



SISMA ABRUZZO 2009 – messa in sicurezza degli edifici monumentali : percorso metodologia e tecniche di intervento

Giandomenico Cifani, Antonio Castellucci, Alberto Lemme, Marilena Liris, Antonio Martinelli, Annarita Mazzariello, Lucia Milano, Carmela Morisi, Aurelio Petracca
CNR-ITC – Consiglio Nazionale delle Ricerche – Istituto per le Tecnologie della Costruzione- L'Aquila

Luciano Marchetti, Giuseppe Di Girolamo, Marcello Marchetti, Corrado Marsili
Struttura del Vice Commissario per la Salvaguardia dei Beni Culturali

Keywords: up to 5 keywords (Style Keywords)

ABSTRACT

Dopo il terremoto abruzzese del 2009 è stato sviluppato e messo a punto un percorso, in parte già impostato dopo i recenti eventi sismici che hanno colpito il territorio nazionale, in particolare Umbria e Marche 1997 e Molise 2002, che prevede una stretta collaborazione tra le varie istituzioni competenti in materia di messa in sicurezza degli edifici. Nel presente lavoro si illustra pertanto il processo decisionale per la scelta della strategia definita per le attività di messa in sicurezza, in particolare del patrimonio storico-architettonico che, ove possibile, preveda anche interventi definitivi, in funzione delle condizioni di danno e vulnerabilità. Il lavoro propone anche un modello decisionale guidato che aiuta il tecnico nella scelta e nel dimensionamento degli interventi.

1 PREMESSA

Gli interventi di messa in sicurezza su immobili danneggiati dal sisma quali parziali demolizioni, puntellamenti, posa in opera di tiranti, cerchiature, transennature ecc., vengono definiti opere provvisorie e sono eseguiti nella fase di emergenza post-sisma, con l'obiettivo di preservare i beni da ulteriori danneggiamenti, consentire le operazioni di sgombero e ripristinare la viabilità in condizioni di sicurezza, in attesa degli interventi definitivi di riparazione. Si tratta pertanto di opere non definitive, con una durata limitata nel tempo, di veloce realizzazione e reversibili, di costo contenuto e che prevedono l'utilizzo di materiali facilmente reperibili sul mercato. Gli aspetti più complessi di queste opere, sono riconducibili alla scelta della più idonea tipologia d'intervento, alla loro corretta esecuzione e all'ottimizzazione dei costi. Il terremoto del 6 aprile 2009 ha colpito un territorio ricco di storia e di opere d'arte e un centro storico, quello del Comune dell'Aquila, tra

i più importanti d'Italia, dal punto di vista della concentrazione di valori storico-architettonici e storico-artistici. Dopo l'evento del 6 aprile 2009 è stato perfezionato un percorso, in parte già delineato a seguito degli eventi sismici che avevano colpito il territorio nazionale negli anni precedenti, che ha visto la collaborazione di diverse componenti istituzionali: Comuni, Regione, Ministero per i Beni e le Attività Culturali, Dipartimento della Protezione Civile, Vigili del Fuoco, CNR-ITC, Università.

Nell'ambito della Struttura del Vice Commissario per la Tutela dei Beni Culturali un gruppo di lavoro, costituito da Enti di Ricerca e funzionari del MiBAC, ha curato la progettazione degli interventi sulle chiese e su alcuni edifici pubblici vincolati. I progetti sono stati discussi e definiti con i Vigili del Fuoco (Sezione N.C.P. - Nucleo Coordinamento per le Opere Provvisorie e nuclei SAF - Speleo Alpinistico Fluviale) che hanno provveduto alla loro realizzazione. Gli interventi sui palazzi vincolati, pubblici o privati, sono stati seguiti direttamente dai Comuni che, con la supervisione della

Struttura del Vice Commissario per la Tutela dei Beni Culturali, hanno approvato i progetti redatti da liberi professionisti.

1.1 Obiettivi e tipologia delle opere di messa in sicurezza

Obiettivo delle opere di messa in sicurezza post-sisma è la conservazione di quanto il terremoto ha risparmiato. E' necessario che gli interventi non vadano a modificare il comportamento strutturale dell'edificio e che non siano di ostacolo agli interventi di recupero definitivo o, meglio e quando possibile, siano addirittura ad essi propedeutici o complementari.

Per la progettazione ed esecuzione di opere provvisorie occorre distinguere tra quelle a breve termine e quelle a medio e lungo termine. Si fa ricorso alle opere a breve termine per rendere sicuro l'accesso ai beni e agli spazi pubblici per preservare quelli gravemente danneggiati. Con quelle a medio e lungo termine, anche definitive, è possibile riportare gli edifici anche in condizioni di agibilità e di fruibilità.

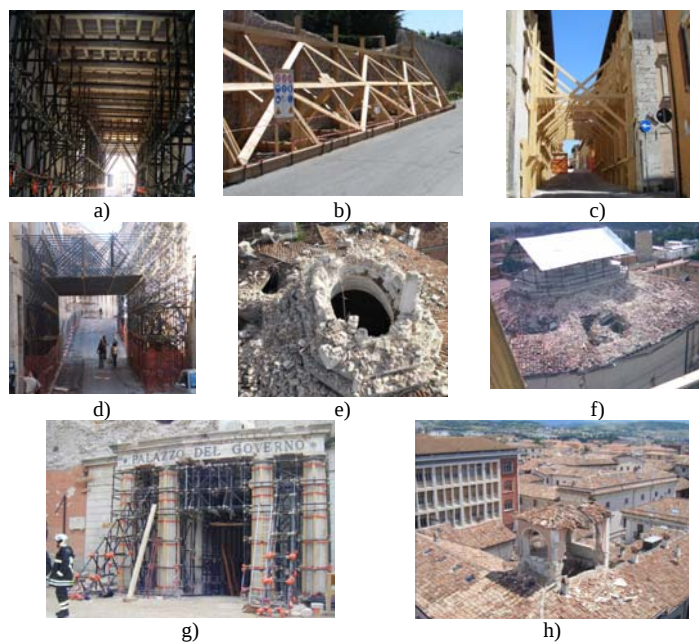


Figura 1 – a) accesso all'interno di un edificio in giunto tubo; b) sottopasso stradale in giunto tubo; c) opera di ritegno di muro di sostegno stradale; d) puntellatura a contrasto di sottopasso; e) rimozione delle macerie della lanterna della cupola del teatro S. Agostino a L'Aquila; f) copertura provvisoria del crollo della lanterna della cupola del teatro S. Agostino; g) accesso al Palazzo del Governo; h) rimozione del torrione in piazza della Prefettura a L'Aquila

Rientrano tra gli interventi a breve termine:

- la rimozione delle macerie dalle strade;
- la rimozione di elementi pericolanti in elevazione, quali residui di crolli sulla sommità degli edifici, elementi fortemente lesionati e prossimi al crollo (cornicioni, sbalzi, tamponature, porzioni di intonaco, cornici di finestre);

- il transennamento delle aree a rischio;
- la costruzione di barriere protettive e di passaggi protetti

1.2 Tipologia degli interventi di messa in sicurezza

Si possono eseguire puntellature con funzione di *ritegno*, per contenere rotazioni o ribaltamenti di porzioni di elementi strutturali e di *sostegno*, per sorreggere i carichi verticali di strutture pericolanti o fortemente danneggiate. I puntelli di sostegno possono essere sia verticali che inclinati mentre i puntelli di ritegno sono di solito inclinati. In casi eccezionali sono eseguiti anche interventi a contrasto tra edifici, anche se in linea di massima andrebbero evitati.

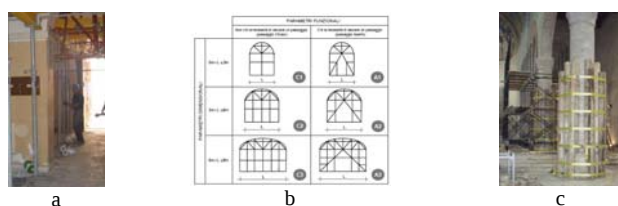


Figura 2 – Puntelli di sostegno: a) puntello commerciale; b) puntellatura di archi e volte; c) cerchiaggio di pilastri con travi in legno e fasce in nylon

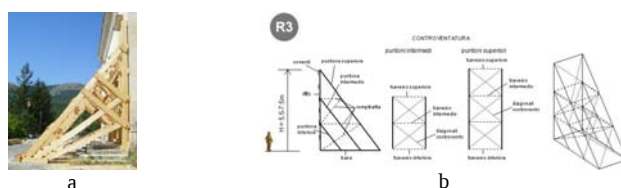


Figura 3 – Puntelli di ritegno: a) puntellatura di ritegno in legno a fasci convergenti, b) puntellatura a fasci paralleli (Manuale STOP dei VVF)

1.3 Il processo decisionale

La scelta del tipo di intervento più idoneo e più efficace prevede un processo decisionale che comprende: la conoscenza della struttura su cui si interviene; l'osservazione dei meccanismi di collasso; il riconoscimento delle caratteristiche strutturali e di eventuali carenze costruttive. Nel processo decisionale per la scelta del tipo di intervento da adottare bisogna tener presente, inoltre alcuni principi fondamentali:

- le opere provvisorie devono ripristinare il livello di sicurezza preesistente l'evento sismico senza modificare il comportamento della struttura;
- in alcuni casi si può prevedere la posa in opera di presidi definitivi se ritenuti più convenienti (ad es. catene);
- la riduzione del rischio deve essere intesa nei riguardi delle condizioni statiche e di eventuali scosse di replica, ma non per le azioni sismiche di progetto previste dalla normativa vigente;

- il dimensionamento delle opere va effettuato considerando la *resistenza residua* delle strutture e l'ordine di attivazione dei meccanismi di collasso.

1.3.1 Il riconoscimento delle caratteristiche costruttive

Il riconoscimento della tipologia costruttiva consiste nell'analisi della qualità e tipologia delle strutture verticali, degli orizzontamenti di piano e di copertura, dell'organizzazione e della regolarità del sistema resistente in pianta e in elevazione, dell'individuazione di eventuali carenze costruttive o dovute a trasformazioni ed interventi più o meno recenti. Il riconoscimento della tipologia muraria può essere effettuata, in modo speditivo, con l'esame visivo del paramento. Per le strutture orizzontali occorre preliminarmente individuare se si tratta di solai deformabili o rigidi e se sono presenti collegamenti di piano in acciaio o cemento armato. Per la copertura va individuata la tipologia costruttiva, gli elementi costitutivi, lo schema statico e la eventuale presenza di presidi per eliminare le spinte fuori piano.

1.3.2 Analisi del danno e riconoscimento dei meccanismi attivati e attivabili

L'analisi del danno va effettuata sia in modo quantitativo che in modo qualitativo. Il danno quantitativo tiene conto dell'ampiezza e della estensione delle lesioni e va valutato per stabilire la condizione di agibilità e per effettuare la stima dei costi di riparazione. Il danno qualitativo tiene conto dell'analisi dei modi e dei meccanismi di danno che si manifestano in funzione delle sollecitazioni subite e delle caratteristiche costruttive dell'edificio. Un esempio che rende comprensibile il processo decisionale è il ribaltamento della parete di un edificio. Dai disegni e dalle foto allegate è leggibile chiaramente il quadro di danno ed il meccanismo di ribaltamento in atto che lo ha provocato, la presenza di presidi che lo contrastano e l'individuazione delle cerniere cilindriche formate a seguito dell'evento sismico.

1.3.3 Strategia e scelta degli interventi provvisori e definitivi

Dopo avere condotto le analisi descritte è possibile definire la strategia di intervento che può essere provvisoria o definitiva.

In fase di emergenza (con crisi sismica ancora in atto) è preferibile l'intervento provvisorio reversibile eseguito in tempi brevi, anche in assenza di un progetto esecutivo. Per l'individuazione della strategia di intervento bisogna tenere conto del livello di danno e delle condizioni di accessibilità e della possibilità di esecuzione in sicurezza degli interventi.

Per danni gravi, in assenza di condizioni di sicurezza per gli operatori, l'intervento provvisorio è la soluzione più idonea; per danni gravi o medio-gravi le condizioni di sicurezza possono essere invece rispettate anche con interventi semidefinitivi quali ad esempio la posa in opera di catene.

Nella figura 4 in funzione del livello di danno è individuato il tipo di intervento più idoneo da attuare in emergenza.

Per livelli di danno lieve o medio (livello 1 e 2) che non compromettono la sicurezza strutturale, possono essere eseguite opere minime per ripristinare l'agibilità del corpo di fabbrica. Tali situazioni sono riferibili a macroelementi particolarmente vulnerabili (volte sottili, architravi lignei) e a elementi non strutturali quali apparati decorativi, tamponature, stucchi, intonaci. Per livelli di danno grave o molto grave (livello 3 o 4), quando è compromessa la funzionalità statica dell'elemento strutturale, l'obiettivo è quello di preservare il manufatto da possibili crolli e l'intervento assume una funzione strutturale. Per il danno gravissimo (livello 5) l'opera provvisoria, nella fase iniziale, deve preservare la pubblica incolumità, bloccare il degrado con interventi da attuare in sicurezza (ad es. protezione con spruzzatura di malta) e, in una fase successiva e laddove possibile, preservare le parti residue del corpo di fabbrica da ulteriori crolli. Pertanto sulla base dei livelli di danneggiamento è possibile, in via preliminare, definire la strategia di intervento e valutare i limiti dell'intervento provvisorio e di quello definitivo.

Livello di danno	A	P	I
Livello 1			
Livello 2			
Livello 3			
Livello 4			
Livello 5			

Figura 4 - Livelli di danno, agibilità e strategia dell'intervento di messa in sicurezza: A – rendere fruibile il bene e ripristinare l'agibilità; P preservare il bene con interventi di messa in sicurezza; I preservare la pubblica incolumità

1.3.4 Accessibilità ed esecuzione in sicurezza e in tempi rapidi degli interventi

Alcune tipologie di intervento hanno una componente di rischio elevata e possono essere eseguite solo da squadre specializzate in condizioni particolari e in quota. Gli interventi eseguiti dai Vigili del Fuoco presentano una notevole semplificazione amministrativa in quanto eseguiti sulla base di progettazioni semplificate su schemi predefiniti e non necessitano delle procedura di affidamento dei lavori e approvazioni dei progetti che sono svolte internamente al gruppo di lavoro con la partecipazione del MiBAC.

1.4 Tipologie costruttive

Occorre fare una distinzione tra gli edifici ordinari, caratterizzati da un comportamento più o meno scatolare, e gli edifici costituiti da grossi ambienti con pareti di elevata estensione senza orizzontamenti intermedi (edifici di culto), corpi di fabbrica che si sviluppano prevalentemente in una direzione (torri), e beni complessi (complessi architettonici e archeologici).

Gli edifici ordinari sono caratterizzati da più livelli con orizzontamenti rigidi e/o deformabili.

Inoltre è impossibile ricondurre tutti gli edifici palazziali, spesso strutture complesse, stratificate e con caratteristiche molto diverse, all'interno di un'unica tipologia.

Gli edifici di culto, a differenza degli edifici ordinari, sono caratterizzati da ambienti e pareti di grandi dimensioni, da elevata snellezza e dall'assenza degli orizzontamenti di piano.

Di seguito è riportata una analisi per le tipologie prevalenti degli edifici di culto e per i palazzi. Le torri sono state comprese negli edifici di culto.

1.5 Meccanismi di danno e gerarchia di attivazione

Dalla osservazione dei danni post-sisma si evidenzia come le modalità di danneggiamento possano essere ricondotte a disgregazione della muratura, meccanismi fuori dal piano e meccanismi nel piano. Si verifica disgregazione della muratura, prima ancora della formazione di qualsiasi meccanismo, laddove la qualità muraria è particolarmente scadente. I meccanismi fuori dal piano sono causati, di solito, da azioni orizzontali non contrastate (spinte di tetti, archi, volte). Quando è garantita una buona connessione tra gli elementi strutturali, l'edificio può

presentare un comportamento d'insieme scatolare, attivando la resistenza nel piano delle pareti. In questo caso i meccanismi nel piano che possono attivarsi dipendono dalla geometria del pannello murario, dall'entità dei carichi assiali (orizzontali e/o verticali) e dalle caratteristiche della muratura che determinano le possibili modalità di rottura degli stessi pannelli murari.

L'analisi di questi meccanismi e delle caratteristiche costruttive consente di determinare la tipologia dell'intervento provvisoriale e/o definitivo. Pertanto, per differenti tipologie di edifici, è stata effettuata un'analisi dei singoli meccanismi e delle soluzioni tecnologiche da adottare per la messa in sicurezza.

Modalità di danneggiamento	Tipo	Comportamento e modo di danneggiamento	
M1 - Azione fuori del piano: comportamento assiale ad un blocco rigido	B3, C3 D3, E2 E3, F1 F2		
M2 - Azione fuori del piano: separazione dei paramenti e attivazione di meccanismi globali dei paramenti	A2, A3 B2, C2 D2, E1		
M3 - Azione fuori del piano: separazione dei paramenti murari con disgregazione del paramento esterno	A1, B1 C1, D1		

Figura 5. Modi di danneggiamento interni della muratura



Figura 6. Meccanismo di disgregazione

SISMA ABRUZZO 2009
"La prima fase degli interventi sui Beni Culturali"

Il progetto per la messa in sicurezza di edifici storici parte dalla analisi del danno subito dalla struttura in relazione ai MECCANISMI DI COLLASSO ATTIVATI dal sisma.

Le modalità di collasso possono avvenire secondo il seguente ordine

A - disgregazione del pannello murario per compressione, azioni orizzontali e/o comunque inclinate nel piano e fuori del piano;

B - meccanismi fuori del piano, di scorrimento e di ribaltamento nel piano

C - meccanismi di taglio nel piano

Figura 7 - Gerarchia di attivazione dei meccanismi di collasso

1.6 Meccanismi fuori dal piano

Gli interventi volti a contrastare meccanismi fuori dal piano, oltre che dal livello di danno, dipendono dal contesto in cui è inserito l'edificio.

Se il corpo di fabbrica è isolato ed è al di fuori del contesto urbano, oppure se è antistante una grande piazza, è evidente che l'incolumità pubblica può essere preservata sia realizzando un'opera provvisoria che contrasti il ribaltamento, sia semplicemente transennando la zona. Le tipologie specifiche delle opere provvisorie utili al contrasto del ribaltamento delle facciate sono tre: la prima consiste nella costruzione di uno "sperone" antistante la parete (Figura 8-A); la seconda nell'incatenamento o nella cerchiatura della parete attraverso diverse tecniche (Figura 8-B); la terza nel puntellamento della parete in contrasto con corpi murari adiacenti (Figura 8-C).

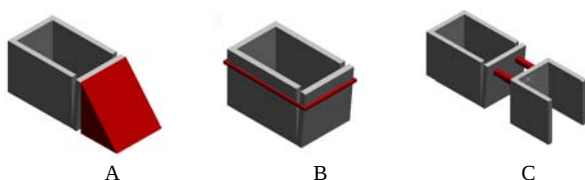


Figura 8. Schemi tipologici d'interventi provvisori per il ribaltamento di pareti: A - tipologia a sperone; B - tipologia ad incatenamento; C - tipologia a contrasto.

La tipologia A prevede la realizzazione di un contrafforte con elementi metallici o lignei ancorato alla base e dotato di una inclinazione opportuna in relazione all'altezza della facciata.



Figura 9 - Chiesa di S. Francesco di Paola: puntellatura della facciata con schema misto e cerchiaggio con funi

Nella tipologia B la cerchiatura può essere realizzata con l'applicazione di tiranti metallici, brache in poliestere ad alta resistenza o fasce in FRP e da opportuni elementi di ripartizione sia verticali che orizzontali disposti sulle pareti.

La tipologia C consiste nella collocazione di elementi di contrasto tra la facciata in

ribaltamento e un edificio esistente idoneo a sopportare le spinte derivanti dall'opera provvisoria.

Si consideri inoltre, come già detto, la necessità di effettuare un intervento reversibile, che non sia di ostacolo per l'esecuzione degli interventi definitivi. La tipologia B è stata impiegata maggiormente rispetto alle altre e nella maggior parte dei casi risulta strutturalmente efficace, economicamente sostenibile e d'impatto limitato sul manufatto e l'ambiente circostante. La tipologia A, in generale, presenta l'inconveniente di un notevole ingombro degli spazi antistanti l'edificio, oltre che un notevole onere economico. La tipologia C può presentare in alcuni casi inconvenienti di tipo strutturale legati ai carichi concentrati che possono andare ad agire sull'edificio antistante e alle spinte che esso è chiamato a sopportare.

1.6.1 Edifici di culto

Per gli edifici di culto, i meccanismi di ribaltamento riguardano in genere la facciata principale, ma possono coinvolgere anche le pareti laterali, le murature dell'abside o quelle del transetto. Per la facciata principale, l'analisi effettuata per le chiese abruzzesi consente di prendere in considerazione due tipologie prevalenti: chiese a navata unica che presentano generalmente una facciata snella con poche aperture e sommità rettangolare, in alcuni casi con timpano triangolare (epoca medioevale), e chiese a tre navate con facciata a salienti con aperture in facciata e sommità a capanna (epoca settecentesca).

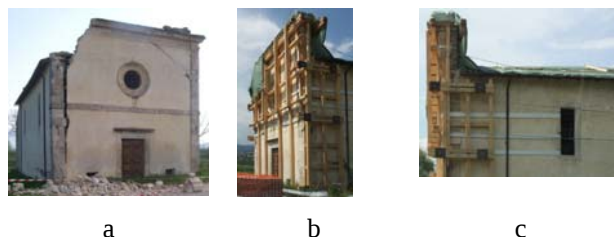


Figura 10 - Chiesa di S. Maria degli Angeli a Civita di Bagno (Comune L'Aquila), a) facciata danneggiata dal sisma, b) c) cerchiatura nel piano e fuori del piano con funi in acciaio e travi in legno lamellare



Figura 11. - Teatro S. Filippo (L'Aquila): cerchiaggio della facciata

Il ribaltamento della facciata può essere totale o parziale e può coinvolgere o meno le pareti trasversali in funzione del grado di ammortamento. In presenza di pareti debolmente ammortate il distacco è rilevabile in corrispondenza dell'incrocio tra le due pareti ed è evidenziato da una lesione verticale presupponendo il distacco dalla copertura; nel caso di ammortamento efficace la lesione è inclinata nella parete ortogonale alla facciata ed è condizionata dalla presenza di aperture.

Nel caso delle chiese a tre navate, con colonnato che separa l'aula dalle navate, il meccanismo si attiva per rotazione verso l'esterno del piedritto dell'arcata in prossimità della facciata e può comportare la lesione in chiave all'arco e/o la deformazione della ghiera; anche in questo caso è determinante il grado di ammortamento con le pareti laterali. Per il ribaltamento totale della facciata la cerniera è ubicata al piede e può essere più o meno arretrata in funzione della qualità muraria. Il ribaltamento parziale può avvenire in corrispondenza di una discontinuità nel piano della facciata per la presenza di aperture ovvero, nel caso di facciate snelle, per la spinta delle volte e della copertura che non riescono a coinvolgere l'intero macroelemento per la presenza di presidi sismici e di ammortamento efficace tra le pareti.

avvenire in elevazione come ad esempio per il teatro S. Filippo a L'Aquila (vedi Fig.11).

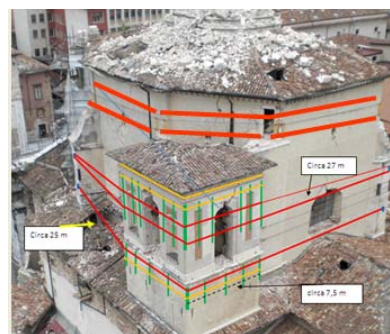


Figura 13. Teatro S. Agostino – L'Aquila: cerchiatura del tiburio con funi in acciaio

Per il teatro S. Agostino è stato eseguito un doppio intervento di cerchiaggio del tiburio con funi in acciaio bloccate sui contrafforti perimetrali e il ritegno della cella campanaria con funi in acciaio per contrastare il meccanismo di ribaltamento fuori del piano e nel piano del macroelemento.

Nella chiesa sconsacrata di S. Caterina D'Alessandria in piazza S. Biagio a L'Aquila si è attivato in modo vistoso il ribaltamento della parte alta della facciata e delle pareti del tiburio.



Fig. 10 S. Maria degli Angeli Civita di Bagno

Fig. 11 S. Giuseppe de Minimis L'Aquila

Fig. 12 S. Silvestro L'Aquila

1.6.1.1 Modalità di intervento

L'intervento da prevedere, nel caso della facciata unica, è il cerchiaggio con uno o più ordini di funi o barre in acciaio poste al di sotto della imposta della copertura, all'imposta delle volte e/o a circa 2/3 dell'altezza. Nel caso di interventi provvisori le funi possono essere lasciate scorrere su morali lignei, mentre nel caso di un intervento definitivo o semi-definitivo le catene possono essere ancorate in facciata con bolzone o piastre. Sulla parete laterale la fune può rientrare all'interno da una finestra posta a distanza di almeno 4-5 metri dalla facciata e può essere eventualmente richiamata in facciata dall'apertura centrale. Nel caso del ribaltamento parziale i presidi in facciata possono anche essere interrotti ad una certa quota e l'intervento può

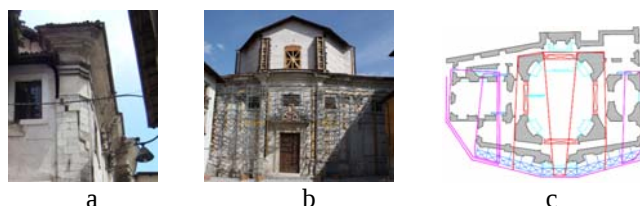


Figura 14. Chiesa sconsacrata di S. Caterina D'Alessandria a L'Aquila: a) ribaltamento della parte superiore della facciata; b) puntellatura e ritegno della facciata con reticolo in giunto tubo e funi in acciaio – cerchiatura del tiburio con funi in acciaio e sbatacchiatura delle aperture; c) schema di montaggio dell'opera di ritegno

E' stato eseguito il contrasto della facciata con un reticolo in elementi in acciaio collegati all'interno con funi in acciaio e il cerchiaggio del tiburio con funi in acciaio e la sbatacchiatura delle aperture.

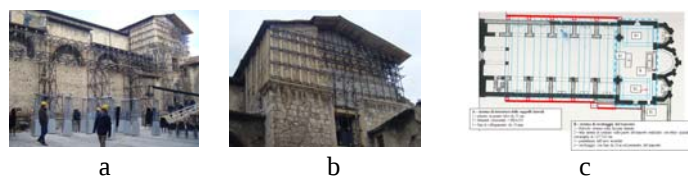


Figura 15 - Chiesa di S. Giusta a L'Aquila: a) opera di ritegno in giunto tubo e funi in acciaio delle pareti laterali e della facciata del transetto, b) ritegno della facciata del transetto, c) schema dell'opera di ritegno

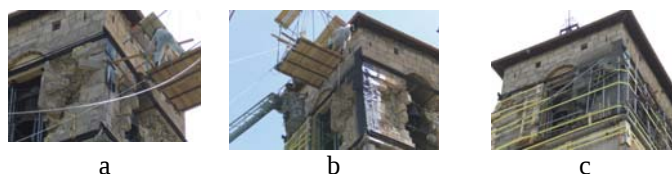


Figura 16. Chiesa di S. Felice Martire a Poggio Pienze (Aq) : a), b), c) posa in opera di teli in fibra di carbonio per il bloccaggio dei conci pericolanti, d) cerchiaggio con fasce in nylon e funi in acciaio

1.6.2 Edifici ordinari

Per gli edifici ordinari occorre distinguere se l'edificio è isolato o se è inserito in un aggregato urbano, in entrambi i casi va fatta la distinzione tra macroelemento interno e/o d'angolo e tra gli orizzontamenti che possono essere deformabili o rigidi. Il meccanismo è fortemente condizionato dai tipi di ammassamento in corrispondenza delle pareti di spina e dalla ubicazione delle pareti rispetto alle estremità. Esso può interessare uno o più piani in relazione alla qualità del collegamento della parete con gli orizzontamenti intermedi ed è favorito da una copertura spingente.

1.6.2.1 Modalità di intervento

I collegamenti provvisori di piano sono realizzabili con un sistema di elementi resistenti a trazione (funi o barre in acciaio) collegati sulle pareti verticali ad un reticolo di elementi in acciaio o di legno disposti in senso verticale e orizzontale e portati a terra. Le tirantature sono realizzate a livello di orizzontamento e in corrispondenza di pareti trasversali in modo da consentire il contrasto e rendere efficace il collegamento. In alternativa, quando è possibile operare in sicurezza, si possono realizzare collegamenti in acciaio o catene a livello degli orizzontamenti tra le pareti del corpo di fabbrica.

In alcuni casi particolari, quando la capacità portante delle muratura per carichi verticali è fortemente compromessa, si ricorre alla incamiciatura delle pareti realizzata con elementi in acciaio o lignei posti sui lati delle pareti e collegate tra di loro (cfr. Manuale STOP dei VVF).



Figura 17. – cerchiaggio di edifici nel centro storico di L'Aquila con profili in acciaio e tiranti in funi o barre in acciaio



Figura 18. – Palazzo Centi a L'Aquila: intervento semidefinitivo di ritegno delle pareti perimetrali dell'edificio con collegamenti di piano in acciaio e ancoraggio esterno alla facciata con profili in acciaio



Figura 19 – Palazzo Quinzi a L'Aquila : intervento di ritegno della facciata con collegamenti di piano semidefinitivi e reticolo di profili in acciaio (lato destro)

1.6.3 Rotazione fuori piano del timpano intorno ad un asse orizzontale (sommità della facciata)

Il meccanismo si presenta prevalentemente nei casi in cui il timpano è realizzato in discontinuità con il corpo della facciata o è di spessore ridotto rispetto a quest'ultimo. La copertura non controventata può esercitare sul timpano delle spinte localizzate determinanti per l'attivazione del meccanismo. Questo consiste nel ribaltamento della porzione di facciata al di sopra della quota in cui è posizionata la trave di colmo.

Nella Figura 20 vengono evidenziate le differenti posizioni che il colmo della copertura può assumere: in corrispondenza del timpano (fig. a); al di sotto del timpano (fig. b); in corrispondenza dell'aggetto (fig. c).

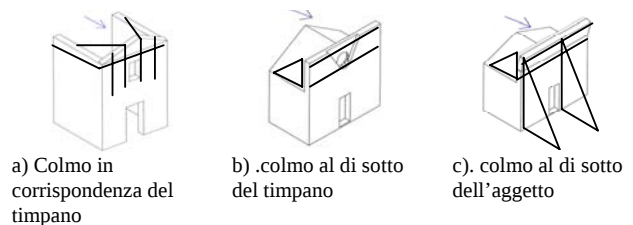


Figura 20. Intervento di ritegno per il timpano

1.6.3.1 Modalità di intervento

Nel caso (a) l'intervento provvisorio può essere eseguito con il cerchiaggio della sommità e il collegamento del reticolo di elementi metallici o lignei in facciata con le pareti laterali nel piano

della copertura. L'intervento definitivo può essere eseguito con il collegamento del timpano alle pareti laterali integrato da un telaio antiribaltamento dietro la facciata. Nel caso (b) l'intervento provvisorio può prevedere la realizzazione di un reticolo metallico a tergo della vela, in corrispondenza della parete laterale cerchiata con funi o fasce in poliestere. L'intervento definitivo potrà essere concepito allo stesso modo ma realizzato con collegamenti definitivi in acciaio. In questi due casi può essere previsto il parziale irrigidimento dell'aggetto nella parte posteriore prevedendo tiranti in acciaio sulle pareti laterali.



Figura 21 Ribaltamento del timpano: rotazione fuori piano a seguito di formazione di cerniere cilindriche con assi obliqui

1.6.4 Ribaltamento del timpano: rotazione fuori piano a seguito di formazione di cerniere cilindriche con assi obliqui.

Il meccanismo è provocato dalla presenza di una foratura nella parte centrale della facciata. Le lesioni tipiche che ne evidenziano l'attivazione sono simmetriche rispetto all'asse centrale della facciata e l'andamento è tale da unire i punti sommitali dei bordi del macroelemento con la parte bassa della foratura. Nella progressione del cinematismo si possono formare cerniere oblique secondarie che coinvolgono anche la parte compresa fra il foro centrale e il portale.

1.6.4.1 Modalità di intervento

Anche in questo caso l'intervento provvisorio può essere eseguito con il cerchiaggio della sommità e il collegamento del reticolo di elementi metallici o lignei in facciata con le pareti laterali nel piano della copertura.

1.7 Meccanismi nel piano

I possibili meccanismi nel piano che possono attivarsi in un setto murario dipendono fondamentalmente dalla combinazione di fattori di diversa natura: la geometria del pannello (in particolare la snellezza), l'entità del carico assiale e le caratteristiche del materiale componente. La diversa combinazione determina tre diverse

modalità di collasso: rottura per flessione-ribaltamento (rocking), rottura per taglio, rottura per scorrimento.

Per gli edifici ordinari i meccanismi nel piano per taglio sono favoriti quando si attiva il comportamento scatolare, mentre negli edifici di culto sono più frequenti le rotture per pressoflessione-ribaltamento nel piano.

1.7.1 Edifici di culto

Nelle Figure 22 sono riportate le conformazioni più frequenti dei meccanismi di rottura per taglio in facciata. Le modalità di intervento sono state ipotizzate tenendo conto dei presidi e dei vincoli presenti: formazione di linee di rottura per taglio inclinate a circa 45 gradi in corrispondenza dell'apertura posta alla sommità della facciata e sulle navate laterali (a); rottura a taglio della facciata e nelle fasce murarie laterali tozze non collegate tra di loro per effetto delle aperture (b); lesione diagonale per ribaltamento del piano favorita dalla presenza della torre sul lato destro (d); taglio nei maschi murari tozzi (c); rottura per ribaltamento nel piano dell'angolata con coinvolgimento della parete trasversale e con lesione al di sotto del vincolo offerto dalla catena nel piano (f).

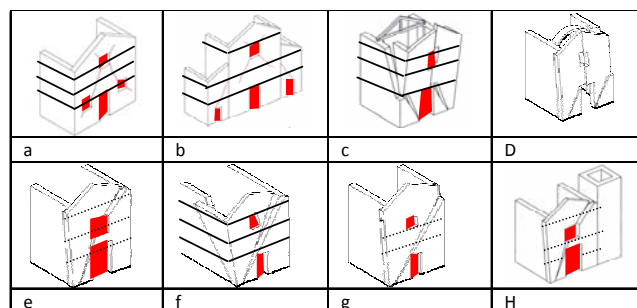


Figura 22 - cerchiaggio per meccanismi nel piano della facciata

1.7.1.1 Modalità di intervento

Le modalità di intervento prevedono come azione provvisoria il cerchiaggio della facciata coinvolgendo le pareti laterali; la sbadacchiatura delle aperture e il cerchiaggio dei maschi murari.

Il cerchiaggio può essere eseguito in modo provvisorio, con funi in acciaio o fasce in poliestere su supporti verticali in legno (Fig.22 a,b,c,f), in modo definitivo (e,g,h), con la previsione di catene orizzontali nel piano realizzate con barre in acciaio bloccate agli estremi con piastre o con una fasce in materiale composito.

1.7.2 Edifici ordinari

I meccanismi di taglio, tipici degli edifici a comportamento scatolare, sono localizzati nei piani bassi dei maschi murari degli edifici tozzi, nei piani alti degli edifici più flessibili e, infine, nelle fasce di piano nel caso di elementi tozzi.

1.7.2.1 Modalità di intervento

L'intervento è fortemente condizionato dal livello di danno: per danni gravi con muratura di cattiva qualità occorre scaricare le murature dai carichi verticali puntellando gli orizzontamenti e cerchiando le pareti nel piano con funi in acciaio o fasce in poliestere. Nel caso in cui le condizioni di danno sono gravissime (esempio Palazzo del Governo-L'Aquila) e non sono in condizioni di supportare aumenti dei carichi verticali per neve e azioni orizzontali, occorre prevedere l'incamiciatura con elementi in acciaio o lignei.

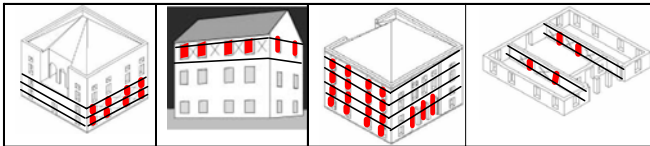


Figura 23: meccanismi di taglio, tipici degli edifici a comportamento scatolare, sono localizzati nei piani bassi dei maschi murari degli edifici tozzi, nei piani alti degli edifici più flessibili e, infine, nelle fasce di piano nel caso di elementi tozzi.

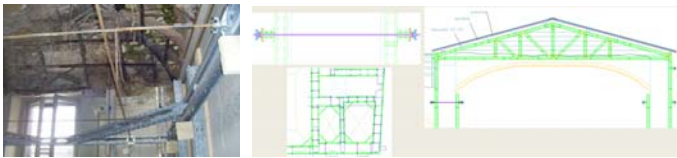


Figura 24: incamiciatura di parete con profili in acciaio per perdita di capacità portante



Figura 25 puntellatura di ritegno di facciata con profili e funi in acciaio

Conclusioni

Gli interventi di messa in sicurezza negli edifici monumentali hanno consentito di aprire un dibattito sulla interazione tra queste opere e l'intervento definitivo da eseguire sulla base di un progetto esecutivo. La reversibilità degli interventi ha consentito di poter operare in modo diffuso anche su edifici di pregio e vincolati in quanto gli interventi eseguiti sono smontabili rapidamente. In alcuni casi essi vanno smontati parzialmente per consentire l'accesso e la esecuzione degli interventi definitivi mentre in altri casi sono stati progettati come interventi

definitivi che dovranno essere integrati con ulteriori presidi nella fase di esecuzione dei lavori di consolidamento. Si evidenzia, pertanto, che il funzionamento delle opere provvisorie si integra con gli interventi definitivi, e come innanzi riportato, la progettazione e la scelta degli interventi devono seguire le stesse logiche che guidano il progettista nella scelta degli interventi definitivi.

References

- Bellizzi M., 2000, *Le opere provvisorie nell'emergenza sismica*, Agenzia di Protezione Civile, Servizio Sismico Nazionale, Roma.
- Calderini C., Lagomarsino S., Lemme A., Podestà S., 2004, "La messa in sicurezza degli edifici monumentali" in Atti del XI Congresso Nazionale "L'ingegneria Sismica in Italia", CD-ROM, Genova.
- Dolce M., (a cura di) 2005, *Manuale delle Opere Provvisorie Urgenti post-Sisma - OPUS*, convenzione tra il Dipartimento Protezione Civile, Ufficio SSN e l'Università degli Studi della Basilicata, Roma.
- Lagomarsino S., Podestà S., Cifani G., Lemme A., 2004, "The 31st October 2002 earthquake in Molise (Italy): a new methodology for the damage and the seismic vulnerability survey of the churches", in XIII WCEE, Vancouver, Canada.
- Lemme A., Podestà S., 2004. *La messa in sicurezza degli edifici monumentali in Molise a seguito della crisi sismica iniziata il 31.12.2002: valutazione della permanenza nel tempo delle puntellature alle chiese*, Report Regione Molise, Isernia.
- VV.F. *Manuale tecnico del pompiere*, 2003 - Progetto Corso Regionale "Opere Provvisorie", CD-ROM, Asti.
- VV.F. *Manuale STOP*, 2010, Nucleo Coordinamento Puntellazioni NCP