

# Edilizia storica monumentale - Salvaguardia degli edifici di interesse storico-artistico nell'emergenza post-sisma

## Monumental historical building - Preservation of buildings of historic and artistic interest in emergency post-earthquake

Claudio Modena<sup>1</sup>, Francesca da Porto<sup>2</sup>, Giulia Bettiol<sup>3</sup>, Marta Giaretton<sup>4</sup> ■

### Sommario

Gli eventi sismici che hanno colpito un'ampia fascia immediatamente a nord di Bologna, tra Ferrara, Mantova, Reggio Emilia, lambendo anche Mantova e Rovigo, hanno avuto effetti, in termini di scuotimento del suolo, molto inferiori a quelli provocati dal terremoto dell'Abruzzo, con conseguenze molto più selettive. I danni strutturali si sono infatti manifestati, anche con gravi ed estesi crolli, pressoché esclusivamente su due sistemi edilizi, evidentemente i più vulnerabili: l'edilizia storico/monumentale e gli edifici industriali.

Le attività di salvaguardia del patrimonio architettonico di interesse culturale si sono svolte facendo ampio ricorso alle precedenti esperienze, ma secondo un nuovo e diverso modello di gestione dell'emergenza, facente capo direttamente al MiBAC. Sono state istituite: l'Unità di Crisi-Coordinamento Nazionale (UCCN-MiBAC) per il coordinamento generale, e le Unità di Crisi-Coordinamento Regionale (UCCR-MiBAC) facenti capo ai Direttori Regionali territorialmente competenti, per il coordinamento e lo svolgimento delle attività sul campo.

Il rilievo del danno è stato effettuato con le stesse modalità operative utilizzate in seguito al terremoto de L'Aquila (6 Aprile 2009), mediante la sistematica compilazione di specifiche schede per chiese e palazzi predisposte dalla Protezione Civile (Gruppo di Lavoro Beni Culturali - GLABEC). Le squadre compilatrici sono composte da tecnici della Sovrintendenza, funzionari dei Vigili del Fuoco e, quando necessario, da un tecnico con competenza specifica sulla tipologia di beni culturali presenti nell'edificio.

Nelle stesse schede, vengono fornite le indicazioni necessarie per gli interventi di messa in sicurezza, successivamente progettati ed eseguiti, nella maggior parte dei casi, dai Vigili del Fuoco impegnati contemporaneamente sul fronte, nuovo rispetto all'Abruzzo e di evidente straordinaria importanza socio-economica, della limitazione delle perdite e dei danni all'apparato produttivo delle zone colpite dal terremoto. Un effetto di particolare criticità, in relazione alle attività di salvaguardia del costruito storico, connesso con la selettività del danno di cui si è sopra accennato, è stato il fatto che: nonostante la maggioranza degli edifici adibiti a residenza e/o alle normali attività commerciali di un centro abitato siano risultati immediatamente agibili, il centro o il quartiere venivano dichiarati inagibili per il pericolo indiretto causato dalla presenza di un campanile e/o di una chiesa fortemente danneggiati.

A fronte quindi di un quadro globale di danno strutturale inferiore a quello riscontrato in Abruzzo, la gestione dell'emergenza post-sisma è risultata in generale non meno complessa e impegnativa, e la selettività del danno è stato un fattore di complicazione, e non di semplificazione, soprattutto per quanto riguarda le attività di salvaguardia dei beni architettonici.

### Abstract

*The seismic events that have affected immediately a wide area in the north of Bologna, between Ferrara, Mantova, Reggio Emilia, affecting Mantua and Rovigo, have had an impact, in terms of ground motion, much lower than that caused by the earthquake of Abruzzo, with consequences much more selective. Structural damages occurred, with also serious and extensive collapses, almost exclusively on two building systems, evidently the most vulnerable: historic/monument buildings and industrial buildings.*

*Safeguard activities of the architectural heritage of cultural interest took place with the extensive use of previous experience, but according to a new and different model of emergency management, headed directly by MiBAC. There have been established: The Unit of Crisis - National Coordination (UCCN-MiBAC) for the overall coordination, and the Unit of Crisis - Regional Coordination (UCCR-MiBAC), headed by the Regional Directors of the local authorities for the coordination and execution of field activities.*

*The damage survey was performed following the same operating procedures used in L'Aquila earthquake (6<sup>th</sup> of April, 2009), by means of systematic compilation of specific sheet forms for churches and palaces*

<sup>1</sup> Dipartimento di Costruzioni e Trasporti, Università degli Studi di Padova - ✉ claudio.modena@dicea.unipd.it

<sup>2</sup> Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale, Università degli Studi di Padova - ✉ francesca.daporto@unipd.it

<sup>3</sup> Dipartimento di Costruzioni e Trasporti, Università degli Studi di Padova - ✉ giulia.bettiol@dicea.unipd.it

<sup>4</sup> Dipartimento di Costruzioni e Trasporti, Università degli Studi di Padova - ✉ marta.giaretton@dicea.unipd.it

*prepared by Civil Protection (Gruppo di Lavoro Beni Culturali – GLABEC). The compiler teams are composed by architects of the Superintendent, officers of the Fire Brigade and, where necessary, a technician with specific expertise on the cultural heritage typology of the building.*

*In the same forms the necessary information are provided for the safety interventions, subsequently planned and executed in most cases by the Fire Department involved simultaneously, new compared to the Abruzzo case and obviously of extra-ordinary socio-economic importance, of the reduction of losses and of the damage production in the affected areas by the earthquake.*

*A particular critical effect of the safeguarding activities of the historical structures, related with the damage selectivity, mentioned above, was the fact that: although the majority of the buildings used as residence and/or of the normal commercial activities of a town center resulted immediately useable, the center of a district was declared unfit due to indirect danger caused by the presence of a bell tower and /or a church heavily damaged.*

*Given, therefore, an overall structural damage lower than that in Abruzzo, the post-earthquake emergency management did not result less complex and demanding and the damage selectivity was a complicating factor, and not simplified, especially regarding the protection activity of the architectural heritage.*

### **1. La gestione dell'emergenza**

A seguito dei due eventi del 20 maggio (magnitudo 5.9) e del 29 maggio (magnitudo 5.8) 2012 il Consiglio dei Ministri ha deliberato lo stato di emergenza, di durata limitata a 60 giorni, prima per le Province di Modena, Ferrara, Bologna e Mantova, e quindi anche per le Province di Reggio Emilia e Rovigo.

In considerazione del quadro istituzionale di competenze in materia di gestione di emergenze dovute a calamità naturali che ha fatto seguito al riordino della Protezione Civile, il Segretariato Generale del Ministero per i Beni e le Attività Culturali (MiBAC) ha tempestivamente attivato una propria struttura per monitorare e coordinare le diverse fasi emergenziali connesse alla salvaguardia del patrimonio culturale, costituita dall'Unità di Crisi – Coordinamento Nazionale (UCCN-MiBAC) per il coordinamento generale, ed da di Unità di Crisi Regionali (UCCR-MiBAC), presso le Direzioni Regionali del MiBAC dell'Emilia-Romagna, della Lombardia e del Veneto.

Le Unità di Crisi Regionali sono articolate in tre Unità Operative.

La prima, l'Unità coordinamento tecnico degli interventi di messa in sicurezza sui beni architettonici, storico-artistici, archeologici, archivistici e librari svolge il compito di pianificare e realizzare a brevissimo termine gli interventi di messa in sicurezza dei beni culturali immobili che rappresentano un immediato pericolo per l'incolumità degli abitanti e di valutare i casi nei quali, al contrario, queste condizioni non sono presenti.

Come precedentemente accennato tale attività ha assunto aspetti particolarmente critici, come conseguenza della selettività degli effetti del terremoto, essendo frequentemente il bene vincolato l'unico elemento fortemente danneggiato e unica causa dell'inagibilità di interi centri abitati o di loro quartieri. Ne è nato infatti un appas-

sionato dibattito pubblico nel corso del quale è stata forse per la prima volta portata in campo in maniera molto forte la richiesta di sacrificare la conservazione, anche abbattendo un edificio vincolato, rispetto a prevalenti esigenze di carattere socio-economico: in due casi, in effetti – il campanile di Bonacompra e il Municipio di S. Agostino - si è arrivati alla demolizione.

Il MiBAC, pur non escludendo a priori che in alcuni casi considerazioni di carattere socio-economico e di pubblica incolumità potessero prevalere su pure esigenze di conservazione, ha ritenuto necessario mettere in atto tutte le possibili iniziative atte ad evitare di arrivare comunque alla soluzione estrema dell'abbattimento, che in effetti non ha avuto altri esempi oltre ai due precedentemente citati.

Rientra fra tali iniziative, fra l'altro, considerata, in tale contesto, la particolare vulnerabilità mostrata dai campanili, la istituzione, da parte della Direzione Regionale MiBAC dell'Emilia-Romagna, di una "Commissione per i primi interventi di messa in sicurezza degli edifici snelli" (ca. 147 campanili e torri civiche) danneggiati dal sisma (composta dai proff. Carlo Blasi, Angelo Di Tommaso e Claudio Modena), con il compito di predisporre di linee guida per gli interventi di messa in sicurezza dei campanili in supporto ai tecnici locali.

La seconda, l'Unità depositi temporanei e laboratorio di pronto intervento sui beni mobili, collocata presso il Palazzo Ducale di Sassuolo, ha il compito di conservare temporaneamente i beni mobili recuperati dagli edifici lesionati e, grazie ai tecnici dell'Istituto Superiore del Restauro del Ministero ed i restauratori dell'Opificio delle Pietre Dure di Firenze si occuperà delle prime cure.

La terza ed ultima, l'Unità rilievo dei danni al patrimonio culturale, composta da squadre miste formate dal personale ministeriale e tecnici dei Vigili del Fuoco, con il compito di effettuare

il rilievo e la stima economica dei danni causati dagli effetti devastanti del sisma.

Per quanto riguarda questa terza Unità, le Direzioni Regionali MiBAC delle Regioni Emilia-Romagna, Lombardia e Veneto si sono servite del supporto e dell'assistenza tecnica alla gestione delle procedure emergenziali del Dipartimento d'Ingegneria Civile, Edile e Ambientale (DICEA) dell'Università degli Studi di Padova. In particolare, la collaborazione ha interessato le seguenti attività:

- realizzazione di seminari tecnici di formazione e informazione con il personale del MiBAC secondo criteri metodologici univoci;
- l'identificazione degli edifici di interesse culturale presenti nelle zone colpite dagli eventi sismici;
- programmazione e partecipazione ai sopralluoghi presso gli immobili danneggiati dal sisma, finalizzati alla compilazione della scheda di primo livello per il rilievo del danno e supporto alla valutazione delle condizioni di sicurezza;
- verifica della compilazione delle schede di rilievo del danno e la valutazione delle stime economiche dei costi degli interventi di messa in sicurezza;
- individuazione delle priorità di intervento;
- supporto alle strutture MiBAC alla progettazione, supervisione e coordinamento degli interventi di messa in sicurezza degli immobili danneggiati, in collaborazione con il Nucleo di Coordinamento per le Opere provvisorie del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco (NCP);
- implementazione di un applicativo Web per l'inserimento dei dati contenuti nelle schede di rilievo del danno alle chiese ed ai palazzi.

Tempestive e di rilevante importanza sono state le attività di aggiornamento e formazione dei funzionari MiBAC attraverso seminari tecnici ed informativi tenuti da personale DICEA, presso il quale si è costituito ed è operativo un gruppo formato con una prolungata presenza in Abruzzo che ha espresso sia elevate competenze e capacità operative sia contributi di ricerca di alto profilo scientifico nel settore (Milano L. et al. 2011). Le attività di formazione hanno fornito le nozioni fondamentali di base per la compilazione delle schede e l'approfondimento delle problematiche relative alle situazioni più complesse, garantendo così un adeguato livello di uniformità nelle metodologie e nei criteri di valutazione del danno (da Porto et al. 2012b).

Questa fase di supporto alla compilazione delle schede si è poi estesa direttamente in sito con la partecipazione, qualora necessario per entità del danno o complessità del manufatto, di ingegneri strutturisti durante i sopralluoghi presso gli

immobili danneggiati dal sisma. La creazione di squadre composte da rilevatori con diverse competenze permette di compilare una scheda di rilievo completa con previsione delle opere necessarie al ripristino e miglioramento strutturale, e relativi costi, ed al tempo stesso di fornire prime indicazioni di "pronto intervento" per la "messa in sicurezza" che siano il più possibile rispettose dei principi della conservazione, efficaci dal punto di vista strutturale e realizzabili dagli operatori.

L'elenco degli immobili di interesse culturale o contenenti patrimonio culturale e la loro situazione post-terremoto, viene aggiornato quotidianamente in base alle segnalazioni dei possessori, proprietari o detentori o dei tecnici che partecipano ai sopralluoghi, riportando: i sopralluoghi eseguiti, l'esito di agibilità e il livello di danno.

Le schede di rilievo del danno compilate, sono consegnate all'Unità rilievo dei danni al patrimonio culturale del MiBAC, presso la quale, con il supporto di esperti strutturisti, viene effettuato il controllo della completezza e la verifica dei dati fondamentali. In esito alla verifica può rendersi necessario riprogrammare il sopralluogo ovvero se l'esito è positivo, effettuare la scansione digitale delle schede di rilievo e degli allegati ed archivarli nel data-base sviluppato in collaborazione del personale DICEA. Le Unità di Coordinamento Regionale UCCR-MiBAC provvederanno all'archiviazione di tutta la documentazione cartacea acquisita ed al back-up su proprio server dei dati informatizzati.

L'ultima fase interessa gli interventi di "messa in sicurezza". Il corpo dei Vigili del Fuoco ha confermato in questa attività, quando e dove è stato possibile, straordinaria competenza professionale, efficacia operativa e disponibilità nelle operazioni.

Considerando che molti degli edifici coinvolti presentano crolli totali, parziali, o lesioni di diversa entità, si può facilmente cogliere la dimensione dell'impatto del sisma e la mole straordinaria del lavoro da svolgere, commisurata anche alla vasta area colpita.

## 2. Il rilievo del danno

Il rilievo dei danni è stato effettuato utilizzando, come in Abruzzo, le schede predisposte dalla Protezione Civile (Gruppo di Lavoro Beni Culturali - GLABEC) rispettivamente per le chiese (modello A-DC) e per i palazzi (modello B-DP), approvate con DPCM 23 Febbraio 2006 (Modena-Binda, 2009).

L'esperienza dell'Abruzzo è stata naturalmente di grande aiuto e a quella si è fatto riferimento negli incontri di aggiornamento effettuati con il

personale delle Direzioni Regionali, ma, tenuto conto anche di quanto detto in precedenza, sono stati particolarmente approfonditi, ed adattati alla realtà locale:

- i criteri secondo cui sono formulati i giudizi di agibilità (con la particolarità sopra richiamata riguardante i campanili);
- la quantificazione economica del danno, per la quale si è fatto ampio ricorso alle esperienze delle soprintendenze locali;
- le indicazioni sui provvedimenti di messa in sicurezza.

A sei mesi dal sisma, la schedatura delle chiese è terminata ed è in via di conclusione il rilievo dei palazzi soggetti a vincolo. Da una prima elaborazione fatta su un campione di 280 chiese e 90 palazzi schedati dal gruppo di lavoro dell'Università di Padova (Dip. ICEA), sono risultati agibili il 20% dei manufatti, dei rimanenti i casi più urgenti e gravi sono stati selezionati per i primi interventi di "messa in sicurezza" eseguiti dai Vigili del Fuoco. Tra questi, come evidenziato in Figura 1, il 19% risulta agibile con provvedimenti, il 6% parzialmente agibile, il 2% temporaneamente inagibile, l'1% inagibile per cause esterne e il 52% inagibile.

La raccolta sistematica dei dati oggettivi forniti della schedatura del danno permetterà in seguito l'elaborazione di considerazioni generali sul comportamento e sulle vulnerabilità specifiche delle diverse tipologie.

L'approccio per cinematici presente nelle schede di rilievo del danno e utilizzato anche dalla normativa nell'ambito della verifica sismica degli edifici storici esistenti, ha come presupposto il comportamento monolitico degli elementi che compongono la struttura in muratura. Dal rilievo del danno nella Pianura Emi-

liana si è potuto constatare che tale comportamento risulta essere favorito nella tipologia muraria in mattoni rispetto a quella in pietra presente in Abruzzo (Figura 2 e Figura 3).

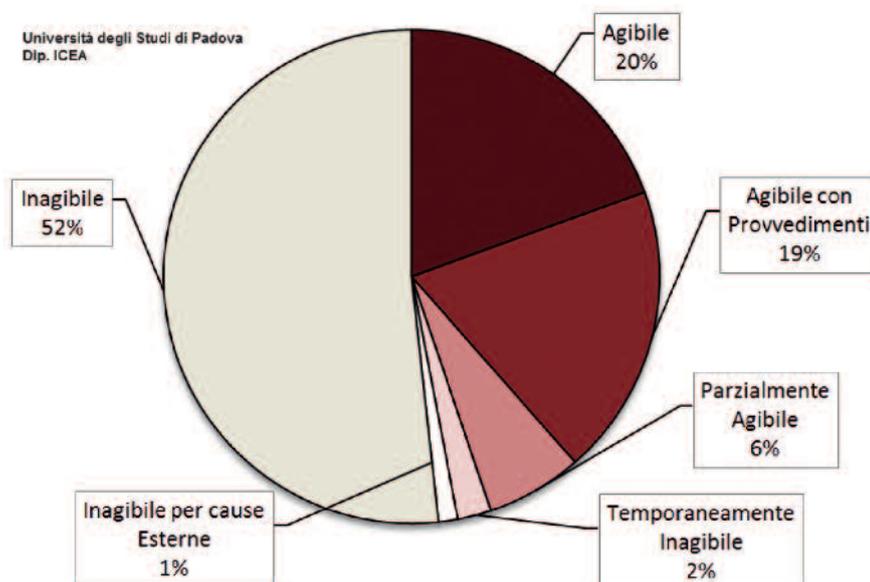
La composizione e conformazione intrinseca della muratura in pietra, unite alla scarsa qualità della malta, hanno spesso presentato disaggregazioni nella tessitura che hanno provocato il crollo di intere pareti murarie. Diversamente il laterizio, per propria conformazione ed esecuzione della messa in opera, consente un efficace ammassamento sia tra gli elementi che costituiscono il pannello stesso che tra i macroelementi che compongono l'intero manufatto. Nonostante ciò, si sono rilevati casi in cui tale coesione tra gli elementi resistenti è venuta a mancare, in particolare si tratta di vulnerabilità legate alla sequenza costruttiva articolata e non unitaria che spesso caratterizza gli edifici storici (Figura 4).

Va rilevato inoltre che a fronte di una qualità muraria decisamente migliore nella pianura emiliana rispetto all'Abruzzo, ha giocato un ruolo importante nel determinare risposte strutturali inadeguate sotto l'azione sismica l'elevata snellezza sia di molte strutture nel loro insieme sia delle singole componenti, con pareti di chiese e campanili spesso realizzate a due o tre teste, e la scarsa qualità della malta rispetto a quella dei mattoni.

Ne sono conseguite:

- da un lato una ridotta capacità, in generale, di resistere ad azioni ribaltanti fuori del piano e la possibilità di attivare meccanismi locali di rottura (ad esempio per punzonamento) che non hanno consentito lo sviluppo delle intere capacità resistenti di meccanismi "superiori";
- la formazione di forti scorrimenti lungo i

Figura 1  
Valutazione dell'agibilità  
rilevata durante i  
sopralluoghi in Emilia su  
edifici tutelati (Chiese e  
Palazzi).





giunti di malta deboli, che hanno introdotto, in corrispondenza delle fessure, forti eccentricità strutturali (in relazione i ridotti spessori), che hanno reso ovviamente problematica la stabilizzazione del danno strutturale con provvedimenti provvisori.

Va rilevato infine che quanto detto circa la qualità muraria si è tradotto nella formazione di poche fessure localizzate (ad esempio rispetto a quanto avvenuto in Abruzzo) che, oltre a provocare i forti scorrimenti locali sopra citati, si sono presumibilmente tradotte in modalità di rottura più fragili che non in Abruzzo, e in tal caso con minori capacità di dissipazioni energetiche durante il moto causato dal terremoto.

Su tali aspetti che hanno fortemente caratterizzato, differenziandoli, gli effetti dei due terremoti è già iniziato un lavoro di analisi e di

modellazione (Niker-FP7, 2012a) per fornire adeguati ed appropriati criteri sia di giudizio in fase di emergenza sia di progettazione degli interventi di recupero.

In tale contesto si sono particolarmente distinti i comportamenti e quindi le risposte in termini di danno degli edifici snelli nella Pianura Emiliana. I meccanismi di dissesto osservati nelle torri sono: il martellamento laddove addossati ad altri edifici, lesioni orizzontali o verticali nei campanili isolati, dissesti o collassi locali delle guglie, difetti costruttivi come mancanza di ammorsamenti tra elementi o tra paramenti, irrigidimenti localizzati e capochiave interni alle murature.

Anche nel caso in esame, infine, si sono osservati, sia pure in misura minore che in Abruzzo, gli effetti negativi di impropri interventi eseguiti in passato. Sono evidenti, tipicamente, quelli dovuti ad un

Figura 2  
Tipologie e qualità murarie. Lesioni nella muratura in mattoni, Scuola Elementare di Disvetro (Cavezzo, MO).

Figura 3  
Tipologie e qualità murarie. Lesioni nella muratura in pietra, Edificio in Piazza San Pietro a Coppito a L'Aquila.



Figura 4  
Mancanza di coesione e di ammorsamenti adeguati tra gli elementi resistenti che compongono la muratura. Chiesa di Santa Maria ad Nives a Motta (Cavezzo, MO).



Figura 5  
Interventi di sostituzione delle coperture lignee con strutture in latero-cemento presso la Chiesa di San Senesio e Teopompo a Medolla (MO).

Figura 6  
Ribaltamento della parte sommitale della facciata e ribaltamento fuori piano legato agli elementi di copertura dell'aula. Chiesa di San Luca Evangelista a Camurana (Medolla, MO).

non corretto impiego di strutture di cemento armato (Figura 5), in particolare la sostituzione delle coperture a capriate lignee di alcune chiese con coperture in latero-cemento o con capriate e timpani in cemento armato.

Dalle campagne di rilievo si è constatato inoltre che, negli ultimi anni, molte Chiese sono state oggetto di manutenzioni straordinarie, nella maggior parte dei casi però, non accompagnate da interventi di miglioramento sismico che avrebbero potuto ridurre la vulnerabilità nei confronti dei numerosi cinematici degli elementi resistenti che si sono attivati sia nel piano che fuori piano. Tra i meccanismi fuori piano che si sono presentati più spesso, pur a diversi livelli di attivazione: il ribaltamento della facciata o della sola parte sommitale (Figura 7), la risposta trasversale dell'aula che comporta lesioni agli archi, rotazioni

delle pareti laterali, fuori piombo e schiacciamenti nelle colonne (Figura 8), collassi localizzati sulle pareti laterali legati agli elementi di copertura (Figura 6). Meno gravosi ai fini del ripristino strutturale e della conservazione del Bene stesso, sono i meccanismi nel piano (Figura 9), maggiormente rilevati nelle pareti laterali dei palazzi, interne ed esterne.

Un'altra considerazione da farsi, riguarda l'importanza dei presidi antisismici esistenti e della loro efficacia. Nei manufatti d'interesse storico, i presidi sono tutti quegli elementi capaci di contrastare l'attivazione e l'evoluzione di un meccanismo, eliminando le spinte ed i possibili indicatori di vulnerabilità. Ad esempio, si fa riferimento a catene, tiranti, contrafforti, paraste, cerchiature, collegamenti puntuali, controventi, ammorsamenti di buona qualità. Sono stati

Figura 7  
Chiesa di San Martino in Tours a Buonacompria (Cento, FE).





Figura 8  
Chiesa di San Bartolomeo  
a Villafranca (Medolla,  
MO).



Figura 9  
Meccanismi nel piano: a sx  
il Municipio di Novi (MO),  
a dx le ex Scuole di  
Uccivello (Cavezzo, MO).



Figura 10  
Torriani del Palazzo Pio di  
Savoia a Sant'Antonio in  
Mercadello (Novi di  
Modena), parte inferiore  
collegata da presidi  
antisismici (tiranti), parte  
superiore libera.

osservati casi in cui la presenza e l'efficacia di tali elementi si è rilevata essenziale ai fini della stabilità della struttura, limitandone notevolmente il livello di danno. Nel caso contrario, l'i-

nefficacia, l'assenza o l'eliminazione nel corso dell'evoluzione storica del Bene è risultata determinante, inducendo l'attivazione di cinematici o il collasso (Figura 10).

### 3. Gli interventi di messa in sicurezza

Gli interventi di messa in sicurezza sono stati progettati ed eseguiti secondo i criteri sviluppati in seguito ai precedenti eventi sismici ed ampiamente testati in Abruzzo (da Porto et al., 2012a). In particolare prevedono una razionale analisi dei meccanismi di danno ed interventi "mirati" di contrasto "flessibile" all'ulteriore evoluzione dei cinematismi già attivati (Modena et al., 2008; Modena et al., 2010; Silva et al., 2010; Modena et al., 2011). I vantaggi di un tale approccio, in alternativa a quello più convenzionale del contrasto rigido effettuato con strutture in legno e/o acciaio, si misurano sia in termini funzionali/economici che strutturali e conservativi. Da un lato infatti si evita di invadere strade e piazze, condizionando pesantemente così sia le operazioni di gestione dell'emergenza sia le successive fasi di ricostruzione, ed evitando inoltre le onerose opere preliminari di rimozione/sostituzione delle opere provvisorie per poter eseguire le attività di cantiere per il definitivo recupero delle costruzioni danneggiate. Dall'altro lato il "confinamento" eseguito con sistemi leggeri, flessibili ed autoequilibranti comporta risposte strutturali delle costruzioni messe in sicurezza più prevedibili e controllabili rispetto al contrasto rigido, evitando interazioni con strutture adiacenti e con lo stesso terreno, di caratteristiche incerte e difficilmente controllabili. (Modena et al., 2008; Modena et al., 2010; Silva et al., 2010). Si collocano infatti, sia pure in condizioni estreme, nella logica dell'intervento locale piuttosto che della realizzazione di nuove opere, poste in parallelo a quelle esistenti danneggiate, in modo che, pur essendo provvisorie, siano in grado di reggere l'intero effetto delle scosse di assestamento. Il principio di progettazione utilizzato mira infatti ad agire puntualmente sui singoli cinematismi, realizzando interventi il più possibile scollegati tra loro. Ciò, in considerazione del fatto che un intervento "globale" può modificare lo schema strutturale dell'edificio in modo non prevedibile, innescando così meccanismi di collasso diversi e non evidenziati prima (Modena et al., 2000).

L'efficacia di questo approccio nelle opere di primo intervento, è stata testata con la campagna di monitoraggi eseguita su edifici fortemente danneggiati de L'Aquila (Casarin et al., 2010; Casarin et al., 2011). L'esperienza ha evidenziato come, nonostante il danno fosse elevato, è stato possibile garantire la stabilità dei macroelementi, rendendo la struttura estremamente "flessibile" e minimizzando così gli effetti di amplificazione della risposta dinamica.

Un ulteriore aspetto positivo è legato al fatto che, l'intervento puntuale delle opere provvisorie consente la massima libertà possibile nel

controllo, ispezione e messa in sicurezza con mezzi appropriati, tipici del restauro, delle superfici di pregio e dei manufatti di valore storico artistico.

Per quanto riguarda il modello organizzativo degli interventi di messa in sicurezza del patrimonio d'interesse culturale, in seguito agli eventi del Maggio 2012, la fase di progettazione e realizzazione interessa non solo i Vigili del Fuoco ma anche i tecnici privati. In entrambi i casi l'intervento deve essere sottoposto ad autorizzazione da parte dell'Unità di Crisi competente. La priorità, da parte dei Nuclei di Coordinamento per le Opere Provvisorie (NCP) dei Vigili del Fuoco, è stata data a tutte quelle situazioni di pericolo che gravavano sulla pubblica via o che rendevano inagibili intere aree residenziali o commerciali/produktive.

Un'esperienza molto vicina a quella dell'Abruzzo è stata portata avanti in accordo con la Direzione Regionale del Veneto, con la quale l'Università di Padova (Dip. ICEA) ha collaborato nella fase di progettazione delle messe in sicurezza dei Beni colpiti nel Polesine. Tali interventi hanno interessato prevalentemente le celle campanarie e le guglie dei campanili (Figura 11 e Figura 12). Come descritto nella sezione riguardante "Il rilievo del danno", in Emilia-Romagna le torri civiche e campanarie sono state oggetto di studio della "Commissione per i primi interventi di messa in sicurezza degli edifici snelli". I principali interventi consigliati sono stati cerchiature (Figura 13), elementi verticali di collegamento e sigillatura delle lesioni (Figura 14).

Proprio quest'ultimo tipo di intervento, la sigillatura delle lesioni, evidenzia uno degli aspetti che più caratterizzano il diverso comportamento delle due tipologie murarie tradizionali nel costruito italiano: la muratura in pietrame (prevalente in Abruzzo) e la muratura in mattoni di laterizio (frequente nella Pianura Emiliana). Nel primo caso infatti, si è assistito a fenomeni di "disgregazione" della muratura, e la stabilizzazione del danno ha richiesto che venisse spruzzata malta su ampie superfici (Figura 3). Nel secondo, le fessure più concentrate (Figura 2) sono state oggetto di riempimento o risarciture localizzate (Figura 14), con l'obiettivo sia di contrastare fenomeni di degrado nel tempo (legati in particolare alle infiltrazioni delle acque meteoriche e ai conseguenti cicli di gelo/disgelo) sia di ristabilire il più possibile il contatto fra porzioni di muratura ancora meccanicamente efficienti. Ne consegue un miglioramento delle capacità di resistenza dell'edificio danneggiato nei confronti di fenomeni di scorrimento lungo le lesioni stesse, che rappresentano il meccanismo di rottura più debole nei confronti delle azioni orizzontali.



Figura 11  
Interventi di messa in  
sicurezza della campanile  
della Chiesa di  
Sant'Antonio Martire a  
Ficarolo (RO).

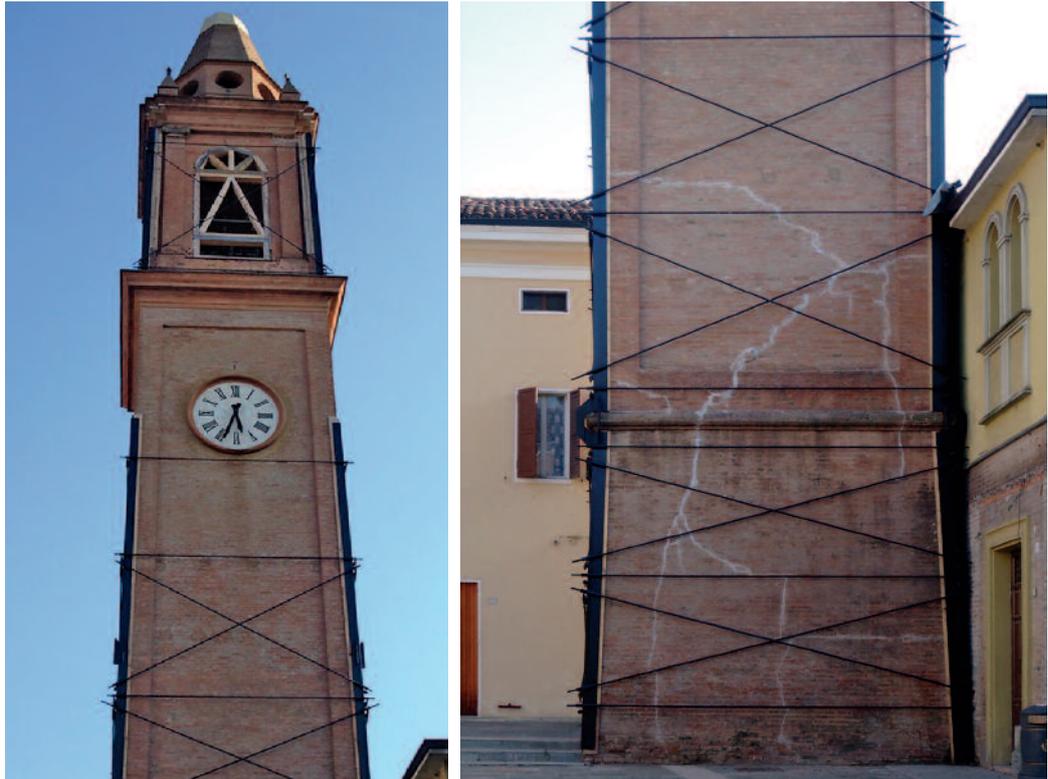


Figura 12  
Intevnti di messa in  
sicurezza del campanile  
della Chiesa di San  
Tommaso a Tommaselle di  
Gaiba (RO).



Figura 13  
Campanile della Parrocchia  
di San Michele Arcangelo  
a Novi di Modena (MO),  
prima e dopo l'intervento di  
messa in sicurezza,  
cerchiatura. "Commissione  
per i primi interventi di  
messa in sicurezza degli  
edifici snelli".

Figura 14  
Primo intervento nel Campanile della Chiesa di Sant'Egidio a Cavezzo (MO). "Commissione per i primi interventi di messa in sicurezza degli edifici snelli"



#### 4. Conclusioni

La metodologia per il rilievo del danno e per la immediata progettazione ed esecuzione di interventi provvisori degli edifici storici, messa a punto in seguito ai più recenti terremoti e largamente, positivamente sperimentata in Abruzzo, ha trovato un ulteriore positivo riscontro in occasione della emergenza post-sisma nella Pianura Emiliana. Le particolarità connesse con la diversa tipologia muraria – muratura in mattoni di laterizio invece che muratura in pietrame – hanno ovviamente caratterizzato alcuni aspetti della risposta sismica e del danneggiamento degli edifici colpiti dal terremoto. Di ciò si è dovuto tenere conto sia nelle procedure organizzative (come avve-

nuto con l'istituzione della Commissione per i primi interventi di messa in sicurezza degli edifici snelli) sia nelle procedure urgenti di messa in sicurezza. La diversa tipologia offre una notevole quantità di casi studio, preziosi ai fini dei necessari approfondimenti in termini di risposta del comportamento dinamico riscontrato nella realtà. Sarà perciò possibile, estendere e mettere a confronto, mediante opportune campagne di analisi strutturale (Niker-FP7, 2012b) calibrate sui danni effettivamente osservati, diverse tipologie costruttive, al fine di perfezionare ed adeguare sia le procedure di progetto già introdotte nella pratica professionale sia eventualmente specifiche indicazioni normative.

#### Bibliografia

- Casarin F., Lorenzoni F., Islami K., Modena C. (2011) - Dynamic Identification & Monitoring of the churches of St. Biagio and St. Giuseppe in L'Aquila. In: 4th International Conference on experimental Vibration Analysis for Civil Engineering Structures. Varenna, Italy, 3-5 October 2011.
- Casarin F., Modena C., Valluzzi M.R., da Porto F. (2010) - Structural monitoring of damaged cultural heritage buildings after the April 2009 Abruzzi earthquake. In: L. BINDA. Assessment and preservation of historic masonry structures. Djerba, Tunisia, 5-7 May 2010, vol. 3, p. 535-540, Tunisi: LGC-ENIT.
- da Porto F., Munari M., Prota A., Modena C. (2012a) - Analysis and repair of clustered buildings: Case study of a block in the historic city centre of L'A-

- quila (Central Italy). *Construction and Building Materials*, vol. 38, January 2013, p. 1221-1237.
- da Porto F., Silva B., Costa C., Modena C. (2012b) - Macro-scale analysis of damage to churches after earthquake in Abruzzo (Italy) on April 6, 2009. *Journal of Earthquake Engineering* 16(6), 739-758.
- Milano L., Morisi C., Calderini C., Donatelli A. AA (2011) - L'Università e la ricerca per l'Abruzzo - Il patrimonio culturale dopo il terremoto del 6 aprile 2009. TEXTUS Edizioni (L'Aquila).
- Modena C., Valluzzi M.R., da Porto F., Casarin F. (2011) - "Structural aspects of the conservation of historic stone masonry constructions in seismic areas". *International Journal of Architectural Heritage: Conservation, Analysis, and Restoration*. Taylor & Francis Publishers; vol. 5, p.539 - 558:

- doi: 10.1080/15583058.2011.569632.
- Modena C., da Porto F., Casarin F., Munari M., Silva B., Bettiol G. (2010) - Emergency Actions and Definitive Intervention Criteria for the Preservation of Cultural Heritage Constructions subjected to Seismic Actions - Abruzzo 2009. In: -. Proceedings of the Congresso Patrimonio 2010. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 14-16 April 2010, ISBN: 9789727521234.
- Modena C., Binda L. (2009) - Edilizia storica monumentale. Salvaguardia degli edifici di interesse storico artistico nell'emergenza post-sisma. *Progettazione Sismica*, vol. 3, p. 107-115, ISSN: 1973-7432.
- Modena C., Pineschi F., Valluzzi M.R. (2000) - Valutazione della vulnerabilità sismica di alcune classi di strutture esistenti. Sviluppo e valutazione di metodi di rinforzo. C.N.R. - G.N.D.T., Roma.
- Modena C., Valluzzi M.R., da Porto F., Casarin F., Munari M., Mazzon N., Panizza M. (2008) - Assessment and improvement of the seismic safety of historic constructions: research and applications in Italy. Proc. of the I Congreso Iberoamericano sobre Construcciones Históricas y Estructuras de Mampostería, Bucaramanga (CO) July 30<sup>th</sup> - August 1<sup>st</sup> 2008.
- New Integrated Knowledge Based Approaches to the Protection of Cultural Heritage From Earthquake-Induced Risk (Niker-FP7-ENV2009-1-GA244123) (2012a) - Deliverable 8.4 - Reliably quantification of building performance and response parameters for use in seismic assessment and design.
- New Integrated Knowledge Based Approaches to the Protection of Cultural Heritage From Earthquake-Induced Risk (Niker-FP7-ENV2009-1-GA244123) (2012b) - Deliverable 9.5 - Report on real case studies, with definition of strategies for control of adequacy and quality level of interventions.
- Silva B., da Porto F., Valluzzi M.R., Modena C. (2010) - Avaliação dos danos e intervenções provisórias em edifícios históricos pós evento sísmico - Abruzzo 2009. In: -. Proc. of Reabilitar 2010 - Encontro Nacional de Conservação e Reabilitação de Estruturas. Lisboa - Portugal, 23-25 June 2010.