

2.4 Gli edifici in muratura nei centri storici dell'Aquilano

C.F. Carocci¹ e S. Lagomarsino² ■

2.4.1 Introduzione

Le costruzioni in muratura sono in grado di sopportare un terremoto violento come quello che ha colpito L'Aquila il 6 aprile 2009? È possibile riparare gli edifici danneggiati, garantendo un adeguato livello di sicurezza alle persone che vi abitano, in un'area a così elevata pericolosità sismica?

Sono questi gli interrogativi che si pongono i ricercatori ed i funzionari tecnici, ma soprattutto la gente che ha vissuto questo tragico evento, che vorrebbe vedere i centri storici recuperati e tornare nelle proprie case ma che ha anche paura.

La risposta a queste domande non può che essere complessa ed articolata, perché tanti sono i fattori che hanno influenzato il comportamento sismico del costruito Aquilano.

In questo terremoto, più che in altri, hanno giocato un ruolo importante gli effetti di amplificazione sismica locale: se si analizzano i risentimenti macrosismici dei tanti centri storici nella Valle dell'Aterno (sud-est de L'Aquila), ci si accorge immediatamente che borghi gravemente colpiti (Onna e Villa Sant'Angelo, I=9-10) sono vicini ad altri nei quali il danneggiamento è stato lieve: Onna (I=9-10) dista in linea d'aria solo 1500 m da Monticchio (I=6). Nell'ambito del comune di Villa Sant'Angelo, la distanza tra il capoluogo (I=9) ed il borgo di Tussillo (I=8) è inferiore a 700 m. Anche all'interno dello stesso centro storico de L'Aquila, ci sono zone nelle quali si è chiaramente concentrato il danno.

Proprio a L'Aquila va peraltro osservato che il numero maggiore di vittime si è avuto negli edifici in c.a. (135 contro 52 negli edifici in muratura). Nel centro storico i danni alle chiese sono stati gravissimi, in alcuni casi con crolli estesi, ma la maggior vulnerabilità di questa tipologia è ben nota e testimoniata dalla storia (proprio nelle chiese, in passato, si sono spesso concentrate le vittime). I palazzi, invece, si sono danneggiati in modo diffuso, talvolta grave, ma senza mostrare crolli se non di tipo localizzato, nelle logge o nelle volte delle scale; quasi sempre ciò è avvenuto nei manufatti in stato di scarsa manutenzione (se non di abbandono).

I moderni criteri della sicurezza strutturale,

basati sulla verifica nei riguardi di diversi stati limite (performance-based design), prevedono che in occasione di un terremoto raro la costruzione subisca danni gravi ma siano evitati crolli, al fine di salvaguardare la vita degli occupanti. Il terremoto del 6 aprile scorso aveva un'intensità comparabile con quella prevista dalle nuove Norme Tecniche delle Costruzioni e molti palazzi del centro storico de L'Aquila hanno avuto un danno compatibile con questa azione (gli accelerogrammi registrati dagli strumenti presenti nella zona del "cratere sismico" hanno spettro di risposta di poco superiore a quello di progetto). Si può quindi affermare che una costruzione in muratura ben realizzata, ovvero dotata di quei collegamenti che le consentono di comportarsi come un unico organismo strutturale (ammorsamenti tra pareti ortogonali, collegamenti tra solaio e parete), è in grado di danneggiarsi senza manifestare crolli fragili.

Questo articolo però non si occupa di edilizia monumentale, ma del costruito in muratura minore, diffuso nei tanti centri storici intorno a L'Aquila, che ha invece subito gravi danni e crolli. Volendo ancora considerare il numero di vittime come parametro di vulnerabilità, fuori L'Aquila le vittime in edifici in muratura sono state 97, a fronte di 14 vittime in edifici in c.a. (ma va detto che in questi comuni la percentuale di edifici in c.a. è minore che a L'Aquila e comunque si parla di edifici più bassi).

Quali sono i fattori che giustificano questo diverso comportamento tra i palazzi de L'Aquila e gli edifici nei centri storici limitrofi? Sostanzialmente due: la qualità della costruzione e la presenza di incongrui interventi di ristrutturazione. Negli edifici in muratura del centro storico de L'Aquila, in massima parte ricostruito dopo il tragico terremoto del 1703, sono chiaramente riconoscibili una serie di accorgimenti costruttivi caratteristici della *regola dell'arte* Aquilana: i radiciamenti lignei (elementi disposti nello spessore murario, collegati all'esterno con piccoli capochiave metallici), per migliorare la connessione tra le pareti; la connessione delle orditure lignee di copertura con le cimase murarie, attraverso capochiave in legno. Queste regole sono state adottate anche nei più piccoli centri storici

¹ Dipartimento ASTRA, Facoltà di Architettura di Siracusa, Università di Catania. www3.unict.it

² Dipartimento di Ingegneria delle Costruzioni, dell'Ambiente e del Territorio, Università di Genova. www.dicat.unige.it

Fig. 1
Castelnuovo: prospetto a
valle di edifici a fronte
monocellulare su pendio.



Fig. 2
Casentino: isolati con
sviluppo ortogonale al
pendio (si osservi la
scalettatura dei fronti).



limitrofi, ma spesso con minore sapienza costruttiva ed utilizzando materiali di minore qualità. Anche dopo il sisma del 1703, i centri storici della Valle dell'Aterno sono stati colpiti da importanti terremoti, in particolare quello di Avezzano del 1915. Sono infatti ben leggibili gli interventi di riparazione e rinforzo sismico (muri a scarpa, speroni, catene in adiacenza alle pareti murarie) ed in molti casi le parziali ricostruzioni delle porzioni crollate. Questi interventi hanno in molti casi funzionato, ma in altri la vulnerabilità si è riproposta, denunciando la difficoltà di un ripristino con miglioramento sismico davvero efficace.

Per quanto riguarda invece gli interventi recenti di ristrutturazione (solo in alcuni casi realizzati con finalità di consolidamento), va detto che mentre L'Aquila appare meglio conservata (sia perché moltissimi manufatti sono tutelati, sia perché forse in alcune parti meno abitata), nei

centri storici minori sono frequenti le manomissioni: ampliamenti, trasformazioni, sopraelevazioni, rifacimenti dei solai e delle coperture. Questi interventi sono stati spesso realizzati con materiali e tecniche costruttive non compatibili con la struttura originaria: alterazioni nella trasmissione degli sforzi, diversa rigidità tra gli elementi, dannoso incremento delle masse.

L'ultimo importante interrogativo è quello della riparabilità di costruzioni così gravemente danneggiate e della possibilità di ricostruire le parti crollate degli aggregati edilizi con la tecnica muraria tradizionale (ovvero in pietra), eventualmente aggiornata sulla base dell'esperienza di questo terremoto. A tal fine si propone una lettura del danno alle costruzioni in muratura basata non solo sull'individuazione delle vulnerabilità ma anche delle resistenze (presidi antisismici), in modo che si possa davvero imparare dal collaudo del terremoto.

2.4.2 Aspetti tipologici degli edifici in muratura nei centri storici de l'Aquilano

I centri storici de l'aquilano sono costituiti in larga misura da edifici murari di semplice organizzazione. Anche la loro aggregazione nel tessuto edilizio sembra nella maggior parte dei casi seguire semplicemente le regole imposte dalla morfologia del terreno.

Certamente la lunga storia (anche sismica) ha determinato per ciascuno di questi centri peculiarità costruttive e specifiche caratteristiche d'assetto del tessuto che meriterebbero di essere approfondite ma che in questa memoria non possono essere prese in considerazione.

Con riferimento agli aggregati si può comunque affermare che i tessuti urbani sono caratterizzati dalla presenza di isolati contenuti in dimensione, che si sviluppano seguendo la morfologia del terreno su cui sono edificati.

Nei centri collocati sui versanti (ed esempio: Fossa, Casentino, Tussillo, Castelnuovo) o su acrocori (ad esempio: Poggio Picenze, Sant'Eusanio Forconese, Villa Sant'Angelo), entrambi i casi caratterizzati dalla presenza del pendio, si osservano le due tipologie classiche di aggregato - isolato parallelo e isolato ortogonale al pendio - e la gamma delle loro varianti intermedie (Fig. 1-2).

Le caratteristiche di assetto degli edifici legate alla conformazione degli isolati di cui fanno parte, e che hanno una relazione con la vulnerabilità sismica, possono schematicamente essere elencate: differenza di altezza tra le pareti murarie sui fronti strada contrapposti; scalettatura dei fronti degli edifici contigui; numero e altezza delle pareti esterne esposte (posizione dell'edificio nell'isolato).

Nei tessuti edilizi sviluppatasi lungo i percorsi di accesso al centro più antico, gli aggregati sono



caratterizzati dalla continuità dei fronti strada e dalla contestuale assenza di compattezza edilizia nella profondità dei corpi di fabbrica (ad esempio: San Demetrio Colle).

Tali caratteristiche generali sono diffusamente riscontrabili nei centri oggetto di questa analisi, anche se allo stato delle conoscenze non è possibile stabilire una correlazione tra la tipologia dell'aggregato e il danno subito. In ogni caso, le osservazioni relative alla scala dell'aggregato rivestono una qualche importanza non tanto per la individuazione di vulnerabilità precipe e differenziate da quelle del singolo edificio, quanto invece per la fase di impostazione del progetto di riparazione e ricostruzione.

La presenza diffusa di archi di contrasto posti tra le facciate delle case che si fronteggiano sulla strada rimanda ad una consuetudine di questi centri con i terremoti (Fig. 3). Non è possibile però affermare che i volumi di sovrappasso (ampliamento della superficie abitabile), largamente presenti in molti di questi centri (ad esempio: Santo Stefano di Sessanio), siano il risultato della evoluzione degli archi di contra-

sto, anche se è evidente che entrambi tendono a realizzare un collegamento più o meno forte tra gli isolati adiacenti e a costituire vincoli ai movimenti delle pareti su cui impostano (Fig. 4). I toponimi come *Contrada dell'Arco*, *Chiassetto dell'Arco*, *Via sotto gli Archi*, presenti pressoché in tutti i centri visitati indicano che tale usanza costruttiva è di antica datazione.

Devono essere annoverati tra i presidi antisismici premoderni gli speroni, i ringrossi murari a scarpa e gli incatenamenti che caratterizzano sistematicamente il panorama dell'edificato di questi centri e che potrebbero essere associati – mediante la analisi dei materiali, della loro fattura, lavorazione e finitura – ai terremoti che nella storia hanno colpito queste zone. Molti di questi elementi infatti sono stati utilizzati nella fase di riparazione (Fig. 5) mentre in alcuni casi sembrano essere diventati prescrizioni per la ricostruzione parziale o totale degli edifici (Fig. 6-7). Gli effetti dei terremoti storici sono spesso ancora visibili nei danni pregressi, come i non rari fuoripiombo delle pareti esterne degli edifici, e nella presenza di elementi lapidei, spesso

Fig. 3
Casentino: archi di contrasto.

Figura 4
Casentino: volume di sovrappasso.

Fig. 5
Poggio Picenze: ringrosso a scarpa aggiunto alla parete di facciata.



Fig. 6
Sant'Eusanio Forconese: parete a scarpa costruita contestualmente all'edificio.

Fig. 7
Poggio Picenze: portale di accesso alla casa posto sulla parete a scarpa.



Fig. 8
Barisciano: casa con scala
esterna e loggia soprastante
addossate alla facciata.

Fig. 9
Paganica: case con
accesso al piano abitativo
mediante la scala esterna in
pietra.

Fig. 10
Casentino: loggia aggiunta
al fronte di una casa.

Fig. 11
Castelnuovo: volume
aggiunto al fronte di una
casa.

Fig. 12
Sant'Eusanio Forconese:
volume in avanzamento
rispetto all'originale
facciata, che conserva
ancora il portale.



modanati, provenienti da crolli di edifici antichi e poi riutilizzati nelle ricostruzioni post sisma.

Dato lo stretto rapporto che legava questi centri al territorio (economia agricolo-pastorizia), gli edifici abitativi presentano ancora oggi spiccati caratteri rurali, con piano terra in genere adibito a magazzino o stalla e la casa al piano superiore con accesso mediante una scala esterna con ballatoio (Fig. 8).

La struttura di tale scala in pietra è in genere delimitata da porzioni murarie pilastro che tendono a realizzare volumi avanzati rispetto al fronte strada; nei casi in cui l'edificio presenta un ulteriore piano, il volume in avanzamento assume la funzione di loggia, mentre il collegamento tra i due livelli abitativi sovrapposti viene risolto con una scala lignea interna.

In alcuni dei centri visitati esistono configurazioni della casa che presentano caratteri più "urbani" nell'assetto dei fronti strada pur mantenendo a volte la scala esterna in pietra per l'accesso al piano abitativo (Fig. 9). In ogni caso, peculiarità diffusa sembra essere quella di aggiungere, sul fronte dell'edificio, volumi in avanzamento loggiati o organizzati come una

nuova facciata allo scopo di ampliare o articolare la superficie abitativa (Fig. 10-11-12).

A fianco degli edifici monocellulari sul fronte, cui abbiamo implicitamente fin qui fatto riferimento, esistono quelli più articolati e di maggiori dimensioni, senza arrivare ad essere (se non in casi sporadici, nei centri più piccoli) veri e propri palazzetti. Si tratta per lo più di edifici derivanti da accorpamenti e rifusioni di preesistenti edifici più piccoli, cui viene aggiunto a volte un piano sommitale come nel caso in figura 13.

Un ulteriore tipo edilizio completa il quadro della architettura minore di questi centri e, sia per diffusione che per caratteristiche, ne determina in parte l'aspetto: è la "stalla-fienile" la cui funzione è nettamente distinta da quella abitativa ma la cui collocazione è spesso contigua alle case e quindi inserita nel tessuto edilizio (Fig. 14). La differenza più importante dal punto di vista costruttivo e strutturale che questa costruzione presenta è la maggiore dimensione complessiva della cellula muraria (i cui lati possono raggiungere i 10 m di lunghezza); alla presenza delle luci murarie dilatate corrisponde l'impiego sistematico di legature della copertura alle pareti murarie su cui essa poggia.



Fig. 13
Casentino: palazzetto
derivante dalla rifusione di
edifici più piccoli e con
piano sommitale loggiato
aggiunto.

Fig. 14
Villa Sant'Angelo: stalla-
fienile inserito a testata di
un isolato a sviluppo
lineare.

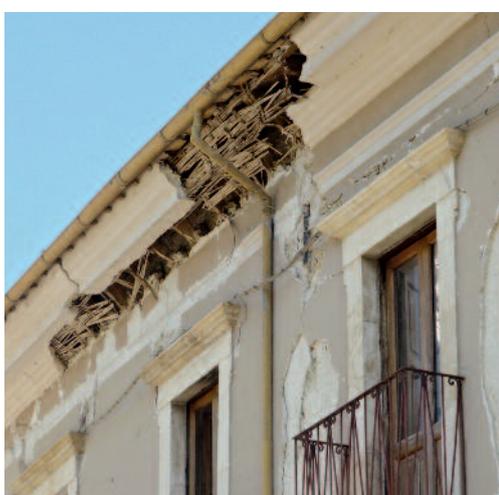


Fig. 15
Poggio Pienze: solaio con
putrelle in ferro, collegato
alla parete muraria
mediante capochiave a
paletto.

Fig. 16
Villa Sant'Angelo: cornice
sommitale realizzata con
struttura in legno.

Dalle osservazioni che è stato possibile condurre fino ad ora risulta che gli spessori delle pareti delle cellule murarie sono adeguati alle dimensioni degli edifici (3 livelli fuori terra e luci usuali); questi infatti si attestano tra i 50 e i 70 cm, tranne che a piano terra nei non rari casi di presenza di volte in pietra, quando si possono trovare spessori di 1 m. Sono state anche osservate congrue rastremazioni murarie nei piani superiori; spessori murari esigui sono stati riscontrati solo in alcuni casi, in concomitanza con la presenza di trasformazioni. Per quanto riguarda gli orizzontamenti, si registra la diffusa presenza di volte lapidee come struttura orizzontale al primo interpiano (di suddivisione tra l'ambiente al piano inferiore adibito a magazzino o stalla e quello superiore della abitazione); si tratta quasi sempre di volte a botte con generatrice perpendicolare alla facciata e la tecnica di realizzazione prevede una tessitura di elementi lapidei rozzamente lavorati e presenza di rinfiaccio compatto.

I piani superiori hanno in genere solai lignei a semplice orditura. Sono stati comunque frequentemente osservati solai con travi metalliche e volte in laterizio, certamente frutto di sostituzioni

nel secolo scorso (ad esempio dopo il terremoto di Avezzano) o con travi metalliche, tavelloni e soprastante soletta (più recenti); in alcuni casi le putrelle sono collegate con barre o piatti saldati ed ancorati alla muratura (Fig. 15).

Ulteriore tipologia di orizzontamento è costituita dalle volte laterizie con tessitura sottile (due strati sovrapposti di mattoni disposti in foglio), che si sono rivelate in genere molto vulnerabili; queste volte sono anch'esse relativamente recenti (tra la fine del XIX secolo e i primi decenni del XX).

Le coperture sono lignee con presenza costante di sporti realizzati da cornici o da elementi lignei; negli edifici in aggregato, la linea di gronda è posta sul fronte strada e le falde hanno quindi configurazione a uno o due spioventi con colmo centrale (in dipendenza della configurazione d'insieme dell'aggregato). L'orditura lignea è disposta costantemente in modo da non essere spingente; anche nelle situazioni di edifici posti negli angoli o nelle testate degli isolati, in cui la configurazione delle falde assume la forma di testata a padiglione (con presenza quindi di puntoni inclinati di displuvio e di falda) si registra l'attenzione a non realizzare strutture

spingenti e comunque sono quasi sempre collocate legature degli elementi lignei alle pareti.

L'attenzione del modo di costruire locale alla riduzione della vulnerabilità sismica si osserva anche in tanti piccoli dettagli, come ad esempio le cornici sommitali "leggere" realizzate in struttura lignea e canne (Fig. 16) e i balconi con struttura interamente lignea. Tali espedienti costruttivi sono stati evidentemente realizzati per limitare gli effetti letali del danneggiamento sulla vita degli abitanti. Per concludere questa veloce disamina delle caratteristiche degli edifici dei centri minori dell'aquilano è necessario fare cenno a due aspetti che vanno considerati nella osservazione e valutazione del danneggiamento: le tecniche adottate nelle recenti ristrutturazioni e lo stato di conservazione degli edifici.

In relazione al primo dei due aspetti va osservato che fino a quando la muratura era ancora la tecnica con la quale si costruiva, le trasformazioni sugli edifici esistenti tenevano conto della vulnerabilità ed anzi, nei limiti delle tecniche a disposizione, portavano ad un miglioramento sismico, con l'eliminazione delle debolezze e l'introduzione di presidi.

È invece la casistica delle trasformazioni recenti quella che appare, a valle del terremoto, maggiormente legata al danno. L'intervento più diffuso è la sostituzione della copertura originaria con una nuova, che segue in genere la mede-

sima configurazione della precedente, ma che talvolta viene realizzata con struttura in c.a., a soletta alleggerita o piena, o con travi metalliche, a quella lignea; l'esito nei confronti della risposta sismica molto spesso è stato negativo.

Per quanto concerne il secondo argomento, appare chiaro che lo stato di conservazione dell'edificio ha giocato un ruolo importante non solo sul suo danneggiamento, ma anche con riferimento agli edifici ad esso contigui nell'aggregato; non sono pochi, infatti, i casi in cui gli edifici adiacenti a costruzioni fatiscenti per abbandono pluridecennale hanno subito danni a causa del venir meno del contributo stabilizzante delle cellule contigue.

In alcuni dei centri visitati si è rilevata la presenza di un certo numero di cantieri di ristrutturazione (come ad esempio a Villa Sant'Angelo). Per quanto è stato possibile capire, nella maggior parte dei casi le tecniche che si stavano utilizzando erano ben lontane da quelle che dovrebbero essere adottate per un consapevole recupero del costruito storico. È però positivo riscontrare, anche in vista delle prossime riflessioni sulla ricostruzione, che un fenomeno di recupero e di riuso delle strutture murarie abbandonate era iniziato da qualche tempo, probabilmente legato alla ricerca di abitazioni disponibili a poca distanza dalla città ma anche ad un timido interesse turistico (anche dall'estero).

2.4.3 Osservazioni sui danni: vulnerabilità e resistenze

Il danneggiamento osservato sarà illustrato per tematiche relative agli aspetti più significativi del costruito (riprendendo in parte gli argomenti sopra illustrati) e con riferimento ai principali meccanismi di danno e collasso. La suddivisione è funzionale a mettere in luce le probabili cause che hanno facilitato ovvero limitato il danneggiamento occorso; in tal modo saranno evidenziate da un lato le vulnerabilità caratteristiche e dall'altro gli eventuali punti di forza del costruito, questi ultimi come elemento di riflessione in vista di una futura ricostruzione.

Organizzazione strutturale dell'edificio e posizione nell'aggregato

Per quanto riguarda la posizione che l'edificio occupa nell'aggregato si rileva come le configurazioni d'angolo o di testata risultino, come già ampiamente noto, quelle più svantaggiose. Nella figura 17 si possono osservare 3 edifici posti ciascuno alla testata di un aggregato lineare; tutti hanno subito il crollo della facciata frontale e di

una porzione ingente delle due laterali.

La buona organizzazione e regolarità degli elementi portanti verticali dell'edificio rappresenta un punto di forza nei confronti dell'azione sismica; il passo dei muri ortogonali alla facciata, la disposizione e quantità delle aperture ed i collegamenti con gli orizzontamenti determinano la maggiore o minore snellezza flessionale (verticale e orizzontale) della parete. Irregolarità o alterazioni introdotte nella configurazione d'assieme spesso risultano fatali in occasione del terremoto. Uno dei casi osservati più volte è quello di edifici risultanti dalla rifusione di due edifici contigui preesistenti e della successiva sopraelevazione di uno o più piani; talvolta il nuovo assetto viene però raggiunto omettendo, nella sopraelevazione, la edificazione di alcune delle pareti ortogonali alla facciata, presenti invece nei piani sottostanti, alterando così il passo dei muri trasversali (ed in genere ruotando l'orditura dei solai).

La figura 18 riporta il caso di un edificio in cui una parete ortogonale alla facciata, di cui si osserva la traccia al piano sottostante, era assente all'ultimo piano. L'eccessiva distanza delle pareti trasversali

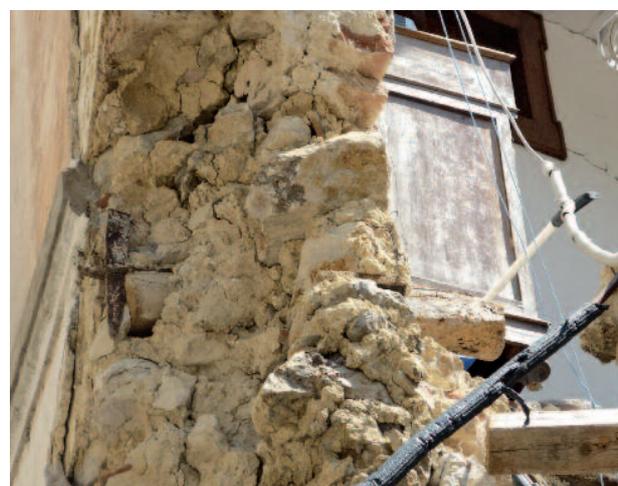


Fig. 17
Tempera: crollo di edifici posti a testata di aggregati lineari.

Fig. 18
L'Aquila: assenza della parete trasversale al piano superiore dell'edificio.

Fig. 19
Poggio Pincenze: Crollo locale in corrispondenza di una discontinuità costruttiva.

Fig. 20
Villa Sant'Angelo: manomissioni: la catena lignea con chiave esterna metallica tagliata in occasione di una rifusione con reimpaginazione del prospetto.

alla facciata (snellezza orizzontale) rende il ribaltamento in occasione di una azione sismica pressoché inevitabile.

Tale difetto costruttivo, osservato in molteplici casi, potrebbe essere con molta facilità rilevato negli edifici dei centri storici e la vulnerabilità derivante da tale configurazione evidenziata e risolta preventivamente.

Le vulnerabilità derivanti dall'assenza di ammorsamenti tra pareti di edifici realizzati in tempi differenti sono confermate (fasi di crescita ed evoluzione degli edifici in aggregato); la figura 19 mostra il crollo di una porzione di parete in corrispondenza della discontinuità costruttiva dovuta al semplice accostamento della parete muraria all'angolata preesistente.

Nell'ambito delle trasformazioni negli aggregati dei centri storici, oltre ai classici accrescimenti o intasamenti, vanno annoverate delle vere e proprie manomissioni, ovvero alterazioni negative delle cellule con demolizione e riedificazione di pareti portanti in posizione diversa, al fine di realizzare piccoli ampliamenti o riconfigurazioni dell'isolato. In questi casi si vengono a perdere gli originali ammorsamenti, difficilmente

ripristinabili sulla nuova muratura in accostamento, e si eliminano elementi di collegamento. Nel caso di figura 20 è visibile una catena lignea mozzata appena dopo il paramento interno, probabilmente nella fase di ristrutturazione dell'edificio o dei suoi alloggi. Questa alterazione, che ha eliminato un presidio costruttivo antisismico messo in opera dagli antichi costruttori, ha certamente contribuito al crollo che si è verificato in quella unità edilizia.

Le coperture

Come già accennato, le strutture lignee dei tetti sono in generale non spingenti e, oltre che alla orditura correttamente disposta, mostrano spesso connessioni con la cimasa muraria; si tratta di collegamenti metallici o lignei visibili sul paramento esterno dei muri. Tali collegamenti sono associati alla presenza molto diffusa di coperture a padiglione o a testata di padiglione, ove la presenza di puntoni di displuvio o di falda introduce la necessità di una organizzazione delle tessiture lignee a spinta eliminata. I tetti che hanno l'orditura principale vincolata alle pareti murarie su cui poggiano realizzano una efficace

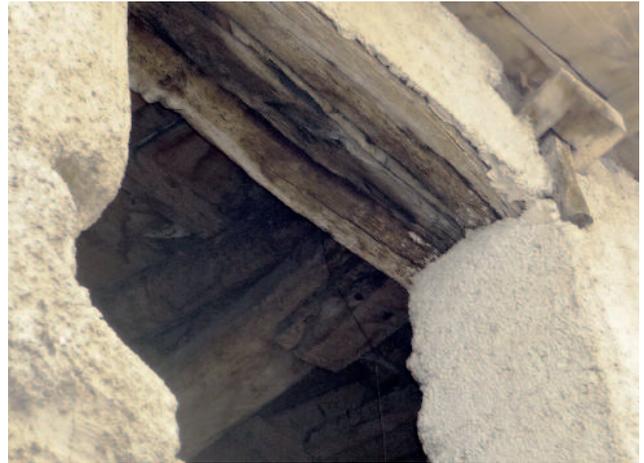


Fig. 21
Villa Sant'angelo:
capochiave ligneo di
riscontro alla catena della
capriata lignea.

Fig. 22
Casentino: cimasa muraria
di un fienile e capochiave
ligneo di riscontro alla
catena della capriata (si
noti all'interno che il
collegamento avviene
grazie ad una tavola,
inchiodata alla vera e
propria catena lignea).



Fig. 23
Poggio Picenze: palazzetto
posto all'angolo di un
isolato su pendio.



Fig. 24
Poggio Picenze: crollo
localizzato della parete di
timpano dovuto al
punzonamento delle travi di
copertura.

legatura della scatola muraria e non sono rari i casi in cui ciò ha contribuito a limitare il danno di fuoriuscita dal piano delle pareti esterne.

La consuetudine di collegare, spesso mediante capochiave lignei, i tetti alle pareti murarie sembra essere legata alle dimensioni dilatate della cellula; infatti questa modalità si rintraccia costantemente negli edifici non abitativi, come le stalle-fienile. In questi ultimi, le dimensioni planimetriche sono in genere maggiori rispetto a quelle della casa e, conseguentemente, è necessario l'uso di capriate rompitratta (Fig. 21-22). Dal punto di vista costruttivo appare chiaro che le connessioni tra tetto e pareti murarie erano messe in opera nella fase di edificazione, come dimostrato dalla posizione dei capochiave che implica necessariamente la sua collocazione in opera prima del montaggio del tavolato e del soprastante manto di copertura. Va infine osservato che l'uso di legare le capriate alle pareti murarie mediante capochiave lignei è una modalità costruttiva costantemente rilevabile anche nelle chiese de l'aquilano; si può quindi affermare che tale espediente va in generale associato a configurazioni costruttive con grandi luci.

Connessioni mediante capochiave ligneo si

osservano altresì negli edifici di maggiore dimensione e importanza come quello di figura 23, che illustra un esempio del contributo positivo offerto dalla copertura. L'edificio d'angolo presenta incatenamenti sistematici di interpiano e di cimasa, collocati in fase di elevazione delle pareti murarie. Si osserva inoltre la presenza di un paletto ligneo di riscontro alla catena della capriata che realizza la struttura del tetto a padiglione (la presenza del paletto potrebbe indicare la contestuale assenza di una parete ortogonale alla facciata almeno all'ultimo livello). In ogni caso è interessante notare come l'edificio presenti lesioni nel piano delle pareti (meccanismo di secondo modo) mentre sono del tutto assenti principi di ribaltamento delle pareti esterne.

Sono di seguito illustrati i danni osservati in maniera ricorrente e ascrivibili a carenze o a modifiche delle strutture di copertura.

Molto diffusi sono i danni riconducibili alla scarsa qualità o all'avanzato stato di degrado delle strutture lignee di copertura; ci si riferisce alla mancanza di collegamenti con la muratura (unitamente a scadenti condizioni di appoggio), alla mancanza di connessione tra elementi prin-



cipali e secondari della copertura e ad una cattiva condizione del tavolato ligneo (che se in buone condizioni garantisce un pur limitatissimo effetto di controventamento). In questi casi si registrano crolli localizzati nei timpani delle pareti murarie della cellula (Fig. 24), ovvero crolli estesi alla fascia superiore delle pareti esterne senza coinvolgimento delle strutture di architrave delle aperture dell'ultimo piano (Fig. 25). In entrambi i casi il danneggiamento potrebbe essere imputabile al movimento relativo degli elementi lignei delle orditure, all'effetto di punzonamento esercitato sulle pareti con il conseguente sfilamento dalle loro sedi di appoggio. Il danneggiamento localizzato nei timpani murari (che è tra i danni di lieve entità più diffusi nel panorama degli effetti osservati nei centri de l'aquilano) assume forme ed estensione diversificate a seconda delle condizioni di contorno in cui si trova la parete di timpano nell'ambito dell'aggregato (differenza di quota con gli edifici contigui) e in relazione alla qualità della tessitura delle porzioni murarie sommitali. Il danno che coinvolge estesamente la fascia di cimasa della parete muraria potrebbe essere

attribuito ad una tessitura lignea in cui gli elementi (principali e secondari) non sono tra loro vincolati e che, a causa della azione sismica, tendono a scompaginarsi coinvolgendo nel movimento la porzione sommitale della parete. Il crollo localizzato di una porzione della cimasa muraria illustrato dalla figura 26 è dovuto presumibilmente alla spinta del puntone di falda della copertura a padiglione; sono visibili anche lesioni localizzate nei pressi delle angolate, dovute forse alla azione orizzontale trasferita alle pareti dai puntoni angolari di displuvio. Si osserva inoltre il crollo della tamponatura della apertura ad arco. Drammaticamente presenti sono i casi di danneggiamento imputabili alla sostituzione della tradizionale copertura lignea con strutture di copertura che, pur ricalcandone la configurazione formale, ne hanno alterato peso e rigidezza. Sia nei casi di presenza di cordoli pesanti che in quelli in cui l'incremento di peso è relativo alla falde a soletta piena, l'effetto prodotto dalla azione sismica si rivela fatale. La parete muraria sottostante viene scompaginata e la struttura di copertura resta appoggiata a ciò che rimane dell'edificio (Fig. 27 e 28).

Fig. 25
Villa Sant'Angelo: crollo diffuso della cimasa muraria senza coinvolgimento delle aperture.

Fig. 26
Vallecupa: crollo localizzato di una porzione della cimasa muraria.

Fig. 27
Tempera: la pesante copertura di sostituzione ha causato lo sbriciolamento delle pareti del piano sottostante.

Fig. 28
Villa Sant'Angelo: il tetto in c.a. a soletta piena ha indotto il crollo delle pareti murarie sottostanti.

Fig. 29
L'Aquila: al solaio del secondo interpiano erano state sovrapposte una soletta e una scala in c.a.



Fig. 30
Paganica: al solaio di interpiano era stata sovrapposta una spessa soletta di irrigidimento in calcestruzzo.



I solai orizzontali e le volte

Nel caso dei solai si è osservato come in genere le modifiche hanno giocato un ruolo negativo nel comportamento sismico; gli interventi recenti di sostituzione delle strutture orizzontali sono piuttosto diffusi, in particolare nei centri più abitati, e sembrano aver favorito le tipologie di danno di seguito descritte.

L'uso di solai con putrelle metalliche e laterizi (voltine in mattoni o tavelloni con sottile soletta) è stato impiegato per quasi tutto il secolo scorso e, se ben realizzato, può per certi versi migliorare il comportamento globale. Tuttavia, tale intervento richiede scassi localizzati nella muratura (di minor impatto rispetto a quelli necessari per l'inserimento di un cordolo in c.a.) ed un certo incremento del carico verticale sulle murature; questi carichi gravano inevitabilmente su uno dei paramenti murari, favorendo danni alla connessione trasversale del muro e fenomeni di instabilità locale.

Nella figura 29 si osserva il caso di una porzione di parete muraria crollata dal piano terreno fino alla quota degli architravi delle finestre del piano sommitale. La porzione di crollo è delimitata dall'allineamento verticale di due colonne di bucatore e l'innesco sembra essere stato favorito dalla presenza della soletta in c.a. sovrapposta alla originaria volta di mattoni in foglio e dalla presenza della scala aggiunta come collegamento con un piano sottotetto.

Analogo effetto sembra essere scaturito dalla presenza di una soletta in c.a. sovrapposta quale consolidamento ed irrigidimento dell'originale solaio in travi metalliche e voltine in laterizi posti in foglio (Fig. 30); anche in questo caso la parete è crollata dalla base alla sommità

con esclusione del cordolo in c.a. e della struttura di copertura, che sono rimaste in posizione. La testata dell'edificio aveva un angolo smussato ed il crollo della parete potrebbe essere stato determinato proprio dalla rigidità nel piano del solaio, nel quale si forma un puntone diagonale che tende ad espellere l'angolata.

Il caso documentato nella figura 31, pur non dando esito al crollo, deve essere riguardato con una qualche attenzione, in quanto non inusuale nel panorama complessivo dei danneggiamenti; l'ingente deformazione, localizzata in corrispondenza della quota del solaio di interpiano e assente alla quota della cimasa, potrebbe indicare un'eccessiva massa di piano e/o la mancanza di un qualunque collegamento tra la parete di facciata e la struttura orizzontale di interpiano, sia esso volta a botte oppure solaio con travi parallele alla facciata.

Come già accennato l'uso delle strutture voltate come orizzontamento è molto diffuso negli edifici di pregio e nell'edilizia minore dei centri dell'aquilano. In questi ultimi le volte sono in genere in elementi lapidei - con spessori compresi tra i 20 e i 30 cm - mentre a L'Aquila si hanno in prevalenza volte di mattoni a una testa (12 cm). Le volte a botte costituiscono la struttura del primo orizzontamento nella maggior parte degli edifici. È interessante osservare che nel panorama del danneggiamento sismico attuale, sono proprio le volte che hanno esibito un buon comportamento. Infatti, anche nei casi di edifici interessati da crolli estesi, le volte dei piani terreni appaiono intatte (Fig. 32); questo è certamente dovuto sia al corretto dimensionamento dei piedritti murari, che alla buona disposizione delle volte all'interno della configurazione com-

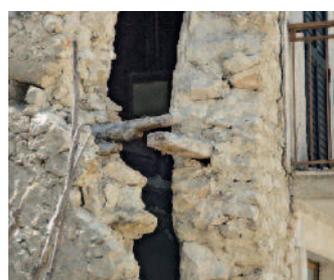


Fig. 31
Poggio Picense: evidente deformazione della parete muraria di facciata con massimo in corrispondenza della quota dell'orizzontamento di interpiano.

Fig. 32
L'Aquila: le volte sono rimaste integre nonostante il crollo della facciata e delle strutture orizzontali superiori.

Fig. 33
Paganica: crollo di due volte in foglio sovrapposte (struttura orizzontale di interpiano e controsoffitto).

Fig. 34
San Demetrio: capochiave metallico con chiodi di connessione alla catena lignea.

Fig. 35
L'Aquila: un raffinato capochiave settecentesco di riscontro alla catena lignea posta nella mezzeria dello spessore murario (si noti l'adiacente catena di rinforzo, inserita successivamente alla costruzione sul lato interno della parete).

Fig. 36
Villa Sant'Angelo: esempio povero di incatenamento ligneo posto nella mezzeria dello spessore delle pareti senza riscontro esterno.

plexiva dell'edificio e dell'intero aggregato. Sia nel ruolo di struttura di interpiano, che in quello di controsoffitto per gli ambienti abitativi di sottotetto, le volte laterizie in foglio non sono state invece risparmiate dal danneggiamento (Fig. 33). Questo dato è diffusamente riscontrabile sia nella edilizia minore che in quella di pregio e monumentale (si vedano i danni occorsi a strutture di questo tipo ai piani superiori di molti palazzi del centro storico de L'Aquila). Al contrario delle volte lapidee, il ridotto spessore delle volte in foglio le rende sensibili a movimenti anche molto piccoli delle pareti murarie di imposta. Ovviamente, per una corretta valutazione della vulnerabilità di questa tipologia, vanno esclusi i non pochi casi in cui tali volte sono crollate a causa della caduta delle strutture della copertura o di singoli elementi posti superiormente.

Risposta fuori dal piano e nel piano delle pareti murarie

Il tema della qualità muraria nell'aquilano è al centro delle discussioni, tecniche e non solo, per la sua rilevanza nell'interpretazione dei danni ma anche, e soprattutto, nelle scelte che dovranno essere attuate per la ricostruzione. È opinione degli Autori che un giudizio sulla qualità muraria non possa ancora essere espresso in maniera univoca.

Si può però sicuramente affermare che gran parte del patrimonio edilizio è stato costruito con

la consapevolezza del terremoto, in particolare per la sistematicità degli incatenamenti tra le pareti (oltre che, come già detto, per l'uso di orditure dei tetti non spingenti).

L'organizzazione del sistema costruttivo e la tecnica di realizzazione dell'apparecchio murario prevedeva in molti casi la presenza di incatenamenti posti in fase di elevazione della parete. La modalità costruttiva di tali incatenamenti - oggi osservabile con facilità data la gran mole di crolli parziali - risale alla ricostruzione post-1703, quando si mise a punto la tecnica che venne poi utilizzata per circa due secoli; il radicamento consiste nella disposizione di un elemento ligneo in asse alla muratura, collegato alle estremità ad un piatto in ferro tramite chiodatura (Fig. 34) ed ancorato all'esterno al cantonale attraverso un piccolo capochiave (Fig. 35), sufficiente in quanto l'elemento non era pretensionato, essendo la chiodatura il punto più debole. Ovviamente, la necessità di fare i conti con i costi e la reperibilità dei materiali ha portato ad elaborare varianti non sempre efficaci (Fig. 36).

Un problema più volte riscontrato è quello del progressivo deterioramento di questi elementi, in corrispondenza del collegamento tra catena lignea e piatto in ferro, specie in fabbricati in stato di abbandono o con scarsa manutenzione. In generale la limitata presenza di ribaltamenti fuori del piano all'interno del vasto quadro di danno presente può essere attribuita proprio alla



Fig. 37
Castelnuovo: distacco della parete di facciata per difetto di ammortatura con la parete laterale.



Fig. 38
Paganica: lesione di ribaltamento che coinvolge una porzione della parete ortogonale.



Fig. 39
Tempera: ribaltamento della porzione sommitale della parete di facciata.



Fig. 40
San Demetrio: lesioni localizzate al di sopra dell'architrave della apertura.



Fig. 41
Paganica: crollo della porzione muraria soprastante l'architrave isolata dalle lesioni.

sistematicità nella collocazione di incatenamenti nelle pareti degli edifici. Ciò nonostante è stato possibile riconoscere anche in questo terremoto alcuni tipi ricorrenti di danno fuori dal piano. Le figure 37 e 38 mostrano lesioni di distacco della facciata, rispettivamente in adiacenza alla connessione con la parete ortogonale (difetto di ammortamento della angolata) e con coinvolgimento di una porzione della parete ortogonale. In entrambi i casi, la porzione di facciata isolata è limitata dalla quota del solaio di interpiano. La figura 39 illustra il caso di un incipiente ribaltamento della porzione di parete relativa ai due piani sovrapposti al piano terreno; qui l'uscita fuori dal proprio piano della parete sembra essere stata causata da una carenza di ammortamento con la muratura adiacente dell'edificio contiguo e dalla mancanza di efficaci collegamenti puntuali a livello del secondo orizzontamento. Anche i danni ascrivibili a movimenti localizzati di porzioni di cimasa della muratura di facciata sono molto diffusi, sia sottoforma di lesionamento (Fig. 40) che come crollo delle porzioni delimitate da lesioni che si originano dalle aperture (Fig. 41). Il danneggiamento nel piano della parete è pre-

sente in tutte le sue varianti caratteristiche; infatti la forma e la localizzazione delle lesioni di taglio varia a seconda della efficacia delle connessioni tra gli elementi che costituiscono la fabbrica e alla qualità della tessitura muraria. Nelle figure 42 e 43 sono illustrati due casi; nel primo le lesioni inclinate attraversano la parete di facciata, viaggiando in maniera indifferente alle strutture orizzontali di interpiano; mentre nel secondo, il lesionamento è concentrato nei maschi murari tra le aperture del piano inferiore. Queste situazioni si verificano nei casi in cui sia sistematica la presenza di catene o, per gli edifici più recenti, siano presenti cordoli di piano. Sulla validità dei presidi antisismici di cui gran parte di questo costruito è dotato, si può dire che solo nei casi in cui per la capacità tecnica delle maestranze questi venivano messi in opera seguendo le regole del buon costruire murario, tali espedienti hanno funzionato, limitando ovvero modificando il meccanismo di danneggiamento, sempre comunque entro i limiti della loro efficacia. La figura 44 mostra invece il caso frequente di contrafforte aggiunto ad una parete senza le necessarie ammortature con la mura-



tura preesistente, difetto che di fatto limita fortemente la sua efficacia di vincolo.

Sicuramente efficaci, come già detto, sono i sistemi tradizionali di connessione tra le pareti murarie convergenti, siano essi posti in fase di costruzione (ammorsamenti nei cantonali murari, radicamenti lignei) siano frutto di successivi rinforzi o riparazioni (catene in aderenza alle pareti). La limitata presenza di crolli dovuti al ribaltamento delle facciate (in confronto alla entità dei danneggiamenti costituiti da forti lesionamenti delle pareti nel loro piano) induce a pensare che tali dispositivi di legatura sistematica delle pareti abbiano giocato un ruolo fortemente conservativo (Fig. 45).

In questo senso, la diffusa presenza di lesioni a taglio nelle pareti murarie non deve essere intesa come dimostrazione di una cattiva qualità muraria, ma come positiva conseguenza di una tecnica costruttiva antisismica che produce un comportamento scatolare, impedendo i meccanismi fuori dal piano. In una muratura in pietra ben realizzata, la formazione di lesioni a taglio anche profonde a

seguito di un evento sismico così violento è di fatto inevitabile e consente di attivare significative capacità dissipative, limitando il rischio di crollo.

Tuttavia, molti sono i danneggiamenti osservati che possono essere imputati con certezza alla insufficiente qualità della tessitura muraria; sia che si tratti di crolli rovinosi o di perdita del solo paramento esterno, esiste in genere alla radice una carenza costruttiva: cattiva apparecchiatura dei paramenti, qualità scadente della malta (e sua eccessiva percentuale rispetto agli elementi lapidei), assenza di collegamento trasversale tra i paramenti. Tali casi in genere si riconoscono anche in relazione al minor danneggiamento degli edifici vicini.

La figura 46 illustra il caso di un edificio in cui l'intero piano superiore della casa è crollato; si osserva come l'azione sismica abbia scompaginato le pareti a tal punto da lasciare a terra solo cumuli di pietre nonostante la struttura di copertura fosse leggera (è quindi tale da non indurre azioni di taglio particolarmente elevate all'ultimo piano); al contrario va notato come la parete esterna dell'edificio a sinistra sia integra.

Fig. 42
Villa Sant'Angelo: lesioni di taglio che attraversano tutta la parete di facciata.

Fig. 43
Sanl'Eusanio Forconese: lesioni di taglio localizzate nei maschi murari.

Fig. 44
Castelnuovo: sperone murario costruito senza ammorsamenti con la parete preesistente.

Fig. 45
L'Aquila: edificio nel quale il meccanismo di ribaltamento dell'ultimo piano della facciata si è attivato ma è stato contrastato efficacemente dalle connessioni a livello sommitale, portando così ad un comportamento per resistenza nel piano delle pareti.



Fig. 46
Castelnuovo: crollo totale
del piano sommitale per
difetto della qualità muraria.

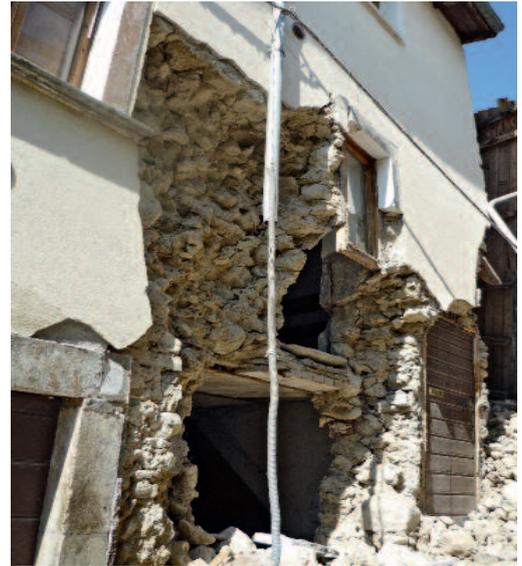


Fig. 47
Villa Sant'Angelo: crollo per
mancanza di connessioni
trasversali nella tessitura
muraria.



Fig. 48
Casentino: distacco degli
elementi lapidei in pietra
concia di contorno delle
bucature.



Fig. 49
L'Aquila: crollo localizzato
negli elementi di bordo
delle aperture.

In figura 47 è riportato il caso, molto diffuso, di crollo del solo paramento esterno; in questi casi è proprio la modalità del danneggiamento che ne dichiara la causa: la mancanza di compattezza trasversale della sezione muraria. Elementi lapidei di dimensioni troppo piccole o male assortiti, mancanza di ripianamenti e della ricerca di ammorsature tra le due facce della sezione rendono la parete vulnerabile alla azione orizzontale innescando un comportamento autonomo tra i due paramenti che evolve molto spesso in crolli di tale genere.

I collassi di un solo paramento sono riscontrabili più frequentemente in presenza di cordoli sommitali in c.a., in particolare quando l'intera copertura è rigida e pesante. La disgregazione della muratura al contatto con il cordolo è associata all'incremento localizzato di compressione che si origina, nella flessione fuori dal piano, dalla condizione di vincolo agli spostamenti verticali (legato alla rigidità flessionale della copertura).

Danni localizzati

Sempre nell'ambito delle pareti murarie, si sono verificati danneggiamenti locali ad elementi strutturali e non, giustificabili in una situazione nella quale la scossa sismica è stata molto violenta; infatti, anche nei casi in cui una costruzione in muratura presenta un buon comportamento, è naturale che ci siano piccole specifiche vulnerabilità.

Un caso frequentemente osservato è la vulnerabilità costruttiva delle mostre lapidee di porte e finestre. Gli elementi di pietra concia usati per contornare le aperture risultano costantemente non ammorsati nello spessore della parete muraria e ciò porta inevitabilmente al loro distacco (Fig. 48-49). È questa una lampante contraddizione della attenzione che la tecnica costruttiva locale sembra aver espresso per il problema sismico, che meriterebbe di essere approfondita; probabilmente il problema è stato trascurato, considerando tali elementi come non determinanti per la stabilità della costruzione.



Fig. 50
Vallecupa: canna fumaria messa in evidenza dal sisma.



Fig. 51
San Pio alle Camere: crollo locale della porzione sommitale di esiguo spessore.

Ulteriori danni si registrano in conseguenza di irregolarità locali di diverso genere, come le soluzioni di continuità che indeboliscono localmente le pareti murarie oppure la presenza di ampie pareti perimetrali senza funzione strutturale per l'edificio.

Nel caso illustrato nella figura 50 si osserva il

crollo della chiusura della canna fumaria sul paramento esterno. La figura 51 mostra il crollo di una porzione muraria sommitale caratterizzata da spessore esiguo, così realizzata in quanto quella porzione di parete non svolgeva funzione portante per la copertura ed era stata concepita come semplice tamponatura leggera.

2.4.4 Conclusioni

La casistica dei danni qui illustrata non può certamente essere considerata esaustiva delle innumerevoli varianti di comportamento degli edifici in muratura de l'aquilano. Quello che appare evidente, anche a seguito di questo terremoto, è che l'individuazione delle vulnerabilità degli edifici in aggregato dei centri storici non può prescindere da una conoscenza delle caratteristiche costruttive locali (regole dell'arte), delle fasi di trasformazione, della storia sismica e degli interventi di ristrutturazione attuati più recentemente. A fronte di un terremoto molto violento, in molti Comuni certamente superiore a quello previsto dalle nuove Norme Tecniche delle Costruzioni per le verifiche allo stato limite di salvaguardia della vita umana, il costruito in muratura ha mostrato tutti i suoi limiti ma anche le sue capacità e resistenze.

A parte alcuni centri nei quali l'azione è stata particolarmente gravosa (gli studi di microzonazione forniranno indicazioni sui livelli di amplificazione cui sono soggetti certi siti), il terremoto è stato ancora una volta selettivo. I crolli sono sempre spiegabili per la presenza di difetti costruttivi, ristrutturazioni incongrue o forte degrado per abbandono. I buoni comportamenti sono invece associati a specifici dettagli

costruttivi, spesso realizzati in fase di costruzione ma a volte frutto di riparazioni o interventi di consolidamento.

Dalle conoscenze acquisite a seguito di questo "collaudo" sismico si dovrà partire per la riparazione dei danni o la ricostruzione, con il prioritario obiettivo di avere strutture sicure, ma anche conservando i valori storico-culturali dei nostri centri storici. Gli Autori ritengono che l'esigenza di conservazione non rappresenti un ostacolo ma piuttosto una guida alla progettazione di interventi di consolidamento sismico davvero efficaci.

Resta aperto il problema della qualità muraria. Su questo punto, non ci si può fermare ad una lettura costruttiva e ad interpretazioni di tipo qualitativo ma sono necessarie valutazioni quantitative, che non possono prescindere da campagne sperimentali per la misura in sito delle proprietà meccaniche (le pareti sulle quali eseguire prove certo non mancano). Questi dati saranno indispensabili per le verifiche di sicurezza, comunque necessarie nel progetto. Una volta garantito un buon comportamento d'insieme, la valutazione della sicurezza ad azioni sismiche così violente non può infatti prescindere dal calcolo, effettuabile anche con strumenti semplificati (vista la complessità degli edifici in aggregato).