



RICerca

REStauro

RICerca/REStauro

coordinamento di Donatella Fiorani

SEZIONE 2A

Conoscenza dell'edificio:
metodo e contenuti

a cura di Alberto Grimoldi

RICerca/REStauRO

Coordinamento di Donatella Fiorani

Curatele:

Sezione 1a: Stefano Francesco Musso
Sezione 1b: Maria Adriana Giusti
Sezione 1c: Donatella Fiorani
Sezione 2a: Alberto Grimoldi
Sezione 2b: Maurizio De Vita
Sezione 3a: Stefano Della Torre
Sezione 3b: Aldo Aveta
Sezione 4: Renata Prescia
Sezione 5: Carolina Di Biase
Sezione 6: Fabio Mariano, Maria Piera Sette, Eugenio Vassallo

Comitato Scientifico:

Consiglio Direttivo 2013-2016 della Società Italiana per il Restauro dell'Architettura (SIRA)
Donatella Fiorani, Presidente
Alberto Grimoldi, Vicepresidente
Aldo Aveta
Maurizio De Vita
Giacomo Martines
Federica Ottoni
Elisabetta Pallottino
Renata Prescia
Emanuele Romeo

Redazione: Marta Acierno, Adalgisa Donatelli, Maria Grazia Ercolino

Elaborazione grafica dell'immagine in copertina: Silvia Cutarelli

© Società Italiana per il Restauro dell'Architettura (SIRA)

Il presente lavoro è liberamente accessibile, può essere consultato e riprodotto su supporto cartaceo o elettronico con la riserva che l'uso sia strettamente personale, sia scientifico che didattico, escludendo qualsiasi uso di tipo commerciale.

eISBN 978-88-7140-764-7

Roma 2017, Edizioni Quasar di S. Tognon srl
via Ajaccio 43, I-00198 Roma
tel. 0685358444, fax. 0685833591
www.edizioniquasar.it – e-mail: qn@edizioniquasar.it

Giuliana Cardani

Il rilievo e il monitoraggio del panorama fessurativo negli edifici storici in muratura come sistema di pianificazione degli interventi di consolidamento

Parole chiave: muratura, edifici storici, monitoraggio statico, quadro fessurativo, diagnostica

Introduzione

Dalla lettura dei documenti storico-archivistici e, spesso, da un'attenta osservazione visiva, si evince che molti edifici storici in muratura sono stati oggetto di numerose modifiche, ampliamenti, riparazioni più o meno efficaci o, al contrario, soggetti a lunghi periodi di totale mancanza di manutenzione, che possono aver determinato danni seri o anche crolli parziali. Ognuno di questi eventi lascia tracce indelebili nelle strutture murarie, spesso alterando il comportamento strutturale locale o persino globale dell'edificio, fornendo prestazioni ben lontane da quelle progettate e realizzate al momento della sua costruzione. Gli edifici storici si rivelano talvolta intrinsecamente più deboli e tali debolezze, che rappresentano le loro cicatrici storiche, devono essere riconosciute, opportunamente analizzate e curate. Maggiore è il numero di tali cicatrici presenti negli edifici storici e maggiore sarà la loro vulnerabilità soprattutto ad eventi traumatici ed improvvisi come i terremoti. Spesso quindi la colpa degli innumerevoli crolli durante le scosse dell'ultimo evento sismico del centro Italia non va attribuita alla sola vetustà degli edifici o alla loro bassa qualità, quanto più alla vulnerabilità acquisita nei secoli. Il rischio diventa ancora maggiore se le modifiche e/o riparazioni sono state eseguite con materiali e tecniche moderne, troppo diverse dalle tecniche storiche e quindi poco compatibili strutturalmente. Il valore di un bene architettonico non è soltanto legato alla sua apparenza, ma anche a tutta la sua integrità materico-strutturale, come un unico prodotto di una tecnologia costruttiva di un particolare periodo storico e luogo. Preservare la materia, vuole dire quindi anche comprendere la logica del suo sistema strutturale, ripararlo usando tecniche compatibili e permettere che continui a funzionare, senza modifiche o sostituzioni sostanziali o aggiunte che releghino l'originale materia strutturale a sola quinta storica. Nella seconda metà del Ventesimo secolo diversi edifici storici in muratura, anche beni architettonici di grande pregio, sono stati oggetto di interventi di consolidamento strutturale mediante l'introduzione di materiali e tecniche moderne. L'uso affrettato di tali tecniche, talvolta non supportate da analisi razionali che ne validassero l'efficacia e la compatibilità, si è rivelato nel tempo dannoso sia per la tutela materica, che per la stessa *firmitas* strutturale che doveva essere il principale motivo del consolidamento stesso. La conservazione della materia comporta pertanto preservarne il ruolo all'interno dell'edificio, rimuovendo, riducendo o controllando le cause che l'hanno danneggiata.

Diventa quindi essenziale, qualora si sia scelto di intervenire su edifici in muratura esistenti, dedicare un tempo sufficiente allo studio ed alla conoscenza delle strutture portanti, su cui le nuove strutture



Fig. 1. Edificio danneggiato dal sisma, che ha colpito il centro Italia nell'agosto 2016, con evidenti segni di trasformazioni, discontinuità murarie e sostituzioni di copertura che lo hanno reso maggiormente vulnerabile (da <www.ilpost.it> [15/12/2016]).

si troveranno a gravare. Le strutture in muratura, anche quelle più semplici, non sono standardizzabili su vasta scala, come accade per gli edifici moderni del dopoguerra. Ogni muratura, specialmente quella in pietra, è spesso una muratura unica, perché influenzata dalla tecnica costruttiva impiegata comunemente in un luogo e in un determinato periodo storico, oltre che dalla funzione dell'edificio e dalla volontà di renderlo durevole nel tempo. Benché si riscontri l'uso di analoghi materiali da costruzione, la tecnica costruttiva di volta in volta adottata determina strutture in murature con comportamenti molto diversi tra loro. È un errore grave, quindi, non considerare la qualità della muratura su cui si intendono eseguire riparazioni e consolidamenti, aggiungere strutture nuove o apportare modifiche strutturali, specialmente in zona sismica, quando si applicano su strutture in muratura semplice, irregolare o, come spesso viene definita, in 'muratura povera' (Fig. 1).

La conoscenza del manufatto e il ruolo del rilievo e del monitoraggio statico delle lesioni

In tal senso un approccio adeguato allo studio strutturale di ogni edificio storico deve partire dalla conoscenza e comprensione della sua logica strutturale con tutte le sue peculiarità specifiche e debolezze intrinseche, unitamente ad un rilievo globale dei danni e di tutte le lesioni presenti sulle strutture murarie (dalle più aperte a quelle più sottili). Il rilievo del danno, seguito da una corretta interpretazione delle cause che lo hanno determinato, aiuta a selezionare le lesioni che si rivelano gli indicatori di una sofferenza locale in evoluzione o addirittura di un possibile prossimo meccanismo di collasso¹. Le cause di tali sofferenze potrebbero essere dovute ad un evento traumatico temporaneo, e quindi terminato, oppure essere ancora attive.

Non sempre la storia degli edifici residenziali più semplici è narrata nei documenti. La storia dell'evoluzione va quindi letta direttamente sull'edificio, cercando di interpretare ogni segno, ogni variazione di geometria, di spessore murario, discontinuità e disallineamenti. Grazie alla presenza di fenomeni di degrado, che causano parziali perdite di intonaco, o a tecniche di indagine non distruttiva, come la termografia, è possibile una lettura stratigrafica e l'individuazione delle diverse tessiture murarie eventualmente presenti, che aiutano ad interpretare tutte le anomalie tipiche di un edificio storico, non standardizzato (Fig. 2).

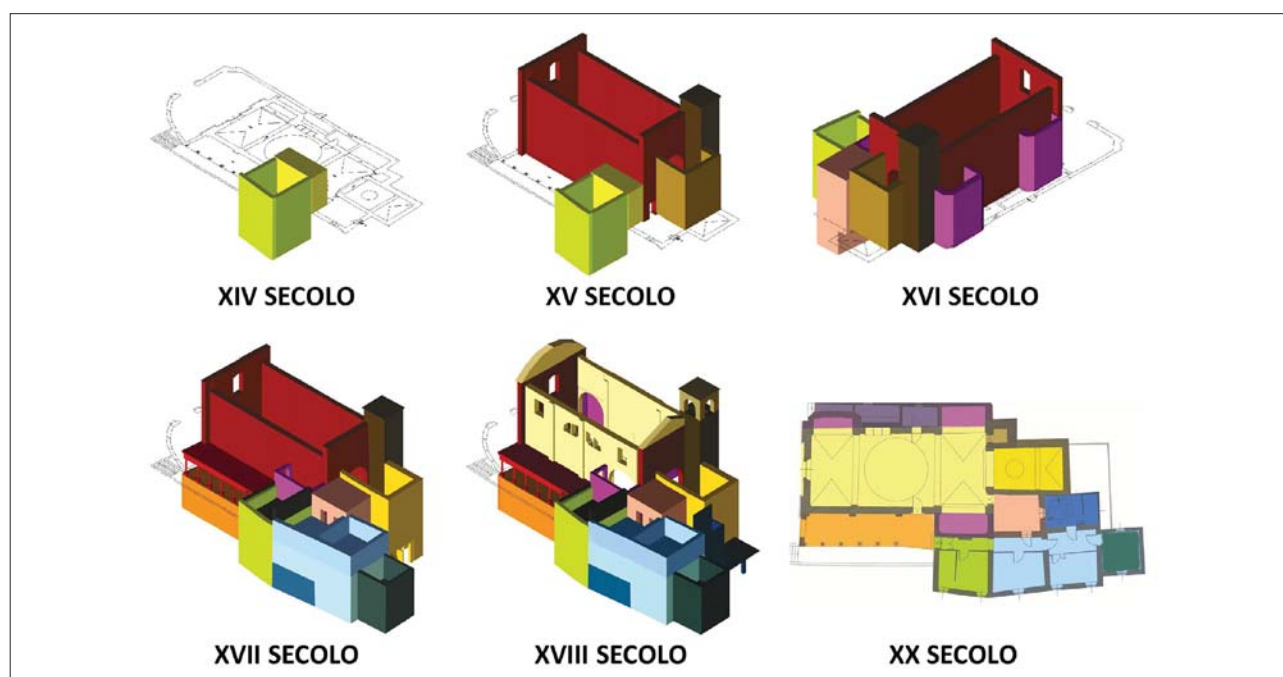


Fig. 2. Esempio di stratigrafia volumetrica che mostra l'evoluzione storico-costruttiva di un edificio religioso con annessa canonica: S. Antonio abate a Morgnaga di Gardone Riviera (BS) (da BINDA, CARDANI 2015).

¹ BINDA, CARDANI 2015.

Il rilievo dei danni alle strutture e del loro quadro fessurativo diventa un tema essenziale in un progetto di conservazione, per distinguere le criticità emerse in tempi recenti, legate a fenomeni in atto, da quelle originate da problemi antichi mai risolti completamente. La lettura dei danni aiuta in qualche misura a mettere in evidenza le debolezze intrinseche di un edificio. Le lesioni tendono a formarsi dove la struttura è già più debole e in particolare dove sono presenti delle discontinuità.

Un buon rilievo delle lesioni quindi deve riportare localizzazione, forma, andamento e ampiezza delle lesioni e deve interessare l'intero edificio, distinguendo le lesioni che attraversano l'intera sezione degli elementi strutturali da quelle non passanti. La visione d'insieme è essenziale per la comprensione e la valutazione dell'entità dei danni e per individuare le lesioni che, correlate tra loro, possono essere definite come gli indicatori di incipienti meccanismi di collasso. Tale rappresentazione grafica d'insieme delle lesioni strutturali, definita 'quadro fessurativo', consente, attraverso la sua corretta interpretazione, d'individuare le diverse cause perturbatrici, e di impostare un progetto di consolidamento efficace e durevole.

Per comprendere se il panorama fessurativo è in evoluzione e con quale velocità, risulta essenziale un monitoraggio statico nel tempo di alcune lesioni opportunamente selezionate. Esso si integra in una campagna di indagini di diagnostica strutturale non o poco distruttive, sulla natura e la varietà dei materiali e, principalmente, sulla tecnica costruttiva delle murature, sul loro affaticamento strutturale e sul loro stato di conservazione in generale. Il monitoraggio statico delle lesioni può inoltre essere opportunamente impiegato a valle di un intervento di consolidamento – provvisorio o definitivo, parziale o totale – per verificarne l'efficacia.

Un primo monitoraggio delle lesioni può avvenire semplicemente attraverso ispezioni visive, confrontando i diversi rilievi del quadro fessurativo eseguiti in tempi differenti e controllando in sito il numero delle lesioni e l'evoluzione dei rami capillari delle fessure, mediante segnali di cuspidi o di ventre indicati a matita o applicando fessurimetri, che hanno sostituito le vecchie spie.

Monitoraggi più precisi si hanno invece quando si misura con letture costanti e continue l'evoluzione delle lesioni nel tempo. I sistemi di monitoraggio possono essere installati direttamente sulla struttura, con sistemi removibili o fissi, a seconda del tipo di informazione che si intende ricavare e del numero di misurazioni necessarie, e servono a registrare su supporto informatico ampiezza delle lesioni, spostamenti relativi e temperatura. Essi aiutano a fissare i termini entro cui iniziare i lavori di consolidamento e serve a monitorare i lavori eseguiti su un singolo edificio o su edifici adiacenti che possono vicendevolmente influenzarsi.

Il controllo può avvenire in tempi brevi, qualora il rischio sia molto elevato, oppure è consigliabile una durata minima di diciotto mesi per rimuovere gli effetti naturali di dilatazione e ritiro causati dalle variazioni termo-igrometriche legate ai cicli giornalieri e stagionali. La ripetizione di alcuni cicli, per un paio di stagioni, permette di valutare l'eventuale azzeramento delle deformazioni al ripetersi delle stesse condizioni termo-igrometriche, escludendo quindi la presenza di cause ancora attive di danno. In molti casi la conoscenza dell'evoluzione del quadro fessurativo può prevenire per tempo il collasso della struttura. Tale strumento permette di valutare razionalmente la necessità di intervenire, pianificando i tempi e le modalità di azione, impiegando al meglio le risorse disponibili.

Nei due casi qui presentati il monitoraggio delle lesioni ha avuto un ruolo chiave. Un metodo di rilievo nel tempo del movimento delle fessure manuale, in grado di rilevare non soltanto l'apertura ma anche lo scorrimento verticale delle lesioni, è stato adottato efficacemente su una torre civica in muratura del XVI secolo, la torre dei Masserano a Biella, e un monitoraggio automatico su una chiesa gotico-lombarda, S. Bassiano a Pizzighettone, dopo un intervento di consolidamento parziale, ne controlla l'efficacia e consente l'apertura ai fedeli, in attesa di completare i lavori².

2 Si ringraziano il Laboratorio Prove Materiali del Politecnico di Milano e la Tecnoindagini S.r.l. di Cusano Milanino per l'esecuzione delle indagini diagnostiche, il Marchese Francesco Mori Ubaldini degli Alberti della Marmora, don E. Maggi, don A. Lamperti e, in particolare, l'ing. G.E. Massetti per la preziosa collaborazione e i documenti forniti, e gli studenti che hanno rielaborato alcune delle immagini qui presentate.

La torre dei Masserano a Biella

La torre chiamata ‘dei Masserano’ fa parte del complesso dei Palazzi La Marmora e Ferrero, antiche dimore che dal borgo medioevale del Piazza si affacciano sulla città bassa di Biella. Il Piazza fu costruito per volere del vescovo di Vercelli nel 1160 come castello, che servisse da rifugio nei periodi di lotta contro i Ghibellini di Vercelli. Il borgo era costituito da una spina centrale lungo il crinale della collina, l’attuale corso del Piazza, su cui si affacciavano gli edifici principali, inclusi Palazzo la Marmora e Palazzo Ferrero³.

Palazzo La Marmora, storica dimora della famiglia Ferrero della Marmora, è un complesso organizzato (Fig 3) attorno a cinque cortili e fabbricati di epoche diverse – risultato di una serie annessioni e trasformazioni avvenute tra il XV e il XVIII secolo – e un grande giardino affacciato sulla città sottostante⁴.

A Sebastiano Ferrero Principe di Masserano (1438-1519), personaggio di grande rilevanza nelle vicende politiche del tempo a livello europeo (Tesoriere Generale del Piemonte per i Savoia, Cancelliere del Re di Francia e Tesoriere delle Regie Finanze) si deve la costruzione della torre dei Masserano a cavallo dei secoli XV e XVI, contemporaneamente alla riedificazione di Palazzo Ferrero⁵. Nel 1833, il ramo Ferrero discendente da Sebastiano si estingue e tutti i beni, compresi la torre, pervengono in eredità ai La Marmora. Nel testamento è esplicita la richiesta di non demolire la torre: “Je prie mon cousin, ou l’ainé mâle de sa famille, de ne pas demolir la tour, et de la conserver”⁶. Diverse vedute turistiche di fine Ottocento rappresentanti il borgo del Piazza e lo stabilimento idroterapico, mostrano la torre, che non sembra presentare modifiche esterne. All’interno si sono operati alcuni cambiamenti, come confermano le piante risalenti al XIX secolo, come effetto dei cambi di destinazione d’uso del palazzo. La torre è stata usata come vano scala che disimpegno i vari piani, come testimoniano le diverse aperture tamponate che un tempo si aprivano sui vari livelli del palazzo. Con la vendita di Palazzo Ferrero al Comune di Biella nel 1912, la torre, esclusa dalla vendita⁷, rimane di proprietà

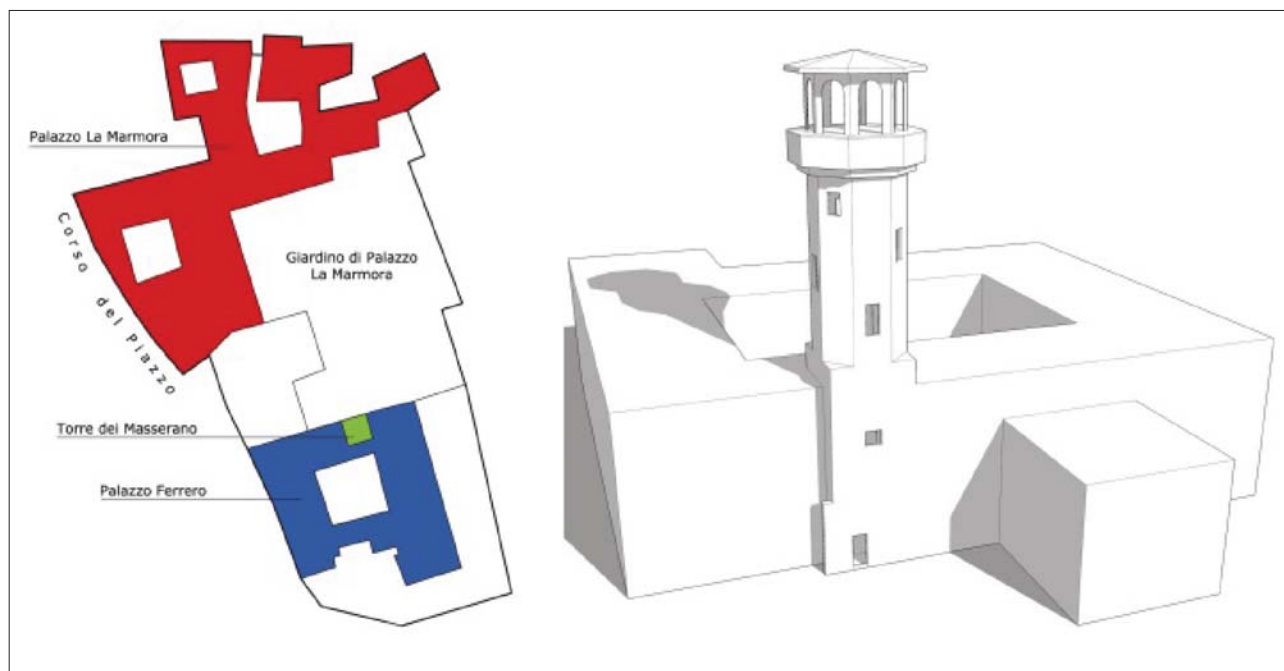


Fig. 3. Il complesso di palazzo La Marmora e palazzo Ferrero a Biella Piazza (da CARDANI *et al.* 2009).

3 AVONTO 1980; GIANAZZO DI PAMPARATO 1997.

4 ALLIONE *et al.* 1999.

5 GIANAZZO DI PAMPARATO 1997.

6 *Testamento del principe Carlo Ludovico Ferrero – Fieschi di Masserano. (28 settembre 1831)*, Archivio di Stato di Biella, *Archivio La Marmora – Fondo Ferrero*, cassetta XLVI, fascicolo 63.

7 FONTANA *et al.* 1995.

della famiglia La Marmorata. Il palazzo è stato oggetto in anni recenti di un importante intervento di restauro volto all'insediamento di nuove funzioni di carattere collettivo.

La parte della torre inserita in palazzo Ferrero ha pianta quadrata, mentre la parte in elevazione presenta una pianta ottagonale (Fig. 3). All'interno le scale in cotto su volte in muratura ruotano intorno ad un pilastro centrale sempre in muratura. Il tutto è in mattoni pieni, le osservazioni *in situ* fanno pensare a un progetto unitario.

Il rilievo del quadro fessurativo mette in evidenza sul lato nord la separazione dal corpo di fabbrica in cui è inserita (Fig. 4). Verso valle, il lato est della porzione ottagonale risulta percorso da una lunga fessura (Fig. 5) che presenta, nella zona intermedia, anche uno spostamento fuori piano di circa 5 cm. Tale fessura attraversa l'intero spessore della parete e al suo interno risulta risarcita per poi proseguire verticalmente verso la base quadrata sottostante. Gli altri lati della torre sono stati intonacati durante gli ultimi lavori di restauro del palazzo Ferrero e non sono riscontrabili altre lesioni esterne.

Più grave appare il quadro fessurativo al piano d'ingresso alla torre da Palazzo Ferrero, sul lato sud, costituito da diffuse sottili lesioni da schiacciamento ad andamento prevalentemente verticale. Alcune

attraversano l'intera sezione muraria e sono ricomparse anche sul lato esterno della parete intonacata di recente, sotto il portico di Palazzo Ferrero. Lesioni verticali da schiacciamento si riscontrano anche alla base del pilastro centrale, dove si notano fessure verticali e distacchi del paramento più esterno. Nessuna lesione si osserva nella parte sommitale di tale pilastro.

Il rilievo delle pareti interne della torre ha evidenziato un quadro fessurativo che, associato a quello letto esternamente, rivela uno stato di danno probabilmente in atto da lungo tempo.

Su tale base⁸, sono state scelti 12 punti di misura, in corrispondenza di 12 lesioni considerate più importanti, a cavallo delle quali sono state applicate le basi per la misura manuale degli spostamenti. Poiché i movimenti sembrano molto lenti nel tempo, come dimostra un dipinto di fine Ottocento del palazzo in cui compare persino la lunga lesione esterna, il monitoraggio di alcune lesioni scelte si limita a misurazioni manuali a cadenza mensile, dall'ottobre 2007 e tutt'ora in corso.

Il sistema è stato progettato per valutare al meglio i meccanismi in atto. Il rilievo del fuori piombo della torre e le lesioni osservate denotano una rotazione della torre verso valle, in particolare verso sud-est. La lunga lesione verticale denota uno scorrimento differenziale tra le parti e le lesioni di schiacciamento a sud confermano l'aumento di carico in tale direzione.

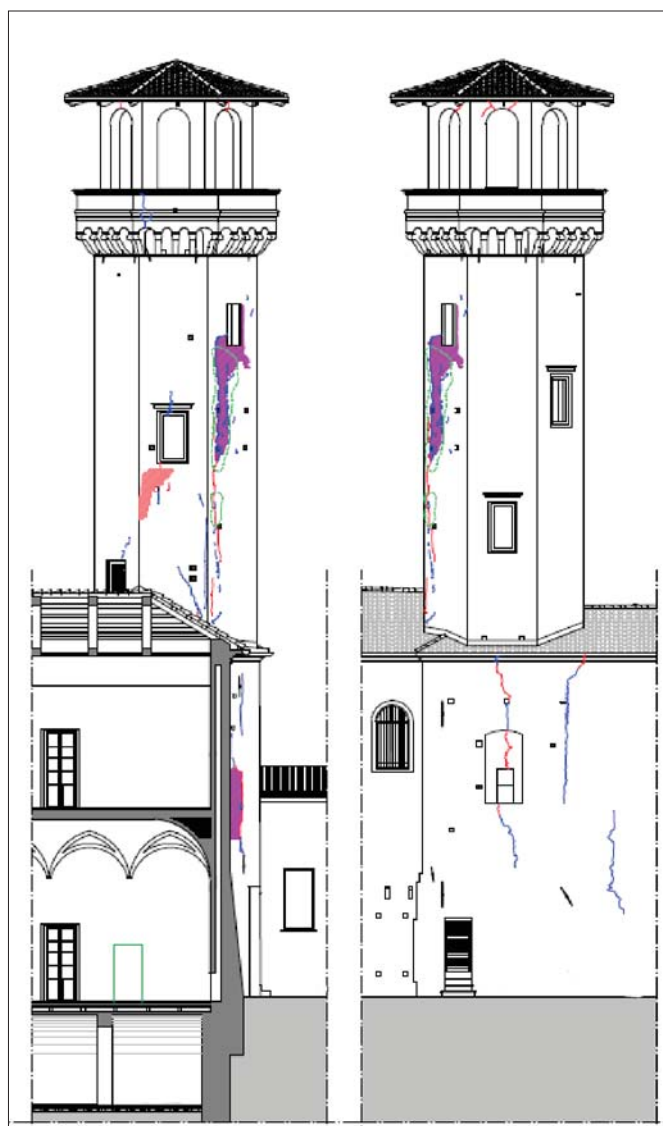


Fig. 4. Torre dei Masserano: rilievo del quadro fessurativo dei prospetti esterni est e nord (da CARDANI *et al.* 2009).

8 CARDANI *et al.* 2009.



Fig. 5. Torre dei Masserano: metodo di monitoraggio basato su una terna di punti, fissati da piastrine quadrate in acciaio inox posizionate a cavallo della lesione.

La combinazione di tali eventi rendeva necessario monitorare non solo la velocità di apertura delle lesioni ma anche il loro scorrimento verticale. Si è messo a punto un sistema in grado di misurare contemporaneamente apertura e scorrimento delle lesioni, oltre che la dilatazione termica della muratura, attraverso terne di basi, applicate a formare triangoli (a causa della tipologia muraria, qui con angolo di 90°) a cavallo della lesione (Fig. 5). La doppia lettura viene svolta per ogni lesione, mediante un deformometro meccanico (comparatore millesimale digitale con base di misura da 100 mm). Con un triangolo di 60° la terza lettura avrebbe fornito per ogni posizione anche l'eventuale dilatazione termica. Si è provveduto a misurare tale dilatazione a due quote differenti della Torre, con basi poste tra due mattoni con un giunto di malta nel mezzo.

Il monitoraggio consente di verificare se alcune lesioni di antica origine sono ormai ferme o se il movimento prosegue con il formarsi di piccole nuove lesioni e il lento progredire delle precedenti. Valuta inoltre il rapporto di reciproca interazione con il palazzo e permette la

conseguente pianificazione degli interventi di consolidamento nel tempo. Dal 2007, si è intervenuti prontamente sulle strutture inferiori seriamente in pericolo, in un secondo momento si è realizza-

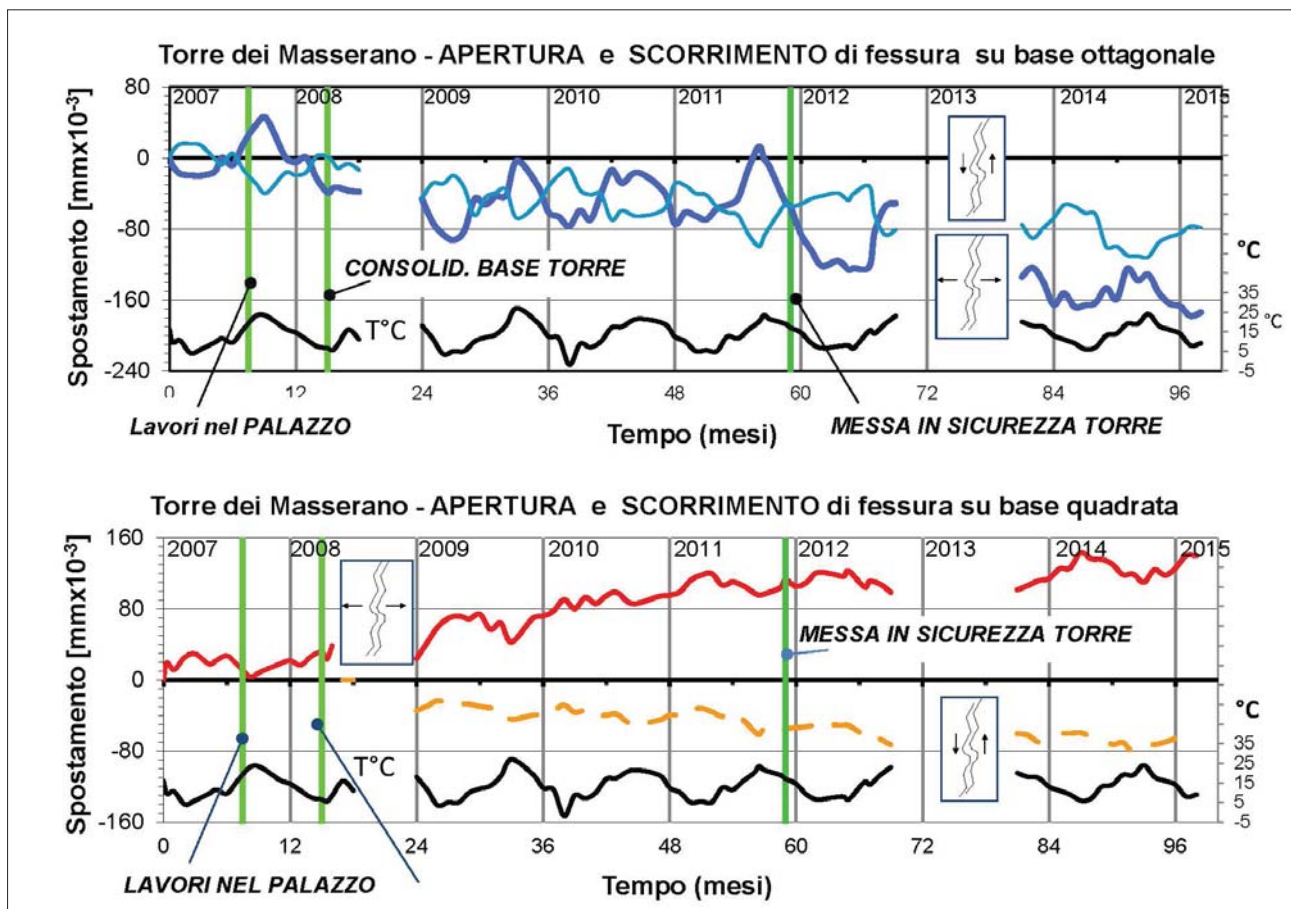


Fig. 6. Torre dei Masserano: rappresentazione grafica del monitoraggio statico di alcune lesioni, localizzate a piano terra nella base quadrata (TPL12) e nella parte sommitale dove la sezione diventa ottagonale (TPL3 in basso), che non mutano il loro lento progredire negli anni, nonostante i diversi interventi eseguiti, sia in apertura di fessura che in scorrimento verticale.

to su tutta la torre un sistema provvisorio di confinamento. Le misure continuano, consentendo la valutazione dell'efficacia degli interventi precedenti e la programmazione non più in emergenza di futuri lavori di consolidamento.

I grafici in *Fig. 6* mostrano l'andamento di alcune delle lesioni monitorate nel decennio 2007-16 tenendo conto degli interventi svolti intorno alla torre e sulla torre stessa. Nessuno di essi si è rivelato sinora risolutivo nell'interrompere il lento movimento verso valle. Si riportano a confronto due basi di misura collocate nella parte inferiore quadrata (TPL12) e nella parte superiore ottagonale (TPL3). Per entrambi si riportano l'apertura e lo scorrimento di lesione. La base di misura nella parte quadrata, collocata su una lesione di schiacciamento, non muta il suo lento progredire in apertura, nonostante gli interventi, e contemporaneamente mostra anche un leggero scorrimento nel tempo. TPL3 è concorde con la pendenza della torre e delle lesioni sottostanti sullo stesso lato. I due interventi sulla torre hanno chiuso lentamente la lunga fessura passante aperta da molto tempo, ma lo scorrimento tra i due bordi prosegue.

Il monitoraggio manuale duraturo nel tempo della torre dei Masserano a Biella, uno dei simboli della città, consente di determinare la necessità effettiva di intervenire e di valutarne l'urgenza, favorendo il tempestivo reperimento dei fondi necessari e il rapporto con le altre proprietà che la circondano e con cui strutturalmente si relaziona. I dati orientano verso l'intervento più efficace ed evitano opere che rischiano di indebolire ulteriormente la costruzione invece di rinforzarla.

La chiesa di S. Bassiano a Pizzighettone (CR)

La chiesa di S. Bassiano, più antica della torre dei Masserano, ha subito diverse trasformazioni nel tempo prima di raggiungere la conformazione odierna.

La chiesa si trova a Pizzighettone, il latino *Piceleo*, antico porto sull'Adda, a lungo conteso nel Medioevo tra Milano e Cremona (*Fig. 7*). I Cremonesi, nel 1133, avviarono la costruzione di un castello in riva al fiume, a scopo difensivo, passato a far parte del dominio visconteo e sforzesco, quando fu costruita una cerchia di mura in laterizio⁹. Più volte integrata per tutta l'età moderna è l'unica cerchia di mura pressoché integra in provincia di Cremona ed è fra le più importanti sopravvissute in Lombardia. Anche la chiesa di S. Bassiano subì in parallelo continue modifiche¹⁰.

La storiografia locale attribuisce ai lodigiani, dal 1158, la ricostruzione in forme tardoromaniche di una chiesa preesistente, dedicata al loro patrono, san Bassiano, dopo la distruzione della città da parte dei Milanesi. La facciata forse era allora più bassa dell'attuale, come mostrano tracce ancora visibili. L'edificio doveva già avere un impianto a tre navate e al posto delle due absidi laterali erano rispettivamente la torre campanaria a sud e forse un'altra torre inferiore a nord, diversa dall'attuale torre campanaria, all'interno della quale si osservano ancora le tracce di una volta in muratura demolita.

In periodo tardomedievale, vengono aggiunte volte in muratura a crociera nelle tre navate e la facciata viene sopraelevata per coprire la maggiore altezza della navata centrale.

Si data dal 1456 la radicale trasformazione voluta dagli Sforza. Si innalza e si modifica radicalmente la facciata con l'aggiunta di



Fig. 7. Chiesa di S. Bassiano a Pizzighettone (CR): veduta esterna da nord.

9 GAMBARELLI 1995.

10 POLLAROLI 1929.

un rosone (che taglia la finestra sottostante) con colonnine tortili ed archetti polilobati, incorniciato da formelle di maiolica policroma recanti gli emblemi araldici degli Sforza, del fregio in cotto di sottogronda e di due finestrelle ad arco trilobate sopra i due ingressi laterali. Vengono aggiunte due file di cappelle ai lati delle navate laterali. La copertura a due sole falde si estende dalla navata centrale alle cappelle laterali, e si occultano le monofore a nord della navata centrale. Forse negli stessi anni, si allargano le monofore a sud, per sostituirle con bifore, ora visibili solo all'interno della chiesa.

Nel periodo tardo-rinascimentale si eseguono ulteriori modifiche. Nel 1525 si costruisce l'attuale sagrestia; nel 1533 viene spostato a nord il campanile e si realizza la prima parte della attuale torre campanaria; tra il 1540 e 1543 Bernardino Campi dipinge sulla controfacciata il grande affresco della crocifissione¹¹, chiudendo il rosone; nel 1578 si sopraeleva il campanile per aggiungergli l'orologio.

Nel Settecento, si demolisce l'antica torre campanaria a sud sino all'altezza della chiesa e a questi anni pare risalire il portale d'ingresso. Nell'Ottocento vengono demolite le cappelle laterali solo a sud e forse vengono riformate le finestre del lato sud della navata centrale, che si configurano come bifore. Le volte vengono dotate di catene metalliche. Nel 1820 viene sopraelevato ulteriormente il campanile a nord e nel 1835 l'interno della chiesa viene completamente ridipinto nello stile visibile ancor oggi. Nel 1900 avviene la terza ed ultima sopraelevazione del campanile di forma ottagonale.

Nel 1963, su progetto dell'architetto Amos Edallo di Crema si demolisce la lunga falda a nord del tetto, in parte sostituito con materiali moderni. Si scoprirono allora le monofore della navata centrale a nord che furono restaurate (1963-64) e si rifecero le prime due cappelle laterali a nord con materiali e gusto moderni. Tutti questi segni sono chiaramente visibili sull'edificio, come quelli lasciati in facciata dallo scoppio di una polveriera nel 1967. Nel 1989 si segnalano molte fessure esistenti da tempo, molta umidità di risalita e di infiltrazione. La serietà dei danni strutturali e la necessità di sostituire la copertura danneggiata portano poi a realizzare nel 2013 un progetto di consolidamento generale del complesso.

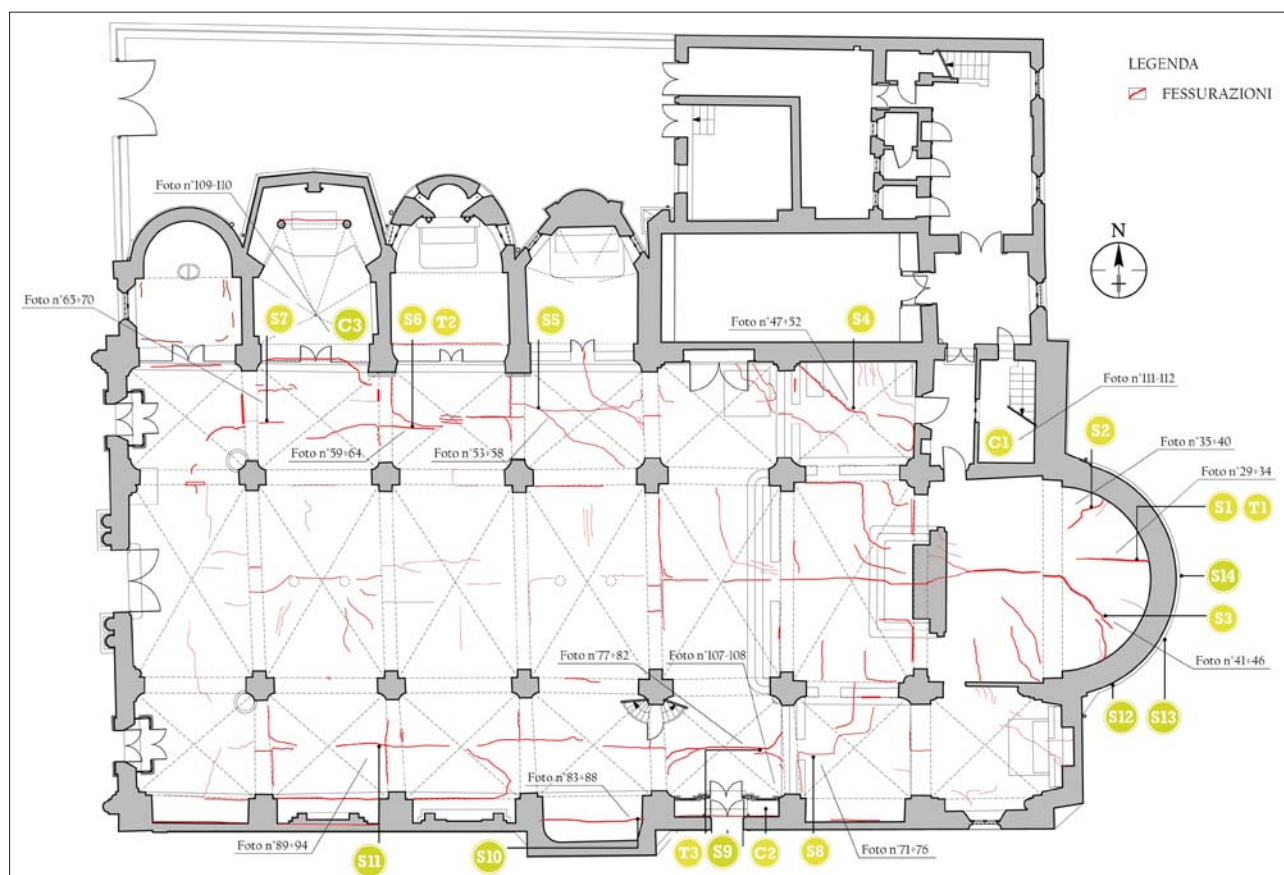


Fig. 8. Chiesa di S. Bassiano: rilievo del quadro fessurativo delle volte e localizzazione delle basi di misura per il monitoraggio statico.

11 TANZI 1991.

Il rilievo del quadro fessurativo ha messo in evidenza la diffusione dei danni alle strutture verticali indebolite dalle continue modifiche nel tempo e alle volte di tutte le navate e dell'abside, al campanile e alla sacrestia (*Fig. 8*). Le strutture di copertura con la loro spinta non equilibrata avevano danneggiato le volte della navata centrale e successivamente su quelle laterali, determinando lesioni strutturali e distacco tra gli arconi della navata centrale. Le sopraelevazioni del campanile mostrano un importante fuori piombo con conseguenti lesioni di schiacciamento da un lato e di distacco dall'altro, con implicazioni conseguenti sulla sacrestia e cedimenti nel terreno. Sono presenti lesioni di discontinuità lungo tutte le cappelle e un cedimento in corrispondenza di un pilastro interno della navata centrale a sud-est. La facciata, ubicata a ovest, presentava anch'essa un fuori piombo del timpano verso l'esterno. Data la gravità della situazione si è concepita una campagna diagnostica sulle strutture ed un breve monitoraggio strutturale di alcune lesioni sull'abside, in attesa di approvazione di un progetto di consolidamento statico e di miglioramento sismico dell'intero complesso. Il criterio comune a tutte le scelte progettuali da parte del progettista incaricato è stato quello di effettuare interventi puntuali, dove possibile reversibili, con il principio del minimo intervento e nel rispetto della storia dell'edificio, conservando il più possibile i materiali originali e, soprattutto, senza mutare il comportamento strutturale originario e rendendo riconoscibili 'a posteriori' le aree oggetto di intervento.

L'intervento, economicamente gravoso, richiedeva la chiusura al culto per diversi anni. Si è deciso di suddividere il progetto in diverse fasi: una prima da realizzarsi con urgenza, verificando la possibilità di riaprire temporaneamente l'edificio al pubblico, e una seconda di completamento, una volta recuperati i fondi necessari. La prima fase ha visto la sostituzione completa della copertura della navata centrale sino all'abside, con una nuova copertura lignea a capriate, per non gravare più sulle volte, e annullare la spinta orizzontale sulle pareti laterali. È venuta meno la principale causa di danno che interessava l'abside, le volte a crociera e gli arconi principali della navata centrale, poi risarciti e consolidati con un sistema composito FRCM, costituito da una rete bidirezionale in fibre di poliparafenilenbenzobisoxazolo (PBO) e da una matrice inorganica stabilizzata di natura pozzolanica appositamente formulata per l'utilizzo su supporti in muratura. I frenelli sono stati smontati e ricostruiti con i mattoni originali, ripristinando il collegamento con le pareti laterali, prima compromesso.

In attesa di partire con la seconda fase, è iniziato un monitoraggio automatico di controllo delle restanti parti lesionate, non soltanto per verificare l'efficacia dei lavori eseguiti ma anche per garantire l'apertura ai fedeli in sicurezza, controllando di continuo gli eventuali movimenti, e dando la possibilità di chiudere il complesso non appena si rilevino movimenti oltre una certa soglia di rischio.

Il monitoraggio di lesioni scelte opportunamente consiste nel montaggio di sensori protetti con scatola stagna, costituiti da trasduttori potenziometrici che inviano i segnali ad una centralina di acquisizione, collocata nell'edificio che converte i segnali e li invia in continuo mediante linea telefonica. Le misure effettuate ogni minuto e mediate alla mezz'ora proseguono dal 2014. Il periodo è sufficiente a valutare l'entità dei movimenti in atto, la velocità, l'influenza di eventuali altre cause di danno non ancora fermate, come i cedimenti del terreno, e per controllare gli effetti dovuti alle variazioni termigrometriche giornaliere e stagionali. In figura 9 si riportano alcune misurazioni significative, che mostrano il movimento delle lesioni sull'abside all'interno e all'esterno: nonostante i grandi movimenti, in particolare delle lesioni esterne, esse risultano stabili, rilevando l'efficacia dell'intervento sull'intera navata centrale (*Fig. 9*). La misura denominata S9, sulla navata sud in prossimità del primo pilastro verso sud-est, è invece interessata dal cedimento differenziale del terreno, e mostra un incremento di apertura nel tempo.

Conclusioni

Si sono presentati due casi molto diversi di monitoraggio di beni architettonici di grande valore storico-culturale seriamente danneggiati: l'uno manuale, con sistema a doppia lettura e utile più per monitoraggi a lungo termine e l'altro automatico con sensori fissi utile per misurare zone difficilmente

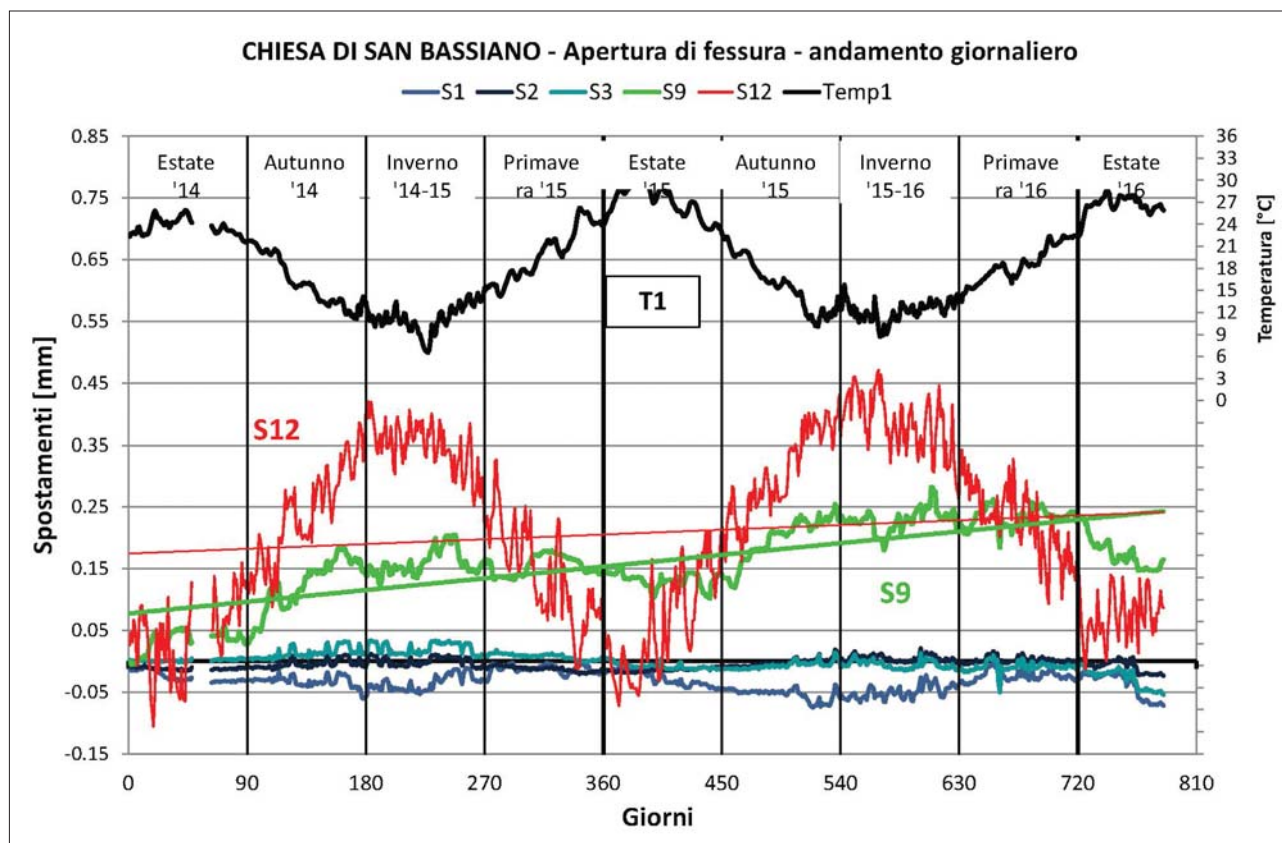


Fig. 9. Chiesa di S. Bassiano: rappresentazione grafica del monitoraggio statico di alcune lesioni nei due anni successivi all'esecuzione del consolidamento della copertura e delle volte della navata centrale. Tutte le lesioni sull'abside sia interne (S1, S2, S3) che esterne (S12) dopo due anni appaiono stabili, mentre solo una lesione della navata Sud (S9) continua ad aprirsi.

accessibili. I monitoraggi automatici hanno costi ormai competitivi con quelli manuali e hanno l'indubbio vantaggio di valutare già nel breve periodo, mediante letture giornaliere ed orarie, la naturale reazione della struttura lesionata alle condizioni termo-igrometriche dell'ambiente in cui è inserita. Ciò aiuta a determinare l'ordine di grandezza dei movimenti delle lesioni nel tempo, fondamentale per determinare il tipo di materiale e che la tecnica di rinforzo.

Entrambi i metodi si sono rivelati efficaci sia per la valutazione dei danni in atto che per valutare l'efficacia delle opere parzialmente eseguite, in un'ottica di minimo intervento per garantire la sicurezza nell'accessibilità e nella fruizione del bene.

Le tecniche di monitoraggio costituiscono un valido supporto per i professionisti incaricati della manutenzione degli edifici storici e per i proprietari o custodi/conservatori di beni architettonici che possono seguire i fenomeni in atto, valutando razionalmente la necessità di intervenire, mantenendo sotto controllo costante il bene e pianificando i tempi e modalità, impiegando al meglio le risorse disponibili. Tuttavia, solo un'adeguata conoscenza storica del manufatto potrebbe rendere i dati del monitoraggio sicuramente interpretabili.

Giuliana Cardani, Politecnico di Milano, giuliana.cardani@polimi.it

Referenze bibliografiche

AVONTO 1980: L. Avonto, *Andar per castelli. Da Vercelli, da Biella tutto intorno*, edizioni Milva, Torino 1980

ALLIONE *et al.* 1999: S. Allione, S.R. Magnone, P. Racca, tesi di laurea *Palazzo La Marmora in Biella Piazzo: ipotesi di riuso*, relatore Carla Bartolozzi, Politecnico di Torino, a.a.1998/99

BINDA, CARDANI 2015: L. Binda e G. Cardani, *Seismic vulnerability of historic centers: a methodology to study the vulnerability assessment of masonry building typologies in seismic area*, in P.G. Asteris and V. Plevris (a cura di), *Handbook of Research on Seismic Assessment and Rehabilitation of Historic Structures*, IGI global, Hershey PA (Pennsylvania, Usa) 2015, pp. 1-29

CARDANI *et al.* 2009: G. Cardani, L. Binda, P. Condoleo, A. Anzani, *On-site investigation and monitoring for the assessment of an historic brick masonry tower*, in Wael W. El-Dakhakhni and Robert G. Drysdal (a cura di), *proceeding of 11th Canadian Masonry Symp* (Toronto, Ontario, 31 maggio – 3 giugno 2009), Univ. McMaster, Toronto 2009, pp. 1-10

FONTANA *et al.* 1995: A. Fontana, L. Gili, S. Pagliasso, tesi di Laurea *Palazzo La Marmora in Biella Piazza*, tesi di laurea, relatore C. Di Biase, Politecnico di Milano, A.A. 1994/95

GIANAZZO DI PAMPARATO 1997: F. Gianazzo di Pamparato (a cura di), *Famiglie e palazzi. Dalle campagne piemontesi a Torino capitale barocca*, fotografie di Patrizia Mussa, Gribaudo Paravia, Torino 1997

POLLAROLI 1929: S. Pollaroli, *La chiesa di San Bassiano di Pizzighettone*, in «Cremona rivista di cultura», X, ottobre 1929

TANZI 1991: M. Tanzi, *Bernardino Campi a Pizzighettone: la crocefissione in San Bassiano e il suo restauro*, Turris, Cremona 1991

GAMBARELLI 1995: G. Gambarelli, *Pizzighettone città murata*, Gruppo Volontari Mura, Pizzighettone 1995

Le foto e i video da Amatrice e Accumoli <<http://www.ilpost.it/2016/08/24/>> [24/8/2016]

The surveying and monitoring of cracks in the masonry of historic buildings as a way of planning reinforcement work

Keywords: masonry, historical buildings, static monitoring, crack pattern, diagnostic

The consultation of historical archive documents and, often, careful visual observations make it clear when the masonry of historic buildings has been subjected to numerous repairs, alterations and extensions of varying quality, or, on the contrary, subjected to long periods when there was a total lack of maintenance, which may have led to serious damage or even partial collapse. These events leave indelible traces in the walls, often affecting a building's local or even overall structural behaviour and resulting in a level of performance that is far from what was designed and implemented at the time of its construction. Serious mistakes can ensue when the structural quality of walls is not examined carefully before carrying out repairs, reinforcement work, adding new structures or making structural changes, especially in earthquake zones.

With this in mind, the right approach to studying the masonry of historic buildings must begin with a knowledge and understanding of its structural rationale, with all its specific peculiarities and vulnerable points, combined with an overall survey of any damage. Monitoring selected cracks over time can be very useful when assessing the way damage evolves over time, avoiding collapses, and can help us understand the causes of damage, which is useful when developing a conservation plan. In addition, this approach can be helpful at the end of renovation work, when evaluating the efficiency of a structural improvement, and prove to be essential support when planning restoration work, bringing forward urgent repairs and delaying work that can wait, aiding us during the necessary and sometimes onerous process of securing funding. To this end, this paper presents two different systems of crack monitoring applied to a 16th-century civic tower and a 12th-century church.