviano | 07/03/1981 | 2 | 2 |

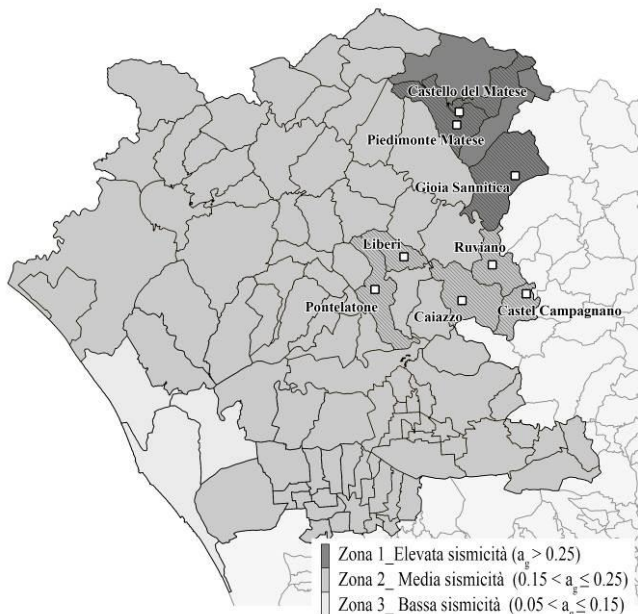


Figura 2. Inquadramento territoriale e classificazione sismica attuale dei comuni della Provincia di Caserta (O.P.C.M. n. 3274/2003).

2.2 Caratterizzazione tipologica degli edifici CAR operata attraverso la scheda CARTIS

In linea con la procedura CARTIS proposta nel Progetto ReLUIIS, per ciascuno dei comuni precedentemente elencati, sono state riconosciute delle zone comunali omogenee (definite Comparti), caratterizzate da specifiche peculiarità storiche, urbanistiche e costruttive. Per ogni comparto individuato, sono state in seguito identificate le tipologie in muratura (MUR) o in cemento armato (CAR) prevalenti. In Tabella 2 sono indicate in particolare le percentuali di edifici CAR identificate nei comparti indagati. Come è possibile notare, un'ampia percentuale di edifici CAR (variabile tra l'80 e il 100%) è stata individuata nelle zone di espansione dei comuni in esame.

In accordo con la procedura CARTIS, la caratterizzazione delle tipologie CAR è stata quindi condotta sulla base di particolari fattori, ritenuti significativi. In Tabella 3 sono elencate le principali caratteristiche tipologico-strutturali individuate nelle tipologie CAR analizzate. Come è possibile notare:

1. gli edifici CAR oggetto di analisi sono caratterizzati da un ridotto numero di piani (3 - compreso piano interrato - nell'83% dei casi);
2. la struttura è prevalentemente a telaio con elementi di tamponatura consistenti (per il 46% degli edifici);
3. la copertura è quasi sempre composta da

Tabella 2. Percentuale di edifici CAR individuati nei comparti dei comuni indagati.

| Comune | Comparti | [%] CAR |
|---------------------|--|------------|
| Caiazzo | - Zona di espansione | - 80% CAR |
| | - Zona agricola | - 60% CAR |
| | - Zona di espansione San Giov. e Paolo | - 80% CAR |
| | - Ceserano | - 80% CAR |
| Castel Campagnano | - Zona B | - 10% CAR |
| | - Zona C | - 90% CAR |
| | - Zona B Squille | - 10% CAR |
| | - Zona C Squille | - 100% CAR |
| Castello del Matese | - Centro storico | - 5% CAR |
| | - Periferia | - 95% CAR |
| Gioia Sannitica | - Centro storico | - 30% CAR |
| | - Frazioni | - 40% CAR |
| Liberi | - Liberi | - 20% CAR |
| | - Cese | - 20% CAR |
| | - Villa | - 20% CAR |
| | - Merangeli | - 20% CAR |
| | - Profeti | - 20% CAR |
| | - Profeti | - 20% CAR |
| Piedimonte Matese | - Zona di espansione | - 80% CAR |
| | - Zona agricola | - 50% CAR |
| Pontelatone | - Zona di espansione | - 100% CAR |
| Ruviano | - Zona di espansione | - 100% CAR |
| | - Zona rurale | - 50% CAR |

Tabella 3. Caratterizzazione delle tipologie CAR individuate nei comuni indagati.

| Fattore | Caratteristiche | [%] |
|------------------------|---|--------------|
| Numero di piani | - 2 piani | - 8% |
| | - 3 piani | - 83% |
| | - 4 piani | - 2% |
| | - 5 piani | - 8% |
| Età della costruz. | - 1946-1961 | - 4% |
| | - 1972-1975 | - 27% |
| | - 1976-1981 | - 4% |
| | - 1982-1986 | - 23% |
| | - 1987-1991 | - 4% |
| | - 1997-2001 | - 10% |
| | - 2002-2008 | - 2% |
| - >=2011 | - 27% | |
| Qualifica strutt. c.a. | - Setti | - 12% |
| | - Telai, tamp. consist. | - 46% |
| | - Telai, travi a spessore, nuclei/setti in c.a. int. | - 12% |
| | - Telai, travi alte, tamp. poco consistenti | - 12% |
| | - Telai, travi alte sul perimetro, tamp. poco consistenti o assenti | - 8% |
| | - Telai con travi alte e nuclei/setti in c.a. | - 12% |
| Forma copertura | - Falde inclinate | - 92% |
| | - Singola falda | - 2% |
| | - Terrazzo non praticabile | - 6% |
| Materiale copertura | - Cemento armato | - 92% |
| | - Acciaio | - 8% |
| Interventi strutturali | - Interventi locali | - 60% |
| | - Assenza di interventi | - 40% |

falde inclinate in c.a. (92% dei casi);

- gli interventi strutturali, individuati nel 60% dei casi, sono esclusivamente di tipo locale.

Le tipologie tipiche individuate nei comuni casertani indagati sono mostrate in Figura 3.



Figura 3. Tipologie di edifici CAR individuate nei comuni di Caiazzo (a), Castel Campagnano (b), Castello del Matese (c), Gioia Sannitica (d), Liberi (e), Piedimonte Matese (f), Pontelatone (g) e Ruviano (h).

3 VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ SISMICA

3.1 Aspetti generali

La valutazione della vulnerabilità sismica delle tipologie CAR individuate nei comuni casertani in esame è stata condotta sulla base della procedura sviluppata dal gruppo di ricerca per lo studio delle scuole in cemento armato della Provincia di Caserta (De Matteis et al., 2018), con riferimento ad una metodologia esistente in letteratura (Di Pasquale et al, 2000), che prevede lo sviluppo di tre differenti *step* applicativi.

3.2 Step 1: matrice di classificazione

La metodologia prevede l'utilizzo di una matrice di classificazione nella quale intervengono esclusivamente due fattori:

- la classificazione del sistema resistente;
- la classificazione sismica del comune di riferimento nell'anno di costruzione

dell'edificio (possibile presenza di accorgimenti antisismici).

Attraverso tale matrice, che rappresenta lo *Step 1* nella procedura di valutazione proposta, è possibile attribuire ad un edificio in cemento armato una tra 5 differenti classi di vulnerabilità: *Low* [L], *Medium-Low* [ML], *Medium* [M], *Medium-High* [MH], *High* [H].

Il criterio di classificazione utilizzato per le tipologie di edifici CAR individuate nella provincia di Caserta, con riferimento ai dati raccolti mediante la compilazione della scheda CARTIS, è illustrato in Tabella 4.

In linea con la matrice proposta, le tipologie CAR contraddistinte da maggiore vulnerabilità sismica sono quelle caratterizzate da telai monodirezionali, progettati esclusivamente per azioni verticali, poiché relativi ad edifici realizzati senza alcun riferimento a normative antisismiche (edificazione antecedente all'anno di prima classificazione sismica del comune di riferimento). Le frequenze delle classi di vulnerabilità CAR descritte in Tabella 4 negli 8 comuni della Provincia di Caserta sono riportate in Figura 4.

Tabella 4. Definizione preliminare delle classi di vulnerabilità sismica degli edifici CAR.

| Sistema resistente | Class. sismica anno di edificazione |
|---|--|
| [L] Telai bidirezionali con tamponature consistenti | Zona 2: progettazione per azioni sismiche medie |
| [ML] Telai bidirezionali con tamponature leggere | Zona 2: progettazione per azioni sismiche medie |
| [M] Telai bidirezionali con tamponature consistenti | NC: Progettazione per azioni verticali |
| [MH] Telai monodirezionali | Zona 2: Progettazione per azioni sismiche medie |
| [H] Telai monodirezionali | NC: Progettazione per azioni verticali |

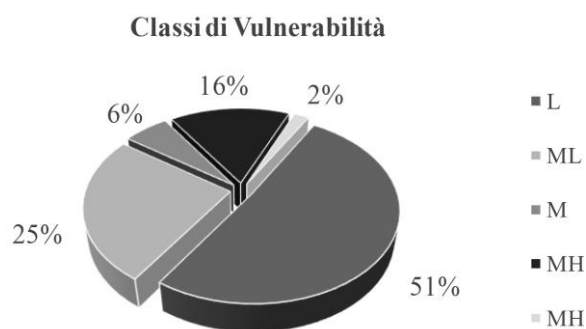


Figura 4. Frequenza delle classi preliminari di vulnerabilità sismica degli edifici CAR negli 8 comuni della Provincia di Caserta.

3.3 Step 2: parametri di vulnerabilità

La classificazione preliminare operata secondo i criteri semplicistici proposti in Tabella 4 subisce un successivo affinamento (conferma della classe, incremento o riduzione) nello Step 2, in relazione a 11 parametri ritenuti significativi, definiti sulla base delle informazioni ottenute attraverso la compilazione della scheda CARTIS.

I parametri considerati, illustrati sinteticamente in Tabella 5, sono:

1. variazione della classificazione sismica [P1], con riferimento all' O.P.C.M. n° 3274/2003, ritenendo che nel caso di edificazione prima di eventuali modifiche della classificazione sismica del comune, la vulnerabilità dello stesso risulti maggiore;
2. numero di piani [P2]: gli edifici più alti sono considerati più vulnerabili poiché soggetti a maggiore amplificazione sismica ai piani superiori;
3. tipologia di copertura [P3], con riferimento alla forma della copertura (singola falda, falde inclinate, terrazzo) e all'eventuale presenza di spinte statiche (i.e. copertura spingente o non spingente);
4. materiale copertura [P4], considerando quattro possibili soluzioni: legno, acciaio, cemento armato, muratura;
5. tipologia delle fondazioni [P5] (plinti, plinti con travi di collegamento, travi rovesce, platee);
6. configurazione planimetrica [P6] (regolare, mediamente regolare, irregolare), considerando la condizione di irregolarità come generativa di distribuzioni non uniformi delle sollecitazioni;
7. configurazione in elevazione [P7] (regolare, mediamente regolare, irregolare), considerando la condizione di irregolarità come generativa di variazioni significative di resistenza e/o rigidezza fra due piani successivi;
8. tipologia delle scale [P8], considerando la presenza di elementi rigidi o di condizioni di eccentricità;
9. stato di conservazione delle strutture verticali [P9];
10. stato di conservazione delle strutture orizzontali [P10];
11. stato di conservazione degli elementi non strutturali [P11].

A ciascuno di questi parametri è stato associato un peso ρ_P (Tabella 5), considerando l'influenza degli stessi nella definizione della vulnerabilità sismica delle strutture considerate, ed un coefficiente numerico k_C (variabile tra 1 e 3) connesso alla relativa classe di vulnerabilità (variabile tra I e III).

In particolare, per ogni parametro considerato:

1. la Classe I rappresenta la maggiore condizione di vulnerabilità; a questa è attribuito un coefficiente $k_C=3$;
2. la Classe II rappresenta una condizione intermedia, per la quale $k_C=2$;
3. la Classe III costituisce la condizione di minore vulnerabilità, per la quale $k_C=1$.

Il criterio di attribuzione delle classi per ciascun parametro è nello specifico illustrato in Tabella 6.

In Figura 5 è riportata la frequenza delle classi di vulnerabilità [I-III] per ciascun parametro [P_{*i*}], e per ciascuna delle 5 classi definite preliminarmente nello Step 1.

A ciascuna tipologia di edifici CAR è stato successivamente attribuito un punteggio di vulnerabilità V_P definito come sommatoria dei prodotti tra i pesi $\rho_{P,i}$ (con *i* compreso tra 1 e 11) dei parametri considerati e i coefficienti numerici $k_{C,i}$ della relativa classe di vulnerabilità (Eq. 1).

$$V_P = \sum_{i=1}^{11} \rho_{P,i} \cdot k_{C,i} \quad (1)$$

Tale punteggio è stato normalizzato in modo da ottenere una variazione del parametro compresa tra 0 e 1 ($0 \leq V_{P,n} \leq 1$), definendo quindi specifici intervalli numerici, indicativi della possibile variazione delle classi di vulnerabilità definite nello Step 1. Nello specifico:

1. se $0 \leq V_{P,n} < 0.25$, si considera una riduzione della classe precedentemente definita in via preliminare (vulnerabilità *minore*);
2. se $0.25 \leq V_{P,n} < 0.5$, non si considera alcuna variazione della classe precedentemente definita in via preliminare (vulnerabilità *stabile*);
3. se $0.5 \leq V_{P,n} \leq 1$, si valuta un incremento della classe precedentemente definita in via preliminare (vulnerabilità *maggiore*).

3.4 Step 3: valutazione degli interventi

La classe di vulnerabilità ottenuta nelle fasi precedenti può essere ulteriormente modificata solo in presenza di interventi strutturali (interventi locali, di miglioramento o di adeguamento sismico).

Tabella 5. Parametri di vulnerabilità considerati in Step 2.

| Param. | Descrizione | Peso [ρ_P] |
|--------|------------------------------|-------------------|
| [P1] | Variazione class. sismica | 3 |
| [P2] | Numero di piani | 0.5 |
| [P3] | Tipologia copertura | 0.3 |
| [P4] | Materiale copertura | 0.3 |
| [P5] | Fondazioni | 2 |
| [P6] | Configurazione planimetrica | 2 |
| [P7] | Configurazione in elevazione | 2 |
| [P8] | Scale | 1 |
| [P9] | SdC strutture verticali | 0.9 |
| [P10] | SdC strutture orizzontali | 0.9 |
| [P11] | SdC elementi non strutturali | 0.9 |

Tabella 6. Caratteristiche delle Classi [I-II-III] per ciascun parametro [P_i]

| Param. | Classe I | Classe II | Classe III |
|--------|-------------------------------------|-------------------------------|------------------------|
| [P1] | Variac. >2 | Variac. =2 | Variac. =1 |
| [P2] | $n \geq 5$ | $3 \leq n \leq 4$ | $1 \leq n \leq 2$ |
| [P3] | Copert. spingente | Falde non spingenti | Terrazzo non spingente |
| [P4] | Cemento armato | – | Legno; acciaio |
| [P5] | Plinti | Plinti con travi di collegam. | Travi rovesce; platee |
| [P6] | Irregolare | Mediamente regolare | Regolare |
| [P7] | Irregolare | Mediamente regolare | Regolare |
| [P8] | Travi a ginocchio; gradini a sbalzo | Soletta rampante | – |
| [P9] | Scadente | Medio | Buono |
| [P10] | Scadente | Medio | Buono |
| [P11] | Scadente | Medio | Buono |

Nello specifico, si sono considerate le seguenti condizioni:

- in caso di intervento di riparazione locale, la tipologia CAR in esame subisce un cambio di classe dell'ordine -1 (es. da H a MH, da MH a M, ecc.);

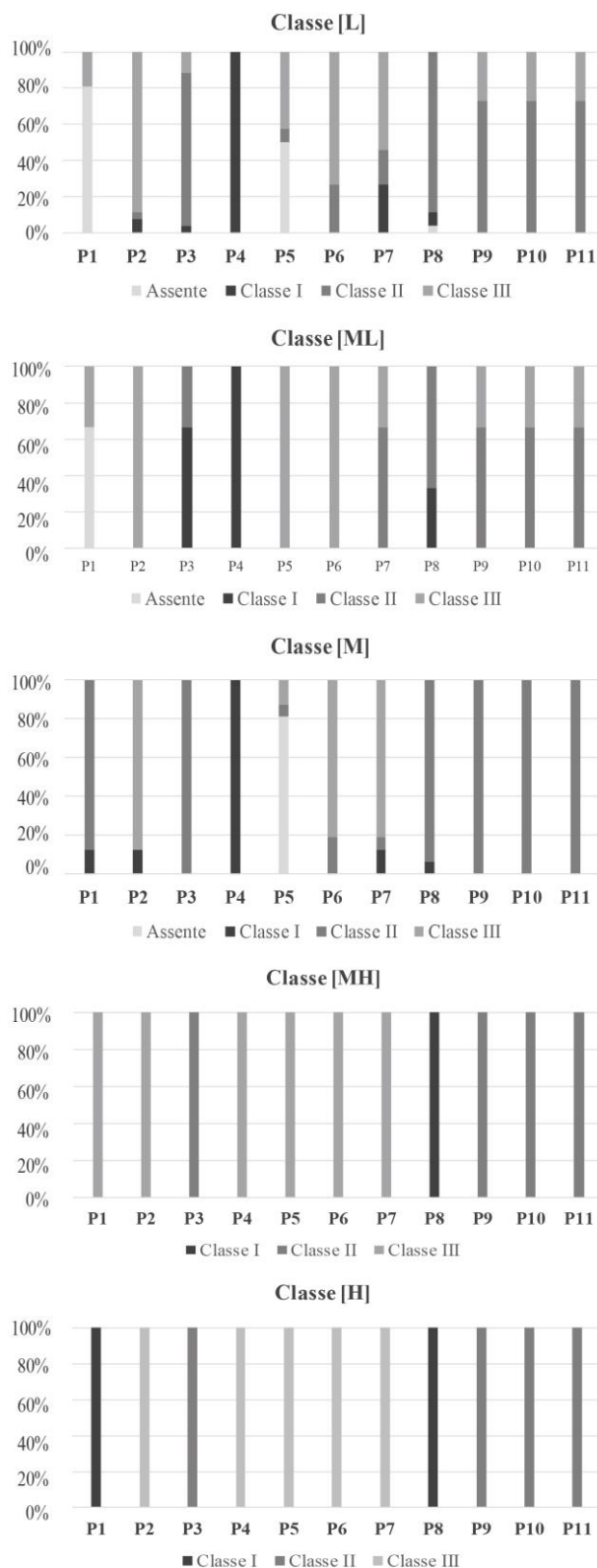


Figura 5. Frequenza delle Classi [I-II-III] per ciascun parametro [P_i] nelle classi di vulnerabilità individuate in Step 1.

- in caso di interventi di miglioramento sismico o di interventi di adeguamento sismico antecedenti al 2009, la tipologia subisce un cambio di classe dell'ordine -2 (es. da H a M, da MH a ML, ecc.);
- in caso di interventi di adeguamento sismico successivi al 2009, si considera

per la tipologia un cambio di classe dell'ordine -3 (es. da H a ML, da MH a L ecc), considerando quindi la classe [ML] come classe massima di vulnerabilità per la tipologia in esame.

La frequenza degli interventi strutturali nelle classi di vulnerabilità definite nello *Step 1* sono riportate in Tabella 7.

In particolare, nelle tipologie CAR individuate nei comuni oggetto di analisi è stata riscontrata una presenza esclusiva di interventi locali, individuati nello specifico nelle classi [L] e [M]. Nessun tipo di intervento è stato quindi rilevato nelle altre classi considerate.

Tabella 7. Frequenza degli interventi strutturali nelle classi di vulnerabilità [L] e [M] individuate in *Step 1*.

| Classe di vuln. | Interventi locali [%] | Miglioramento sismico [%] | Adeguamento sismico [%] |
|-----------------|-----------------------|---------------------------|-------------------------|
| [L] | 31% | 0% | 0% |
| [M] | 19% | 0% | 0% |

3.5 Classi di vulnerabilità finali

I risultati della procedura descritta e l'affinamento delle classi di vulnerabilità operato per mezzo degli *Step 2* e *3* sono riportati in Tabella 8.

A ciascuna classe di vulnerabilità determinata in via definitiva, può essere quindi attribuito in via convenzionale un differente indice di vulnerabilità i_v variabile tra 0 e 1 ($0 < i_v < 1$), ad esempio come riportato in Tabella 9.

La frequenza definitiva delle classi di vulnerabilità definite nello *Step 1* e successivamente affinate negli *Step 2* e *3* è riportata in Figura 6.

Tabella 8. Definizione delle classi definitive di vulnerabilità sismica degli edifici CAR.

| Classe prelim. Step 1 | Parametri di vulnerabilità Step 2 [%] | Interventi strutturali Step 3 [%] | Classi definitive [%] |
|-----------------------|--|-----------------------------------|-----------------------|
| [L] | 24% $V_{p,n} > 0.5$ 76% $0.25 \leq V_{p,n} < 0.5$ | 72% Int. locali 28% No int. | 24% [ML] 76% [L] |
| [ML] | 100% $V_{p,n} = 0$ | 100% No int. | 100% [ML] |
| [M] | 100% $V_{p,n} > 0.5$ | 81% Int. locali 19% No int. | 81% [M] 19% [MH] |
| [MH] | 100% $V_{p,n} = 0$ | 100% No int. | 100% [MH] |
| [H] | 100% $V_{p,n} > 0.5$ | 100% No int. | 100% [H] |

Tabella 9. Indici di vulnerabilità sismica per le classi degli edifici CAR.

| Classe di vulnerabilità | Indice convenzionale di vulnerabilità i_v |
|-------------------------|---|
| [L] | 0.0÷0.2 |
| [ML] | 0.2÷0.4 |
| [M] | 0.4÷0.6 |
| [MH] | 0.6÷0.8 |
| [H] | 0.8÷1.0 |

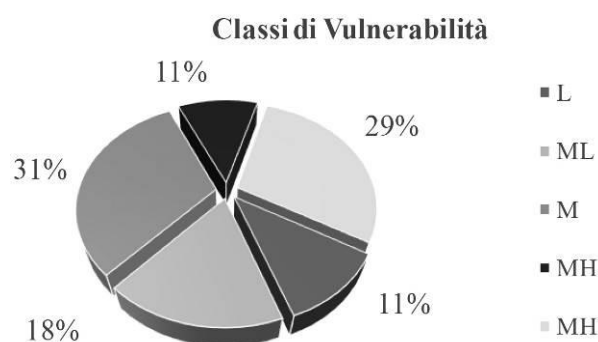


Figura 6. Frequenza delle classi definitive di vulnerabilità sismica per tipologie CAR nei comuni indagati.

4 CONCLUSIONI

Nella presente memoria è stata illustrata una metodologia semplificata finalizzata alla valutazione della vulnerabilità sismica delle tipologie edilizie esistenti in c.a., rilevate in 8 comuni della Provincia di Caserta, basata sull'utilizzo dei dati forniti dalla scheda CARTIS, sviluppata nell'ambito del progetto ReLUIS.

Lo studio condotto consente di delineare le seguenti principali conclusioni:

1. l'utilizzo della scheda CARTIS, quale strumento finalizzato alla caratterizzazione tipologico-strutturale dell'edificato ordinario, consente di collezionare un'ampia gamma di dati relativi al patrimonio edilizio esistente in c.a., rilevato nel territorio dei comuni indagati;
2. tali dati possono essere utilizzati per la definizione e l'applicazione di metodi di analisi finalizzati alla valutazione della vulnerabilità sismica delle tipologie costruttive individuate;
3. le informazioni raccolte nel database CARTIS e i dati ottenuti attraverso le analisi di vulnerabilità delle tipologie individuate possono essere utilmente impiegati per lo sviluppo di analisi di

rischio dei territori indagati e per la definizione di potenziali scenari di danno attesi nelle aree oggetto di indagine.

RINGRAZIAMENTI

Il presente studio è stato sviluppato nell'ambito del Progetto Esecutivo Convenzione DPC/ReLUIIS 2019-2021, WP2 - Inventario delle tipologie strutturali ed edilizie esistenti (CARTIS).

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Calderoni B., Cordasco E.A., Lenza P., 2008. Vulnerabilità sismica degli edifici esistenti in c.a. valutati con metodi non-lineari avanzati. *Convegno Nazionale RELUIS. Valutazione e riduzione della vulnerabilità sismica di edifici esistenti in cemento armato*, Roma, 29-30 maggio.
- Calderoni, B., Sandoli, A., Cordasco, E.A., 2017. Valutazione speditiva della vulnerabilità sismica dei centri urbani italiani: classificazione tipologica strutturale degli edifici esistenti in muratura e in c.a. *Structural Magazine*. 10.12917/Stru210.09.
- De Matteis, G., Bencivenga, P., Guarino, F., Nola, C., 2018. A simplified analysis for seismic risk assessment of reinforced concrete school buildings in *WORLD HERITAGE and KNOWLEDGE, Representation, Restoration, Redesign and Resilience, Le Vie dei Mercanti, XVI International Forum*, Napoli, Capri, June 14 - 16, Collana *Architecture, Heritage and Design/2*, Gangemi Editore. ISBN 978-88-492-3633-0.
- Di Pasquale, G., Dolce, M., Martinelli, A., 2000. Censimento di vulnerabilità a campione dell'edilizia corrente dei centri abitati nelle Regioni Abruzzo, Basilicata, Calabria, Campania, Molise, Puglia e Sicilia. Roma.
- D.M. 3/03/1975. Approvazione delle norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche. Supplemento ordinario G.U. 8/04/ 1975, n. 93.
- D.M.LL.PP. 12/02/1982. Adeguamento delle norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi. G.U. 26/02/1982, n. 56.
- D.M.LL.PP. 16/01/1996. Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche. G.U. 5/02/ 1996, n. 29.
- D.M. Infrastrutture e Trasp. 14/09/2005. Norme tecniche per le costruzioni. G.U. Suppl. Ord. 23/09/2005, n. 159.
- Eurocodice 8, Design of structures for earthquake resistance – Part 3: Assessment and retrofitting of buildings, 2005.
- Gattesco, N., Franceschinis, R., Zornini, F., 2012. Stima della vulnerabilità sismica delle strutture in c.a. mediante procedura semplificata, *XV Convegno Anidis*, Padova.
- Giovinazzi, S., Lagomarsino, S., 2004. A macroseismic method for the vulnerability assessment of buildings. *13th World Conference on Earthquake Engineering*. 1-6 August 2004, Vancouver, B.C., Canada.
- ISTAT, 2011. 15° Censimento della popolazione e degli edifici.
- LEGGE 5/11/1971, n. 1086 Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica. GU Serie Generale n.321 del 21-12-1971.
- Legge 2/02/1974, n. 64. Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche. GU Serie Generale n.76 del 21/03/1974.
- Menna, C., Frascadore, R., Moroni, C., Lignola, G.P., De Martino, G., Salzano, A., Di Ludovico, M., Prota, A., Manfredi, G., Cosenza, E., 2016. Rapporto fotografico relativo ai danni subiti da alcuni edifici a seguito del sisma del Centro Italia del 2016. <http://www.reluis.it>.
- NTC 2008. Norme tecniche per le costruzioni 2008. D.M. 14 gennaio 2008. Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni. G.U. n° 29 del 04/02/2008 - Suppl. Ordinario n. 30.
- NTC 2018. D.M. 17 gennaio 2018, Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni", 2018. GU Serie Generale n.42 del 20-02-2018 - Suppl. Ordinario n. 8.
- Podestà, S., Romano, C., 2013. Un modello di vulnerabilità per gli edifici storici in conglomerato cementizio armato. *XV Convegno Nazionale ANIDIS, L'ingegneria Sismica in Italia*, Padova, 30 Giugno-4 Luglio 2013.
- O.P.C.M. 20 marzo 2003, n. 3274. Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.
- Regio Decreto 16/11/1939 n. 2229. Norme per la esecuzione delle opere in conglomerato cementizio semplice od armato.
- Sandoli, A., 2016. Valutazione della vulnerabilità sismica degli edifici in c.a. progettati per soli carichi verticali mediante una procedura semplificata. *Progettazione Sismica n. 3* 2015.
- Verderame, G.M., Iervolino, I., Ricci, P., 2009. Report on the damages on buildings following the seismic event of 6th of April 2009, VI. 20. <http://www.reluis.it>.
- Zuccaro, G., Cacace, F., 2015. Seismic vulnerability assessment based on typological characteristics. The first level procedure SAVE, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*.
- 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. *34° Convegno Nazionale NGTGS*, Trieste.