

Modalità di danno ed effetti degli interventi di miglioramento sismico in alcune chiese del Centro Italia

Maria Adelaide Parisi

Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle costruzioni e Ambiente Costruito
Politecnico di Milano, piazza Leonardo da Vinci, 32, 20133 Milano, maria.parisi@polimi.it

Nelle attività di rilievo dei danni subiti dal patrimonio edilizio a seguito di un terremoto si incontra frequentemente il caso di edifici precedentemente sottoposti ad interventi di carattere strutturale, volti al miglioramento del comportamento sismico. L'analisi di queste situazioni è particolarmente utile perché, esaminando l'esito dell'intervento in relazione alle diverse caratteristiche e ai dettagli dello stesso, se ne evidenziano le potenzialità e le criticità: se ne possono quindi definire con maggiore precisione i campi di validità e mettere a punto le modalità di applicazione. Come noto, osservazioni sul campo, già dopo il terremoto di Umbria e Marche del 1997 avevano messo in luce l'inopportunità di alcuni interventi, o meglio di alcune loro modalità di realizzazione, peraltro indotte dalle normative tecniche dell'epoca.

Il caso più evidente è quello della realizzazione di elementi di caratteristiche meccaniche, quali rigidità, capacità e soprattutto massa, molto superiori a quelle della muratura che dovevano proteggere. L'inserimento di cordoli in c.a. di grande spessore a collaborare con murature di qualità scadente, la sostituzione di coperture lignee con altre molto più massicce e rigide sono gli esempi più noti di una filosofia progettuale che in base a esiti insoddisfacenti è stata meglio calibrata nelle norme successive. Con riferimento alla sostituzione delle coperture lignee, ad esempio, la Circolare del 2 febbraio 2009 relativa alle Norme Tecniche per le Costruzioni, NTC 2008, indica "È in linea generale opportuno il mantenimento dei tetti in legno, in quanto limitano l'entità delle masse nella parte più alta dell'edificio e garantiscono un'elasticità simile a quella della compagine muraria sottostante." La figura 1 mostra il collasso di coperture costituite da strutture in cemento in forma di capriata, che hanno coinvolto l'edificio o per lo meno non hanno costituito per esso un vincolo efficace a favorire la collaborazione tra le murature.



Figura 1 – Collasso delle strutture di copertura: a sinistra, Cesi, terremoto di Umbria-Marche 1997, a destra Amatrice, terremoto del Centro Italia 2016

Analogamente, le indicazioni riguardanti l'inserimento di cordoli armati ai vari orizzontamenti riportavano, nelle Norme tecniche relative alle costruzioni antisismiche del 1986 (G.U. 12-5-1986, n. 108) "Qualora le murature portanti siano prive di cordoli armati in corrispondenza degli orizzontamenti, questi dovranno essere realizzati con altezze non inferiori allo spessore del solaio", mentre l'indicazione è stata trasformata nella versione delle NTC 2008 in "va invece evitata l'esecuzione di cordolature ai livelli intermedi, eseguite nello spessore della parete (specie se di muratura in pietrame), dati gli effetti negativi che le aperture in breccia producono nella distribuzione delle sollecitazioni sui paramenti".

Nell'ambito del costruito storico le chiese presentano una vulnerabilità sismica particolarmente elevata a causa delle loro caratteristiche costruttive, con grandi luci libere, pareti di notevoli dimensioni, ampie aperture, che rendono tali elementi limitatamente interconnessi. Di conseguenza, i danni registrati nei terremoti che si sono susseguiti in Italia negli ultimi decenni sono stati notevoli, con caratteristiche diverse, legate ad aspetti locali sia costruttivi che relativi in qualche caso ai tipi di intervento di riparazione e di miglioramento sismico eseguiti in precedenza.

Alcuni sopralluoghi condotti nella regione Marche colpita dal recente terremoto del Centro Italia hanno permesso di osservare i danni ad alcune chiese in periodi diversi, durante il lungo periodo di attività sismica.

Gli eventi di maggiore importanza nella sequenza sismica dell'Italia centrale risalgono al 24 agosto 2016 quando si sono manifestati due eventi rispettivamente di M5,4 e M6,0 con epicentri nella provincia di Rieti, a fine ottobre, più a nord, con magnitudo M5,4 e M5,9 il 26 ottobre e M6,5 il 30 ottobre, e infine di nuovo a sud in gennaio. Queste date sono qui di interesse in quanto i sopralluoghi a cui si fa riferimento sono stati condotti agli inizi di ottobre, prima degli eventi particolarmente intensi di fine mese molto prossimi alle zone visitate, e successivamente nella primavera 2017. Questa seconda visita ha permesso di esaminare nuovi casi, ma anche osservare o conoscere la risposta di chiese già visitate in precedenza per le quali divenivano possibili considerazioni sull'evoluzione del danno. Alcune di queste chiese erano state oggetto di interventi di riparazione e miglioramento sismico dopo il terremoto di Colfiorito, Umbria-Marche, del 1997. Le osservazioni sul campo hanno permesso alcune considerazioni sia su aspetti tipici di questi edifici che hanno condizionato il danno, sia sugli effetti di alcuni interventi precedentemente applicati. Un'analisi più dettagliata è riportata in (Parisi M.A., Sferrazza Papa G., atti convegno IFCRAS2017; Parisi, M.A., Chesi C., Sferrazza Papa, G., Proceedings, European Conference on Earthquake Engineering, ECEE, giugno 2018).

Il metodo di riferimento

Il lavoro svolto in Italia sulla base del danno sismico osservato nell'arco di alcuni decenni ha portato a una sistematizzazione delle modalità di danno tipiche degli edifici in muratura e specificamente delle chiese, viste come insieme di parti o componenti caratteristiche, quali la facciata, l'abside, la torre campanaria, che tendono a sviluppare danno localmente, con limitata interazione. Poiché il danno rilevato in questi macro-elementi si presenta in modo ricorrente, i tipi principali di macro-elemento e le modalità di danno relative a ciascuno di essi sono stati classificati ed utilizzati come riferimento nelle analisi sia di danno post-evento sia nella valutazione speditiva della vulnerabilità in una prospettiva di prevenzione. Queste valutazioni sono basate in genere su analisi visive, con opportune scale di riferimento.

La prima definizione dei macro-elementi riferiti alle chiese fu sviluppata con riferimento ai danni rilevati nel terremoto del Friuli, 1976 (Doglioni, F., Moretti, A., Petrini, V., *Le chiese e il terremoto*, LINT, Trieste, 1994). Le esperienze che si sono aggiunte nei terremoti successivi hanno condotto alla formulazione di 28 meccanismi tipici di danno riferiti ai macro-elementi principali. Tali meccanismi sono riportati come riferimento nella scheda per la valutazione del danno alle chiese ufficialmente adottata nelle operazioni di censimento dei danni in Italia (PCM-DPC, MiBAC, Scheda per il rilievo del danno ai beni culturali – Chiese, modello A-DC, 2006). Questa scheda è stata utilizzata nei sopralluoghi effettuati a seguito dei terremoti di L’Aquila, 2009, della pianura padano-emiliana, 2012, e del Centro Italia, 2016. A questi macro-elementi e alle loro modalità di danno si fa riferimento per descrivere i casi esaminati.

Meccanismi di facciata

I meccanismi che riguardano la facciata, sviluppando danno per taglio nel suo piano o, più facilmente, provocandone il ribaltamento, sono estremamente frequenti in ogni terremoto.

Anche nelle chiese esaminate questi casi si sono presentati frequentemente, con segni di distacco e inizio di rotazione fuori piano; quest’ultima però non si mai è manifestata completamente, verosimilmente per la presenza di presidi efficaci. In una di queste chiese, si erano chiaramente attivati alcuni tiranti, predisposti a ritegno della facciata poco tempo prima dell’evento.

Un caso interessante è costituito da una chiesa del maceratese che ha riportato danni corrispondenti a meccanismi diversi. Per quanto riguarda la facciata è stato osservato il progredire del meccanismo di distacco della zona del timpano al succedersi degli eventi. In figura 2 sono mostrate una prima fase e una fase avanzata del danno, con fessurazioni messe in sicurezza al centro dell’elemento e lesioni importanti di distacco al bordo della volta, protette da opere provvisorie esterne. Il danno è visibile all’interno dal livello del timpano grazie a un soppalco presente a causa di lavori di restauro che erano in corso al primo manifestarsi del terremoto.



Figura 2 – Progressione del danno

Nella chiesa in figura 3 la porzione sommitale della facciata alta e snella di forma rettangolare ha subito una rotazione con le scosse del 26 e 30 Ottobre con massima ampiezza di spostamento all'estremità sinistra. E'

evidente come la tipologia abbia influito sulla risposta. In un altro caso, la facciata, connessa con puntoni metallici al corpo principale, non ha riportato lesioni.



Figura 3 – Messa in sicurezza della facciata danneggiata per rotazione

Un caso interessante riguarda la chiesa di figura 4, che ha sviluppato un danno limitato alla facciata. La stessa chiesa aveva subito importanti interventi dopo il terremoto del 1979 in Valnerina, tra cui uno spesso cordolo sommitale e una copertura in laterocemento dei piani di falda; tuttavia i danni notevoli riportati nel terremoto del 1997 avevano suggerito di ridurre le masse e le rigidità; il comportamento nel terremoto del 2016 è stato molto più favorevole (Sferrazza Papa, G., Silva, B., Assessment of post-earthquake damage: St. Salvatore 3 church in Acquapagana (MC), Italy, *Buildings*, 2018). Il caso è attualmente in studio per confrontare analiticamente le due situazioni strutturali anche in relazione alle caratteristiche dei due eventi.



Figura 4 – Facciata con danni limitati

Meccanismo laterale d'aula

Nella stessa chiesa di figura 2 si è manifestato un ulteriore meccanismo di danno che ha coinvolto la volta cilindrica con la lesione sommitale mostrata dalla figura 5. Nella serie dei meccanismi individuati come

riferimento per il danno alle chiese, questo caso corrisponde a una rotazione per flessione fuori piano della sommità delle pareti della navata, spesso favorita dalla spinta delle volte o della copertura. La volta, allontanandosi gli appoggi, si fessura con la formazione di una linea di cerniera in sommità che porta, in condizioni estreme, al collasso. Lo stesso meccanismo aveva causato numerosi crolli nelle chiese dell'Emilia, particolarmente sensibili a questa modalità di danno per le loro caratteristiche costruttive. In questo caso, la volta ha subito il danno mostrato, ulteriormente sviluppatosi in seguito con apertura della lesione e un maggiore abbassamento degli arconi. Il suo sviluppo è però stato limitato dalla presenza di catene. Ne è prova la rottura per trazione di una catena in posizione a metà della navata in agosto 2016, e di ulteriori rotture di catene in seguito alle scosse di fine ottobre. A quel tempo la chiesa è stata prontamente messa in sicurezza con un intervento d'urgenza consistente nella sostituzione e nell'incremento delle catene, evitando danni ulteriori.

Oltre al ruolo attivo delle catene, gli interventi di miglioramento sismico che erano stati eseguiti nella zona di copertura sembrano aver prodotto l'effetto atteso, contribuendo alla protezione dell'edificio. La struttura lignea di copertura era stata sostituita con una nuova struttura in legno lamellare ed era stata realizzata una efficace connessione ai bordi superiori delle pareti con un cordolo leggero in acciaio reticolare.



Figura 5 – Fessurazione in sommità di una volta

Danni alle volte

Le volte, spesso in foglio, sono risultate uno degli elementi maggiormente lesionati, con danni spesso estesi e con alcuni casi di crollo.

La figura 6 mostra il danno di una volta dopo le scosse di fine ottobre estesosi notevolmente rispetto alla situazione precedente. La chiesa, a pianta circolare, mostrava alla prima ispezione lesioni in queste volte a vela

che sorreggono il tamburo e la cupola, non significativamente lesionati. La cerchiatura esterna apposta qualche tempo prima sul tamburo per mezzo di tiranti in acciaio ha verosimilmente protetto questi elementi. Il danno si è però manifestato concentrandosi nelle volte sottostanti, più complesse da proteggere con interventi limitati.



Figura 6 – Danni a una volta a vela

L'aggravarsi del danno con il proseguire degli eventi sismici è ben visibile nel caso in figura 7, dove la volta di mattoni in foglio a copertura della navata mostra dapprima un crollo localizzato in corrispondenza dell'estremità di ingresso. E' possibile osservare la composizione della struttura e il piccolo spessore degli elementi. Successivamente l'intera volta è collassata: nell'immagine a destra è ormai visibile la struttura lignea di copertura. Il miglioramento sismico di queste volte leggere e deboli, che implica non semplici interventi e che sembra trovare soluzioni fattibili nell'uso di materiali avanzati, quali i fibro-rinforzati, non è apparso per ora diffuso.



Figura 7 – Collasso progressivo di una volta in foglio

Danni alle lanterne

Un aspetto particolare dei danni riscontrati riguarda le lanterne. Questi elementi, numerosi, manifestavano frequentemente danni per torsione, come mostra il caso in figura 8, che alla prima ispezione presentava lesioni alla base e in sommità a livello delle aperture. Negli eventi successivi si è a conoscenza dell'effettivo sviluppo di ulteriori danni alla lanterna stessa.

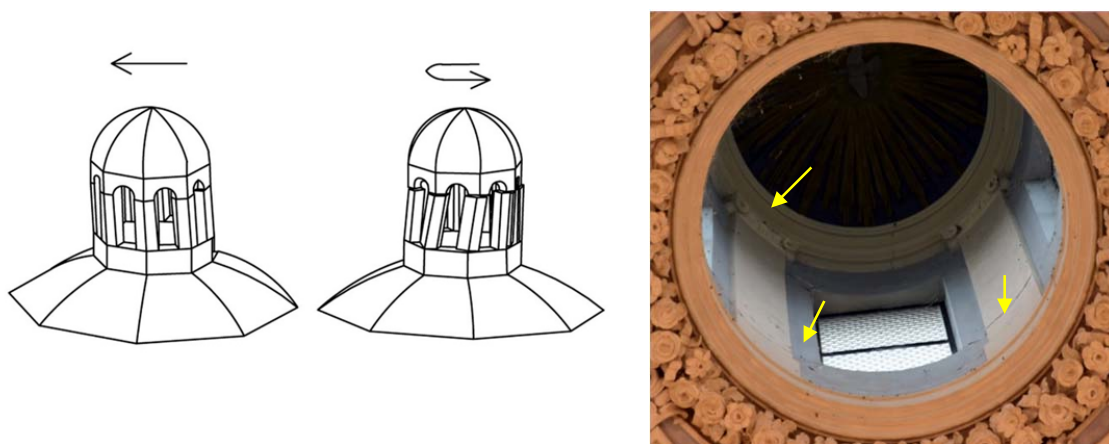


Figura 8 – Danno per torsione di una lanterna

Osservazioni generali

Quanto fin qui riportato riguarda alcune delle chiese esaminate e alcuni dei danni osservati, che sono apparsi di interesse per la loro frequenza, per la modalità particolare e per l'associazione con la presenza di interventi di miglioramento.

In generale, le chiese rilevate avevano subito interventi di riparazione e miglioramento nel periodo successivo al terremoto di Umbria-Marche del 1997. Sull'esperienza di questo terremoto e al contrario di quanto osservato in territori diversi in occasione di altre campagne di rilievo danni, gli interventi eseguiti in questa zona erano per lo più caratterizzati da un'attenzione a non creare eccessive concentrazioni di massa e rigidità, come nel caso già citato e non unico dei cordoli sommitali in acciaio o di cerchiature e legature per mezzo di tiranti. Le osservazioni sul campo hanno permesso di fare alcune prime considerazioni, in attesa di maggiore approfondimento. Alcuni interventi semplici e di limitato impatto si sono confermati efficaci a evitare o limitare le tipologie di danno per le quali erano stati previsti; in alcuni casi il danno si è sviluppato in altre posizioni, presumibilmente per una soglia d'innesco più elevata.

Come conseguenza degli eventi sismici occorsi, dopo il primo sopralluogo si sono prodotti, come prevedibile, ulteriori danni alle strutture già indebolite, sviluppando gli stessi meccanismi di danno già iniziati, in qualche caso con collassi locali. Pur con danni aggravati, e alcune severe perdite di elementi di interesse culturale, la fabbrica nel suo insieme per le chiese viste si è conservata.