

Prima ricerca/rapporto sul comportamento ai sismi 2016 e sul danno ulteriore subito da edifici storici già consolidati nell'Umbria e nelle Marche dopo i terremoti del 1979 e 1997. Primi spunti per l'indirizzo degli ulteriori interventi di riparazione/miglioramento e di approfondimenti scientifici

(prof. arch. Francesco Doglioni, ing. Luciano Marchetti, prof. ing. Claudio Modena)

Premessa

La sequenza di terremoti avvenuti in Italia Centrale nel 2016 ha colpito vaste zone dell'Umbria e delle Marche che, già danneggiate dagli eventi sismici del 1979 e del 1997, erano state interessate da diffusi interventi di riparazione e miglioramento. Come è noto, i sismi del 2016 hanno avuto più episodi, alcuni dei quali di energia notevolmente superiore rispetto a quelli avvenuti nei decenni precedenti; in conseguenza di questa prova molto severa, si sono manifestati diffusi danneggiamenti sia nei manufatti che erano stati riparati/migliorati, sia - a maggior ragione - in quelli che non erano stati oggetto di interventi significativi, in quanto poco o nulla danneggiati dai sismi precedenti.

Si è manifestata in modo molto più marcato la vulnerabilità delle murature dell'area umbro-marchigiana già colpita in precedenza, non segnalata così chiaramente dai danni dei sismi del '79 e del '97.

Anche per tale motivo numerose opere migliorate dopo il 1997 si sono ora nuovamente danneggiate¹. Va rimarcato tuttavia che gli interventi realizzati hanno, nella grande maggioranza, contrastato lo sviluppo di meccanismi di ribaltamento fuori piano, ai quali si devono usualmente i crolli e i danni più gravi, anche in termini di rischio per le vite umane.

Si apre dunque la **possibilità di osservare e analizzare** su vasta scala:

- da un lato, il **differenziale di comportamento tra edifici riparati/migliorati in precedenza e edifici privi di interventi recenti**;
- dall'altro, in edifici già interessati da interventi, i **comportamenti al sisma e le interazioni con la fabbrica storica delle diverse tecniche o impostazioni progettuali adottate**.

Nel clima di sfiducia che si è generato nei riguardi delle strutture murarie tradizionali così come, spesso acriticamente, degli interventi di miglioramento ad esse applicati, è necessario formare un quadro obiettivo e non "emotivo" del loro comportamento. Questa conoscenza, opportunamente divulgata, può risultare di grande importanza per restituire almeno in parte fiducia nella riparabilità sismicamente affidabile delle strutture murarie.

Sotto il profilo tecnico-progettuale se ne possono (ma in realtà, se ne debbono) derivare perfezionamenti "evolutivi", motivati dalla verifica sperimentale compiuta dal sisma, in grado di rendere più efficaci le tecniche sin qui adottate, o di indirizzare, anche attraverso ricerche mirate, verso diverse soluzioni e impostazioni progettuali.

Si tratta indubbiamente di un **tema di studio di importanza strategica** che richiederà risorse, un adeguato sviluppo temporale e una impostazione metodologica che consenta di giungere a risultati scientificamente fondati, efficacemente utilizzabili nella fase di ricostruzione. Ad esempio, una impostazione di tipo epidemiologico, che istituisca correlazioni tra interventi e comportamenti su ampia base statistica, attraverso un opportuno trattamento dei dati.

¹ Va ricordato che gli interventi di miglioramento, ma anche di adeguamento, non sono mai tali da evitare futuri "danni" (e questo vale in generale per la progettazione antisismica); tanto più che nel caso di edifici esistenti non sono previste verifiche nei confronti di stati limite di servizio (in particolare di "danno").

In questa fase iniziale, viste le finalità e i tempi ristretti propri del Gruppo di Lavoro MiBACT, si è ritenuto comunque utile **compiere osservazioni dirette su un primo campione**, limitato ma ritenuto significativo, di edifici storici colpiti da sismi recenti nelle Marche² e in Umbria³.

Le valutazioni di seguito svolte sull'efficacia e sul ruolo svolto dagli interventi e dai singoli tipi di presidio applicati dopo il 1979 e dopo il 1997 sono da intendere inevitabilmente come parziali e da sottoporre a ulteriori approfondimenti.

Tali interventi e presidi sono risultati sovente riconoscibili, spesso, proprio a seguito dei danneggiamenti o crolli parziali che ne hanno reso visibile la presenza in superficie o nelle sezioni murarie, o ne hanno manifestato l'assenza. Le osservazioni dirette sono state in parte integrate dalle testimonianze fornite da tecnici MiBACT, da progettisti ed esecutori dei singoli lavori.

Dove possibile, sono qui proposti "confronti a coppie", ossia il confronto tra il comportamento al sisma di manufatti o loro parti simili per tipologia, ma oggetto di differenti interventi.

Tuttavia, soprattutto nel caso dei comportamenti più favorevoli, spesso non sono riconoscibili direttamente gli interventi che li hanno resi possibili. In questi casi si rende necessario un approfondimento analitico che ponga a confronto il "come costruito"⁴ o, in assenza di questo, il progetto esecutivo degli interventi post-1979 e post 1997, e il quadro fessurativo-deformativo oggi osservabile.⁵

Non vi è dubbio inoltre che si dovrà tener conto degli effetti di amplificazione/attenuazione connessi alla microzonazione sismica.

Osservazioni sul differenziale di comportamento tra edifici riparati/migliorati in precedenza e edifici privi di interventi recenti

Il confronto tra il comportamento di edifici riparati/migliorati e edifici privi di interventi recenti può essere effettuato a scala urbana/territoriale, oppure confrontando tra loro singoli edifici.

Soprattutto a scala urbana, sarà opportuno confrontare le mappe dei livelli di danno a seguito dei sismi recenti, desunti dalle schedature, con le mappe composite degli interventi 1979-1997.

Appare fin d'ora significativa, anche se dovrà essere approfondita, la situazione del centro di Norcia. Nell'edilizia civile di tessuto, diffusamente riparata in passato, si sono verificati crolli molto limitati, pur con complessivi danneggiamenti.

Le chiese della città invece, che avevano avuto limitati interventi di riparazione/miglioramento perché poco danneggiate, in particolare dopo il 1997, e perché ritenute dotate di strutture antisismiche dovute alla ricostruzione settecentesca, hanno tutte subito crolli molto gravi, con l'eccezione della piccola chiesa di S. Lorenzo.

Anche tenendo conto della maggiore vulnerabilità intrinseca degli edifici ecclesiastici rispetto all'edilizia residenziale, questo marcato differenziale appare fortemente correlabile alla presenza/assenza di interventi di miglioramento.

² I sopralluoghi sono stati compiuti nei giorni 3 e 4 gennaio 2017. Vi hanno partecipato F. Doglioni e L. Marchetti, con Umberto Moscatelli e Mauro Saracco (Università di Macerata), Luca Maria Cristini (Ufficio Beni Culturali della Archidiocesi di Camerino-San Severino Marche) con Filippo Marchetti, Alberto Moretti, Giulio Mirabella Roberti.

³ I sopralluoghi sono stati compiuti nei giorni 2 e 3 febbraio 2017. Vi hanno partecipato F. Doglioni e L. Marchetti, guidati da Giuseppe Berti (MiBACT), con Alberto Moretti e Filippo Marchetti.

⁴ Ad esempio, per gli interventi gestiti dalla Regione Marche dopo il 1997 sono state redatte le schede STAP (Scheda tecnica accompagnamento progetto), che contengono la descrizione conclusiva dei lavori eseguiti, e la cui consegna era condizione per la liquidazione finale dei contributi.

⁵ Si constata, come è noto, la difficoltà di disporre di documenti di agevole consultazione che descrivano fedelmente, a cantiere ultimato, la localizzazione nella fabbrica e le caratteristiche tecniche degli interventi effettuati. Si ritiene che questo debba costituire un obiettivo non derogabile per gli interventi futuri.

Dovrà essere approfondita la mappatura del danno, che risulta più articolata, del centro storico di Visso, nel quale si sono verificati danneggiamenti diffusi e crolli parziali in edifici residenziali e pubblici, anche tra quelli riparati dopo il 1997.

Osservazioni sul comportamento di singoli elementi di presidio o di tecniche di consolidamento. Premessa generale sulla consistenza e sul comportamento sismico della muratura nelle zone colpite dal sisma

Pur con alcune differenze, si è osservata una marcata criticità nella costituzione delle strutture murarie delle zone colpite dal sisma, in Umbria e nelle Marche.

Buona parte delle murature ha avuto un **comportamento di tipo disgregativo**, manifestato da:

- quadri fessurativi esterni molto ramificati e diffusi, in cui sovente non è possibile distinguere lesioni principali da lesioni secondaria;
- tendenza alla netta separazione tra i due paramenti, e assenza non solo di conci diatonici, ma anche di elementi di ingranamento tra paramento e nucleo;
- nucleo fortemente decoeso;
- prevalenza di murature prive di *corsatura*, con conci di piccola dimensione a disposizione irregolare.

L'elemento più preoccupante è dato tuttavia dalla natura della malta di allettamento: debolmente legata a calce, con inerti carbonatici e privi della frazione fine, (come già rilevato da altri studi) e sovente a componente terrosa; nella maggior parte dei casi la malta risulta friabile e del tutto priva di capacità adesive al contatto con i supporti. Ne è riprova la rarità, nei crolli, di blocchi formati da più pietre rimaste legate tra loro dalla malta, e il diffuso comportamento "a maceria minuta".

Questa condizione ha favorito, come detto:

- crolli di murature in verticale, "a candela", sovente precedenti o contestuali all'attivazione di meccanismi usuali di ribaltamento fuori piano, che dunque risultano più rari, in quanto non hanno modo di innescarsi prima del crollo, e sono comunque di più difficile individuazione;
- frequenti crolli di un solo paramento, in genere quello esterno anche se costituito da pietre squadrate, che si separa da quello interno e crolla;
- lesioni a taglio di entità macroscopica e andamento sub-orizzontale, che interessano le murature di interi edifici.

Significativo a questo proposito il comportamento di una **casa padronale** sulla piazzetta del paese di **Avendita di Cascia (PG)**.

A pianta rettangolare, è stata consolidata e ristrutturata di recente con una maglia di tiranti nelle due direzioni al primo livello e capochiave esterni a piastra, che si somma a presidi più antichi, forse costituiti da catene interne in legno ancorate a teste in metallo. Non è nota la natura e rigidità dei solai, e la presenza e natura del cordolo sommitale e la struttura del tetto. Al sisma, la parte superiore dell'edificio si è comportata sostanzialmente "a blocco rigido", subendo limitate lesioni, ma sollecitando a taglio le murature tra piano terreno e primo livello di solaio; come conseguenza di ciò tutti i maschi murari tra le aperture del piano terra, sui quattro fronti esterni, si sono gravemente danneggiati a taglio, con effetti espulsivi in angolata e sui ritti delle aperture, traslati verso l'interno del foro. Il danno appare influenzato vistosamente anche dalla presenza di muri di cinta accostati alle angolate dell'edificio; in un caso, il danno si è spostato al di sopra del punto di contatto del muro, in un altro, ha distrutto a martellamento il muro di cinta. In corrispondenza delle lesioni, si osserva che la malta di allettamento è stata disgregata ed è caduta all'esterno lasciando cavi in profondità i giunti tra gli elementi lapidei.

Oltre a dare prova dell'entità delle sollecitazioni locali, il danno ha posto in evidenza la modestissima resistenza a taglio delle murature; i tiranti hanno certamente contrastato il crollo almeno parziale, ma hanno concentrato le sollecitazioni nella muratura basamentale, della quale era stato sostituito di recente

l'intonaco esterno, senza tuttavia sostituirla in profondità i giunti tra i conci del paramento, e senza operare su di essa, a quanto appare, altri interventi di consolidamento proprio.



Figure 1-2-3 Lesioni a taglio al piano terra sui muri perimetrali di edificio ad Avendita di Cascia (PG)

Efficacia degli interventi a mezzo di iniezioni

Gli interventi di consolidamento murario a mezzo di iniezioni sono stati eseguiti soprattutto dopo il terremoto del 1979 della Valnerina, in alcuni casi collegati a perforazioni armate a formare il reticolo cementato.

L'intervento più sistematico di "iniezione armata", tra quelli esaminati, è rappresentato dalla chiesa di S. Procolo ad Avendita di Cascia (PG)⁶.

In questo caso, a fronte di una sollecitazione che risulta essere stata amplificata dal sito, e che ha portato al crollo totale dell'abitazione posta di fronte e al grave danneggiamento di un'altra costruzione vicina pur consolidata dopo il 1997 (vedi foto precedenti), la chiesa ha subito danni relativamente limitati. In almeno due casi le lesioni si sono innescate nel punto di ingresso di una barra cementata, a segnalare la discontinuità tra la parte muraria attraversata dalla barra e la parte non attraversata. La facciata, priva di timpano, è stata in antico per intero rivestita da un pesante contrafforte, così come la parte absidale.

La volta era già stata consolidata nel 1961; dopo la spicconatura, è stata posta rete elettrosaldata fissata a cemento. Dopo il terremoto della Valnerina del 1979 la volta è stata ulteriormente trattata con iniezioni, probabilmente di Primal (descritto come "lattice bianco", fornito dall'ICR). Il loro consolidamento va considerato eccezionale, rispetto alla prassi usuale, per tipo di materiali e combinazione degli interventi. Le volte in pietra, la cui spinta è contenuta dai tiranti trasversali all'aula posti in corrispondenza degli arconi, tiranti che hanno retto, non presentano lesioni significative.

Si constata in questo caso come un intervento, che può essere considerato "pesante" ed impattante sulle superfici esterne e sulla muratura, ma eseguito sistematicamente, ha avuto come esito un comportamento nel complesso favorevole.



Figura 4 Facciata esterna della chiesa di S. Procolo ad Avendita di Cascia (PG)

⁶ La chiesa è stata completamente consolidata nel 1982 dall'impresa Fondedile, dopo il terremoto della Valnerina del 1979. Su pareti e facciata è stato eseguito un reticolo cementato con cinque barre da 16 mm a mq, a due terzi dello spessore murario, previa iniezione a cemento 425 a pressione fino a 2 atm.

La mancanza di affreschi e di intonaci o stucchi ha facilitato le operazioni di cucitura armata e iniezione. Gli intonaci interni ed esterni sono stati per intero sostituiti.

Nella zona in cui interagisce il campanile esterno sono presenti marcati incernieramenti sui semi pilastri interni alla chiesa; incernieramenti sono comunque, più limitati, in tutti i semi pilastri delle pareti laterali.

Sulla facciata sono state realizzate perforazioni armate incrociate; tra navata ed abside, sopra l'altare, è stata realizzata una sorta di cordolo lineare di perforazioni incrociate. Perforazioni della lunghezza di circa 2 m. a raggera (almeno 3) sono state realizzate sugli archi laterali.

Le informazioni cortesemente fornite dal geom. Giuseppe Berti (MiBACT), che ha seguito i lavori nel 1982.



Figure 5 Interno della chiesa di S. Procolo ad Avendita di Cascia (PG)

Si sono riscontrate iniezioni collegate a perforazioni armate anche nel campanile a vela della chiesa di S. Maria la Bianca ad Ancarani di Norcia. Il blocco che costituiva una delle pile murarie della vela, smontato e riportato a terra, è rimasto integro anche per effetto delle perforazioni armate e iniettate, visibili sulle superfici. Nelle sezioni murarie si osservano singole cavità o fratture parzialmente riempite dal cemento ad alta resistenza che era stato iniettato; tuttavia la loro presenza è sporadica e, soprattutto, non ha alcun effetto sulla malta presente nei giunti tra gli elementi in pietra o laterizio, in quanto non riesce a penetrarvi. Tale malta, oltre che di modesta consistenza (impasto terroso) è pressoché priva di adesione alle superfici della pietra o dei laterizi, che dunque si staccano o scorrono con facilità. Effetti di iniezioni cementizie (in questo caso non armate) sono stati sporadicamente osservati anche nella chiesa di S. Andrea a Campi, Norcia. Le iniezioni si sono distribuite in modo irregolare, e non sembrano aver inciso significativamente sui legami adesivi-coesivi delle zone trattate. La chiesa è in larga parte crollata.



Figure 6-7 Sezioni murarie con fluidi cementizi iniettati. A sin., blocco del campanile di S. Maria la Bianca ad Ancarani (TE), a destra, sezione del muro della chiesa di S. Andrea, Campi, Norcia (PG).

A rendere problematico l'intervento di consolidamento attraverso iniezioni (siano esse di boiaccia cementizia o di calce idraulica), le sezioni murarie appaiono ben riempite con la malta già descritta, di modesta resistenza mista ad elementi lapidei. e, fino all'apertura di lesione da separazione. Non offrono varchi idonei, se non in corrispondenza delle lesioni, alla diffusa penetrazione di fluidi, e quindi vanno **considerate non iniettabili (o difficilmente iniettabili)**, quanto meno con fluidi a solo riempimento di vuoti.

Si delinea quindi la necessità **di studiare e sperimentare anche altre tecniche e materiali per il consolidamento proprio (interno) della muratura**; ad esempio attraverso materiali che, con una azione impregnante, siano in grado di consolidare i nuclei di malta e, soprattutto, di formare diffusi legami adesivi tra malta e supporti lapidei; oppure attraverso combinazioni di interventi esterni quali ristilatura profonda dei giunti, intonacatura esterna armata o meno, connettori passanti di diversa natura, valutandone l'impatto conservativo in rapporto alla carattere della superficie, al costo e all'efficacia.

Comportamento di murature a ristilatura profonda dei giunti e/o rintonacate

Sono state osservate numerose costruzioni la cui muratura, attualmente a vista, era stata oggetto di intervento di sostituzione della malta dei giunti, con intervento usualmente denominato di "ristilatura profonda". Al di là delle valutazioni estetiche e conservative, i comportamenti osservati, che pure sono differenziati tra loro, portano ad un indiscutibile miglioramento dei comportamenti della muratura. Vi sono situazioni che risultano sostanzialmente indenni, pur in contesti di grave danneggiamento, come nel caso della costruzione osservata a Castelsantangelo sul Nera (vedi foto) e altre che comunque contrastano in misura significativa il comportamento disgregativo della muratura, rendendo possibile l'attivazione di meccanismi di danno riconoscibili.

Sarà opportuno accertare la natura e le caratteristiche, sia in termini meccanici sia in termini di adesione ai supporti, delle malte di ristilatura utilizzate nei casi più favorevoli, la profondità di sostituzione, gli interventi sui paramenti opposti, ecc.; va accertata inoltre la contestualità di altri interventi, quali iniezioni, connettori tra paramenti, ecc.



Figura 8 Edificio a muratura a vista con ristilatura dei giunti e danni limitati in contesto di crolli diffusi. Castelsantangelo sul Nera (MC)

Numerosi interventi eseguiti dopo i terremoti del '79 e del '97 hanno rinnovato per intero le superfici esterne degli edifici. Si è constatato tuttavia che, nella maggior parte dei casi, si è trattato di un puro

rivestimento “cosmetico”, operato senza una preliminare azione di consolidamento dei giunti. I nuovi intonaci di conseguenza, sovrapposti senza connessione alle murature, si sono usualmente separati e hanno inciso assai poco sul comportamento delle murature, consentendone comportamenti disgregativi.



Figura 9 Edificio rintonacato senza intervento sui giunti murari, e manifesta comportamento disgregativo. Visso (MC)

Si segnala l'opportunità, nel caso si intendano sostituire intonaci storici presenti, o intervenire comunque su murature a vista in cui è ancora presente la malta di connessura originale, di richiedere tassativamente che sia effettuata la ristilatura in profondità con malte di idonea composizione e caratteristiche meccaniche. Questo in base al principio che ad un impatto comunque rilevante sulle caratteristiche storiche e percettive dei paramenti murari debba corrispondere un beneficio significativo in termini di efficienza strutturale.

A maggior ragione la ristilatura profonda deve essere richiesta nel caso di rifacimento ulteriore di intonaci già sostituiti dopo i precedenti eventi sismici.

Il “cordolo” di sommità

Sono denominati usualmente con il termine “cordolo” diversi tipi di confinamento sommitale delle murature, che mirano anche ad accogliere e ripartire il carico delle orditure di copertura, collegandole alle strutture verticali.

Mentre negli interventi a seguito del terremoto del 1979, anche per precise richieste normative, il cordolo costituiva una trave armata in calcestruzzo di sezione pari al muro e di proporzionata altezza, successivamente, anche a seguito dei comportamenti riscontrati, si è mirato a ridurre la massa monolitica e la rigidità, soprattutto in altezza, del cordolo in calcestruzzo, o a realizzarlo con muratura armata o con profilati metallici ancorati.

Le osservazioni compiute confermano ulteriormente la criticità di cordoli in calcestruzzo di ampia sezione e massa, che tendono a danneggiare la muratura sottostante accentuando le sollecitazioni a taglio, punzonandola o lasciandola localmente scarica e favorendone in crollo.

Tuttavia, anche al di là della tipologia di cordolo adottata, il problema principale, nella sua interazione con la costruzione antica, è rappresentato dalla discontinuità che comunque esso introduce nel sistema murario su cui poggia, discontinuità che diviene macroscopica nel caso la muratura sottostante sia fortemente decoesa, condizione, come già detto, largamente presente.

Si è constatato diffusamente, a seguito del sisma, che, anche se l'elemento resistente a trazione è "leggero" e limitato a singole armature metalliche a barra, a lama o a traliccio, oppure lignee, il tratto ricostruito di muratura di appoggio e raccordo con la copertura, sovente comunque di notevole sezione e realizzato con malte molto più performanti di quelle sottostanti antiche, tende a comportarsi in modo affine a quello dei cordoli armati in calcestruzzo a grande sezione; ossia diviene anch'esso una massa unitaria rigida, che si separa all'interfaccia con la muratura di appoggio molto più deformabile, e contribuisce a disgregarla o con urti concentrati o lasciandola scarica; facendo con ciò venir meno sia la funzione di confinamento della muratura, sia di ripartizione dei carichi.



Figure 10-11 A sinistra, crollo parziale della muratura al di sotto di cordolo in calcestruzzo, con ancoraggi in verticale rimasti liberi. Visso (MC). A destra, Chiesa di S. Stefano a Castelsantangelo sul Nera (MC), caduta del paramento esterno nella zona sottostante il cordolo.

In numerosi casi si è constatata l'inefficacia delle barre metalliche che dovrebbero favorire il collegamento tra il cordolo e la muratura sottostante; quando inserite in muratura soggetta a comportamento disgregativo, e collocate in asse, in corrispondenza del nucleo meno coerente della muratura, non ne impediscono il crollo; vi è anzi il dubbio che possano contribuire alla separazione dei due paramenti anche a seguito delle operazioni necessarie alla loro messa in opera. Va detto che nei casi di crollo della muratura sotto-cordolo le barre verticali sono spesso apparse libere da nuclei di malta o resina, rendendo evidente un difetto di cementazione barra/muratura.

Va rilevato che la cordolatura sommitale, quando commisurata, contribuisce a ridurre il rischio di crollo totale della copertura e dunque della costruzione intera; non di rado la copertura viene retta a sbalzo dal cordolo anche in caso di crollo parziale delle murature di appoggio.

Tuttavia non si può affidare alla sola cordolatura sommitale il sostentamento dell'intera fabbrica, soprattutto quando soggetta a spinte di archi o volte sottostanti (vedi più avanti). Sono necessari interventi correlati che permettano un più efficace raccordo con la muratura di appoggio.

Nel caso della chiesa di S. Martino a Castelsantangelo sul Nera la cordolatura ha retto la copertura nonostante la spinta ribaltante degli archi-diaframma interni, non tirantati (vedi oltre); la muratura sottostante è traslata fuori piano rispetto al cordolo, crollando parzialmente e lasciandolo sospeso.

Si ritiene perciò di raccomandare:

- di limitare la massa della “nuova muratura” che ingloba l’armatura o gli si sovrappone;
- di collegare accuratamente il “cordolo”, comunque costituito, a tutte orditure di copertura, in particolare lignee, estendendo il collegamento, anche con appositi rinvii, alla base delle orditure principali e delle catene delle capriate in particolare;
- di associare al cordolo anche accorgimenti “tradizionali” di contenimento applicati alla superficie esterna della muratura (capochiave angolari, capochiave esterni alle catene delle capriate e alle orditure metalliche del cordolo, cuffie esterne di contenimento, ecc.) per contrastare spostamenti fuori piano e inneschi di crollo anche del solo paramento esterno;
- considerato che la rigidità del cordolo sull’asse verticale non solo è inutile, ma anche dannosa, per il differenziale di rigidità che porta alla formazione di zone scariche nella muratura di appoggio, soprattutto esterna, appare preferibile conferirgli una sezione larga, estesa all’intera testata della muratura, ma di limitata altezza, per renderla in grado sul piano verticale, di assecondare deformazioni e spostamenti della muratura;
- di cercare i mezzi più idonei per evitare un drastico differenziale di rigidità e coerenza muraria tra la zona del cordolo o comunque della muratura ricostruita e la muratura antica sottostante, fatto che favorisce la separazione all’interfaccia, essendo importante graduare questo passaggio.

Si può proporre a questo fine, prima della formazione del cordolo:

1. il consolidamento della fascia muraria sommitale, opportunamente pulita e lavata, con colli dall’alto di fluidi consolidanti nel nucleo, in grado di riaggregarlo istituendo legami adesivi tra gli elementi lapidei;
2. la posa in opera di barre metalliche trasversali, elicoidali da fissare a secco o tradizionali da collegare a resina, nella fascia muraria fino a 50 cm sottostante al cordolo, per contrastare la possibile separazione dei due paramenti e il crollo di quello esterno quando “scaricato”;
3. la formazione di collegamenti non necessariamente profondi, ma diffusi e per quanto possibile “mirati” tra le armature del cordolo e la muratura sottostante (ad esempio fissaggi con barre corte o tasselli ai conci angolari in pietra o agli elementi lapidei dei paramenti esterni);
4. l’utilizzo di aggrappanti o di prodotti che favoriscano l’adesione tra la nuova muratura e quella esistente consolidata.

Questi interventi vanno, per quanto possibile, applicati anche alla rimessa in efficienza di cordoli esistenti, danneggiati o meno dal sisma. Tuttavia, nel caso si constatino cordolature a trave cementizia di grande sezione e rigidità, di vecchia concezione, va valutata prioritariamente la possibilità della loro demolizione e sostituzione.

Cerchiature ed altri presidi esterni

Si tratta di strutture raramente adottate, ma che rivestono grande interesse in termini di efficacia, di contenimento degli impatti fisici e dei costi di intervento soprattutto in costruzioni di limitato sviluppo in pianta in rapporto all’altezza (campanili, torri, absidi, ecc.).

Si possono citare a titolo di esempio due casi:

- il comportamento della cella del campanile di S. Martino dei Gualdesi a Castelsantangelo sul Nera (MC), posto a confronto con il campanile della non distante chiesa di S. Stefano;

- il comportamento di una torre della cinta medievale di Norcia, posto a confronto con altre torri della stessa cinta.

La cella del campanile di S. Martino dei Gualdesi era stata oggetto di una doppia cerchiatura sommitale, a mezzo di lame metalliche in acciaio inossidabile collocate nel recente intervento in corrispondenza di cornici, per ridurne l'impatto visivo. Pur nel grave danneggiamento subito dal fusto del campanile, collegato alla chiesa e quindi soggetto ad oscillazioni discordi e martellamenti, la cella è rimasta sostanzialmente integra, evitando in crollo e contribuendo ad evitare quello del fusto danneggiato. Il quadro fessurativo, che usualmente nei campanili si amplia verso l'alto e trova nella cella l'elemento maggiormente vulnerabile, si riduce alcuni metri al di sotto della cerchiatura inferiore fino ad arrestarsi in corrispondenza della cella.

Il vicino campanile di S. Stefano, simile per dimensione e posizione rispetto alla chiesa ma privo di "cerchiature", ha invece subito il completo crollo della cella, oltre al grave danneggiamento del fusto. I presidi antisismici iniziali a struttura mista, con capochiave metallico esterno ancorato a travature lignee inserite all'interno delle murature in fase di costruzione, presidi ben rilevabili nelle immagini precedenti al terremoto, sono divenuti per la gran parte inefficaci a causa del marcimento delle "radiciature" lignee interne; il capochiave metallico esterno si è di conseguenza sganciato senza esplicare azioni di contenimento.

Va osservato che, se le cerchiature avessero interessato anche il fusto del campanile di S. Martino, sfruttando la presenza di altre cornici, molto probabilmente l'efficacia nel contenimento dei danni sarebbe stata maggiore.

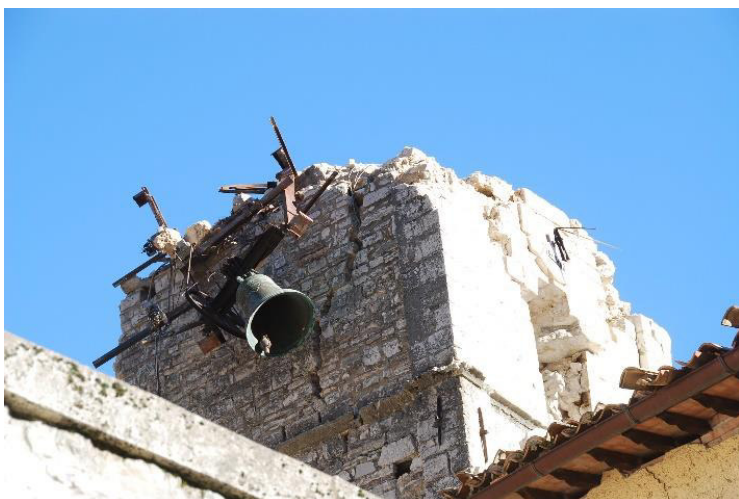


Figure 12-13 Il campanile di S. Stefano a Castelsantangelo sul Nera (MC) prima e dopo i sismi.



Figura 14 La cella del campanile di S. Martino dei Gualdesi, Castelsantangelo sul Nera (MC), con le due cerchiature metalliche, dopo i terremoti.

Le torri della cinta murata di Norcia hanno subito gravi danni, con crolli a “taglio-ribaltamento” favoriti dalla decoesione del nucleo murario.

La torre osservata, che è rimasta sostanzialmente integra, lo deve probabilmente alla presenza, a differenza delle altre torri, di due cerchiature metalliche applicate ai lati esterni. Va accertato se la torre in esame sia stata oggetto di altri consolidamenti (iniezioni murarie o altro) che abbiano contribuito al marcato differenziale di comportamento.

In termini più generali, va osservato che esistono ampi spazi per l'applicazione di “presidi esterni stabilmente applicati”, spazi che solo eccezionalmente sono stati utilizzati.

Nel caso della cella di S. Martino dei Gualdesi a Castelsantangelo sul Nera (MC) i presidi sono inseriti in modo quasi mimetico, sfruttando risalti di cornici o collocandosi sotto intonaco; nel caso della torre di Norcia, probabilmente non recente, risultano addirittura evidenziati dal trattamento del metallo.

Si segnala a questo proposito l'opportunità di sviluppare una “linea” di interventi ispirati a questo principio, anche in analogia con quella adottata dai Vigili del Fuoco nelle fasi di messa in sicurezza durante l'emergenza post-sismica, e a questo fine codificata utilmente nel manuale operativo “STOP”. Presidi di questa natura possono consentire di affrontare efficacemente un certo gruppo di situazioni “tipiche”.

Riteniamo debba essere posta in discussione, e auspicabilmente superata, l'impostazione culturale che tende a priori ad escludere elementi visibili, e continua a preferire o l'assenza di interventi, con la conseguente vulnerabilità, o la scelta di interventi di maggiore impatto fisico e maggiore costo, purché mascherati.

Tiranti interni a contrasto di spinte di archi e volte

Le considerazioni svolte al punto precedente debbono essere estese ai tiranti a vista. In merito al ruolo dei tiranti a vista con la funzione di contrastare la spinta di archi e volte, in particolare nelle aule delle chiese o in corrispondenza dell'arco trionfale, va ribadita la loro essenzialità.

Si portano a confronto i casi della chiesa di S. Martino dei Gualdesi, a Castelsantangelo sul Nera, e della chiesa di S. Pietro a Vallinfante (MC). Sono entrambe ad aula unica, con archi-diaframma poggiati sulle pareti laterali a reggere la copertura a due falde, in luogo delle capriate. Nella prima gli archi gotici, privi di tirante, hanno sospinto verso l'esterno la parete meridionale, causando un crollo parziale e gravi danni anche agli affreschi presenti. Nella seconda, in cui era presente un tirante in corrispondenza di ogni arco, le pareti laterali non hanno subito danni.



Figure 15-16 Chiesa di S. Martino dei Gualdesi a Castelsantangelo sul Nera. La spinta degli archi interni, non contrastata, ha portato al parziale ribaltamento del muro laterale, che si è "liberato" dal cordolo soprastante. Affreschi e portale sono stati danneggiati.



Figura 17 Chiesa di S. Pietro a Vallinfante (MC). La presenza dei tiranti sugli archi interni ha evitato il danneggiamento delle pareti laterali della navata.

In altri casi si è osservata la mancanza di tiranti sugli archi delle pareti di separazione tra navate, in particolare nell'arco che poggia sulla facciata, contribuendo al suo meccanismo di ribaltamento fuori piano.

In questo senso, si ritiene che il MiBACT debba **esprimere con chiarezza**, in particolare ai propri organi periferici, nella progettazione diretta e nell'attività di esame dei progetti legata all'esercizio della tutela, **il privilegio indiscusso da attribuire alla presenza efficace di tiranti a contrasto di spinte di archi e volte** all'interno delle chiese rispetto al disturbo estetico-visivo da essi prodotto. Questo, soprattutto quando non risulta possibile mettere in atto misure "equivalenti" a protezione delle strutture soggette alla spinta ribaltante di archi e volte.

I presidi antisismici "tradizionali"

Si è dovuto constatare che numerosi presidi chiaramente eseguiti in funzione antisismica durante fasi di ricostruzione o riparazione del passato, sia nella zona umbra che in quella marchigiana, e che pure hanno avuto piena efficacia nei tempi successivi alla realizzazione, sono ora divenuti inefficaci. In particolare, i "radiciamenti lignei" interni alla muratura con capochiave metallico esterno risultano in gran parte disattivati per il marcimento totale o parziale della componente lignea. Questa, inoltre, lasciando un vano longitudinale nella zona mediana della muratura, tende a favorire la separazione dei paramenti murari.

Va rilevato che, anche se alcuni presidi di questa natura mantengono certamente la loro efficacia, non risulta possibile verificarla se non a mezzo di prove di estrazione del capochiave; in ogni caso, non è possibile far affidamento sulla loro efficienza, e dunque la loro funzione deve essere sostituita da altri presidi equivalenti in grado di svolgerla.



Figura 18 Capochiave metallico separato dal radiciamento ligneo tra le macerie del campanile di S. Stefano a Castelsantangelo sul Nera

Comportamento di elementi lapidei inseriti nella compagine muraria (contorni di aperture)

Si è constatata la diffusa tendenza alla separazione e al crollo indipendente delle mostre e dei contorni in pietra di aperture. In alcuni casi (soprattutto a Visso e a Castelsantangelo sul Nera) la caduta di buona parte degli elementi architettonici in pietra della facciata, ha costituito il primo e sovente l'unico crollo parziale. Questo comportamento sfavorevole va contrastato per un duplice motivo: la perdita dei contorni in pietra amplia notevolmente il vano murario in corrispondenza delle aperture, e lascia privo di architrave il foro e di confinamento la muratura, favorendo l'insorgere di crolli sistematici. Vanno perciò studiati specifici sistemi di ancoraggio, laterale o interno, tra muratura e elementi lapidei di aperture, ad evitarne il crollo separato e consentire loro di meglio svolgere la funzione di confinamento collaborante.



Figure 19-20 Palazzo Terenzi a Castelsantangelo sul Nera. Il fronte dopo la caduta dei contorni in pietra e gli elementi lapidei a terra.

Comportamento di orditure di copertura spingenti

Solo in pochi casi sono stati osservati comportamenti dovuti a orditure del tetto divenute spingenti in fase sismica e non adeguatamente compensate. Si tratta tuttavia di una condizione da evitare con gli opportuni accorgimenti.

In un caso (chiesa di Norcia) il cordolo ligneo posto sul timpano della facciata a due falde è divenuto spingente per il crollo della parte centrale, fino ad assumere l'attuale assetto piano.



Figura 21 Comportamento di tetto con orditura a puntoni lignei a spinta non compensata. Visso (MC).



Figura 22 Chiesa di Norcia. Comportamento divaricante assunto dal cordolo sul timpano nel corso del crollo della facciata.

Comportamento di strutture di solaio e di copertura a travi in calcestruzzo tipo Varese o di altra natura

Sono stati osservati diversi edifici con strutture di copertura formate da travi in calcestruzzo tipo Varese, spesso impostate su cordolo perimetrale e su trave di colmo in c.a., realizzate dopo il sisma del 1979 o in altre circostanze.

Nella maggior parte dei casi hanno manifestato un comportamento sfavorevole. Le difficoltà di collegamento tra gli elementi e l'impalcato, spesso costituito da tavelloni laterizi con o senza caldane di ripartizione, ha indotto sovente un comportamento rigido-fragile, che è giunto rapidamente al crollo una volta perduti anche parzialmente gli appoggi o intaccata localmente la struttura. L'effetto punzonante delle travi inclinate ha favorito il danno alle murature di appoggio. L'assenza di armature trasversali, nel caso non vi fossero solette armate, ha reso molto vulnerabili tali strutture, vedi in particolare i gravissimi crolli della chiesa di S. Andrea a Campi di Norcia e dell'intera copertura di S. Maria Argentea a Norcia.

Si ritiene di raccomandare, ove possibile, la sostituzione di tali strutture di copertura con strutture lignee (travi e tavolato) di tipo tradizionale, opportunamente fissate tra di loro e al perimetro murario, per la loro maggior leggerezza ed elasticità, e per la possibilità di realizzare impalcati con caratteristiche di relativa rigidità nel piano e di deformabilità elastica fuori piano.



Figura 23 Chiesa di S. Andrea a Campi di Norcia, con copertura a travi Varese e tavellonato, poggiati su trave di colmo in calcestruzzo e cordolo cementizio perimetrale



Figura 24 Sottotetto della chiesa di S. Maria Argentea a Norcia, con solai in laterocemento (Foto P. Berti, Mibact).



Figura 25 Chiesa di S. Maria Argentea a Norcia dopo il crollo della copertura (foto da drone dei VVFF).

Edifici consolidati dopo il 1997 a comportamento favorevole

Sono stati osservati alcuni edifici, in particolare consolidati dopo il 1997, che hanno manifestato comportamenti favorevoli, subendo danni limitati.

E' opportuno che, in questi casi, si effettui un approfondimento specifico, ricostruendo la storia di danno precedente, gli interventi eseguiti e la natura ed entità dei danni ulteriori.

Tra questi, appare significativo il complesso ecclesiastico di S. Maria Assunta a Pieve Torina (MC), formato da una chiesa antica, ora museo, con campanile, e da una chiesa più recente ad essa accostata. La facciata della chiesa più recente ha manifestato un avvio di meccanismo ribaltante del timpano; sull'abside semicircolare della stessa chiesa si sono formate alcune lesioni verticali, che tuttavia non giungono in sommità, fatto che può essere interpretato come un buon funzionamento della cordolatura sommitale. E' in fase di acquisizione la documentazione relativa. Analoghe considerazioni possono essere svolte per la chiesa di S. Salvatore a Castelsantangelo sul Nera (MC).



Figure 26-27-28 Chiesa di S. Maria Assunta, Pieve Torina (MC).