



CHIESE NEL TERREMOTO DEL CENTRO ITALIA: CONFRONTI E OSSERVAZIONI

M.A. Parisi, G. Sferrazza Papa

Politecnico di Milano, DABC, Milano

SOMMARIO

Le chiese, caratterizzate da un'alta vulnerabilità sismica dovuta alle loro caratteristiche costruttive, subiscono in genere danni notevoli durante i terremoti. Alcuni sopralluoghi condotti nella regione Marche colpita dal recente terremoto del Centro Italia hanno permesso di osservare i danni ad alcune chiese sia agli inizi di ottobre 2016, dopo gli eventi originati nella provincia di Rieti, che dopo gli eventi successivi, nella primavera 2017. Nel sopralluogo più recente è stato possibile ispezionare nuovi edifici di culto, ma anche rivedere chiese già esaminate nella prima visita, per le quali divenivano così possibili considerazioni sull'evoluzione del danno. Questo aspetto è di particolare interesse, soprattutto considerando che alcune di queste chiese erano state oggetto di interventi di riparazione e miglioramento dopo il terremoto di Umbria-Marche del 1997 e che sono state possibili alcune prime considerazioni a questo riguardo.

1. INTRODUZIONE

Nell'ambito dell'edilizia storica le chiese presentano un'alta vulnerabilità sismica legata alle loro caratteristiche costruttive, quali grandi spazi liberi, alte pareti, grandi aperture, torri ecc. Di conseguenza, i danni registrati nei vari 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.

Lo studio dei danni alle chiese, per la loro importanza artistica e sociale, oltreché religiosa, e per la loro numerosità sul territorio, ha concentrato notevole attenzione. La letteratura relativa a danni osservati e alla proposta o descrizione degli interventi è molto ampia. Si veda a titolo di esempio per i terremoti più recenti Lagomarsino e Podestà (2004a, 2004b, 2004c). Da Porto et al. (2012); Sorrentino et al. (2014).

Il lavoro svolto dalla comunità dei ricercatori operanti in Italia nel campo dell'ingegneria sismica nell'arco di alcuni decenni ha portato a una sistematizzazione delle modalità di danno delle chiese, viste come insieme di macro-elementi. Poiché il danno rilevato nei vari

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 a scopo preventivo. Queste valutazioni sono basate in genere su analisi visive, con opportune scale di riferimento. Poiché il danno, ed eventualmente il collasso, se la qualità muraria è sufficiente, si presenta con la formazione di blocchi coesi delimitati da linee di frattura, il limite di collasso è schematizzabile con la formazione di un cinematismo. Ne consegue quindi anche la possibilità di valutare la capacità della struttura nei confronti dei meccanismi attraverso un equilibrio limite.

La prima definizione dei macro-elementi riferiti alle chiese è sviluppata con riferimento ai danni rilevati nel terremoto del Friuli, 1976 (Doglioni et al. 1994). Le esperienze raccolte nei terremoti successivi hanno condotto alla formulazione di 28 meccanismi di danno riferiti ai macro-elementi principali. Tali casi sono riportati nella scheda di valutazione del danno alle chiese ufficialmente utilizzata nelle operazioni di censimento dei danni (A-DC 2009). Seguendo tale scheda sono stati svolti i sopralluoghi nei terremoti di L'Aquila 2009, Emilia 2012 e Centro Italia 2016.

In questo lavoro si esaminano alcune situazioni di danno riscontrate a seguito del terremoto del Centro Italia del periodo 2016, con riferimento ad alcuni meccanismi tipici di danno.

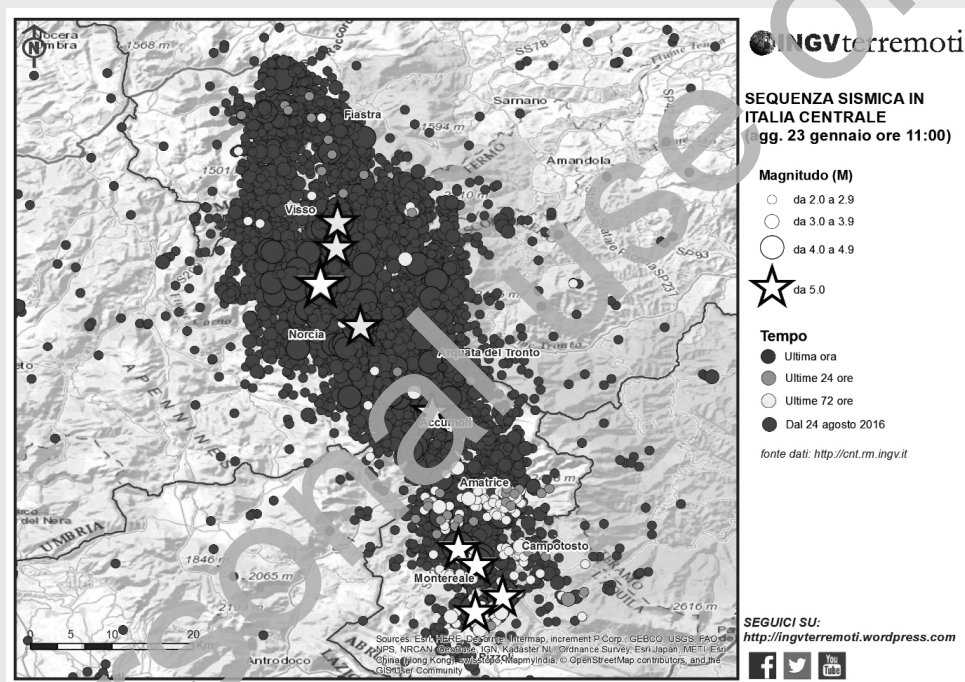


Figura 1. Sequenza sismica in Italia centrale (INGV) fino al 23 gennaio 2017; le stelle bianche rappresentano gli eventi con magnitudo 5 o superiore; Amatrice si trova nella parte inferiore della zona indicata; la stella più in alto è presso Visso, Norcia è presso la quarta stella dall'alto

In figura 1 è riassunta la sequenza sismica dell'Italia centrale. In particolare, il 24 agosto 2016 si sono manifestati due eventi rispettivamente di M5,4 e M6,0 con epicentro nella parte sud dell'area indicata, mentre gli eventi di fine ottobre, più a nord, hanno presentato magnitudo M5,4 e M5,9 il 26 ottobre e M6,5 il 30 ottobre. Queste date sono di interesse qui in quanto i sopralluoghi a cui si fa riferimento sono stati condotti nella regione Marche in periodi diversi. Alcuni sopralluoghi si sono svolti agli inizi di ottobre, quindi prima degli eventi particolarmente intensi di fine mese che avevano inoltre epicentri più prossimi alle zone visitate. Una successiva visita a primavera 2017 ha permesso di vedere nuovi casi, ma anche osservare o conoscere la risposta di chiese già visitate per le quali divenivano possibili considerazioni sull'evoluzione del danno. Questo aspetto è di particolare interesse, in quanto alcune di queste chiese erano state oggetto di interventi di riparazione e miglioramento dopo il terremoto di Colfiorito, Umbria-Marche, del 1997. L'analisi di queste situazioni richiederà ulteriori approfondimenti, tuttavia le osservazioni sul campo hanno permesso di fare alcune prime considerazioni che si discutono nel seguito.

2. OSSERVAZIONI DI DANNO

Il riferimento ai macro-elementi componenti l'edificio e ai meccanismi in essi sviluppati è utile per descrivere e catalogare comportamento e danni in maniera omogenea in una prassi ormai diffusa. Con riferimento a tale schema si esaminano alcuni dei casi osservati.

2.1. Meccanismi di facciata

I meccanismi che riguardano la facciata sono estremamente frequenti in ogni terremoto e dettagliatamente studiati (ad esempio, Casolo 2017)..



Figura 2. Progresso del danno alla facciata

Anche nelle chiese esaminate si sono presentati alcuni di questi casi, con segni di distacco e incipiente rotazione fuori piano, che però non si è manifestata completamente, possibilmente per la presenza di presidi. In un caso, tiranti volti a bloccare la facciata erano stati predisposti di recente. In figura 2 la vista esterna di una chiesa del maceratese mostra il progredire del danno nella zona del timpano al succedersi degli eventi. L'esterno ha una fessurazione modesta nella foto di sinistra; dopo gli eventi di fine ottobre il danno si è espanso e sono stati installati presidi provvisori. La figura 3 mostra il danno all'interno, da un sopralco presente a causa di restauri in corso al tempo del sisma. La foto a sinistra, dello stesso giorno della foto in figura 2 a sinistra, mostra comunque lesioni importanti al centro e distacco in corrispondenza del bordo della volta nella zona di sinistra, che è risultato molto più avanzato al secondo sopralluogo.



Figura 3. Progresso del danno alla facciata, vista dall'interno



Figura 4. Danno a facciata con timpano rettangolare

Nella chiesa in figura 4 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. Se messa a confronto con le lesioni visibili nella facciata precedente è evidente come la tipologia costruttiva e la storia dei due manufatti storici abbiano influito sulla risposta. Nel secondo caso il meccanismo è stato favorito dalla snellezza e scarso ancoraggio di una porzione della facciata alla copertura.

2.2. Meccanismo laterale d'aula

Nella stessa chiesa di figura 2 si è manifestato un secondo meccanismo di danno che ha coinvolto la volta cilindrica con la lesione sommitale mostrata dalla figura 5.



Figura 5. Fessurazione in sommità alla volta

Nella serie dei 28 meccanismi relativi alle chiese, questo caso corrisponde a una rotazione per flessione fuori piano della sommità delle pareti della navata, favorita dalla spinta delle volte (meccanismo 5) o della copertura (meccanismo 19). Questo meccanismo è stato causa di numerosi crolli, ad esempio, per le chiese dell'Emilia e spesso causa di collasso progressivo che coinvolge le strutture sottostanti (Parisi et al., 2015). In questo caso, la volta ha subito il danno mostrato, ulteriormente sviluppatosi in seguito con lesione più ampia e un maggiore abbassamento degli arconi. Il suo sviluppo è però stato limitato dalla presenza di catene, considerate un presidio contro questo tipo di danno. Ne è prova la rottura per trazione di una catena in posizione centrale, e di ulteriori rotture alle scosse di fine ottobre. La chiesa è stata messa in sicurezza con la riparazione e l'incremento delle catene. Favorevole è stato verosimilmente il buon collegamento con la copertura, rimasta intatta e funzionante, con la presenza di un cordolo leggero in acciaio reticolare.



Figura 6. Danno alle volte

2.3. Danni alle volte

Le volte sono apparse nei sopralluoghi come uno degli elementi maggiormente lesionati nelle chiese della regione, con danni spesso estesi e con alcuni casi di crollo.

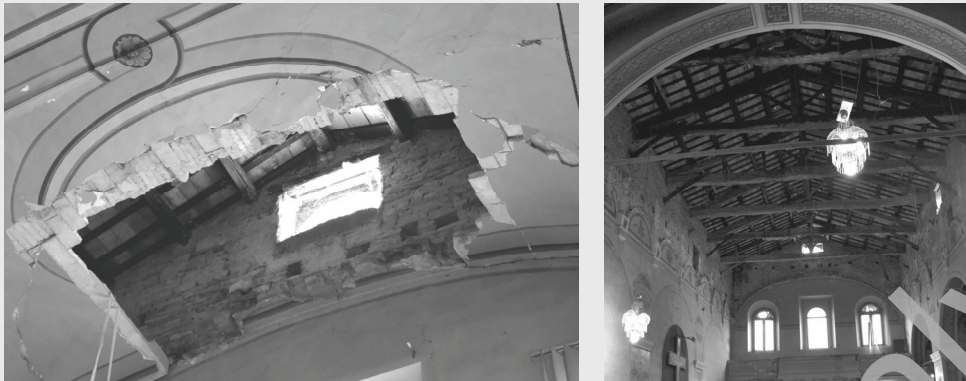


Figura 7. Stadi di collasso di una volta

La figura 6 mostra il danno di una volta accresciutosi con le scosse di fine ottobre. La chiesa, a pianta circolare, mostrava alla prima ispezione serie lesioni in queste volte a vela che sorreggono il tamburo e la cupola, tuttora non significativamente lesionati. Il danno si è aggravato in seguito come mostra l'immagine a destra, arrivando al collasso di una delle vele. La cerchiatura esterna apposta qualche tempo prima sul tamburo per mezzo di tiranti in acciaio ha verosimilmente protetto la parte superiore. Il danno si è manifestato nelle volte sottostanti, più complesse da proteggere con interventi limitati.

L'aggravarsi del danno con il proseguire degli eventi sismici è particolarmente visibile nel caso in figura 7. La volta di mattoni in foglio, di piccolo spessore, che copriva la navata ha subito un crollo localizzato nella zona di ingresso, che ne mette in mostra la struttura. Successivamente si è verificato il crollo dell'intera volta, visibile nella seconda immagine. Il miglioramento sismico di queste volte implica non semplici interventi preventivi.

2.4. Danni alle lanterne

Un aspetto particolare dei danni riscontrati riguarda le lanterne. Questi elementi, numerosi, presentavano frequentemente danni per torsione, come mostrano i casi in figura 8. In essa sono visibili lesioni alla base e in sommità a livello delle aperture. Nel caso a sinistra al tempo della prima ispezione non si riscontravano altri danni alla cupola, tuttavia l'eventuale crollo della lanterna in presumibili scosse di assestamento costituiva un pericolo che ha indotto alla chiusura della chiesa al pubblico. Pur non avendo potuto avere riscontro diretto, negli eventi successivi si è a conoscenza dell'effettivo sviluppo di ulteriori danni alla lanterna stessa. La lanterna a destra nella foto presenta invece un diverso caso, già nella situazione della primavera 2017.

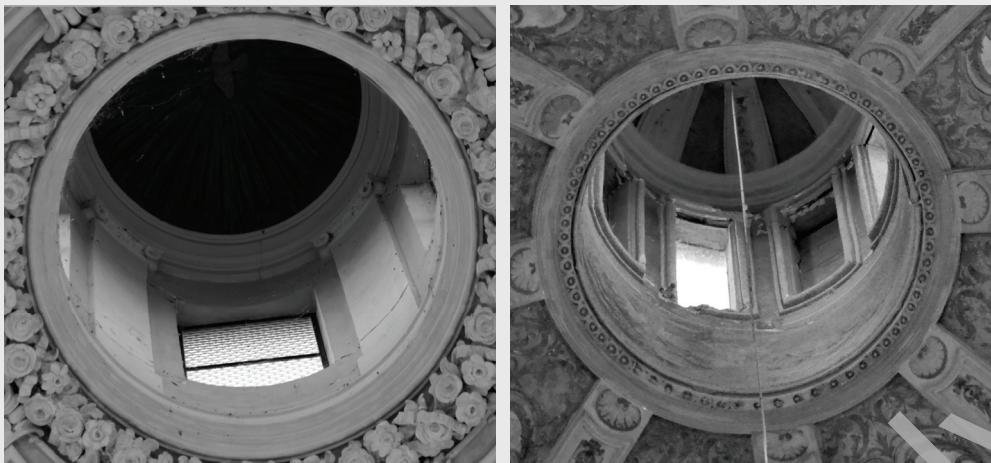


Figura 8. Danni alla base e in sommità delle lanterne

2.5. Altri meccanismi di danno e osservazioni generali

Quanto fin qui riportato riguarda alcune delle chiese esaminate e alcuni dei danni osservati, che sono apparsi di interesse o per la loro ricorrenza o per la modalità particolare. Alcune altre osservazioni sono in fase di analisi e saranno meglio sviluppate in seguito.

Una particolarità di comportamento osservata ripetutamente riguarda la presenza di danno per rotazione di elementi. Questo caso, già osservato per la seconda facciata esaminata e per le lanterne, è stato riscontrato in alcune celle campanarie, secondo un meccanismo già catalogato per i campanili e, infine, al di là del caso delle chiese, anche nella torre di un palazzo.

In generale, le chiese rilevate avevano subito interventi di riparazione e miglioramento nel periodo successivo al terremoto di Umbria-Marche del 1997. Al contrario di quanto osservato in territori diversi in occasione di altri terremoti, 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 elevando la soglia d'innescio.

Come conseguenza degli eventi sismici occorsi dopo il primo sopralluogo come prevedibile si sono prodotti 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.

3. CONCLUSIONI

Sopralluoghi condotti per alcune chiese della regione Marche in due periodi diversi, dopo gli eventi sismici di agosto-settembre 2016 e nella primavera 2017, hanno permesso di osservare l'evoluzione del danno e alcuni effetti degli interventi di miglioramento precedentemente eseguiti. In prima considerazione, alcuni interventi limitatamente invasivi sono apparsi in grado di evitare o limitare il danno agli elementi per i quali erano stati previsti; in alcuni casi il danno si è sviluppato in altre posizioni, presumibilmente per una più alta soglia d'innesco.

RINGRAZIAMENTI

Ricerca condotta nell'ambito del Programma Reluis-DPC 2017.

BIBLIOGRAFIA

Casolo S.: A numerical study on the cumulative out-of-plane damage to church masonry facades due to a sequence of strong ground motion. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 2016, pp. 1-22, pubblicato on-line, DOI: 10.1002/eqe.

Da Porto F., Silva B., Costa C., Modena C.: Macro-scale analysis of damage to churches after earthquake in Abruzzo, (Italy) on April 6, 2009, *Journal of earthquake engineering*, 2012, 16(6), pp. 739-758, doi: 10.1080/13632469.2012.685207.

Doglioni F., Moretti A., Petrini V.: *Le chiese e il terremoto*, Lint Press - Trieste, 1994.

Lagomarsino S., Podestà S.: Damage and vulnerability assessment of churches after the 2002 Molise, Italy, earthquake, *Earthquake spectra*, 2004a; 20(S1), pp.S271-S283, doi:10.1193/1.1767161.

Lagomarsino, S., Podestà, S.: Seismic vulnerability of ancient churches: part 1. Damage assessment and emergency planning, *Earthquake Spectra*, 2004b, 20(2), pp.377-394.

Lagomarsino, S., Podestà, S.: Seismic vulnerability of ancient churches: part 2. statistical analysis of surveyed data and methods for risk analysis, *Earthquake Spectra*, 2004c, 20(2), pp. 395-412.

Parisi M.A., Chesi C., Cattaneo S., Falconi C.: Seismic Interaction of Timber Roofs and supporting Walls. *Proceedings. 3rd International SHATIS Conference*, pp. 716-723, Wroclaw, Poland, 2015.

PCM-DPC, MiBAC: Scheda per il rilievo del danno ai beni culturali – Chiese, modello A-DC, 2006.

Sorrentino I., Liberatore L., Decanini L.D., Liberatore, D.: The performance of churches in the 2012 Emilia earthquakes, *Bulletin of Earthquake Engineering*, 2014, (12), pp.2299–2331, doi 10.1007/s10518-013-9519-3.