



## Edifici in aggregato dei centri storici: analisi del danno e considerazioni sui costi di ricostruzione nei comuni del Cratere colpiti dal sisma di L'Aquila 2009

Raffaello Fico<sup>a</sup>, Giuseppina De Martino<sup>b</sup>, Adriana Marra<sup>c</sup>, Dario Pecci<sup>a</sup>, Antonio Sabino<sup>c</sup>, Marco Di Ludovico<sup>b</sup>, Antonio Mannella<sup>c</sup>, Elena Speranza<sup>d</sup>, Andrea Prota<sup>b</sup>, Mauro Dolce<sup>d</sup>

<sup>a</sup>Ufficio Speciale per la Ricostruzione dei Comuni del Cratere, USRC, Piazza Gemoni 1, 67020 Fossa, Italia

<sup>b</sup>Università degli Studi di Napoli "Federico II", Via Claudio 21, 80125, Napoli, Italia

<sup>c</sup>Istituto per le Tecnologie della Costruzione – Consiglio Nazionale delle Ricerche, ITC-CNR L'Aquila, Via Giosuè Carducci 32, 67100, L'Aquila, Italia

<sup>d</sup>Dipartimento della Protezione Civile, DPC, Via Ulpiano 11, 00193, Roma, Italia

*Parole chiave: procedure di ricostruzione post-terremoto; centri storici; edifici in aggregato; costi di ricostruzione; vulnerabilità; danni empirici*

### SOMMARIO

La diffusione e la gravità del danno riscontrato nei centri storici dei comuni del "cratere" danneggiati dall'evento sismico del 2009, sono stati tali da richiedere l'adozione di specifici strumenti di gestione della loro ricostruzione tali da consentire interventi di ampia portata, di respiro urbanistico oltre che edilizio.

Lo scopo del presente lavoro è quello di analizzare la ricostruzione degli edifici in aggregato dei centri storici minori, sia in termini procedurali che dal punto di vista tecnico-economico.

Dopo aver introdotto il modello di ricostruzione adottato (noto come Modello Integrato per i comuni del Cratere - MIC), si forniscono le statistiche relative alle caratteristiche tipologiche del costruito a tre livelli differenti, ovvero a livello di i) Aggregati Edilizi (AE), ii) Unità Minime di Intervento (UMI) costituite da un Edificio Singolo (ES) o più Edifici (ED), iii) Edifici Singoli (ES). Particolare attenzione è posta all'analisi dell'entità del danno degli ED che costituiscono le UMI rilevate mediante la scheda di primo livello di rilevamento danno, pronto intervento e agibilità, AeDES. Con riferimento alle UMI si forniscono dati relativi ai costi di riparazione e di rafforzamento sismico e si analizzano le problematiche tipiche degli edifici in aggregato, quali ad esempio la presenza di elementi di pregio e la loro incidenza in termini di costi di ricostruzione.

### 1 INTRODUZIONE

Il territorio italiano è fortemente sismico e nel corso del tempo è stato frequentemente colpito da terremoti che hanno prodotto danni più o meno rilevanti sugli edifici. A livello nazionale, le procedure da adottare nell'immediato post-sisma, volte alla valutazione dell'agibilità degli edifici colpiti dall'evento sismico, fanno riferimento a un quadro normativo consolidato, mentre non esiste una disciplina unica in ordine alle procedure e ai criteri da seguire per la ricostruzione dei territori interessati dal sisma. In tale ambito è interessante analizzare il processo di ricostruzione che ha riguardato il territorio di L'Aquila a seguito dell'evento sismico del 6 aprile 2009. In particolare, la gestione della "ricostruzione" del territorio aquilano è stata interessata da due differenti procedure per determinare il contributo

concesso dallo Stato, denominate "procedura analitica" e "procedura parametrica".

La procedura analitica è stata adottata nella prima fase post-terremoto dal 2009 al 2013. Essa ha riguardato le pratiche relative alla ricostruzione degli edifici isolati, ovvero non ricompresi in aggregati edilizi, al di fuori dei centri storici, ed è stata gestita dalla cosiddetta Filiera (Fintecna, ReLUI e Cineas) (Dolce e Manfredi 2015; Di Ludovico et al 2017a,b).

La procedura parametrica è stata introdotta con il D.l. n. 83/2012, convertito dalla L. n. 134/2012, e resa operativa nel corso del 2013 e del 2014, con l'istituzione dei due Uffici Speciali per la ricostruzione di L'Aquila e dei comuni minori del Cratere sismico (USRA e USRC). Essa ha riguardato, prevalentemente, le pratiche relative alla ricostruzione degli aggregati edilizi dei centri storici (Fico et al, 2015a; Fico et al, 2015b; Fico et

al, 2017). Gli aggregati edilizi sono comunemente definiti come un insieme di edifici, ovvero unità strutturali, non necessariamente omogenei, posti in contiguità ed interagenti sotto un'azione sismica o dinamica in generale. Essendo frutto di un processo di accrescimento urbano spontaneo protrattosi nel tempo, essi si contraddistinguono inoltre per la frequente presenza di elementi a valenza storico culturale, tipicamente soggetti a vincoli. Essi sono inoltre caratterizzati da elementi costruttivi e strutturali tipici dell'architettura storica, quali archi di contrasto, volte e logge il cui comportamento e mutua interazione, rende la risposta sismica difficile da simulare e da prevedere nelle analisi numeriche. Tutto ciò, considerati anche i rimaneggiamenti subiti dalle strutture originarie nel corso del tempo, rende alquanto complesso quantificare i lavori da eseguire durante la fase di progettazione, a differenza di quanto accade nel caso degli edifici isolati, realizzati in epoche più recenti, tipici delle aree di più recente espansione.

Pertanto con il DPCM del 4 febbraio 2013 la procedura analitica, basata sulla verifica puntuale della congruità tecnica ed economica degli interventi progettuali previsti, è stata sostituita da una procedura parametrica, secondo la quale il contributo concedibile per i lavori è stabilito principalmente in relazione allo stato di danno e di vulnerabilità degli edifici danneggiati dal sisma. E' da sottolineare come, rispetto ad altri modelli di ricostruzione, il modello in esame riconosca il valore intrinseco degli elementi costruttivi originali e la necessità di salvaguardarli nel processo di ricostruzione. In considerazione delle diverse peculiarità dei territori di riferimento, ovvero il Comune di L'Aquila e i restanti comuni del Cratere, i rispettivi Uffici Speciali si sono dotati di modelli parametrici simili ma con specificità diverse che tenessero conto delle caratteristiche costruttive e ambientali dei relativi tessuti urbani.

Per quanto concerne la ricostruzione dei centri storici dei comuni minori la procedura definita nel Modello Integrato per i comuni del Cratere (MIC) (Fico et al, 2015a,b), si compone di due parti. La prima consente la definizione del contributo mediante procedura parametrica, mentre la seconda comprende il progetto esecutivo dell'intervento, comprensivo del computo metrico estimativo e della documentazione tecnica. Si osservi che al fine di valorizzare le peculiarità territoriali, sia in riferimento ai materiali e alle tecniche costruttive, sia in riferimento agli elementi ricorrenti e caratterizzanti l'architettura locale, è stata prevista una maggiorazione del contributo parametrico (contributo base) per far

fronte ai maggiori costi da sostenere per le lavorazioni dei cosiddetti "elementi di pregio", ovvero di elementi costruttivi, strutturali o di finitura con valore storico, artistico e culturale. Nelle passate esperienze sismiche (Marche 1997 e Molise 2002) le procedure messe in atto per il rilascio del contributo non prestavano particolare attenzione agli interventi da realizzare per preservare e valorizzare i singoli elementi costruttivi tipici dell'architettura locale. La procedura messa in atto per gli interventi danneggiati dal sisma del 1997, ad esempio, prevedeva un incentivo del 10% per la mancata demolizione di porzioni di pregio storico-architettonico (DGR n. 2153/1998) mentre nel caso del sisma del 2002 si prevedeva un contributo maggiorato per gli immobili di interesse storico-artistico o monumentale rispetto al livello di danno riscontrato (Decreto del Commissario Delegato n.52/2003).

Con la procedura MIC le richieste di contributo possono essere presentate, a seconda dei casi: i) per edificio singolo (ES), ovvero un fabbricato costituito da una o più unità immobiliari, individuabile come organismo edilizio e statico unico, generalmente non interferente con altri fabbricati; ii) per aggregati strutturali (AE) costituiti da più edifici (ED); iii) per Unità Minime di Intervento (UMI), definite come porzioni di aggregati particolarmente estesi e complessi, individuate in modo da ottimizzare l'esecuzione dei lavori e minimizzare le reciproche interazioni sismiche dinamiche. Ciascun edificio ED/ES può essere costituito da più Unità Immobiliari, UI.

Nel presente lavoro si illustra una preliminare disamina delle caratteristiche tipologiche del costruito dei centri storici dei comuni del Cratere a tre livelli differenti, ovvero a livello di AE, UMI ed ED/ES. Particolare attenzione è posta all'analisi del danno degli ED/ES che costituiscono le UMI, quest'ultimo rilevato mediante la scheda di primo livello di rilevamento danno, pronto intervento e agibilità, AeDES (Baggio et al, 2007). Infine, si analizzano le peculiarità del costruito degli edifici in aggregato in termini di elementi di pregio, ovvero in relazione alle caratteristiche costruttive originarie considerate tali, e la loro incidenza sui costi di ricostruzione.

## 2 CARATTERISTICHE DEL COSTRUITO DEI CENTRI STORICI DEI COMUNI DEL CRATERE COLPITI DAL SISMA DEL 2009

Grazie alla collaborazione scientifica, stipulata tra USRC, Reluis e ITC-CNR L'Aquila

nell'ambito dell'accordo 2019-2021 tra il Dipartimento della Protezione Civile (DPC) ed il Consorzio ReLUIS, e più in particolare nella linea di ricerca ReLUIS WP7 – Analisi dati Post sisma, è stato possibile accedere alla documentazione relativa alle pratiche di richiesta di contributo e realizzare un database contenente le informazioni relative alle caratteristiche tipologiche-costruttive dei manufatti dei centri storici dei comuni del cratere, ai danni indotti dal sisma sulle componenti strutturali e non strutturali, agli interventi di riparazione, rafforzamento locale o miglioramento sismico, alla presenza di elementi di pregio e/o peculiarità del costruito dei centri storici.

Ad oggi, il database contiene informazioni relative a 499 UMI, per un totale di 2230 Edifici e 6045 Unità Immobiliari (UI), di cui 4991 UI corrispondenti a prime abitazioni. Inoltre per 760 edifici afferenti a 200 UMI sono state recuperate le schede AeDES redatte nella fase di emergenza post-terremoto. Pertanto, per tali edifici, è stato possibile archiviare un numero di informazioni maggiore in riferimento alle caratteristiche tipologiche, all'epoca di costruzione e al danno indotto dal sisma su componenti strutturali e non strutturali.

Tuttavia, è opportuno considerare che il processo di presentazione e validazione delle pratiche è ancora in corso presso l'Ufficio Speciale dei comuni del Cratere, USRC. All'11/03/2019 risultavano pervenute all'USRC pratiche inerenti a 2142 UMI relative a 2357 aggregati per un totale 10251 edifici e 25085 unità immobiliari (<http://mic.usrc.it/PraticheStatistiche.aspx>) (Figura 1).

Totale comuni del cratere sismico: 56  
Comuni presenti nel database esaminato: 50

PRATICHE presentate			
AGGREGATI	UMI	Edifici	UI
2142	2357	10251	25085



Figura 1. Pratiche pervenute all'USRC (all'11/03/2019).

### 2.1 Analisi degli aggregati edilizi

Il campione in esame è costituito da 471 aggregati edilizi, AE, per un totale di 499 UMI. Si osserva che solo 23 AE presentano un numero di UMI superiore all'unità (19 AE costituiti da 2 UMI, 3 aggregati costituiti da 3 UMI e 1 aggregato costituito da 4 UMI). I restanti 448 AE sono costituiti da una unica UMI. Per tale motivo, nel seguito i dati delle caratteristiche del costruito dei centri storici saranno presentati per UMI.

Il campione di 499 UMI analizzato risulta costituito da un numero di edifici variabile tra 1 e 23; in particolare il 18% delle UMI è composto da

1 edificio (definite anche Edificio Singolo, ES), mentre il restante 82% è costituito da più edifici (definite anche UMI pluri-edificio). In dettaglio il 44% è composto da un numero di edifici compreso tra 2 e 4, il 28% è composto da un numero di edifici compreso tra 5 e 8 e il restante 10% mostra maggiore variabilità, con un numero di edifici compreso tra 9 e 23 (Figura 2).

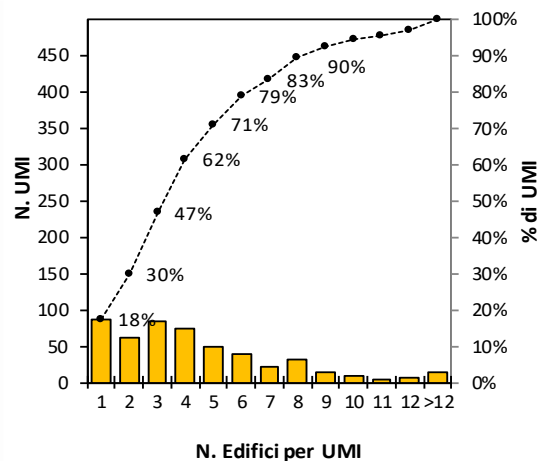


Figura 2. Distribuzione del numero di edifici all'interno delle UMI.

In Figura 3 è sintetizzata l'analisi del campione di UMI in funzione dell'esito di agibilità degli edifici ad esse appartenenti; in particolare la figura mostra che il 34% del campione (169 UMI di cui 88 UMI costituite da ES e 81 UMI pluri-edificio) è costituito da UMI monoesito, ovvero che presentano un unico esito di agibilità per tutti gli edifici che le costituiscono. In dettaglio, il 7% presenta solo edifici parzialmente o temporaneamente inagibili (esito B-C) e il 26% solo edifici inagibili (esito E). Il restante 66% del campione (330 UMI pluri-edificio) è costituito da UMI pluriesito, ovvero da UMI costituite da edifici con esito di agibilità diverso tra loro. Per le UMI pluri-edificio sono stati ammessi a finanziamento anche edifici agibili (esito A) purchè almeno un edificio dell'UMI risultava totalmente o parzialmente inagibile.

Si ricorda che l'esito di agibilità è definito sulla base della Scheda AeDES per il singolo edificio, dunque è possibile associare un unico esito all'intera UMI solamente nei casi in cui tutti gli edifici della stessa presentino il medesimo esito, o nel caso di UMI costituite da un solo edificio ES.

Al fine di correlare il numero di edifici contenuti all'interno delle UMI e il livello di danno rilevato, sono state analizzate le incidenze percentuali dei diversi esiti di agibilità (A-agibile; BC- parzialmente o temporaneamente inagibile; E - inagibile) al variare del numero degli edifici contenuti nelle UMI stesse (Figura 4).

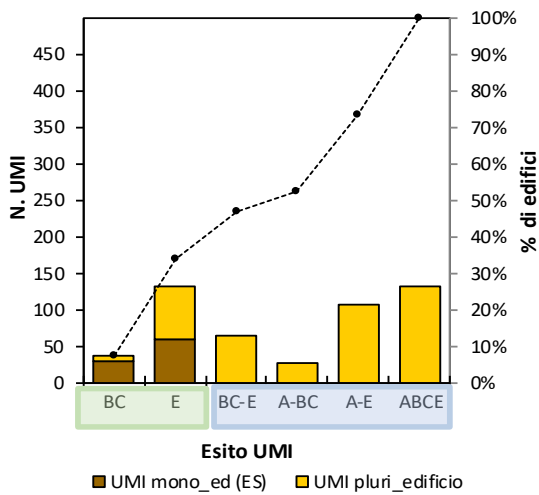
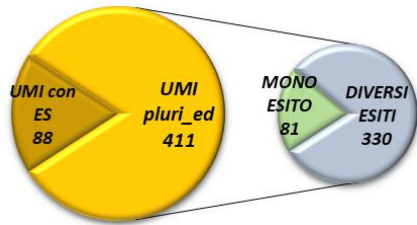


Figura 3. Esito di agibilità delle UMI.

La Figura 4 mostra che all'aumentare del numero di edifici il comportamento sismico tende, seppur in maniera minima, a migliorare, infatti si rileva un andamento crescente della percentuale di edifici con esito A (agibile) e decrescente per la percentuale di edifici con esito E (inagibile).

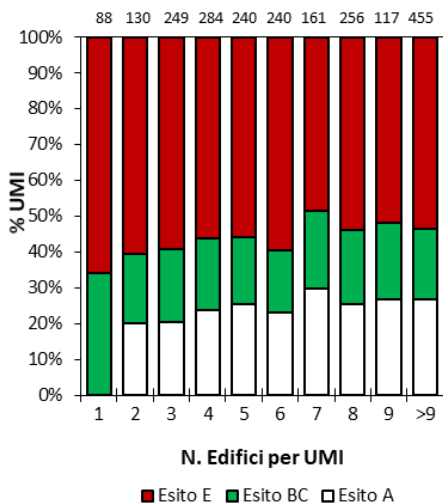


Figura 4. Percentuale esiti di agibilità in funzione del numero di edifici contenuti all'interno della UMI.

In Figura 5 è riportata la distribuzione delle UMI in funzione delle classi di Superficie Lorda totale, SL, e la relativa percentuale cumulata. Dal grafico si deduce che il 73% delle UMI del campione è caratterizzato da una superficie lorda minore di 1500 m<sup>2</sup> e mediamente le UMI presentano una SL pari a 1162m<sup>2</sup>.

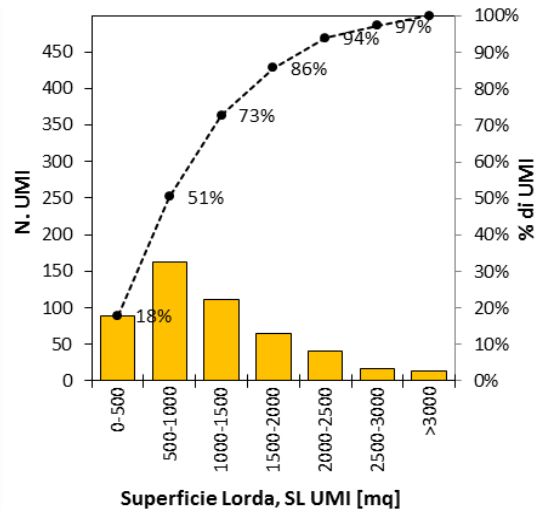


Figura 5. Distribuzione delle UMI in funzione di Superficie Lorda.

## 2.2 Analisi del campione di edifici

Il campione di 760 edifici in esame è costituito prevalentemente (82%) da edifici costruiti prima del 1919; l'11% è stato realizzato tra il 1919 e il 1945 e il restante 7% nel dopoguerra, sino agli anni 2000; per l'1% (5 edifici) del campione non è stato possibile ricavare informazioni circa l'epoca di costruzione. (Figura 6).

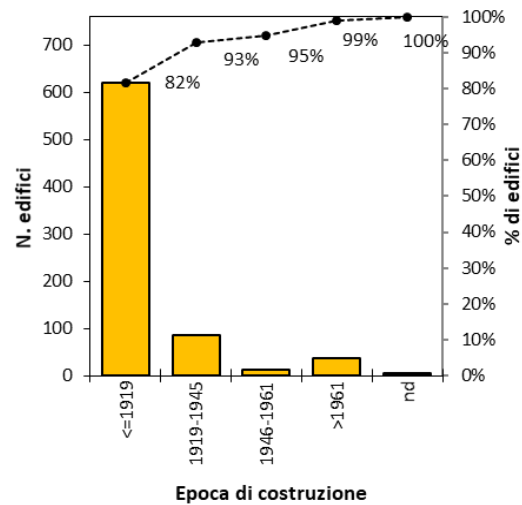


Figura 6. Distribuzione degli edifici al variare dell'epoca di costruzione.

Inoltre, in Figura 7 si riporta la distribuzione degli edifici con esito A, B-C ed E, al variare dell'epoca di costruzione. Dal grafico si evince che gli edifici più datati, presentano una percentuale di esito E maggiore, in particolare la percentuale di edifici con esito E diminuisce per gli edifici costruiti nel secondo dopoguerra.

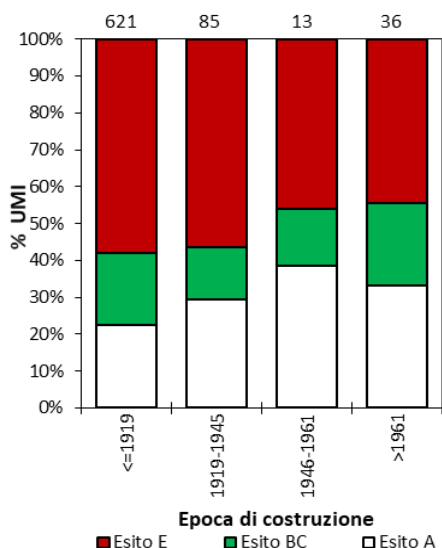


Figura 7. Percentuale di edifici aventi esito A, B-C ed E, al variare dell'epoca di costruzione.

Per quanto riguarda il numero di piani fuori terra, la Figura 8 mostra che il campione è costituito per il 76% da edifici con 2 o 3 piani fuori terra (per il 42% degli edifici il numero di piani fuori terra è pari a 2, mentre per il 34% è pari a 3). Gli edifici in muratura del campione con più di 3 piani fuori terra sono solo il 14% dell'intero campione. Il 9% è relativo a edifici con un unico piano fuori terra.

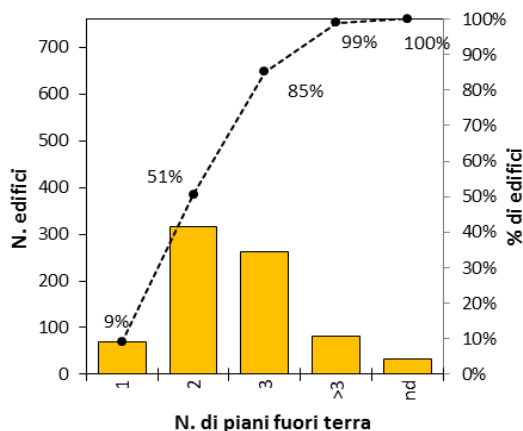


Figura 8. Distribuzione di edifici al variare del numero di piani.

Un altro aspetto esaminato è relativo alla rispettiva posizione all'interno dell'aggregato; anche con riferimento a quanto indicato nelle schede AeDES gli edifici del campione sono stati suddivisi in:

1. *edificio isolato* se i quattro lati che ne determinano il perimetro non risultano confinati dalla presenza di edifici adiacenti;
2. *edificio interno* se presenta almeno due lati paralleli in adiacenza ad altri edifici;

3. *edificio d'angolo* se presenta due lati consecutivi in adiacenza ad altri edifici e due lati consecutivi liberi (angolata);
4. *edificio d'estremità* se presenta un solo lato in adiacenza ad altri e quindi confinato.

Gli edifici isolati rappresentano solo il 3% (27 edifici) del campione analizzato, mentre per quanto concerne il campione di edifici in aggregato circa il 43% (326 edifici) ha una posizione interna, il 18% (133 edifici) d'angolo e 34% (261 edifici) d'estremità. Per il restante 2% (13 edifici) non è nota l'informazione. Al fine di correlare la posizione dell'edificio con il livello di danno rilevato sul campione di 747 edifici, in Figura 9 si riporta la percentuale di edifici per esito di agibilità rispetto al totale di edifici aventi la medesima posizione. Il grafico mostra un danneggiamento maggiore per gli edifici isolati rispetto a quelli in aggregato indipendentemente dalla loro posizione all'interno dell'aggregato stesso.

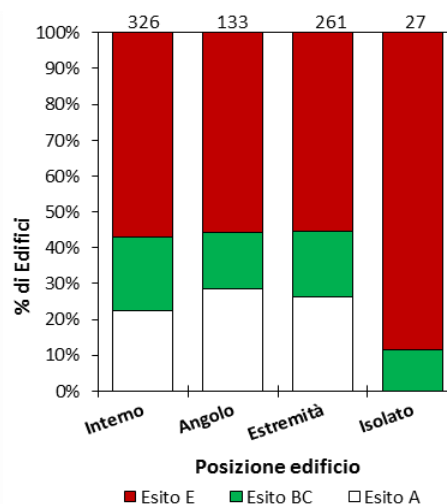


Figura 9. Distribuzione dell'esito al variare della posizione.

### 3 ELEMENTI DI PREGIO E PECULIARITÀ DEI CENTRI STORICI

I comuni minori ricadenti nel Cratere sono caratterizzati da un tessuto edilizio modesto e compatto con manufatti storici di rilievo ed elementi di pregio storico-architettonico, testimonianza materiale delle diverse culture che si sono susseguite sul territorio nel tempo. La conservazione e il restauro di tali elementi è finanziata con appositi incrementi al contributo concedibile nella procedura MIC.

Con riferimento al campione di 499 UMI analizzate è stata rilevata, da ciascuna pratica di richiesta di contributo, la presenza di uno o più elementi di pregio e di altre caratteristiche peculiari degli edifici dei centri storici (il cui



recupero è finanziato con voci aggiuntive nella procedura MIC), tra cui la presenza di elementi storici pertinenziali, elementi accessori al fabbricato e di cavità ipogee. Nello specifico per quanto riguarda gli elementi di pregio, in accordo con quanto riportato nell'art.7 comma 2 del decreto USRC n. 1/2014 e nelle Linee Guida BB. CC. V.4 (USRC, 2015), essi sono stati suddivisi in 15 categorie così codificate:

1. ED.IN.01: imbotti, cornici, modanature, cantonali, cornicioni in pietra, laterizio, gesso o legno, paraste, marcapiani e portali in pietra in facciata;
2. ED.IN.02: intonaci storici o blocchi lapidei a faccia vista
3. ED.IN.03a: orizzontamenti a volta;  
ED.IN.03b: orizzontamenti in legno;  
ED.IN.03c: orizzontamenti in travi di ferro e voltine;
4. ED.IN.04: tetto in legno;
5. ED.IN.05: manto di copertura in coppi storici;
6. ED.IN.06: porticati e chiostrini interni con dimensioni volumetriche rilevanti o articolazioni spaziali complesse;
7. ED.IN.07: presenza di interpiano maggiore di 3,20 metri;
8. ED.IN.08: Balconi con mensole in pietra, con bordo del piano orizzontale modanato, e/o con balaustra in pietra o in ferro lavorato;
9. ED.IN.09: infissi, serramenti esterni o qualunque finitura esterna in manifattura della tradizione;
10. ED.IN.10: superfetazioni;
11. ED.IN.11: interventi sulle parti integranti degli antichi recinti fortificati, come ad esempio case mura o passaggi voltati;
12. ED.IN.12: sostituzione tetto CA;
13. ED.IN.13: pavimentazioni interna in seminato "alla veneziana" o con mosaici, in cotto o altre pavimentazioni originali;
14. ED.IN.14: tramezzi originali;
15. ED.IN.15: scale a uso esclusivo della proprietà in materiali originali.

Si osservi che due categorie (ED.IN.10 e ED.IN.12) sono relative ad interventi tesi al ripristino delle caratteristiche costruttive originarie. Il riconoscimento di tali incrementi è fortemente condizionato dagli strumenti urbanistici vigenti, Piano di Ricostruzione o altri, che devono prevederne l'eliminazione. In dettaglio, l' ED.IN.10 riguarda l'eliminazione delle superfetazioni, ovvero di manufatti di

modeste dimensioni, realizzate dopo l'impianto originale dell'immobile con materiali non tradizionali o con struttura architettonica incongruente con quella del fabbricato principale. Sono esclusi dalla maggiorazione tutte quelle superfetazioni costruite in violazione delle norme urbanistiche ed edilizie, abusi, per le quali non sia intervenuta una sanatoria ai sensi della L. 47/1985.

L' ED.IN.12, invece, è relativo alla sostituzione delle coperture in latero-cemento con coperture in legno tradizionali.

Le maggiorazioni per gli ED.IN.13, ED.IN.14, e ED.IN.15 sono riconosciute solo per gli edifici con dichiarazione di interesse culturale secondo quanto specificato dall'art. 10 co.3 del D.lgs. 42/2004.

L'analisi delle 499 pratiche ha evidenziato che il 72% delle UMI del campione presenta uno o più elementi di pregio suscettibili di finanziamento.

La Figura 10 illustra la distribuzione percentuale nel campione di UMI di ognuno degli elementi di pregio sopra richiamati. Nel grafico è riportata la dicitura "Non specificato" nei casi in cui non è stato possibile assegnare gli elementi di pregio ad una delle 15 categorie (l'11% circa del totale); la dicitura "non riportate" è invece relativa alle UMI in cui non risultano interventi sugli elementi di pregio; tali UMI ammontano al 28% del totale. Le lavorazioni effettuate con più frequenza sono quelle relative alla presenza di elementi lineari di pregio in facciata (ED.IN.01), alle volte (ED.IN.03a), ai manti di copertura in coppi originali (ED.IN.05), alle modanature e balaustre, in ferro o pietra, dei balconi (ED.IN.08) e a elementi riconducibili a manifattura della tradizione (ED.IN.09).

Si osservi che sebbene l'incremento ED.IN.10 abbia grande rilevanza nel recupero dell'identità costruttiva locale, la richiesta di maggiorazione del contributo per tale incremento non ha riscosso il successo sperato (4% del totale). Probabilmente ciò è dovuto a una maggiorazione del contributo (10%) non commisurata agli importi elevati relativi alle lavorazioni da eseguire o dal mancato riconoscimento delle superfetazioni all'interno degli strumenti urbanistici vigenti che ne condizionano l'eliminazione.

Per quanto riguarda invece le voci di finanziamento aggiuntive, esse sono relative al finanziamento dei seguenti aspetti: i) elementi pertinenziali (corredo di spazi di uso collettivo facenti parte dell'aggregato quali aie e corti storiche, parti di mura, porte urbane, archi di contrasto tra edifici e fontanili); ii) elementi accessori funzionali al ripristino dell'agibilità del fabbricato, e non facenti parte dello stesso, smaltimento di rifiuti speciali; iii) cavità ipogee;

iv) restauro di beni storico-artistici; v) siti ricadenti in aree di interesse archeologico. Occorre evidenziare che nel campione analizzato non sono presenti voci aggiuntive che fanno riferimento alle categorie iv) e v).

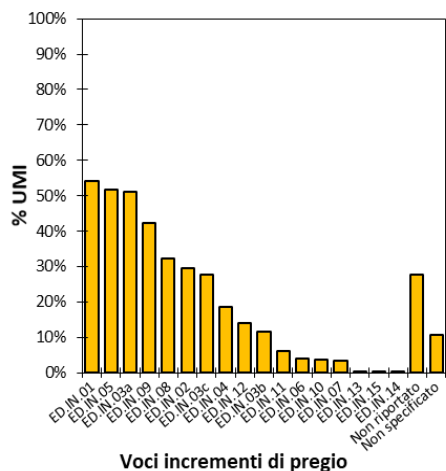


Figura 10. Percentuale di UMI con edifici che presentano elementi di pregio.

#### 4 DANNO

Nel seguente paragrafo si riporta l'analisi del danno rilevato mediante scheda AeDES sul campione di 760 edifici. La scheda AeDES, sebbene non rappresenti uno strumento per la valutazione della capacità strutturale, ha consentito di archiviare informazioni relative a severità ed estensione del danno sugli elementi strutturali e non strutturali che compongono l'edificio. La scheda AeDES descrive il danno attraverso un accorpamento di alcuni livelli di danno della Scala Macrosismica Europea EMS'98 (Grunthal 1998): danno leggero (*D1*); danno medio grave (*D2-D3*) e danno gravissimo (*D4-D5*), oltre al danno nullo, *D0*. A ciascuna entità di danno sono associate le relative estensioni ( $<1/3$ ,  $1/3-2/3$ ,  $>2/3$ ) rispetto alla componente strutturale esaminata (strutture verticali, *VS*; solai, *F*; scale, *S*; coperture, *R*; e tamponature/ tramezzi, *IP*).

In Figura 11 si riporta il numero di edifici con danno nullo a *VS*, *F*, *S*, *R* e *IP*. Dal grafico si evince che gli elementi che si sono danneggiati di meno sono le scale, le coperture e le tamponature/ tramezzi.

Pertanto al fine di convertire il danno degli elementi strutturali in danno globale dell'edificio, *DS*, tra le varie procedure presenti in letteratura si è deciso di adottare la procedura riportata in Dolce et al 2017 e 2019, di seguito rinominata procedura Da.D.O.

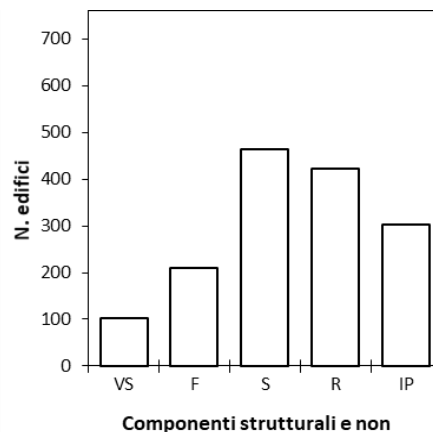


Figura 11. Numero di edifici con danno nullo a strutture verticali, VS, solai, F, scale, S, coperture, R, e tamponature/tramezzi, IP.

Tale procedura consente di convertire il danno da scheda AeDES in danno globale prendendo in considerazione solo i dati, sia in termini di danno che di estensione, relativi alle strutture verticali. In Figura 12 si riporta la distribuzione dell'esito di agibilità rispetto al totale di edifici aventi lo stesso DS. Dalla Figura 12, come era intuitivo aspettarsi, emerge che la percentuale di edifici con esito E cresce all'aumentare del livello di danno dell'edificio, coerentemente la percentuale di edifici con esito A decresce fino a estinguersi per livelli di danno maggiori di *DS3*. È inoltre evidente che gli edifici con esito E con danno *DS0* e *DS1* raggruppa tutti quegli edifici che hanno evidenziato estesi danneggiamenti, talvolta crolli, delle strutture orizzontali o di copertura.

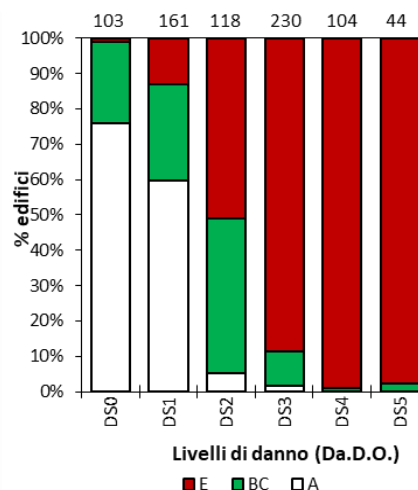


Figura 12 Distribuzione di edifici in funzione dell'esito di agibilità, al variare del livello di danno degli stessi

#### 5 ANALISI DEI COSTI

Nel seguente paragrafo si riporta l'analisi economica del campione di 499 UMI di cui:

- 62 UMI con pratiche relative a interventi di riparazione e rafforzamento locale;

- 422 UMI con pratiche relative a interventi di riparazione e miglioramento sismico;
- 15 UMI con pratiche relative a interventi di demolizione e ricostruzione.

In dettaglio, in funzione della tipologia di intervento da eseguire, sono stati elaborati i costi esenti I.V.A. e comprensivi delle spese tecniche per unità di superficie lorda (€/mq) relativi a:

1. interventi di riparazione, rafforzamento o miglioramento sismico a seconda dei casi con esclusione delle lavorazioni relative agli elementi di pregio;
2. interventi di ripristino/recupero degli elementi di pregio;
3. interventi di adeguamento energetico;
4. indagini geotecniche e strutturali;
5. voci aggiuntive;
6. totale degli interventi di riparazione, rafforzamento locale o miglioramento sismico e delle voci di costo relative ad adeguamento energetico, di indagini geotecniche e strutturali e di voci aggiuntive.

I valori medi dei costi di riparazione e di rafforzamento locale o di miglioramento sismico, del ripristino di elementi di pregio, degli interventi di adeguamento energetico, delle prove geotecniche e strutturali, delle voci aggiuntive e della somma delle diverse voci di costo sono sintetizzati in Tabella 1. Dalla tabella si evince che gli interventi di riparazione e retrofit sismico hanno un'incidenza sul costo totale di circa l'80% (80% UMI con intervento di rafforzamento locale, 81% UMI con intervento di miglioramento sismico). La percentuale dei costi relativi agli interventi sugli elementi di pregio sul costo totale è risultato superiore per le UMI con interventi di rafforzamento locale rispetto a quelle con interventi di miglioramento sismico (17% vs 11%).

Inoltre risulta che la demolizione e ricostruzione è di poco più onerosa rispetto al solo miglioramento sismico (877€/mq vs. 816€/mq).

Considerando che i contributi rilasciati per gli interventi di riparazione e retrofit sismico per gli edifici al di fuori dei centri storici sono risultati pari a 245€/mq per edificio con esito di agibilità B-C (ovvero con interventi di rafforzamento locale) e 658€/mq per gli edifici con esito E (ovvero con interventi di miglioramento sismico) (Dolce e Manfredi, 2015), risulta che i costi per gli interventi di riparazione e retrofit sismico sono inferiori del 7% per interventi di rafforzamento locale, mentre nel caso degli interventi di

miglioramento sismico l'importo non subisce variazioni. Si osservi che gli importi sono al netto dei costi di ripristino/restauro degli elementi di pregio.

Tabella 1. Costi medi per le UMI in funzione della tipologia di intervento

Tipologia intervento	Raff. locale	Miglioramento sismico	Demolizione ricostruzione
N. UMI [-]	62 (201 ED)	422 (1998ED)	15 (31ED)
SL [mq]	804	1238	907
Interventi rip.+raff/migl[€/mq]	229	658	-
Pregio [€/mq]	47	93	-
Adeg. Energ. [€/mq]	6	50	-
Indagini geo+strut [€/mq]	1.2	8.1	-
Voci aggiuntive [€/mq]	3	7	--
Costi totali [€/mq]	286	816	877

Tale confronto presenta dei forti limiti in quanto la maggior parte delle UMI analizzate è costituita da edifici con esito differente e quindi con danneggiamento e vulnerabilità diverse che hanno contribuito in maniera più o meno significativa sul costo di riparazione e retrofit sismico. Inoltre per le UMI con rafforzamento locale gli edifici appartenenti alle UMI hanno sia esito di agibilità A che B-C, e per le UMI con interventi di miglioramento sismico sia esito B-C che E. Pertanto al fine di poter effettuare un confronto corretto con i costi rilasciati per la ricostruzione degli edifici ubicati al di fuori dei centri storici sarà necessario procedere con una disamina di dettaglio, analizzando, a parità di intervento, separatamente le UMI costituite da un singolo edificio; le UMI costituite da più edifici aventi stesso esito; le UMI costituite da più edifici aventi esiti diversi.

## 6 CONCLUSIONI

Nel presente lavoro si è proceduto ad esaminare la ricostruzione degli edifici in aggregato dei centri storici minori dei comuni danneggiati dall'evento sismico del 2009, sia in termini procedurali che dal punto di vista tecnico-economico. Dopo aver introdotto il modello di ricostruzione adottato (noto come Modello integrato per i comuni del Cratere-MIC), sono state fornite le statistiche relative a caratteristiche tipologiche di 471



aggregati edilizi, suddivisi in 499 UMI ubicate in 50 centri storici dei comuni del Cratere.

Dall'analisi dei dati analizzati è emerso che:

- Il 79% delle UMI è costituito da un numero di edifici inferiore a 6;
- 169 UMI sono costituite da edifici con uguale esito (88 UMI monoedificio; 81 UMI pluriedificio); le restanti 330 UMI presentano almeno un edificio con esito di agibilità diverso dagli altri;
- le 499 UMI analizzate presentano una superficie lorda SL media pari a 1162 m<sup>2</sup>;
- oltre l'80% degli edifici è stato edificato prima del 1919;
- gli edifici isolati si sono danneggiati maggiormente rispetto agli edifici in aggregato indipendentemente dalla loro posizione all'interno dell'aggregato;
- il 72% delle UMI presenta elementi di pregio, per i quali sono redatte apposite relazioni descrittive che hanno permesso di individuare, per ciascuna UMI, le tipologie di pregio presenti. Nella fattispecie, gli elementi di pregio maggiormente interessati da interventi di ripristino sono risultati: elementi lineari di pregio quali cornici, cantonali e portali in pietra pregiata (nel 54% delle UMI), coppi della tradizione in copertura (52% delle UMI), volte (51% delle UMI) e infissi e finiture esterne (42% delle UMI);
- le pratiche presentate sono relative ad interventi di riparazione e rafforzamento locale (62 UMI) o di riparazione e miglioramento sismico (422 UMI) o interventi di demolizione e ricostruzione (15UMI);
- le UMI con interventi di riparazione e rafforzamento locale hanno avuto in media un contributo unitario pari a 286 €/mq tra cui le voci più consistenti sono relative ai costi di riparazione e rafforzamento locale (229€/mq) e ai costi di ripristino/restauro degli elementi di pregio (47€/mq);
- le UMI con interventi di riparazione e miglioramento sismico hanno avuto in media un contributo unitario pari a 816 €/mq tra cui le voci più consistenti sono relative ai costi di riparazione e miglioramento sismico (658€/mq) e ai costi di ripristino/restauro degli elementi di pregio (93€/mq);
- il costo medio per demolire e ricostruire le UMI dei centri storici è pari a 877€/mq

Al fine di poter effettuare un confronto con i costi rilasciati per la ricostruzione degli edifici ubicati al di fuori dei centri storici sarà necessario procedere con una disamina di dettaglio, analizzando separatamente le UMI costituite da un singolo edificio; le UMI costituite da più edifici aventi stesso esito; le UMI costituite da più edifici aventi esiti diversi.

## BIBLIOGRAFIA

- Baggio, C., Bernardini, A., Colozza, R., Coppari, S., Corazza, L., Della Bella, M., Di Pasquale, G., Dolce, M., Goretti, A., Martinelli, A., Orsini, G., Papa, F., Zuccaro, G., 2007. Field manual for post-earthquake damage and safety assessment and short term countermeasures. *EUR 22868 - Joint Research Centre—Institute for the Protection and Security of the Citizen.*
- DPCM - Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri del 4 febbraio, 2013. *Definizione delle procedure per il riconoscimento dei contributi per la ricostruzione privata, conseguente agli eventi sismici del 6 aprile 2009, adottato ai sensi dell'articolo 67-quater, comma 9, del decreto-legge 22 giugno 2012, n. 83, convertito, con modificazioni, dalla legge 7 agosto 2012, n. 134. (13A01907) (GU Serie Generale n.54 del 05-03-2013)*
- Decreto del Commissario Delegato - Presidente della Regione Molise Commissario Delegato, Comitato Tecnico Scientifico n.52 del 25 settembre, 2003. *Linee di indirizzo per la progettazione e la realizzazione degli interventi di riparazione dei danni ed il miglioramento sismico degli edifici danneggiati dagli eventi sismici del 31.10.2002 e giorni successivi nei Comuni della Provincia di Campobasso - Parte seconda: Progetto Preliminare Semplificato, soglia di danno, stima del contributo, priorità degli interventi.* (BURM n. 17 del 16-08-2003)
- D.L. - Decreto-Legge n. 83 del 22 giugno 2012. *Misure urgenti per la crescita del Paese.* (in supplemento ordinario n. 129/L alla Gazzetta Ufficiale - serie generale - n. 147 del 26 giugno 2012), coordinato con la legge di conversione 7 agosto 2012, n. 134 (in questo stesso supplemento ordinario alla pag. 1) (12A08941) (GU Serie Generale n.187 del 11-08-2012 - Suppl. Ordinario n. 171)
- D.lgs - Decreto Legislativo n. 42 del 22 gennaio 2004. *Codice dei beni culturali e del paesaggio, ai sensi dell'articolo 10 della legge 6 luglio 2002, n. 137 (G.U. n. 45 del 24/02/2004, Suppl. Ordinario. n. 28)*
- Decreto USRC - Decreto del capo dell'USRC n. 1 del 6 febbraio, 2014. *Disposizioni per riconoscimento del contributo per gli interventi sull'edilizia privata nei centri storici dei Comuni del Cratere*
- DGR – Deliberazione della Giunta Regionale n. 2153 del 14 settembre, 1998. *Modalità e procedure per la concessione dei contributi previsti dall'art. 4 della L. n. 61/1998.* (BUR Ed.S. n. 7 del 18-09-1998)
- Di Ludovico, M., Prota, A., Moroni, C., Manfredi, G., Dolce, M., 2017a. Reconstruction process of damaged residential buildings outside historical centres after the L'Aquila earthquake: Part I—"Light damage" reconstruction. *Bull. Earthq. Eng.*, **15**, 667–692.
- Di Ludovico, M., Prota, A., Moroni, C., Manfredi, G., Dolce, M., 2017b. Reconstruction process of damaged

- residential buildings outside historical centres after the L'Aquila earthquake: Part II—"Heavy damage" reconstruction. *Bull. Earthq. Eng.*, **15**, 693–729
- Dolce, M., Manfredi, G., 2015. *Libro bianco sulla ricostruzione privata fuori dai centri storici nei comuni colpiti dal sisma dell'abruzzo del 6 aprile 2009*. doppiavoce editore: Napoli.
- Dolce, M., Speranza, E., Giordano, F., Borzi, B., Bocchi, F., Conte, C., Pascale, V., 2017. Da. DO -A web-based tool for analyzing and comparing post-earthquake damage database relevant to national seismic events since 1976. In *Atti del XVII Convegno ANIDIS L'ingegneria Sismica in Italia*, 347–357, Pisa University Press: Pisa, Italy.
- Dolce, M., Speranza, E., Giordano, F., Borzi, B., Bocchi, F., Conte, C., Di Meo, A., Faravelli, M., Pascale, V., 2019. Observed damage database of past Italian earthquakes: the Da.D.O. Webgis. *Bollettino di Geofisica Teorica e Applicata*, **60**(2), 141-164.
- Fico, R., Gualtieri, R., Pecci, D., Mannella, A., Prota, A., Di Ludovico, M., Campagna, R., 2015a. Sisma Abruzzo 2009: Il Modello Integrato per i Comuni del Cratere (MIC). In *Atti del XVI convegno ANIDIS L'Ingegneria sismica in Italia, L'Aquila, Italy, 13 - 17 Settembre*.
- Fico, R., Gualtieri, R., Pecci, D., Mannella, A., Prota, A., Di Ludovico, M., Campagna, R., 2015b. Il Modello Integrato per i Comuni del Cratere (MIC) adottato dai Comuni del cratere sismico del sisma del 2009 in Abruzzo: analisi dei costi e prime considerazioni sull'efficacia degli incrementi al contributo base. In *Atti del XVI convegno ANIDIS L'Ingegneria sismica in Italia, L'Aquila, Italy, 13 - 17 Settembre*.
- Fico, R., Gualtieri, R., Pecci, D., Mannella, A., Di Ludovico, M., Prota, A., 2017. Reconstruction model of residential buildings in the historical centers of the crater municipalities after L'Aquila 2009 earthquake. In *Proceedings of the 16th Word Conference on Earthquake Engineering, Santiago, Chile, January 9th to 13th, 2017*.
- Grunthal, G., 1998. *Cahiers du Centre Europeen de Geodynamique et de Seismologie: Volume 15—European Macroseismic Scale*. European Center for Geodynamics and Seismology: Luxembourg.
- L. - Legge n. 47 del 28 febbraio 1985. *Norme in materia di controllo dell'attivita' urbanistico-edilizia, sanzioni, recupero e sanatoria delle opere edilizie*. (GU Serie Generale n.53 del 02/03/1985)
- L. - Legge n 134, 2012. *Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 22 giugno 2012, n. 83, recante misure urgenti per la crescita del Paese*. (12G0152). G.U. n.187 dell'11 agosto 2012.
- USRC – Ufficio Speciale per la Ricostruzione dei comuni del Cratere, 2015. *Modello integrato per i comuni del cratere. Linee guida per l'identificazione degli elementi di pregio e per la progettazione degli interventi specifici nei centri storici schede di valutazione tecnica 24 settembre 2015 – v04*, <<http://mic.usrc.it>> (data ultimo accesso 11 luglio 2019).