

# Il restauro delle strutture

Giovanni Cangi

## *Analisi critica del danno come presupposto per il recupero e la ricostruzione*

La crisi sismica che ha interessato l'Abruzzo e in modo particolare il territorio della provincia de L'Aquila dallo scorso mese di aprile 2009, ha segnato la conclusione anticipata di un travagliato processo di trasformazione della normativa tecnica sulle costruzioni, che era iniziato nel 2003 dopo il terremoto che colpì il Molise nell'autunno dell'anno precedente.

Circa sei anni, durante i quali il quadro normativo si è evoluto, fra revisioni, adattamenti e molti rinvii che però non sono serviti a chiarire tante incertezze e molti dubbi che permangono tuttora e che probabilmente avrebbero determinato altre proroghe all'entrata in vigore delle NTC se non si fosse verificato il disastroso terremoto in Abruzzo.

Ci si chiede tuttavia se questa scelta avrà effetti concreti sulla ricostruzione postsismica o se è destinata ad essere applicata solo al di fuori di questo ambito.

Il dubbio è legittimo, se si considera che in Umbria e Marche la ricostruzione dopo il terremoto del 1997 sta avvenendo tuttora con il vecchio regime normativo e con dei coefficienti di sicurezza ridotti al 65% rispetto ai parametri di riferimento che sono stati applicati di regola fino al 30.06.2009. Questo perché la rigorosa applicazione delle norme antisismiche vigenti avrebbe richiesto un impegno economico non sostenibile.

Resta il fatto che la normativa tecnica appena entrata in vigore recepisce gli indirizzi degli eurocodici, fa propria l'esperienza maturata in seguito

al sisma dell'Umbria e Marche e introduce importanti novità. In particolare propone un approccio metodologico per l'analisi delle strutture esistenti dal quale sarà bene non discostarsi troppo.

Un metodo che fra i vari passaggi prevede un'analisi critica del danno, necessaria per comprendere le cause e le modalità per cui lo stesso si è manifestato.

Sul piano strettamente tecnico il D.M. 14 gennaio 2008 segna quindi un passo avanti significativo nell'analisi del comportamento sismico degli edifici in muratura esistenti.

La norma introduce innovazioni rilevanti non solo in merito alle modalità di verifica (l'approccio al calcolo secondo il metodo semiprobabilistico agli Stati Limite era già previsto e applicato, soprattutto nella ricostruzione avvenuta nelle aree terremotate dell'Umbria e delle Marche) quanto piuttosto alle tipologie d'intervento.

Si prende atto che l'analisi strutturale deve essere finalizzata alla comprensione del naturale comportamento delle costruzioni, per indirizzare l'opera di consolidamento verso metodologie d'intervento indirizzate alla conservazione dei caratteri costruttivi.

In passato non è stata questa la logica applicata nel recupero dell'edilizia esistente, al contrario, i metodi di analisi più diffusi negli anni settanta, dopo gli eventi sismici che colpirono il Friuli nel 1976, poi l'Umbria nel 1979 e quindi l'Irpinia nel 1980, hanno preso spunto da un modello ideale di struttura scatolare pluriconnes-

## Il restauro delle strutture

sa, caratterizzata da piani infinitamente rigidi, molto lontano dalla reale configurazione degli edifici storici.

Questa rigida concezione del modello strutturale di riferimento ha spinto addirittura a trasformare gli edifici esistenti in funzione del modello di analisi, un'operazione errata sul piano concettuale e foriera di molti effetti negativi, come la sostituzione sistematica degli originali solai in legno, per rendere le strutture più compatibili e aderenti alle ipotesi di calcolo.

È evidente che nella stesura della vecchia normativa tecnica il legislatore si era ispirato molto alla scienza delle costruzioni e forse troppo poco alla tradizione costruttiva, che se non scienza è comunque conoscenza, espressione di un sapere antico che si è lentamente perfezionato con un'attenzione marcata al problema della prevenzione sismica. Lo dimostrano tutti quei centri storici che più volte danneggiati dai terremoti sono stati ricostruiti, mantenendo i lineamenti originali tanto alla scala urbana quanto a quella edilizia.

Rispetto a questo si nota pertanto un ripensamento, per questo il modello di struttura muraria elasto-plastica, monolitica, pluriconnessa ed iperstatica, con piani infinitamente rigidi, oggi appare superato, nel senso che è poco realistico, sebbene la norma continui giustamente a perseguire l'obiettivo di un comportamento d'insieme, basato sull'efficacia delle connessioni verticali e orizzontali.

Le nuove norme appaiono quindi più attente all'esigenza di salvaguardia di quei valori architettonici, artistici e ambientali dei centri storici che raramente in passato si è concretizzata nel modo auspicato.

Proprio il tema dei centri storici trova una precisa collocazione nelle nuove norme tecniche e nei contenuti più espliciti della Circolare n. 617/2009, nella quale si colgono i segni di una evoluzione concettuale e metodologica nell'approccio all'analisi strutturale dell'edilizia storica in zone sismiche, che si evidenzia:

a) al punto C.8, dove è specificato che «per le tipologie in aggregato edilizio, particolarmente frequenti nei centri storici, sono definiti i criteri per l'individuazione delle unità strutturali analizzabili separatamente, tenendo conto delle inevitabili interazioni con unità strutturali adiacenti e delle possibili semplificazioni apportabili ai calcoli»;

b) al punto C.8.4, in cui si richiama la *“Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri per la valutazione e la riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle nuove NTC”* del 12 ottobre 2007, con la specifica che tale direttiva è adottabile per le costruzioni di valenza storico-artistica, anche se non vincolate.

Finora la normativa aveva sorvolato su questi aspetti, in nome di una sicurezza che sembrava po-

tersi conseguire solo attraverso l'impiego delle moderne tecniche fondate sull'uso del cemento armato.

In realtà quelle soluzioni tecniche che dovevano segnare una svolta risolutiva nella prevenzione sismica dei centri storici, si sono rivelate un boomerang che a distanza di tempo, come provano i terremoti dell'Umbria nel '97 e quello più recente de L'Aquila, aggiungono problemi nuovi ai molti irrisolti.

Solo per l'edilizia monumentale, tutelata da leggi speciali, si era avuta la possibilità di derogare da quelle norme vincolanti che, applicate su larga scala, hanno compromesso i caratteri costruttivi di molti centri storici.

Sono tanti gli esempi di centri medievali e rinascimentali che conservano solo nell'aspetto esteriore il loro carattere originario, mentre l'interno degli edifici risulta devastato da interventi invasivi e irreversibili.

La nuova Direttiva sui Beni Culturali si allinea sostanzialmente alle norme tecniche generali, quindi l'approccio all'analisi di un edificio storico ordinario d'ora in avanti potrà essere assimilata a quella degli edifici monumentali. Pertanto viene riconosciuto all'edilizia storica quel valore intrinseco che nel complesso le conferisce il carattere di monumentalità.

Il dibattito che si è aperto da tempo sui contenuti delle nuove norme sismiche ha richiamato l'attenzione degli operatori edili su questioni strettamente legate alle modalità di calcolo e alle verifiche strutturali, come fanno bene le società di software. In effetti questo è l'aspetto della norma che preoccupa maggiormente sul piano pratico, per cui tende ad essere sopravvalutato. Invece bisognerebbe essere consapevoli che le verifiche numeriche, costituiscono solo il passaggio conclusivo di un complesso percorso progettuale fatto di indagini e analisi qualitative, che costituiscono le fasi prioritarie dalle quali non si può assolutamente prescindere.

Un approccio più razionale consiglia di spostare l'attenzione su “cosa calcolare” piuttosto che su “come calcolare”.

Rispetto a questo tema le NTC si pongono nel modo corretto. In particolare nei criteri generali di cui al punto C8.2 la legge stabilisce che

Si dovrà prevedere l'impiego di metodi di analisi e di verifica dipendenti dalla completezza e dall'affidabilità dell'informazione disponibile e l'uso, nelle verifiche di sicurezza, di adeguati “fattori di confidenza” che modificano i parametri di capacità in funzione del livello di conoscenza relativo a geometria, dettagli costruttivi e materiali.

Al punto C8.5 la norma indica chiaramente che

## Il restauro delle strutture

...è impossibile prevedere regole specifiche per tutti i casi. Di conseguenza, il modello per la valutazione della sicurezza dovrà essere definito e giustificato dal Progettista caso per caso tenendo conto:

- dell'analisi storico-critica;
- del rilievo geometrico-strutturale;
- della caratterizzazione meccanica dei materiali;
- del livello di conoscenza e fattori di confidenza.

La normativa pertanto lascia al tecnico la possibilità di muoversi sulla base di un'ampia serie di fattori necessari per orientarsi nella scelta dei modelli di analisi più appropriati e aderenti alla specifica situazione, e comunque mai in modo arbitrario e ingiustificato.

Ancora, al punto C8.7.1 le norme invitano a tenere conto del contesto in cui è inserito l'edificio, con l'esempio degli aggregati in cui si registrano interazioni significative derivanti dalla contiguità strutturale con gli edifici adiacenti. In tali casi si potranno utilizzare metodologie di calcolo semplificate.

Il problema è che le vecchie costruzioni in muratura sono affette da molte incertezze e ciò le distingue dagli altri sistemi costruttivi.

Infatti, mentre appare piuttosto agevole caratterizzare una struttura in cemento armato o in acciaio sulla base di parametri di tipo geometrico e di alcune essenziali caratteristiche di resistenza ed elasticità, per le murature le cose cambiano sostanzialmente.

All'interno di una parete ci può stare di tutto e non basta conoscere i materiali costituenti, occorre sapere come il muro è stato costruito e con quale rigore è stata applicata la regola dell'arte, come sono organizzati i filari, quale sia lo stato di conservazione. Si potrebbero elencare tanti altri fattori, fra i quali certamente la presenza e l'efficacia delle connessioni per esprimere un giudizio, anche solo qualitativo.

Per gli orizzontamenti di piano e di copertura, che si tratti di solai o di volte di varia geometria, si pongono altri dubbi che si aggiungono ai precedenti.

Di norma questo ragionamento, che si pone a monte di qualsiasi trattazione analitica del problema, viene generalmente superato attraverso la formulazione di ipotesi semplificative, quasi mai rispettate, che permettono di caratterizzare ogni setto murario attraverso quattro soli parametri meccanici, comprendenti la resistenza a compressione, la resistenza a taglio e i due moduli elastici normale e tangenziale, oltre ai dati geometrici e al peso proprio. Con questa premessa si trova sempre una soluzione matematica del problema, ma dal significato poco attendibile.

Negli edifici in muratura esistenti, nell'edilizia storica in particolare, è necessario quindi puntare l'attenzione sulla costruzione dei modelli di anali-

si, il più possibile semplici, ma significativi, per dare risposte orientative sul livello di sicurezza conseguito, senza pretendere di attribuire un valore assoluto ad una quantificazione numerica sempre affetta da troppe e rilevanti incertezze.

L'apertura della norma ad un approccio più realistico e semplificato del comportamento degli edifici storici tende purtroppo ad essere contrastata da chi, preposto al controllo delle costruzioni, è portato a privilegiare l'approccio numerico rispetto alla più discrezionale analisi qualitativa.

Tuttavia le NTC valorizzano quegli studi che da decenni trovano espressione nella manualistica e che hanno contribuito ad arricchire le conoscenze sui materiali, sulle tecniche costruttive e sulle modalità di dissesto delle costruzioni storiche, a livello generale e in specifiche situazioni locali.

Senza tenere conto che la grande mole di dati raccolti sulle tipologie murarie per la redazione dei manuali tecnici, se acquisita dalle rispettive Regioni, potrebbe servire a definire delle zone omogenee, per ciascuna delle quali creare un abaco di elementi tipologici cui riferirsi in sostituzione di prove meccaniche e indagini troppo onerose per interventi da eseguire sull'edilizia ordinaria.

I manuali, pertanto, costituiscono un patrimonio di cui avvalersi nei vari ambiti locali, per supportare quell'analisi preliminare che si concretizza nella completezza e nell'affidabilità dell'informazione, nella valutazione dei "fattori di confidenza", nonché nella definizione dei dettagli costruttivi e dei materiali.

Il concreto apporto offerto dai manuali del recupero nella stesura della nuova normativa traspare in molte specifiche tecniche della circolare 617/2009; un apporto propositivo che costituisce un'ottima sintesi fra scienza e tradizione.

Lentamente, ma in modo sempre più incisivo, alcuni suggerimenti proposti dalla manualistica sono stati assorbiti e metabolizzati dalla normativa, soprattutto in seguito agli eventi calamitosi più recenti, come la crisi sismica del 1997 in Umbria e Marche, che ha segnato l'inizio di una revisione critica delle vecchie norme tecniche.

Il terremoto del '97 è stato un duro banco di prova anche per molti edifici consolidati dopo il sisma che aveva colpito lo stesso territorio nel 1978 e '79. La manifestazione di comportamenti anomali nelle costruzioni che erano state consolidate in seguito a tale evento, ha fatto sorgere dei dubbi sull'efficacia delle soluzioni tecniche fino ad allora adottate, con riflessi notevoli sull'evoluzione delle norme.

Al *Manuale del Recupero di Città di Castello*, dato alle stampe nei primi anni '90 e al *Manuale per la riabilitazione e la ricostruzione postsismica degli edifici* voluto dalla Regione Umbria durante la fase operativa di ricostruzione e pubblicato nel 1999,

va riconosciuto un valore scientifico che ha certamente contribuito al perfezionamento delle norme sul piano della sicurezza e della conservazione.

Questo dimostra che ogni terremoto offre l'occasione, certamente indesiderata, per affinare le tecniche costruttive e di prevenzione.

Trarre esperienza da questi drammatici eventi è prima di tutto un obbligo morale. Dall'esperienza bisogna sempre prendere spunto, anche per tentare di semplificare le norme, senza per questo perdere mai di vista gli obiettivi di sicurezza che ne costituiscono il fine principale.

Un esempio interessante è offerto dal decalogo di norme, essenziali, quanto chiare ed attuali, elencate in appendice e pubblicate in occasione del disastroso terremoto che il 26 aprile 1917 colpì i centri abitati di Citerna e Monterchi nell'Alta Valle del Tevere, fra Umbria e Toscana.

Ogni terremoto, quindi, insegna qualcosa e serve ad aggiustare il tiro; oggi, malauguratamente, tocca all'Abruzzo assumere questo ruolo, anche in relazione alla secolare tradizione costruttiva antisismica che contraddistingue questo territorio.

La lezione dell'Abruzzo richiederà tempo per essere assimilata, ma non mancherà di produrre effetti, forse anche sul piano normativo, destinato probabilmente ad essere modificato quando si conosceranno i risultati dei tanti studi che oggi si vanno sviluppando.

Tuttavia, proprio dall'Abruzzo viene la conferma che la strada tracciata dai manuali del recupero nello studio del comportamento sismico dell'edilizia storica segue una giusta direzione.

Le prime ricognizioni dei centri storici colpiti dal sisma confermano, infatti, una tendenza che si era già manifestata in Umbria e Marche nel '97, e che richiamò l'attenzione sul comportamento anomalo di molte strutture consolidate pochi anni prima nel rispetto dei criteri dettati dalla normativa in vigore negli anni '70 e '80. Un riscontro evidente è offerto dal modo spontaneo di danneggiarsi degli edifici storici, piuttosto prevedibile fintanto che la loro configurazione originaria non viene alterata.

L'introduzione di elementi estranei, come gli orizzontamenti in latero-cemento, può determinare invece dei cinematismi imprevedibili e molto più pericolosi.

Nei resti della chiesa di Castelnuovo di San Pio delle Camere, con un cantonale di facciata ancora in piedi per effetto del contrasto offerto da uno sperone d'angolo e dall'azione di trattenuta di un tirante metallico (fig. 1), si riconosce lo stesso meccanismo che alla fine del '400 Benozzo Gozzoli utilizza nel ciclo pittorico di San Francesco a Montefalco, per rappresentare il santo che in modo simbolico sostiene la facciata di una "chiesa" ugualmente lesionata (fig. 2). Un danno atte-

so quindi, che si ripropone in modo spontaneo anche in altri edifici con le stesse caratteristiche e contro il quale si possono adottare provvedimenti semplici ed efficaci per poterlo contrastare.

Impedire il ribaltamento della facciata è lo stesso obiettivo che si sono posti a suo tempo nella costruzione della settecentesca chiesa delle Anime Sante a L'Aquila. In questo caso è stata adottata una soluzione raffinata quanto efficace, che ha permesso di preservarla dal crollo in occasione del recente sisma (fig. 3).

L'architetto intuisce l'andamento dei flussi di compressione all'interno della parete quando investita da azioni ortogonali che la spingono verso l'esterno; il meccanismo resistente genera una "volta a botte" ad asse verticale, che nel caso specifico si concretizza nella forma concava del fronte impostato sui due cantonali laterali.

In questo modo si sottrae alla facciata quella porzione di muratura che nella parete piena tende per natura a distaccarsi sotto l'effetto del sisma, per dare alla stessa la forma e la resistenza di una "diga" antisismica e per trasformarla in una struttura absidata. Una soluzione che non introduce nulla di nuovo, ma che mette a frutto l'esperienza del passato, se si considera che molte architetture classiche presentano la stessa forma, come gli antichi nicchioni che lungo Via Claudia, a Roma (fig. 4), fanno da sostegno ai giardini del Celio e contrastano allo stesso modo le spinte orizzontali del terrapieno.

Merita soffermarsi su questo tema per un interessante confronto con la facciata della chiesa dell'Immacolata a Paganica, uno dei simboli del disastroso terremoto (fig. 5). In questo caso il fronte presenta una convessità esterna, per cui il meccanismo resistente a "volta" ha difficoltà a generarsi con la stessa configurazione. Il meccanismo spontaneo è quello speculare, ma richiede una resistenza a trazione che la muratura non è in grado di esprimere, se non attraverso adeguati accorgimenti.

La conseguenza è quella di un allentamento della muratura associato all'espulsione di materiale e alla formazione spontanea di una nicchia centrale che sebbene irregolare richiama quella della chiesa aquilana delle Anime Sante.

Fra i riscontri più significativi di alcune previsioni di dissesto illustrate nei manuali del recupero si trovano tanti cinematismi elementari che servono a spiegare anche fenomeni più complessi.

Il ribaltamento di pareti isolate rientra in questa categoria di fenomeni, che vede variare il comportamento dei muri in funzione delle diverse configurazioni dei vincoli al contorno (fig. 6).

Due situazioni diverse rilevate nel piccolo centro di Onna, devastato dal sisma, mostrano rispettivamente il ribaltamento di una parete libera vincolata ad una estremità e il crollo di un tratto di

*Il restauro delle strutture*

muro di recinzione (fig. 7). Ambedue i fenomeni osservati rientrano fra i casi canonici di studio delle pareti sollecitate da azioni ortogonali.

La maggior parte dei dissesti riscontrati nell'edilizia storica danneggiata dal sisma risponde a previsioni intuitive che trovano risposta nella logica distribuzione degli sforzi all'interno delle pareti quando sollecitate da azioni complanari o ortogonali (figg. 8 e 9) e nella capacità di trattenuta degli orizzontamenti (fig. 10). Meccanismi che si spiegano agevolmente con la meccanica degli archi e delle volte; archi e volte che non si vedono, ma che si manifestano nei cinematismi strutturali (figg. 11-12).

Fondamentale nella risposta delle pareti è l'effetto catena che raramente viene esplicato dalla muratura stessa in funzione dell'attrito e della coesione della malta (figg. 13.1 e 13.2). In genere le murature ordinarie non presentano questi requisiti a causa di un inconsistente ingranamento fra gli ortostati, come appare evidente nel cosiddetto "apparecchio abruzzese" che caratterizza anche l'edilizia di pregio (fig. 13.3).

Forse in Abruzzo questo problema era emerso anche in passato e si era cercato di risolverlo con la disposizione di catene lignee posizionate a tutti i livelli dei fabbricati e inglobate nelle pareti.

Questi elementi di collegamento occultati nella muratura fanno scoprire un centro storico aquilano sorprendente, ricostruito probabilmente in seguito al devastante terremoto del 1703, con criteri antisismici secondo la tecnica di una "muratura armata" premoderna. Soluzioni molto valide, che si affidavano alla resistenza a trazione del legno inserito nelle pareti piuttosto che all'acciaio, per creare efficaci connessioni orizzontali e verticali.

Nella ricostruzione settecentesca l'impiego dell'acciaio è stato limitato agli ancoraggi esterni, mentre l'opera di consolidamento ha fatto affidamento su un sistema di radicamenti lignei profondi molto diffusi sicuramente efficaci (fig. 14).

In effetti, queste opere in parte funzionano ancora; di sicuro avrebbero funzionato molto bene 300 anni fa, appena realizzate, mentre oggi non possono assicurare le stesse prestazioni a causa del naturale degrado dei materiali e di una manutenzione che probabilmente non è stata effettuata. Gli aquilani non potevano immaginare che la prova più dura sarebbe arrivata ben tre secoli più tardi, oltre la vita nominale della maggior parte di questi presidi antisismici. Nonostante questi limiti si ha comunque l'impressione che l'edilizia storica abbia risposto abbastanza bene al sisma e forse meglio di quella moderna.

Molti edifici storici, corazzati con robusti speconi, tiranti e ancoraggi efficaci, già provati da precedenti duri collaudi, hanno superato lo stato limite di danno SLD, ma non quello di salvaguar-

dia della vita SLV e sono ancora lontani dal raggiungere lo stato limite di collasso SLC (fig. 15).

Questo significa semplicemente che si possono recuperare, attraverso la riparazione del danno e l'apporto di miglioramenti strutturali, avendo cura di conservarne le originali caratteristiche costruttive.

È chiaro quindi che per tutta l'edilizia storica in zona sismica si pone un problema di conoscenza, prima di tutto, e poi di manutenzione dei presidi antisismici esistenti, attraverso operazioni sistematiche e ben programmate che devono superare quella memoria storica che nel tempo tende a svanire.

Tutto ciò non può che passare attraverso un accurato rilievo critico, per scoprire che sicuramente non siamo i primi a porci questi problemi, ma che anzi, in passato, vi era una chiara impostazione dei livelli di analisi della prevenzione sismica, valutati alla dimensione urbana fino a quella del singolo fabbricato.

Alla scala urbana si comprende come uno dei punti di forza che contraddistinguono l'edilizia storica rispetto a quella moderna sia costituito dal diverso sistema di aggregazione degli edifici, collegati l'uno all'altro per costituire un organismo unico, molto più stabile rispetto ad un equivalente sistema di edifici indipendenti (fig. 16).

In particolare negli aggregati organizzati con una successione di elementi strutturali spingenti contrapposti, si instaura un effetto arco globale che assicura notevole stabilità nei confronti del sisma.

Nell'edilizia moderna invece prevale la cultura del "giunto tecnico" per evitare qualsiasi interazione statica fra edifici contigui (figg. 17, 18 e 19).

Un'ulteriore indicazione che si può cogliere da un primo bilancio della recente esperienza del sisma in Abruzzo e che emerge già in questa prima fase, riguarda i metodi di analisi strutturale.

Al momento trova un evidente riscontro il metodo dei cinematismi di collasso, che tuttavia presenta dei limiti nella costruzione della catena cinematica, affidata a scelte soggettive.

Tuttavia se si tiene conto degli indirizzi della nuova normativa, che lascia una certa libertà di manovra al progettista, e dei criteri razionali che permettono di costruire dei cinematismi anche in modo intuitivo, aiutati quando possibile dal rilievo del quadro fessurativo, allora i risultati possono assumere significato.

La sostanziale rispondenza fra un modello di previsione costruito nel 2007 per un edificio del centro storico di Perugia e la reale configurazione di dissesto di un fabbricato di simile conformazione, addossato alla chiesa di Santa Maria della Misericordia a L'Aquila (figg. 20 e 21), dimostra che un approccio pratico intuitivo può suggerire la strada giusta da seguire per progettare e per ricostruire.

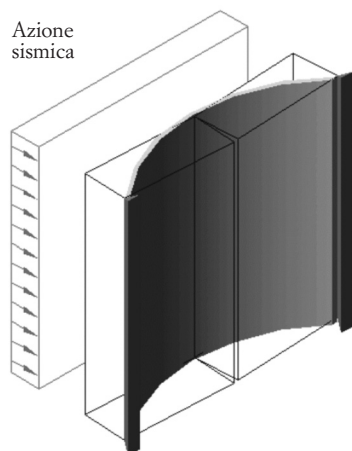
# *Il restauro delle strutture*



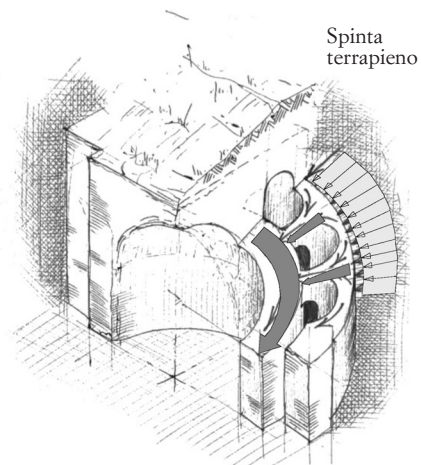
1. La chiesa diroccata di Castelnuovo di San Pio delle Camere (AQ). Si conserva il cantonale lesionato per effetto del contrasto offerto dalla sperone di facciata e dalla catena sovrastante.



2. Benozzo Gozzoli, San Francesco sostiene la chiesa lesionata, affresco (XV sec.), particolare del ciclo pittorico di San Francesco nella chiesa omonima a Montefalco (PG).



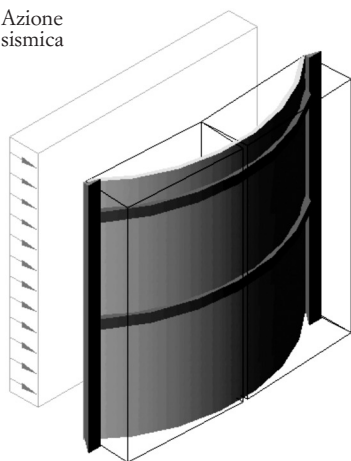
3. Volta ad asse verticale su parete vincolata ai lati, concretizzata nella facciata della chiesa delle Anime Sante nel centro storico de L'Aquila.



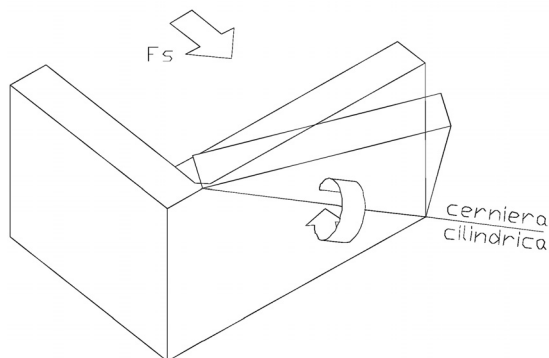
4. Podio del Tempio di Claudio al Celio: spaccato assometrico di una nicchia lungo Via Claudia con schema di diffusione delle spinte.

## Il restauro delle strutture

Azione  
sismica

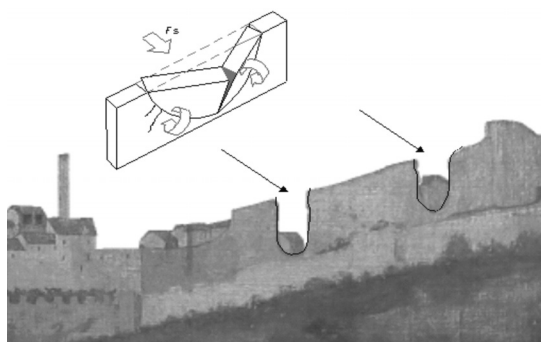


5. Chiesa dell'Immacolata a Paganica: schema a "corda blanda" del meccanismo resistente di facciata in presenza di un'azione di trattenuta che il cantonale non è stato in grado di esplicare. L'espulsione di muratura al centro della parete tende a formare una nicchia che ricorda quella della chiesa delle Anime Sante.



6. Meccanismi di danno elementari di parete vincolata ad una estremità.

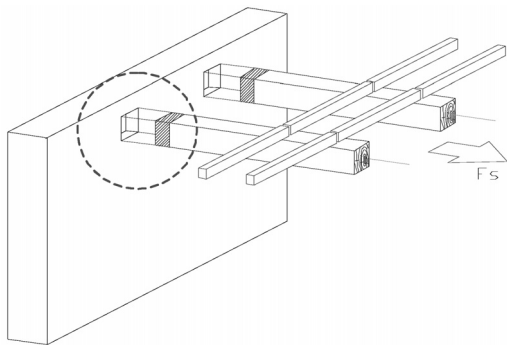
7. Muro di recinzione nel centro di Onna (AQ) sollecitato fuori del piano.



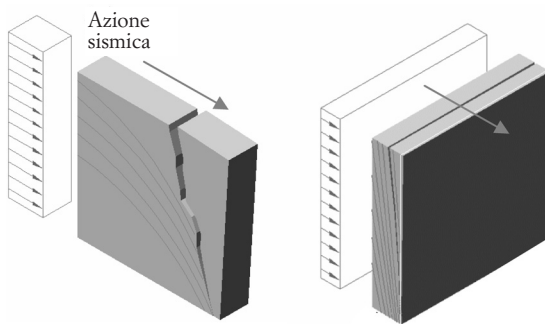
8. Un tratto della cinta muraria meridionale di Montone (PG) colpita da un sisma nel 1457, particolare della "Madonna della Misericordia" di Bartolomeo Caporali (1482).

9. Effetto della scossa sismica del 6 aprile 2009 in un muro di recinzione in una via centrale di Onna (AQ).

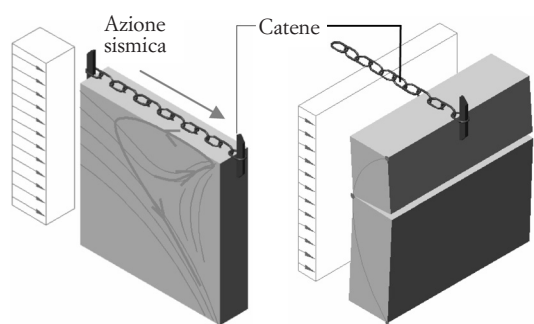
# Il restauro delle strutture



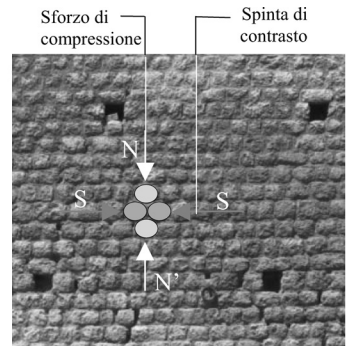
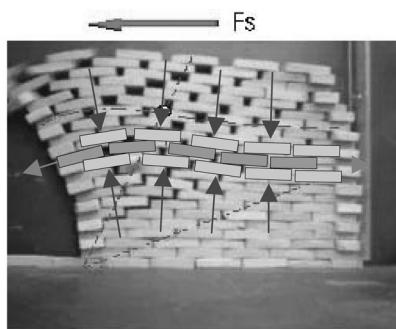
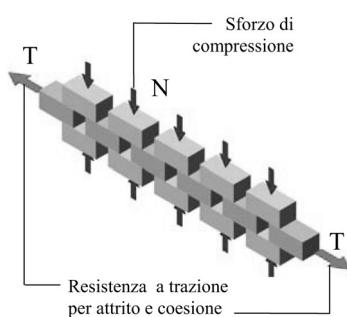
10. Ipotesi di sfilamento delle travi maestre di un solaio ligneo, aggravata da testate di travi ammalorate, a confronto con una situazione reale riscontrata nel centro storico de L'Aquila.



11. Azione sismica complanare e ortogonale alla parete (la diffusione degli sforzi avviene nello stesso modo, secondo archi nel primo caso e secondo volte nel secondo).

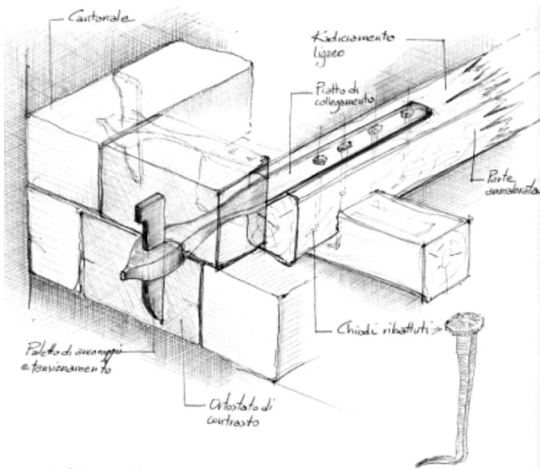


12. L'effetto catena può essere assicurato dalla muratura stessa, oppure si può ottenere mediante la disposizione di tiranti complanari od ortogonali alla parete.



13. Schema dell'effetto catena in una parete di elementi squadri, evidenziato nella dinamica di collasso di una parete sollecitata nel piano. La resistenza a trazione della "catena" in muratura è assicurata dall'attrito fra le pietre e dalla coesione della malta; non è così per l'"apparecchio abruzzese", sostanzialmente privo di sovrapposizioni e nel quale si innescano delle spinte con "effetto espulsione".

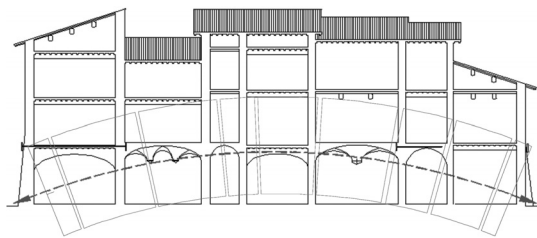
## Il restauro delle strutture



14. Schema di un caratteristico radiciamento ligneo d'angolo con sistema di connessione a paletto metallico posto a contrasto del paramento lapideo.



15. Esempio di intelaiatura lignea con "cordolo" di coronamento connesso ad elementi verticali occultati nella muratura di pietrame.

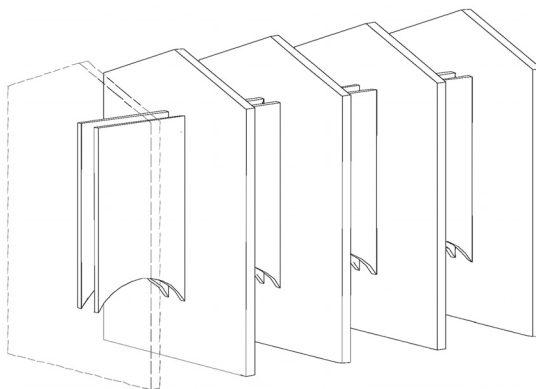


16. Schema dell' "effetto arco equivalente" in un aggregato edilizio con successione di elementi spingenti a contrasto, tratto dal Manuale del recupero strutturale e antisismico.



17. Contrasto di elementi spingenti orditi in senso ortogonale alla facciata in un edificio distrutto dal terremoto in Abruzzo.

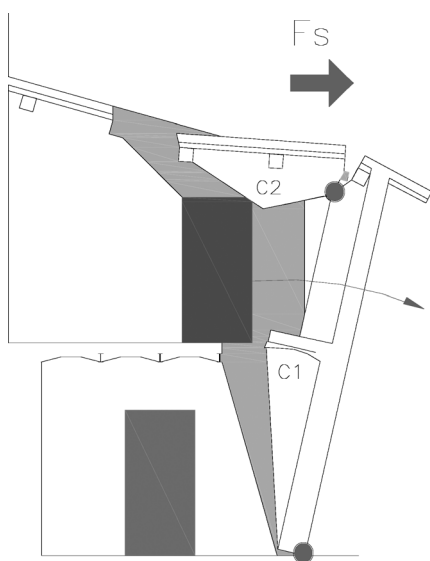
## Il restauro delle strutture



18. Citerna (PG), esempio di prevenzione sismica alla scala urbana. Schema tipologico dell'edilizia seriale con ricerca dell'effetto "arco".



19. Citerna (PG), gli archi di sbadacchio che attraversano i vicoli e collegano edifici contrapposti, danno continuità alla successione di arcate presenti all'interno di ogni cellula.



20. Analisi strutturale con ipotesi di collasso di un edificio in muratura in Via Torricella nel centro storico di Perugia (2007).



21. Cinematismo strutturale di un edificio del centro storico de L'Aquila colpito dal sisma del 6 aprile 2009.

**CORPO REALE DEL GENIO CIVILE**  
**Ufficio speciale per il servizio terremoto di VILLE MONTERCHI (Arezzo)**

**DISPOSIZIONI**  
**e norme tecniche da osservarsi per le riparazioni da eseguire nelle località**  
**danneggiate dal terremoto del 26 Aprile 1917.**

Per le riparazioni i proprietari degli stabili dovranno seguire le sane regole dell'arte in modo da ridurre il fabbricato in condizioni di stabilità soddisfacente.

Più particolarmente saranno da osservarsi le seguenti norme:

- 1) Le volte esistenti saranno tollerate a condizione espressa che non siano lesionate o siano impostate su muri lesionati o strapiombati e purché sia provveduto ad eliminare le spinte con l'apposizione di robuste catene o chiavi tiranti.
- 2) Al posto delle volte spingenti saranno sostituiti, specie negli ultimi piani, impalcati o soffitti piani.
- 3) Le scale dovranno possibilmente poggiare sopra due muri; in caso contrario debbono poggiare sopra intelaiature di legno o di ferro o di cemento armato.
- 4) I tetti dovranno essere resi non spingenti con l'apposizione di opportune catene.
- 5) Le condotte e le canne di scarico di qualsiasi specie dovranno essere disposte in modo da non intaccare le murature, ma da permettere anzi l'integrazione ove l'indebolimento sia avvenuto.
- 6) Gli edifici lesionati dovranno essere rinforzati da collegamenti di ferro orizzontali all'altezza dei diversi piani e a quella della gronda.
- 7) Le murature comunque lesionate che presentano strapiombo eccezionale da non poter essere ricondotte verticali con l'uso di chiavi e tiranti di ferro, dovranno essere demolite, quelle invece che non presentino i caratteri anzidetti dovranno essere riparate riprendendone la costruzione per ciascuna lesione con muratura da farsi esclusivamente con buona malta, fino ad immorsarsi con profondi attacchi con la parte sana.
- 8) Le travature dei solai dovranno, almeno ogni tre, poggiare su tutta la grossezza dei muri ed essere collegate con il telaio di consolidamento ove esiste.
- 9) I soffitti ed i rivestimenti dei solai da rifarsi, dovranno formarsi con materiali leggeri quali tele, assicelle, cartone, lastre sottili, reti metalliche, canne schiacciate e simili.
- 10) Le nuove murature in luogo di quelle demolite dovranno essere fatte con buona malta e mattoni ovvero pietrame, rimanendo esclusi i ciottoli arrotondati.

Si avverte infine che ciascun proprietario prima di procedere ai lavori di riparazione dovrà renderne edotto l'Ufficio del Genio Civile al quale presenterà la descrizione dettagliata dei lavori che intende di fare i quali saranno dall'Ufficio stesso sorvegliati.

Ville Monterchi, 5 Giugno 1917.

(Copia del bando conservato presso la Biblioteca Comunale di Città di Castello – G. Cangi, 2003)



*Messina, danni in una strada dopo il terremoto del 1908.*