



# Analisi di correlazione tra contributi statali di ricostruzione e adeguamento a seguito del terremoto del 1979 e danneggiamento post sisma 2016 degli edifici del centro storico di Norcia

Romina Sisti<sup>a</sup>, Chiara Quintaliani<sup>b</sup>, Marco Di Ludovico<sup>a</sup>, Alessandro De Maria<sup>c</sup>, Andrea Prota<sup>a</sup>, Antonio Borri<sup>b</sup>

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

<sup>b</sup> Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Perugia, Via Goffredo Duranti 93, 06125 Perugia

<sup>c</sup> Regione Umbria, Servizio Rischio Sismico, Perugia

*Keywords: costi di ricostruzione, efficacia interventi di consolidamento, edifici in muratura, Valnerina 1979; Centro Italia 2016*

## SOMMARIO

La maggior parte degli edifici ordinari in muratura del centro storico di Norcia ha manifestato, in seguito agli eventi sismici che hanno interessato il Centro Italia nel 2016, una risposta positiva, riportando danni per lo più locali e limitati. In particolare, analizzando il danneggiamento in funzione delle caratteristiche strutturali dei fabbricati, è emersa una significativa riduzione del danno nei casi in cui erano stati eseguiti interventi di ricostruzione e rinforzo a valle degli eventi sismici che interessarono la Valnerina nel 1979.

Grazie ad una collaborazione con la Regione Umbria è stato possibile reperire gli importi dei contributi erogati nel comune di Norcia durante il processo di ricostruzione post 1979.

Nel presente articolo sono illustrati i risultati delle prime elaborazioni condotte al fine di valutare la correlazione tra gli interventi post-sisma del 1979 ed il comportamento degli edifici a valle della sequenza del 2016. L'analisi mostra che gli investimenti eseguiti per il rafforzamento sismico degli edifici hanno portato ad una significativa riduzione del numero di edifici inagibili e con danni severi alle strutture; in particolare, a costi di intervento post 1979 più elevati hanno fatto seguito danni minori rilevati negli edifici colpiti dalla sequenza sismica del 2016.

## 1 INTRODUZIONE

La città di Norcia (PG) si trova in un'area caratterizzata da un'intensa attività sismica e, nel corso della sua storia, è stata più volte interessata da terremoti di notevole entità. La frequenza di eventi sismici rilevanti ha portato gli abitanti di quell'area ad avere una percezione del rischio coerente con la realtà. In particolare, dopo l'evento del 1979, sono state attuate politiche rivolte verso la prevenzione nei confronti dei possibili sismi futuri e non solo alla riparazione di quelli provocati dall'ultimo evento. Così, gli interventi eseguiti dopo il 1979 hanno migliorato in modo sostanziale il comportamento strutturale degli edifici.

Il terremoto del 19 settembre 1979 (VIII MCS), ultimo evento significativo ad interessare Norcia prima della sequenza sismica del 2016,

danneggiò 773 edifici, di cui il 32% riportò danni gravi e il 25% danni di media entità (Rovida et al, 2016; Reale et al. 2004).

Nelle Direttive Tecniche che la Regione Umbria adottò per gli interventi sugli edifici danneggiati (L.R. 1/7/81 n. 34) l'obiettivo era quello di ridurre la vulnerabilità, per "assicurare, in primo luogo la tranquillità dei cittadini ed evitare il riprodursi di gravi ed aggiuntivi prezzi, sia sociali che economici".

In recenti lavori (Borri et al. 2017; Sisti et al. 2018) sono stati analizzati i dati contenuti nelle schede AeDES (Baggio et al, 2007) compilate dai tecnici del Servizio Rischio Sismico della Regione Umbria nel corso dei sopralluoghi di verifica dell'agibilità degli edifici del centro storico di Norcia seguiti agli eventi del 2016. Correlando le caratteristiche strutturali deducibili dalle schede con gli esiti di agibilità e il livello di danneggiamento delle strutture verticali è emerso

che gli edifici rinforzati o ricostruiti a partire dal 1982 hanno mostrato un comportamento nettamente migliore rispetto agli edifici mai rinforzati o rinforzati prima del 1982.

Gli interventi di consolidamento e di rafforzamento degli edifici che seguirono il terremoto del 1979 furono supportati dalla concessione di contributi pubblici. Grazie alla collaborazione con la Regione Umbria è stato possibile reperire gli importi dei contributi erogati nel comune di Norcia. Tali dati sono quindi stati correlati con il danneggiamento e gli esiti di agibilità conseguenti alla sequenza sismica del 2016.

## 2 ANALISI DEL DANNEGGIAMENTO A SEGUITO DELLA SEQUENZA SISMICA DEL 2016

Nei già citati lavori (Borri et al. 2017; Sisti et al. 2018) sono state analizzate 670 schede AeDES relative ad unità strutturali in muratura (USM), valutando anzitutto le caratteristiche strutturali del campione, quali l'epoca di costruzione e di ristrutturazione, il numero di piani, la tipologia muraria, il tipo di orizzontamenti e la tipologia di copertura.

Gli esiti di agibilità e il danneggiamento riportato dalle strutture verticali sono stati poi messi in relazione con le caratteristiche strutturali suddette.

In particolare, il danneggiamento delle strutture verticali è stato espresso mediante un indice di danno complessivo, variabile tra 0 e 5, ottenuto a partire dai livelli di danneggiamento e le relative estensioni indicate nella scheda AeDES secondo l'approccio definito in (Dolce et al. 2017).

Di seguito sono riportati, in modo sintetico, i risultati funzionali allo studio qui presentato, che mira alla correlazione di tali dati con quelli relativi ai contributi statali emanati nel post sisma del 1979 per la ricostruzione e adeguamento sismico degli edifici danneggiati.

Analizzando l'epoca di costruzione e di ristrutturazione delle unità strutturali è emerso che il 12% delle USM è stato costruito dopo il 1982, mentre delle rimanenti USM, tutte costruite prima del 1982, solo il 9% non era mai stato rinforzato, il 12% era stato rinforzato prima del 1982 e il 60% dopo il 1982. Il 72% delle USM è stato quindi costruito o rinforzato dopo il 1982 nel rispetto delle Direttive Tecniche della Regione Umbria (Figura 1).

In Tabella 1 si può osservare quanto l'epoca di costruzione e di ristrutturazione abbia inciso sulla distribuzione degli esiti di agibilità e dell'indice di danno: solo il 14% degli edifici realizzati in seguito al 1982 e il 27% di quelli ristrutturati dopo tale data è risultato inagibile (esito E in accordo con la classificazione della scheda AeDES, Baggio et al, 2007), mentre percentuali di inagibilità sensibilmente maggiori, pari al 47% e al 67%, si sono registrate rispettivamente per gli edifici ristrutturati prima delle direttive antisismiche o mai rinforzati. Considerazioni simili possono essere condotte con riferimento all'indice di danno: l'84% degli edifici di recente costruzione e il 60% di quelli ristrutturati dopo il 1982 hanno riportato un danno nullo (D0) o lieve (D1), contro solo il 28% degli edifici mai ristrutturati e il 35% di quelli ristrutturati prima del 1982.

In definitiva, le analisi condotte per il campione in esame hanno mostrato che, in generale, interventi di prevenzione sismica, volti a sanare le carenze strutturali della costruzione, hanno portato ad una buona risposta sismica degli edifici.

## 3 DISPOSIZIONI NORMATIVE PER LA RICOSTRUZIONE POST SISMA 1979

Vista l'incidenza degli interventi eseguiti dopo il 1982 sugli esiti di agibilità e sull'indice di danno, è stato esaminato in modo dettagliato il processo di ricostruzione seguito al terremoto del 1979. Gli aspetti economici e quelli tecnico-progettuali di tale processo vennero disciplinati attraverso disposizioni normative regionali e piani di recupero elaborati dalle Comunità Montane competenti o dai Comuni.

Di seguito vengono riassunte, in modo sintetico, le norme regionali.

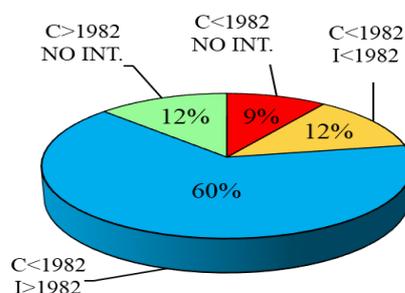


Figura 1. Distribuzione del campione di 670 USM in funzione dell'epoca di costruzione (C) e ristrutturazione (I).

Tabella 1. Distribuzione degli esiti di agibilità e dell'indice di danno riportato dalle 670 USM del centro storico di Norcia in funzione dell'epoca di costruzione e ristrutturazione.

	Esiti di agibilità				Indice di danno					
	A	B	C	E	D0	D1	D2	D3	D4	D5
costruzione <1982 - no ristrutturazione	11%	20%	2%	67%	8%	20%	23%	34%	11%	3%
costruzione <1982 - ristrutturazione <1982	15%	36%	1%	47%	5%	30%	33%	26%	4%	1%
costruzione <1982 - ristrutturazione >1982	25%	43%	4%	27%	25%	35%	21%	15%	3%	0%
costruzione >1982 - no ristrutturazione.	51%	35%	0%	14%	58%	26%	10%	6%	0%	0%

### 3.1 Disciplina economica

Con la Legge Regionale n. 50 del 26/05/1980 vennero stabilite le prime *“procedure per l'accertamento dei danni e per la gestione e l'attribuzione dei contributi a favore degli interventi di ripristino, ricostruzione, adeguamento sismico, consolidamento e miglioramento tecnico funzionale degli edifici danneggiati”*. Sulla base delle richieste presentate venne definito un piano comunale per la rinascita e lo sviluppo, contenente l'indicazione delle opere da realizzare, delle spese necessarie e ammissibili a contributo e l'individuazione degli aventi diritto. Alle domande di contributo presentate ai singoli Comuni venivano allegati il progetto dell'intervento da realizzare e il computo metrico, redatto sulla base dell'allora vigente prezzario della Regione Umbria.

La successiva L.R. n. 34 del 1/1/1981 disciplinò le modalità di concessione delle provvidenze in favore di privati ed enti pubblici, disposte attraverso la L.R. 50/80. Nella fase istruttoria di esame dei progetti e dei relativi computi metrici veniva definito il valore della spesa ammissibile. Il contributo concesso veniva quindi calcolato, a partire dalla spesa ammissibile, come somma di una percentuale dell'importo degli interventi strutturali e di una diversa percentuale dell'importo delle opere di finitura. Nella Tabella 2 sono riportate le percentuali adottate per il calcolo del contributo concesso nel caso di immobili urbani e rurali non al servizio di aziende agricole. La presenza di particolari condizioni permetteva di incrementare tali percentuali.

Le disposizioni normative successive alla L.R. n. 34/81 (L.R. 22/04/85 n. 20, L.R. 20/08/87 n. 41 e L.R. 18/09/89 n. 25) aggiornarono solo i termini temporali della scadenza di concessione dei contributi, mentre la L.R. 22/04/85 variò le misure percentuali del contributo secondo quanto riportato tra parentesi tonde in Tabella 2.

Tabella 2. Misure percentuali di base del contributo erogato per gli interventi a carattere strutturale e per i lavori di rifinitura, previste dalla L.R. 34/81 per edifici urbani e rurali non al servizio di aziende agricole. Le percentuali stabilite variano in funzione di prefissati intervalli del valore della spesa ammissibile. Fra parentesi tonde sono riportate le modifiche introdotte dalla legge regionale n. 20 del 22/04/85.

Spesa ammissibile [£]	Misura % di base	
	Interventi strutturali	Lavori di rifinitura
< 35 milioni	80%	50%
35-70 milioni	80%	50% (30%)
70 -200 milioni	70%	-
> 200 milioni	50% (60%)	-

### 3.2 Disciplina tecnica

L'articolo 38 della L.R. n. 34/81 introdusse le direttive di carattere tecnico cui dovevano rispondere i progetti degli interventi ammessi a contributo.

Le Direttive Tecniche, con riferimento al caso degli edifici in muratura, avendo riscontrato l'inadeguatezza delle normative allora vigenti (legge n. 64 del 1974 e D.M. 3 marzo 1975) nel *“garantire una conveniente sicurezza per gli edifici ripristinati”* si proponevano di fornire criteri di calcolo e indicazioni progettuali volti all'ottenimento non solo di un ripristino degli edifici danneggiati ma anche di un loro adeguamento sismico. Lo scopo era quindi di garantire la sicurezza degli edifici nei riguardi di possibili eventi sismici futuri e, al tempo stesso, di contenere i costi di intervento proponendo *“operazioni di ristrutturazione condotte su basi ingegneristiche”* in luogo di *“quelle effettuate in termini esclusivamente pratici ed episodici”*.

Nel caso di interventi di riparazione e di adeguamento antisismico su edifici in muratura, le direttive prescrivevano di considerare delle forze statiche orizzontali la cui risultante ( $F_h$ ) era

pari al 35% del carico totale verticale dell'edificio comprensivo dei pesi permanenti ( $G_i$ ) e dei carichi accidentali ( $Q_i$ ) ridotti del coefficiente  $s$  riportato in tabella 3:

$$F_t = 0.35 \sum_i (G_i + sQ_i) \quad (1)$$

Tabella 3. Coefficiente di riduzione del sovraccarico, in funzione della destinazione d'uso del locale, previsto dalle direttive tecniche della L.R. 34/81.

Locale	Coefficiente
Abitazioni, uffici, coperture e balconi	0.33
Locali pubblici suscettibili di affollamento	0.5
Locali pubblici suscettibili di grande affollamento	1.0

La forza  $F_t$  veniva distribuita ai vari livelli secondo il coefficiente di distribuzione  $\gamma_i$ :

$$\gamma_i = h_i \frac{(W_1 + W_2 + \dots + W_n)}{(W_1 h_1 + W_2 h_2 + \dots + W_n h_n)} \quad (2)$$

dove:

$n$  = numero totale dei piani dell'edificio

$W_i$  = peso del piano  $i$ -esimo

$h_i$  = quota del piano  $i$ -esimo dallo spiccato delle fondazioni.

Su ciascuna parete si consideravano agenti separatamente le azioni complanari e quelle ortogonali. Per le verifiche nei confronti di azioni complanari poteva essere impiegato il metodo POR (Tomažević 1978), che richiedeva l'ipotesi di orizzontamenti rigidi nel proprio piano e ben collegati alle pareti in modo da poter considerare una ripartizione delle azioni orizzontali, agenti ad un dato livello, fra i diversi setti murari in funzione della loro rigidezza.

Il metodo POR considerava un comportamento elasto-plastico dei singoli maschi murari, caratterizzato da una rigidezza iniziale  $K_t$ , che teneva conto sia del comportamento flessionale che di quello a taglio, da una forza ultima  $T_u$  e da uno spostamento ultimo  $u_u$  che, a seconda del tipo di muratura, era pari a 1.5 o 2 volte lo spostamento elastico  $u_0$  (Figura 2).

La resistenza di un maschio murario nei confronti di azioni taglianti complanari  $T_u$  era assunta pari alla resistenza di prima fessurazione ed era calcolata (equazione 3) in funzione dello sforzo normale nel pannello, dovuto sia ai carichi verticali ( $\sigma_0$ ) che alla presenza di eventuali tiranti verticali ( $\sigma_y$ ) o orizzontali ( $\sigma_x$ ), e della resistenza caratteristica a taglio ( $\tau_k$ ), i cui valori venivano forniti dalle stesse direttive per alcune tipologie murarie.

$$T_u = \sqrt{1 + \frac{\sigma_0 + \sigma_y + \sigma_x}{1,5\tau_k} + \frac{(\sigma_0 + \sigma_y)\sigma_x}{2,25\tau_k^2}} \quad (3)$$

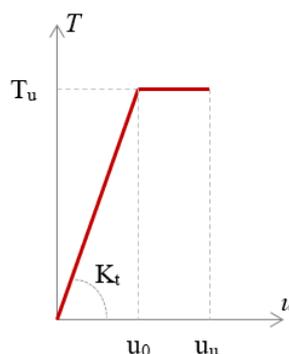


Figura 2. Schematizzazione del comportamento a taglio del singolo maschio murario nella metodologia di calcolo POR.

La verifica era considerata soddisfatta se, in ciascuna delle due direzioni in pianta, ciascun piano era in grado di sviluppare una forza reattiva (data dalla somma delle forze reattive dei maschi murari nel piano) maggiore o uguale alla forza orizzontale agente in corrispondenza del piano stesso.

Le azioni ortogonali alla generica parete erano verificate separatamente dalla verifica POR tramite analisi locali e venivano considerate pari al 35% del peso della parete e dei carichi verticali su di essa agenti.

Le Direttive Tecniche contenevano, inoltre, una raccolta di interventi di consolidamento dei vari elementi strutturali che furono ampiamente adottati nella ricostruzione, talvolta anche acriticamente.

Un confronto fra i livelli di sicurezza richiesti dalle Direttive Tecniche del 1981 e quelli oggi richiesti dalle vigenti normative antisismiche è complesso. Infatti, se da un lato è relativamente semplice confrontare la "domanda" sismica, risulta pressoché impossibile dedurre indicazioni di carattere generale relativamente alla capacità, valutata con metodologie e modellazioni profondamente diverse.

Nel caso del centro storico di Norcia, ipotizzando un sottosuolo di categoria B, per un edificio ordinario in classe d'uso II con modi di vibrare tali da ricadere nel tratto di spettro ad accelerazione costante, l'adeguamento alle NTC 2018 richiede una accelerazione massima spettrale di:

$$S_e(T_1) = a_g S F_0 = 0.255 * 1.16 * 2.376 = 0.7 \text{ g}$$

Poiché oggi il metodo standard per verifiche di edifici esistenti in muratura è l'analisi pushover,

si prescinde dal fattore  $q$  che divide lo spettro di risposta solo in caso di analisi lineare.

Come si è visto, secondo la norma del 1981 il rapporto di verifica in adeguamento fra azione sismica e peso era circa la metà, cioè 0.35.

Se le azioni sismiche in analisi pushover oggi sono certamente maggiori di quelle richieste nel 1981 per l'analisi POR, la situazione relativa alla capacità, cioè alle differenze fra i due metodi di modellazione, calcolo e verifica, è molto più articolata.

L'analisi POR è infatti una analisi non lineare svolta su singoli piani dell'edificio, con verifiche effettuate solo per i maschi murari e solo a taglio, almeno in una prima fase di applicazione del metodo, prima dell'affermarsi del PORFlex (Braga e Dolce 1982) nella seconda metà degli anni '80.

Le combinazioni di carico nel POR erano allo SLU, cioè considerando fattori moltiplicativi del sisma e dei carichi verticali di circa 1.5.

La verifica globale col metodo POR riguardava poi la massima resistenza di piano per ciascuna direzione sismica, in origine addirittura senza considerare effetti torcenti globali.

Completamente diversa è l'analisi pushover che, come noto, effettua una verifica sullo spostamento massimo sostenibile dall'edificio basata su un modello globale dell'intera costruzione e non su modelli di singoli piani. Inoltre, i materiali oggi sono portati in conto con parametri di resistenza e moduli elastici diversi da quelli del 1981, soprattutto nel caso delle verifiche post-intervento; peraltro è stato introdotto il livello di conoscenza con il relativo fattore di confidenza.

I modelli odierni hanno solitamente anche le fasce di piano e i sottofinestra che forniscono contributo irrigidente, così come la tridimensionalità dello stesso modello consente di considerare anche le pareti ortogonali al sisma.

Gli elementi murari nelle analisi pushover odierne hanno capacità deformativa in percentuale della loro altezza, mentre nel POR gli spostamenti erano in controllo di duttilità.

Vi è inoltre la possibilità di modellare i solai di rigidità finita e ciò altera significativamente la distribuzione delle forze sismiche sui maschi murari consentendone una più esatta definizione.

Le verifiche contemplano oggi vari criteri di rottura sia per i maschi che per le fasce (Turnsek Cacovic, Coulomb, pressoflessione nel piano e fuori piano, taglio a scaletta).

Le combinazioni sismiche proposte dalle NTC 2018 prevedono moltiplicatori dei carichi unitari; le azioni sismiche però sono considerate in due direzioni contemporaneamente e sempre tenendo conto di eventuali effetti torcenti.

Come si vede, qualora si volessero confrontare i livelli di sicurezza richiesti dalle norme del 1981 con quelli richiesti dalle norme odierne, la sola strada praticabile appare quella di un confronto diretto su un certo numero di casi rappresentativi, modellando tali edifici sia con il metodo POR che con la moderna analisi pushover, paragonando poi i fattori di sicurezza ottenuti a valle delle verifiche effettuate. Resta, tuttavia, chiaro che l'azione sismica adottata nelle analisi odierne risulta certamente superiore a quella adottata in accordo alla norma del 1981.

#### 4 ANALISI DEI CONTRIBUTI EROGATI PER LA RICOSTRUZIONE E L'ADEGUAMENTO SISMICO DEGLI EDIFICI IN SEGUITO AL SISMA DEL 1979

I contributi statali erogati per la ricostruzione e l'adeguamento sismico degli edifici del comune di Norcia in seguito al terremoto del 1979 sono stati forniti dalla Regione Umbria. Nello specifico, sono stati reperiti i dati per 902 casi, corrispondenti all'84% dei 1079 contributi erogati nel Comune di Norcia. Di questi, 274 casi sono riferiti a particelle catastali che si trovano all'interno delle mura storiche di Norcia e per 189 di essi si disponeva delle schede AeDES redatte a valle della sequenza sismica del 2016.

Le analisi hanno quindi riguardato questo sotto campione di 189 casi di contributo.

La corrispondenza fra importi erogati e schede AeDES non è però sempre biunivoca. In alcuni casi, un solo contributo interessa più particelle catastali che non costituiscono un'unica unità strutturale, per le quali quindi sono state compilate più schede AeDES. In altri casi, il contributo interessa più unità strutturali, delle quali però non si dispone di tutte le schede AeDES. Per tali motivi, a partire dal dato del contributo erogato è stato ricavato il valore del contributo erogato a  $m_q$ , calcolato come rapporto fra contributo e area lorda di tutte le unità strutturali a cui è riferito. L'area lorda di ciascuna unità strutturale è ottenuta come prodotto tra la superficie di piano ricavata dalla mappa catastale

e il numero di piani indicati nella relativa scheda AeDES.

È stato così possibile attribuire un valore del contributo erogato a mq a 247 schede AeDES (nel seguito indicate con unità strutturali in muratura con contributo, USMC), corrispondenti al 37% delle 670 USM analizzate nel precedente lavoro.

Il contributo è espresso in lire e comprende sia la quota riguardante le opere strutturali che quella riguardante le opere di finitura.

I valori minimo, medio e massimo del contributo medio a mq sono rispettivamente:

- 5 389 £/mq (valore minimo)
- 389 635 £/mq (valore medio)
- 2 495 058 £/mq (valore massimo).

Si specifica che i valori estremali sopra indicati sono riferiti a singoli casi. La distribuzione dell'intero campione di 247 USMC in funzione del valore del contributo erogato a mq è rappresentata in Figura 3.

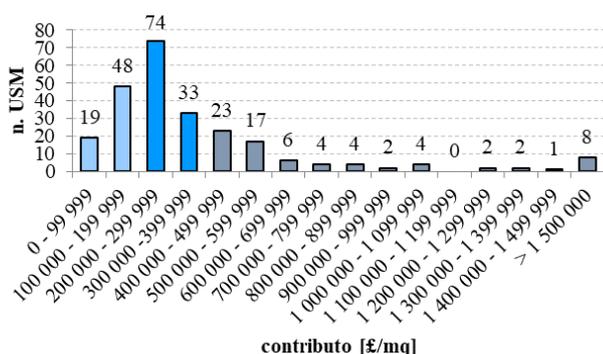


Figura 3. Distribuzione delle USMC in funzione del valore del contributo erogato a metro quadro.

Gli esiti di agibilità e l'indice di danno riportato dalle 247 USMC sono stati confrontati con quelli relativi alle 96 USM per le quali nella scheda AeDES era indicata un'epoca di costruzione antecedente al 1982 e nessuna ristrutturazione o una ristrutturazione eseguita prima del 1982. Osservando i dati riportati in Tabella 4 e rappresentati nelle figure 4 e 5, si nota che le percentuali di unità strutturali inagibili (esito E) sono molto diverse nei due sottocampioni considerati, rispettivamente del 26.3% e del 58.3%; analogamente le unità agibili passano dal 25.9% nel caso di lavori eseguiti nel post sisma del 1979 al 13.5% qualora nessuna azione sia stata intrapresa per mitigare il rischio.

Considerando i valori dell'indice di danno si osserva un comportamento nettamente migliore delle USM con contributo. In questo caso, infatti, il 23.9% delle USMC ha riportato un danno nullo e il 34.8% un indice di danno D1, che corrisponde alla presenza di un danno lieve sulle strutture verticali indipendentemente dalla sua estensione. Molto contenute sono le percentuali di USMC con indice di danno D4 (1.2%) e D5 (0.8%).

Viceversa, le USM senza contributo e senza interventi recenti, hanno riportato un danno nullo D0 solo nel 5.2% dei casi, un danno lieve D1 nel 25% dei casi, mentre per l'8.3% dei casi si ha un danno D4 e per il 2.1% un danno D5. Ciò a chiara testimonianza di quanto gli interventi di rinforzo sismico abbiano inciso sulla riduzione del danno.

Tabella 4. Distribuzione degli esiti di agibilità e dell'indice di danno riportato dalle 247 USMC e dalle 96 USM mai rinforzate o non ristrutturate in epoca recente.

	Esiti di agibilità				Indice di danno					
	A	B	C	E	D0	D1	D2	D3	D4	D5
USM con contributo	25,9%	44,1%	3,6%	26,3%	23,9%	34,8%	35,5%	13,4%	1,2%	0,8%
USM senza contributo e senza interventi	13,5%	27,1%	1,0%	58,3%	5,2%	25,0%	26,0%	31,3%	8,3%	2,1%

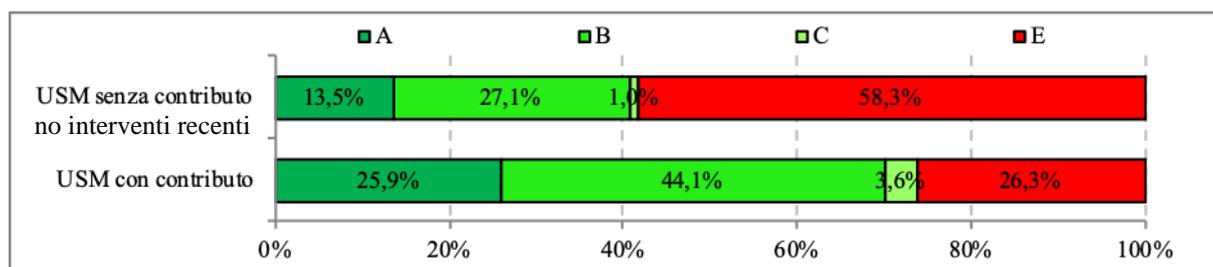


Figura 4. Confronto degli esiti di agibilità riportati dalle 247 USM con contributo e dalle 96 USM costruite prima del 1982 e sulle quali non sono stati realizzati interventi recenti.

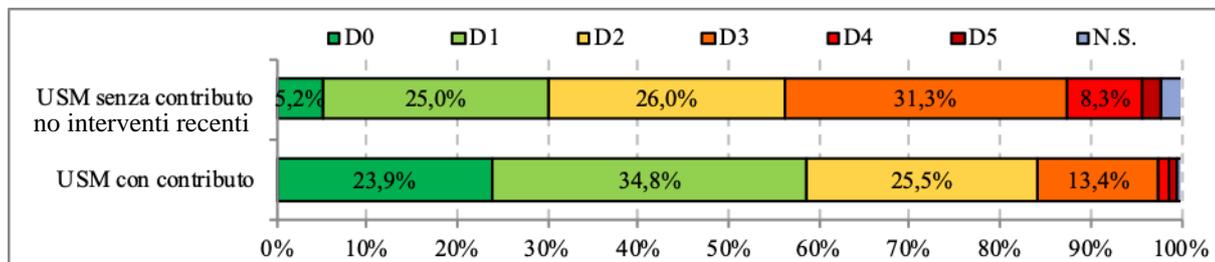


Figura 5. Confronto dell'indice di danno riportato dalle 247 USM con contributo e dalle 96 USM costruite prima del 1982 e sulle quali non sono stati realizzati interventi recenti.

Tenendo presente la distribuzione del campione di 247 USMC riportata in Figura 3, sono stati definiti tre sotto campioni, indicati con I\_1, I\_2 e I\_3, in funzione del valore del contributo erogato al metro quadro, secondo il criterio riportato in Tabella 5.

Tabella 5. Suddivisione del campione di 247 USMC in classi dipendenti dal valore del contributo erogato a mq.

Sotto campione	Contributo a mq [€]	n. USMC
I_1	0 – 199 999	67
I_2	200 000 – 399 999	107
I_3	>400 000	73

In Tabella 6 e nelle figure 6 e 7 sono riportati le distribuzioni degli esiti di agibilità e dell'indice di danno che caratterizzano i tre sotto campioni appena definiti. La percentuale di edifici inagibili con esito E aumenta al diminuire del contributo concesso, passando da un valore del 19.2% del sotto campione I\_3, caratterizzato da un contributo a mq maggiore di 400 000 €, ad un valore del 38.8% per il sotto campione I\_1, caratterizzato da un contributo a mq inferiore a 200 000€ (per il quale si è riscontrata la percentuale più alta di edifici inagibili con esito E). Coerentemente la percentuale di edifici agibili aumenta al crescere del contributo.

Tabella 6. Distribuzione degli esiti di agibilità e dell'indice di danno nei tre sotto campioni individuati in funzione dell'intervalli del contributo medio erogato a mq.

	Esiti di agibilità				Indice di danno					
	A	B	C	E	D0	D1	D2	D3	D4	D5
I_1	19.4%	38.8%	3.0%	38.8%	20,9%	26,9%	32,8%	19,4%	0,0%	0,0%
I_2	28.0%	43.9%	4.7%	23.4%	22,4%	34,6%	29,0%	10,3%	1,9%	0,9%
I_3	28.8%	49.3%	2.7%	19.2%	28,8%	42,5%	13,7%	12,3%	1,4%	1,4%

Si noti, tuttavia, che i risultati ottenuti per l'intervallo intermedio e quello superiore sono fra loro del tutto paragonabili.

Analizzando la distribuzione dell'indice di danno (figura 7) si osserva che la percentuale delle USMC che ha riportato un indice di danno non superiore a D1 nei tre sotto campioni è rispettivamente del 47.8, 57.0% e 71.3%, confermando che unità strutturali in cui è stato investito un maggior contributo hanno riportato un minore danneggiamento.

Sebbene nel sottogruppo I\_1 nessuna unità strutturale abbia riportato un indice di danno superiore a D3, la percentuale di USMC caratterizzata da tale indice (19,4%) è superiore alle percentuali di USMC che negli altri sottogruppi hanno riportato un indice di danno superiore a D2 (13.1% per I\_2 e 15.1% per I\_3). Associando oggi ai diversi livelli di danno riscontrato dagli edifici, i relativi costi di ricostruzione per interventi di riparazione e rafforzamento (in accordo ai recenti dati riportati per la ricostruzione post L'Aquila 2009, Di Ludovico et al. 2017a,b) ed aggiornando i costi degli interventi post 1979, è possibile pervenire mediante confronto spesa/riduzione danno ad una preliminare analisi benefici/costi degli interventi eseguiti.

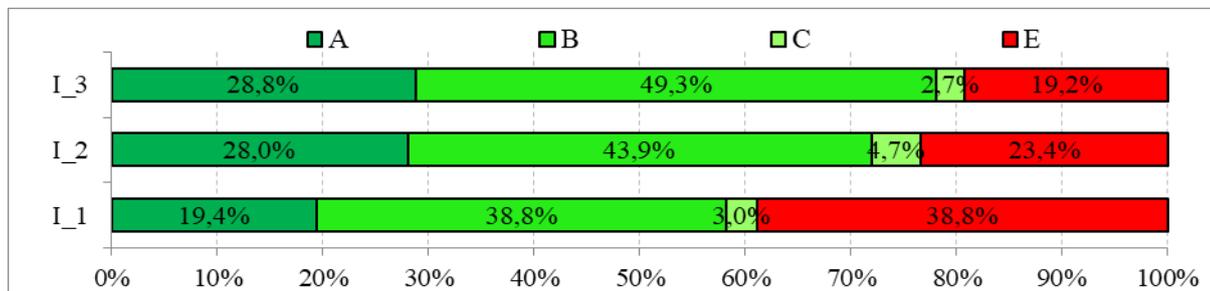


Figura 6. Esiti di agibilità riportati dai tre sotto campioni definiti in funzione del valore del contributo erogato.

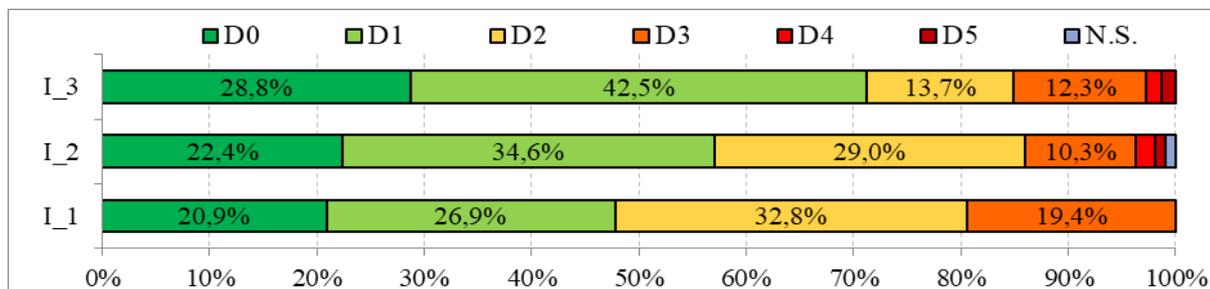


Figura 7. Indici di danno riportati dai tre sotto campioni definiti in funzione del valore del contributo erogato.

## 5 ATTUALIZZAZIONE DEGLI IMPORTI DEI CONTRIBUTI EROGATI

È possibile attualizzare gli importi dei contributi erogati facendo riferimento ai dati ISTAT disponibili nel sito internet “*Rivaluta*”.

Fra gli indici di attualizzazione disponibili è stato considerato l’“indice del costo di costruzione di un fabbricato residenziale” che misura la variazione nel tempo dei costi riferiti alla mano d’opera e ai materiali. Va specificato che l’indice non considera né i costi di acquisto del terreno, né i costi di progettazione, né il margine di profitto dell’impresa edile.

Tra il 1981, anno iniziale della ricostruzione, e il 2018 il costo della mano d’opera registra un aumento del +382,5%, mentre, nello stesso periodo, la variazione del costo dei materiali è del +224,9%. Tali incrementi si riducono notevolmente considerando come intervallo temporale di variazione quello fra il 1990 e il 2018, divenendo +104,01% per la manodopera e +78,51% per i materiali. Viste tali differenze, i singoli contributi potrebbero essere attualizzati sulla base della variazione intervenuta nel periodo che decorre dall’anno della legge di finanziamento cui il contributo fa riferimento e il 2018. Tuttavia, poiché i contributi venivano determinati a partire dal computo metrico di progetto, per una corretta valutazione sarebbe necessario reperire il Preziario della Regione Umbria vigente nel 1981 e i successivi

aggiornamenti. Al momento della scrittura del presente articolo, non è stato ancora possibile reperire tale documentazione, pertanto, in prima approssimazione è stato considerato un incremento medio fra quelli sopra riportati.

A titolo esemplificativo, il contributo medio di 389 635 £/mq, determinato sulle 247 USMC, può essere attualizzato al 2018 considerando un incremento medio del 197,48%. Si ottiene in tal modo un valore espresso in euro (1£=1 936,27£) di 397,4 €/mq.

## 6 CONCLUSIONI

L’analisi del danneggiamento riportato dagli edifici in muratura del centro storico di Norcia a seguito della sequenza sismica del 2016 ha mostrato l’efficacia degli interventi di ristrutturazione realizzati nel corso della ricostruzione che seguì il terremoto del 19 settembre 1979.

Nel presente articolo sono stati analizzati i contributi erogati dallo Stato per la ricostruzione post 1979, sempre relativamente agli edifici del centro storico di Norcia.

Il confronto degli esiti di agibilità e dell’indice di danno riportato da unità strutturali che hanno beneficiato di contributo con quelli relativi a unità strutturali che invece non sono state oggetto di recenti interventi di rinforzo ha confermato il miglior comportamento delle prime. Gli investimenti effettuati per il rafforzamento sismico post terremoto del 1979 si

sono rilevati efficaci per ridurre sensibilmente il numero di edifici con esito di agibilità E, per i quali il processo di ricostruzione ed assistenza alla popolazione residente richiede tempi, e relativi costi, più rilevanti. Inoltre, il grado di danneggiamento è mediamente risultato inferiore. Analizzando il comportamento delle unità strutturali in funzione del valore del contributo erogato a mq, sono state riscontrate differenze significative, sempre in termini di esiti di agibilità e danneggiamento conseguenti al terremoto del 2016, fra le unità strutturali per le quali il contributo era inferiore a 200 000£ e quelle in cui la spesa è stata superiore a tale soglia. Tali differenze non si osservano invece fra gli edifici in cui il contributo era compreso fra 200 000 e 400 000 £ e quelli in cui era superiore a 400 000 £.

Ulteriori approfondimenti verranno condotti su singoli casi studio di cui si reperiranno computi metrici dettagliati, in modo da poter considerare separatamente il contributo relativo alle opere strutturali e quello relativo alle finiture. Ciò potrà consentire lo sviluppo di analisi benefici/costi che, tenendo conto anche di voci di costo indiretto quali ad esempio l'assistenza alla popolazione, possano mettere in luce la bontà e la necessità di implementare politiche di incentivo di interventi di mitigazione del rischio sismico.

## 7 RINGRAZIAMENTI

Questo studio è stato condotto all'interno del progetto DPC-ReLUIS PE2019-2021, WP7: "Analisi di dati di danno e ricostruzione post-sisma".

Si ringraziano l'Arch. Primo Angelucci e l'Ing. Paolo Gattini della Regione Umbria, per aver fornito i dati analizzati nel presente articolo.

## 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.
- Borri, A., Sisti, R., Prota, A., Di Ludovico, M., Costantini, S., Barluzzi, M., De Maria, A., Aisa, E., Bragetti, A., Savi, F., Fagotti, G., Baldi, L., 2018. La risposta sismica degli edifici ordinari del centro storico di Norcia alla sequenza sismica del 2016, Structural, Paper 07. DOI 10.12917/Stru216.07.
- Braga, F., Dolce, M., 1982. Un metodo per l'analisi di edifici multipiano in muratura antisismici, Proc. 6th I.B.Ma.C., Roma.
- 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., Speranza E., Giordano F., Borzi B., Bocchi F., Conte C., Di Meo A., Faravelli M, Pascale V., 2017, Da.D.O – Uno strumento per la consultazione e la comparazione del danno osservato relativo ai più significativi eventi sismici in Italia dal 1976. ANIDIS 2017, Pistoia.
- Reale C., Scheibel, B., Vignoli, F., Decanii, L.D., Sorrentino, L., 2004. Il regolamento Edilizio di Norcia del 1860: fra storia sismica e storia urbanistica, XI Congresso Nazionale "L'Ingegneria Sismica in Italia, Genova, 25-29 gennaio.
- Regione Umbria, 1980, Legge regionale n. 50 del 26 maggio. Norme sulle procedure per l'accertamento dei danni conseguenti agli eventi sismici del 19 settembre 1979 e successivi e sugli strumenti di programmazione dei relativi interventi a favore delle popolazioni colpite. Bollettino Ufficiale n. 34 del 28/05/1980
- Regione Umbria, 1981, L.R. n. 34 del 1° gennaio. Provvidenze a favore della Valnerina e degli altri Comuni danneggiati dagli eventi sismici del 19 settembre 1979 e successivi.
- Regione Umbria, 1981, Direttive tecniche ed esemplificazione delle metodologie di interventi per la riparazione ed il consolidamento degli edifici danneggiati da eventi sismici
- Regione Umbria, 1985. Legge regionale n. 20 del 22 aprile. Ulteriori provvidenze per la prosecuzione dell'attività di ripristino e di ricostruzione delle opere e dei beni colpiti dal sisma del 19 settembre 1979.
- Regione Umbria, 1987. Legge regionale n. 41 del 20 agosto, Ulteriori norme per la prosecuzione dell'attività di ripristino e ricostruzione delle opere e dei beni colpiti dal sisma del 19 settembre 1979.
- Regione Umbria, 1989. Legge Regionale n. 25 del 18 settembre. Disposizioni relative al rifinanziamento delle attività di ripristino e di ricostruzione delle opere e dei beni colpiti dal sisma del 19 settembre 1979, nonché per il proseguimento dell'azione integrata di cui all'art. 3 della L.R. 30 aprile 1985, n. 40. <http://rivaluta.istat.it:8080/Rivaluta/>
- Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P., 2016. Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15). Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), <https://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15>.
- Sisti, R., Di Ludovico, M., Borri, A., Prota, A., 2018. Damage assessment and the effectiveness of prevention: the response of ordinary unreinforced masonry buildings in Norcia during the Central Italy 2016-2017 seismic sequence. Bulletin of Earthquake Engineering, <https://doi.org/10.1007/s10518-018-0448-z>.
- Tomažević, M., 1978. The computer program POR. Report ZRMK, Institute for Testing and Research in Materials and Structures, Ljubljana, Slovenia.