

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

C. Modena¹ e L. Binda² ■

2.3.1 Introduzione

Il patrimonio architettonico è stato colpito in maniera particolarmente estesa e grave dal terremoto in Abruzzo del 6 aprile, soprattutto se si considerano gli effetti prodotti su una città delle dimensioni e dell'importanza storica e strategica come il capoluogo di Regione, L'Aquila. Le attività di salvaguardia di tale patrimonio si sono svolte sui due piani paralleli del rilievo del danno e della progettazione ed esecuzione delle opere provvisorie per la messa in sicurezza delle strutture. L'organizzazione complessiva è stata centralizzata nella struttura della Funzione 15 "Salvaguardia dei Beni Culturali" presso la Di.Coma.C, la quale ha coordinato l'attività di schedatura dei beni vincolati e di progettazione e realizzazione degli interventi, permettendo a diversi soggetti

(funzionari del MiBAC, esperti strutturisti delle Università e del CNR-ITC, funzionari e squadre dei Vigili del Fuoco) di operare insieme portando ciascuno le proprie specifiche conoscenze. Punto chiave del processo operativo è stata la "standardizzazione" del rilevamento del danno e della sua immediata e corretta interpretazione, attraverso l'utilizzazione di specifiche schede per chiese e palazzi predisposte dalla Protezione Civile (Gruppo di Lavoro Beni Culturali - GLABEC). Particolarmente interessante è stata l'esperienza maturata nel campo delle "messe in sicurezza": ne sono nati spunti per l'ingegnerizzazione del processo, in relazione ad operatività affidate a professionalità altamente specializzate nel campo dell'"emergenza" come quelle dei corpi speciali dei Vigili del Fuoco.

2.3.2 La gestione dell'emergenza

Il terremoto de L'Aquila del 6 Aprile 2009 ha coinvolto un territorio molto ampio compreso tra L'Aquila, Avezzano, Sulmona e Teramo. La morfologia del terreno ha svolto un ruolo importante nella distribuzione dei danni alle strutture e gli effetti più disastrosi sono stati rilevati lungo la valle dell'Aterno, coinvolgendo, oltre a L'Aquila, centri storici quali Paganica, Onna, Fossa, San'Eusanio Forconese, Villa San'Angelo ed altri. La gravità (Fig. 1) e l'estensione (Fig. 2) dei danni che sono stati prodotti dal terremoto sul patrimonio architettonico non ha precedenti nei recenti terremoti, quelli in cui, cioè, è stato possibile sviluppare una efficace e organica azione di protezione civile anche in relazione alla salvaguardia dei beni culturali, soprattutto se si considerano le dimensioni e l'importanza strategica come capoluogo di regione de L'Aquila.

Le attività di salvaguardia del patrimonio storico architettonico nelle condizioni di emergenza post-sisma hanno richiesto in effetti uno sforzo eccezionale per massimizzare l'efficienza operativa di procedure e metodi via via sviluppati in occasione di precedenti terremoti, particolarmente a seguito del terremoto dell'Umbria e Marche (1997), al fine di rendere il più possibile "corta" ed "affidabile" la catena decisionale che

porta dal rilevamento del danno alla esecuzione degli interventi provvisori di messa in sicurezza, in situazioni che vanno dal rudere ormai pura testimonianza storica a resti di edifici sulle cui pareti, fortemente danneggiate, sono presenti testimonianze di grande valore artistico. Sotto l'aspetto organizzativo è stata decisiva la scelta di centralizzare tali attività per l'intero "cratere" presso la struttura del Vice-commissario con delega per la salvaguardia dei Beni Culturali, al fine di garantire omogeneità nelle scelte decisionali e la massima concentrazione di un unico gruppo operativo su un solo obiettivo, sgravando allo stesso tempo da questa ulteriore attività i C.O.M., già impegnati su tutti i fronti dell'emergenza.

L'organizzazione delle attività della Funzione 15 del DPC "Salvaguardia dei Beni Culturali", sotto la direzione del Vice-commissario delegato, è stata svolta da dipendenti del MiBAC con il supporto del CNR-ITC de L'Aquila e di un gruppo di ricercatori delle Università di Genova, Padova e Milano. Il primo obiettivo della Funzione 15 è stato quello di elaborare un elenco, seppure provvisorio, dei beni architettonici da rilevare all'interno dell'area colpita e dare quindi inizio all'attività di schedatura dei danni ai monumenti e agli edifici soggetti a vincolo. Tale operazione si è

¹ Dipartimento di Costruzioni e Trasporti, Università di Padova. www.dic.unipd.it

² Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Politecnico di Milano. www.stru.polimi.it



Fig. 1
Santa Maria di Paganica in
centro storico a L'Aquila.



Fig. 2
Vista aerea del paese
distrutto di Onna, al centro
la chiesa di San Pietro già
parzialmente puntellata.

rivelata non immediata in quanto l'archivio della Soprintendenza de L'Aquila si trova tuttora all'interno della struttura fortemente danneggiata della Fortezza Spagnola. Le squadre di rilevamento sono costituite da un rappresentante della Soprintendenza ai beni artistici e paesaggistici, da un ingegnere strutturista delle Università, da un funzionario dei Vigili del Fuoco e da un archivista e/o storico dell'arte del Ministero per i beni e le attività culturali. I sopralluoghi sono iniziati il 14 Aprile a cominciare dalle chiese del centro storico de L'Aquila e delle zone limitrofe con la partecipazione degli strutturisti appartenenti dalle Università aderenti al ReLUIIS (Rete dei Laboratori Universitari di Ingegneria Sismica). Con il procedere della schedatura l'elenco dei beni è stato aggiornato attraverso la raccolta di segnalazioni da parte di comuni, parrocchie e privati cittadini proprietari di immobili vincolati. I dati raccolti sono stati progressivamente inseriti all'interno di un database elaborato dal MiBAC con il supporto del CNR-ITC de L'Aquila, il quale ha permesso di accedere velocemente ai risultati dei rilievi, organizzare sistematicamente i sopralluoghi successivi ed elaborare alcune prime considerazioni com-

plesive sull'avanzamento delle attività e lo stato di danno dell'intero patrimonio monumentale colpito. La creazione di squadre composte da rilevatori con diverse competenze ha permesso di compilare una scheda di rilievo completa ed al tempo stesso fornire prime indicazioni di "pronto intervento" per la "messa in sicurezza" che fossero il più possibile rispettose dei principi della conservazione, efficaci dal punto di vista strutturale e fossero realizzabili dagli operatori, che inizialmente erano costituiti esclusivamente da appartenenti ai Vigili del Fuoco.

Un ruolo determinante e insostituibile, per competenza professionale, efficacia operativa e disponibilità nelle operazioni di "messa in sicurezza" è stato svolto dal corpo dei Vigili del Fuoco, l'unico in grado, per preparazione e per disposizioni normative (in particolare la possibilità di agire in deroga alla normativa in materia di sicurezza sui luoghi di lavoro - Decreto legislativo n. 81 del 9 aprile 2008, Testo Unico sulla Salute e Sicurezza sul lavoro), di affrontare situazioni di estrema difficoltà (Fig. 3), impossibili da inquadrare in procedure riconducibili a schemi operativi ripetibili e quindi anche normati.

2.3.3 Il rilievo del danno

Per il rilievo dei danni all'edilizia storica monumentale sono state utilizzate 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. Le schede sono costituite da diverse sezioni riguardanti: nozioni generali quali denominazione, collocazione, proprietà e destinazione d'uso; informazioni sui beni artistici presenti; principali dimensioni dell'edificio; valutazione del danno sia strutturale che a beni artistici; giudizio di agibilità; suggerimenti su provvedimenti

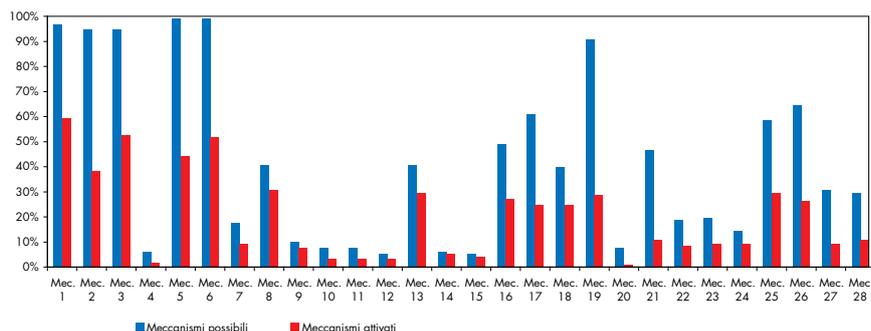
di pronto intervento urgenti; quantificazione economica del danno.

Il rilievo del danno strutturale è basato sull'identificazione dei macroelementi che compongono un edificio in muratura e sulla valutazione del livello di attivazione del o dei cinematismi associati al macroelemento stesso (Giuffrè, 1991). Nello specifico la scheda "chiese" individua 28 cinematismi possibili tipicamente rilevabili in questa tipologia; la scheda "palazzi" ne individua invece 22. I cinematismi ipotizzati individuano, per ogni elemento della tipologia in esame, dei meccanismi di primo modo (fuori dal piano) e dei meccanismi di secondo modo



(nel piano) (Borri et al., 2002). Nel caso delle chiese i meccanismi ipotizzati dalla scheda hanno mostrato un'ottima corrispondenza con quanto effettivamente rilevato; ciò è dovuto al ricorrere di elementi tipologici quali facciata, navata, transetto, abside e sistemi di volte, sempre presenti nelle strutture. Ne è risultata una scheda di facile e rapida compilazione, la quale fornisce una valutazione standardizzata sul livello di danno dell'edificio, sostanzialmente esente da valutazioni soggettive del compilatore (Lagomarsino et al., 2001). La scheda per la valutazione dei "palazzi", a differenza di quella per le chiese, già sperimentata in precedenti terremoti, è stata impiegata per la prima volta in Abruzzo. La maggiore complessità di compilazione di questa seconda scheda è collegata alla difficoltà di ricondurre tutti gli edifici storici non di culto all'interno di una stessa tipologia definita come "palazzi". Nel caso di strutture complesse, stratificate e spesso molto diverse tra loro, l'identificazione dei singoli macroelementi non è univoca per tutti i casi analizzati. Il test su larga scala effettuato porterà quindi ad ulteriori perfezionamenti, soprattutto in relazione alla definizione di indici sintetici di danno, alla quantificazione economica del danno stesso e a possibili semplificazioni, in particolare per quanto riguarda la cosiddetta "scheda palazzi". A cinque mesi dal sisma, la schedatura delle chiese è terminata ed è in via di conclusione il rilievo dei palazzi soggetti a vincolo. Delle circa 1000 chiese rilevate 240 sono risultate agibili, delle rimanenti i casi più urgenti e gravi sono stati selezionati per i primi interventi di "messa in sicurezza" eseguiti dai Vigili del Fuoco.

La raccolta sistematica dei dati oggettivi forniti della schedatura del danno permetterà in seguito l'elaborazione di considerazioni gene-



rali sul comportamento e sulle vulnerabilità specifiche delle diverse tipologie. Una prima elaborazione fatta su un campione di 173 chiese schedate dal gruppo di lavoro dell'Università di Padova nei primi tre mesi di attività (Costa, 2009), mostra come la facciata e gli elementi aggettanti rappresentano le specifiche vulnerabilità di questa tipologia (Doglioni, 1994). Il grafico in Fig. 4 mostra la percentuale di meccanismi possibili e la percentuale di meccanismi attivati dall'azione sismica con riferimento al campione analizzato. Si nota come i meccanismi di facciata (Mec.1: ribaltamento della facciata; Mec.2: meccanismi della sommità della facciata; Mec.3: meccanismi nel piano della facciata), oltre ad essere sempre presenti, mostrano un'alta percentuale di attivazione, in media 50%. I meccanismi degli elementi aggettanti, non sempre presenti, mostrano però un'alta percentuale di attivazione rispetto alla presenza dell'elemento; tra essi si individuano i meccanismi della cupola e della lanterna, rispettivamente Mec.14 e Mec.15 e il Mec. 26 riguardante gli aggetti in generale (vela, guglie, pinnacoli, statue, ecc.). Un giudizio di danno elevato associato ad alti livelli di attivazione (maggiore o uguale a 3 in una scala da 1 a 5) è stato ottenuto per i meccanismi degli elementi voltati (Fig. 5), i quali in genere presentano un'alta vulnerabilità legata alla tecnica costruttiva di mattoni in foglio spesso riscontrata in sito.

L'approccio per cinematismi 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. Il rilievo del danno in Abruzzo ha da subito mostrato come il comportamento monolitico in molti casi non si sia realizzato a causa della composizione e conformazione intrinseca della muratura, la quale si è spesso presentata disgregata provocando il crollo di intere pareti

Fig. 3
Squadra SAF al lavoro sul campanile di San Martino ad Ocre.

Fig. 4
Percentuale di meccanismi possibili ed attivati, su un campione di 173 chiese rilevate.



Fig. 5
Volta crollata a Santa Maria
del Soccorso a L'Aquila.



Fig. 6
Interno della chiesa di San
Marco in centro storico a
L'Aquila.

murarie. Ciò è legato alla tipologia costruttiva della muratura: i pannelli spesso di notevole spessore sono tuttavia realizzati con pietre irregolari di diverse dimensioni disposte in modo irregolare e legate da una malta di scarsa qualità, tale da non garantire un'efficace coesione degli elementi resistenti, anche nel caso degli edifici monumentali. In questo senso, un ulteriore elemento di vulnerabilità è rappresentato dalla sequenza costruttiva articolata e non unitaria che spesso caratterizza gli edifici storici. Un'ulteriore osservazione e spunto per maggiori approfondimenti in parte già iniziati, anche attraverso l'esecuzione di indagini in situ (Binda et al., 1999), viene dai visibili e a volte

gravissimi effetti del terremoto connessi con interventi di carattere strutturale eseguiti in passato: sono evidenti quelli chiaramente dovuti ad un non corretto impiego di strutture di cemento armato (Fig. 6), in particolare la sostituzione delle coperture a capriate lignee di alcune chiese con coperture in laterocemento o con capriate e timpani in cemento armato. Un'altra "tipologia" di intervento rilevata è la rimozione delle catene metalliche di collegamento delle pareti ortogonali: ne sono esempi emblematici la Fortezza Spagnola e la chiesa della Beata Antonia (Fig. 7), entrambi edifici di grande rilievo storico ed artistico nel centro storico de L'Aquila.

2.3.4 Gli interventi di messa in sicurezza

Il progetto d'intervento per la messa in sicurezza di un edificio storico parte dal rilievo del danno subito dalla struttura e dall'identificazione dei meccanismi di collasso attivati dall'azione sismica secondo quanto ipotizzato dagli abachi presenti nelle schede di rilievo. La schedatura del danno è quindi il primo strumento per formulare un'ipotesi di progetto per un intervento mirato a contrastare lo specifico meccanismo in atto. Il terremoto in Abruzzo è stata l'occasione per testare su ampia scala un procedimento di progettazione e realizzazione degli interventi già abbozzato successivamente al terremoto dell'Umbria-Marche (1997), il quale deve coordinare le tre figure principali coinvolte: il funzionario della Soprintendenza, l'ingegnere strutturista e le squadre dei Vigili del Fuoco operanti. Ad esclusione di alcuni interventi fortemente simbolici che hanno portato alla realizzazione di opere di particolare impegno sotto il profilo dell'ingegneria strutturale e dell'operatività in fase di realizzazione, quali la cupola delle Anime Sante (Fig. 8) e la copertura della Basilica di Collemaggio, si è trattato di for-

nire in maniera rapida (e quindi il più possibile estesa) ed efficace (in relazione alla sicurezza strutturale, ma anche allo sciame sismico in atto dopo la scossa principale) "condizioni minime di sopravvivenza" di ciò che è rimasto di un grande numero (centinaia) di edifici storici gravemente danneggiati. In particolare, su circa 1000 chiese inserite nel database MiBAC, le chiese risultate agibili a seguito del rilievo del danno sono circa il 25%: considerando la scarsa incidenza di altre classi di agibilità che non necessitano di opere provvisorie, ne risulta che circa il 65% delle chiese necessita di una valutazione per la messa in sicurezza. La procedura standard per la progettazione e realizzazione dei pronti interventi eseguiti con le squadre dei Vigili del Fuoco comincia con la compilazione della scheda di rilievo del danno eseguito da operatori (funzionario della Soprintendenza, vigile del fuoco, esperto strutturista) preparati alla gestione della successiva fase di progetto dell'intervento. Successivamente gli strutturisti delle Università elaborano una prima ipotesi di progetto che viene discussa in riunioni quotidiane presso il nucleo operativo dei Vigili del

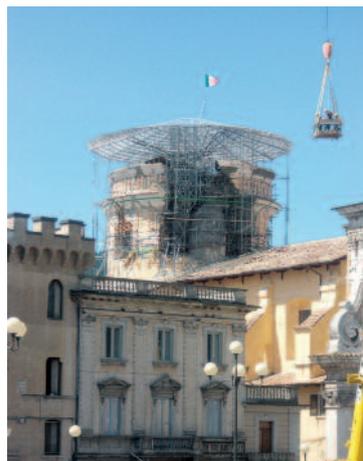


Fig. 7
Interno della chiesa della Beata Antonia in centro storico a L'Aquila.

Fig. 8
Cupola della chiesa delle Anime Sante in centro storico a L'Aquila.

Fuoco (NCP, nucleo per il coordinamento delle opere provvisorie) assieme a ingegneri del corpo ed ad un funzionario della Soprintendenza. Nei casi che presentano particolari difficoltà operative e di realizzazione, alla fase di discussione segue un sopralluogo congiunto degli strutturalisti e degli operatori dei Vigili del Fuoco. A seguito dell'approvazione del progetto definitivo e della cantierizzazione dello stesso, sono frequenti ulteriori sopralluoghi congiunti per definire in corso d'opera le migliori soluzioni possibili da ottenersi nel rispetto del manufatto storico e nella minimizzazione dei costi d'intervento.

Durante la fase immediatamente successiva al sisma del 1997 erano state decise le procedure per il rilevamento dei danni e la definizione delle opere provvisorie ed alcuni principi di progettazione delle stesse. Tali criteri consistevano nell'evitare di coinvolgere nelle opere provvisorie le strutture vicine all'edificio oggetto d'intervento (i puntellamenti delle facciate dei palazzi eseguite con elementi a contrasto incidenti sulle facciate degli edifici di fronte), di occupare le sedi stradali, impedendo quindi l'accessibilità dei mezzi necessari per tutte le operazioni post sisma, e nel realizzare interventi che non fossero d'impedimento a successive operazioni per il definitivo recupero della struttura. Altre considerazioni di carattere logistico e operativo per la scelta degli interventi provvisori, già individuate durante il terremoto dell'Umbria e Marche, hanno riguardato la possibilità di rapido reperimento dei materiali e la facilità di esecuzione delle opere rapportata alle competenze degli operatori (AA.VV., 2007).

Nella progettazione delle opere di messa in sicurezza, alle considerazioni logistiche sopra riportate, se ne sono aggiunte altre di carattere prettamente strutturale riguardanti il comportamento statico e dinamico di un edificio danneggiato dal-

l'azione del sisma, maturate sia in seguito alle esperienze acquisite in occasione di precedenti terremoti, sia alle conoscenze sviluppate all'interno delle Università attraverso le ricerche sul tema dell'ingegneria sismica e nello specifico del comportamento degli edifici storici soggetti all'azione del terremoto (Modena et al, 2008).

Gli interventi provvisori più diffusi sono quelli relativi ai meccanismi cosiddetti di primo modo, ossia i meccanismi di ribaltamento fuori del piano delle pareti. I meccanismi di primo modo, secondo l'approccio cinematico proposto dalla normativa, sono caratterizzati da un valore del moltiplicatore dei carichi che attiva il meccanismo e successivamente determina il collasso dell'elemento minore rispetto ai meccanismi di secondo modo (nel piano), i quali più difficilmente evolvono fino al collasso dell'elemento. Il meccanismo di ribaltamento complessivo o parziale della facciata è stato individuato nella maggior parte delle chiese danneggiate, con diversi livelli di attivazione. Gli interventi provvisori per la messa in sicurezza delle facciate delle chiese possono essere eseguiti in due diversi modi: attraverso sistemi tradizionali di puntellamento con pali di legno (Fig. 9) o attraverso tirantature eseguite con funi d'acciaio o cerchiature con fasce in poliestere (Fig. 10). I due tipi d'intervento corrispondono a diversi approcci strutturali: nel primo caso si intende ripristinare parzialmente la rigidità della struttura, nel secondo caso le fasce (o i tiranti) collegano elasticamente i diversi blocchi rigidi individuati dall'attivazione del danno sismico che costituiscono la catena cinematica (Bellizzi, 2000; Dolce et al., 2002).

La preferenza accordata al secondo metodo è determinata dalle considerazioni precedentemente esposte. In primo luogo il fattore viabilità ed occupazione del suolo: l'intervento eseguito con puntelli tradizionali implica che un'ampia

Fig. 9
Puntellamento della facciata
di Santa Giusta a Bazzano.



Fig. 10
Fasciatura della facciata di
San Giuseppe dei Minimi in
centro storico a L'Aquila.



fascia del terreno antistante la facciata debba essere utilizzato per il posizionamento dei pali, impedendo quindi il passaggio. Inoltre la serie molto fitta di puntelli dovrà essere rimossa nel momento in cui si decida di iniziare le opere di consolidamento e restauro definitivo dell'edificio. L'intervento eseguito con fasce o tiranti invece non occupa in alcun modo il suolo antistante ed è minimale per la struttura coinvolta; inoltre la stessa realizzazione e successiva rimozione risultano essere molto più rapide.

Di contro la fasciatura ha come presupposto di fattibilità l'assenza di disgregazione della facciata, e quindi risulta efficace quando si può presupporre la formazione di un meccanismo di rotazione rigida nettamente definito. Dal punto di vista strutturale l'intervento con fasce o tiranti realizza il collegamento dei blocchi rigidi individuati dalle lesioni provocate dall'azione sismica. La struttura danneggiata ha una rigidità globale minore rispetto alla condizione pre-sisma e l'esatto posizionamento delle fasce assicura una grande capacità di spostamento dei blocchi senza arrivare al collasso per ribaltamento degli stessi. La fasciatura permette il collegamento di pareti ortogonali tra loro e quindi il trasferimento dell'azione che determinerebbe il ribaltamento dell'elemento alle strutture ad esso perpendicolari, le quali si trovano ad agire nel proprio piano di maggiore rigidità. Nel caso di scosse di assestamento di elevata intensità, l'utilizzo di puntelli tradizionali può comportare il martellamento della facciata da parte dei pali e quindi il possibile danneggiamento locale della struttura (Calderini et al., 2004).

Nella maggior parte dei casi analizzati la struttura ha sviluppato più di un meccanismo di collasso. Il principio di progettazione utilizzato mira ad agire puntualmente sui singoli cinematici 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 e quindi innescare meccanismi di collasso diversi e non evidenziati prima (Modena et al., 2000). Tale principio è stato utilizzato ad esempio per la progettazione e la realizzazione della messa in sicurezza della chiesa di Santa Margherita nel centro storico de L'Aquila, dove i due meccanismi principali individuati sono la risposta trasversale dell'aula e il ribaltamento dell'abside. Sono stati realizzati due interventi separati relativi ai corrispondenti meccanismi: le due pareti laterali sono state collegate tra loro tramite funi metalliche ancorate su una trave di contrasto in acciaio posta in opera nella parte sommitale delle stesse, in corrispondenza della volta (Fig. 11), l'abside è stata collegata tramite funi metalliche ai setti murari che separano la navata centrale dalle cappelle laterali.

Diverso è il caso in cui su di un elemento strutturale si siano sviluppati sia il meccanismo di taglio nel piano sia quello di ribaltamento fuori piano. In tale situazione la monoliticità dell'elemento soggetto a ribaltamento non è presente e quindi essa va assicurata con un apposito intervento propedeutico alla realizzazione di una fasciatura o tirantatura che inibisca il meccanismo fuori del piano dell'elemento stesso. L'intervento relativo alle lesioni di taglio nel piano può essere realizzato tramite l'esecuzione di un graticcio ligneo (Fig. 12) ed una fasciatura dell'elemento, il quale viene successivamente collegato alle pareti ad esso ortogonali con fasce o tiranti per impedirne il ribaltamento.

La presenza di crolli localizzati dovuti al disgregamento di una muratura in pietra con malta di pessime caratteristiche ha suggerito di intervenire diffusamente con interventi di consolidamento delle parti non crollate tramite rinzaffi



Fig. 11
Intervento a Santa Margherita in centro storico a L'Aquila.



Fig. 12
Intervento in fase di realizzazione a San Domenico e intervento realizzato presso la Chiesa Evangelica in centro storico a L'Aquila.

superficiali (Fig. 13), eseguiti con malte a base di calce idraulica naturale a rapido indurimento e ritiro ridotto.

L'approccio metodologico utilizzato per la messa in sicurezza delle chiese può essere utilizzato su più vasta scala per la realizzazione degli interventi sui palazzi privati. Il numero molto maggiore di questi ultimi rispetto alle chiese suggerisce la necessità di operare secondo un metodo il meno invasivo possibile. Gli interventi con fasce o tiranti

associati a graticci lignei sperimentati sulle chiese, si presentano come i più indicati in quanto non determinano l'occupazione delle vie d'accesso agli edifici e realizzano una migliore risposta della struttura ad ulteriori sollecitazioni sismiche. Inoltre, nel caso dei centri storici, dove le strade hanno larghezze limitate, si evita di realizzare puntellamenti che vadano ad agire su edifici gli uni di fronte agli altri, creando punti di interazione e martellamento tra strutture diverse (Fig. 14).

Conclusioni

Il terremoto che ha colpito l'Abruzzo il 6 aprile ha rappresentato l'occasione per mettere a punto una metodologia per il rilievo del danno degli edifici monumentali, manufatti particolarmente vulnerabili all'azione sismica nell'ambito dell'edilizia storica. Tale metodologia, già sperimentata in occasione di precedenti eventi sismici, ha sostanzialmente dimostrato la sua adeguatezza e affidabilità. Gli strumenti operativi d'indagine sono stati due schede (la *Scheda Chiese* e la *Scheda Palazzi*), che rappresentano una sorta di guida esperta all'esame delle fabbriche e che hanno consentito l'analisi sistema-

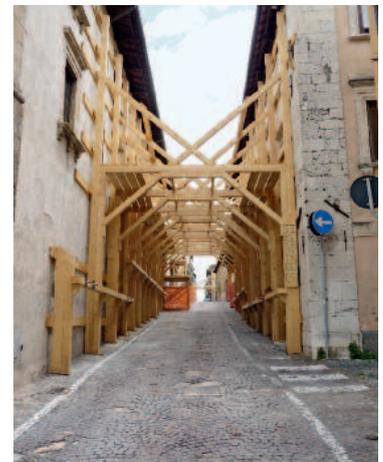
tica dei danni e delle vulnerabilità.

La diagnosi effettuata mediante il rilievo può essere di fatto tradotta in indicazioni degli interventi necessari al ripristino e al miglioramento sismico. In questo senso sono certamente necessari ulteriori studi e approfondimenti che permettano di interpretare correttamente i meccanismi di danno "peculiarissimi" che si sono osservati in diversi edifici monumentali e, in particolare, l'effetto che su di essi hanno avuto interventi pregressi. In questo senso si stanno muovendo le iniziative promosse dal Vice-commissario delegato, che hanno coinvolto un rilevante numero di Università italiane nell'analisi di "Casi di Studio" significativi.

Fig. 13
Intervento di rinzaffo sulla
parete absidale della
chiesa della Madonna della
Prata in località Tussillo.



Fig. 14
Tre diverse tipologie di
interventi per la messa in
sicurezza delle facciate dei
palazzi nel centro storico
de L'Aquila: graticcio e
tiranti, puntelli di ritegno,
puntellamento a contrasto.



Inoltre, il rilievo dei danni e della vulnerabilità sismica ha consentito di svolgere un'analisi pro-pedeutica alla progettazione degli interventi provvisori. L'osservazione sistematica dei pronti interventi realizzati a seguito di precedenti eventi sismici, evidenzia come le scelte metodologiche e le soluzioni adottate siano in alcuni casi in contrasto con qualsiasi finalità e con qualsiasi criterio di progettazione di un intervento di messa in sicurezza. Sono quindi state spesso adottate soluzioni inefficaci, antieconomiche o eccessive, anche in casi non particolarmente preoccupanti, privilegiando di norma i puntellamenti di ritegno. In occasione del terremoto abruzzese sono stati invece sfruttati il più possi-

bile i vantaggi offerti da interventi di tirantatura e cerchiatura (maggiore efficacia, minor costo in relazione alle minori quantità di materiale, ridotti ingombri, ecc.) (Bellizzi et al., 2001) e, grazie all'attività effettuata su larga scala, è stato anche possibile predisporre prontuari per la progettazione degli interventi provvisori (NCP, 2009). Anche in questo caso, sono necessarie specifiche e sistematiche attività di ricerca che attraverso trattazioni teoriche, numeriche e sperimentali (Liberatore et al., 2009) arrivino a ottimizzare le tecniche di messa in sicurezza dei beni culturali danneggiati dal terremoto, per poter mettere a disposizione degli operatori indicazioni, metodologiche, progettuali ed esecutive adeguate.

Bibliografia

- AA.VV. (2007) - Beni Culturali in Umbria: dall'emergenza sismica alla ricostruzione. Commissario delegato per i Beni Culturali, Ufficio del Vice Commissario, BetaGamma Ed.
- Bellizzi M., Colozza R., Dolce M. (2001) - Le opere provvisorie nell'emergenza sismica. Atti del X Convegno ANIDIS "L'ingegneria Sismica in Italia", Potenza-Matera 9-13 settembre 2001.
- Bellizzi M. (2000) - Le opere provvisorie nell'emergenza sismica. Agenzia di Protezione Civile - Servizio Sismico Nazionale, Roma.
- Binda L., Gambarotta L., Lagomarsino S., Modena C. (1999) - A multilevel approach to the damage assessment and seismic improvement of masonry buildings in Italy. In A. Bernardini (Ed.), *Seismic damage to masonry buildings*, Balkema, Rotterdam.
- Borri A., Avorio A., Corradi M. (2002) - Ricerche per la ricostruzione - Iniziative di carattere tecnico e scientifico a supporto della ricostruzione. DEI Tipografia del Genio Civile, Roma.
- Calderini C., Lagomarsino S., Podestà S., Lemme A. (2004) - La messa in sicurezza degli edifici monumentali. XI Convegno ANIDIS "L'ingegneria Sismica in Italia", Genova 25-29 gennaio 2004.
- Costa C.Q.M. (2009) - Seismic Vulnerability of Historical Structures. Damage state of the Abruzzo churches, in the sequence of the 2009 earthquake. MSc Thesis, Erasmus Mundus Advanced Master in Structural Analysis of Monuments and Historical Constructions, University of Padova.
- Dogliani F., Moretti A., Petrini V. (1994) - Le chiese e il terremoto. LINT Ed., Trieste.
- Dolce M., Liberatore D., Moroni C., Perillo G., Spera G., Cacosso A. (2002) - OPUS: Manuale delle Opere Provvisorie Urgenti Post-Sisma (<http://postterremoto.altervista.org/index.php>).
- Giuffrè A. (1991) - Letture sulla meccanica delle muraure storiche. Kappa Ed., Roma.
- Lagomarsino S., Maggiolo L., Podestà S. (2001) - Vulnerabilità sismica delle chiese: proposta di una metodologia integrata per il rilievo, la prevenzione ed il rilievo del danno in emergenza. Atti del X Convegno ANIDIS "L'ingegneria sismica in Italia", Potenza-Matera 9-13 settembre 2001.
- Liberatore D., Mattered M., Perillo G. (2009) - Opere provvisorie post-sisma per edifici in muratura. Atti del XIII Convegno ANIDIS "L'Ingegneria Sismica in Italia", Bologna 28 Giugno - 2 Luglio 2009.
- 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 30th - August 1st 2008.
- NCP - Nucleo di Coordinamento per le Opere Provvisorie (2009). Vademecum STOP: Schede tecniche delle opere provvisorie per la messa in sicurezza post-sisma da parte dei Vigili del Fuoco - versione 2.2.