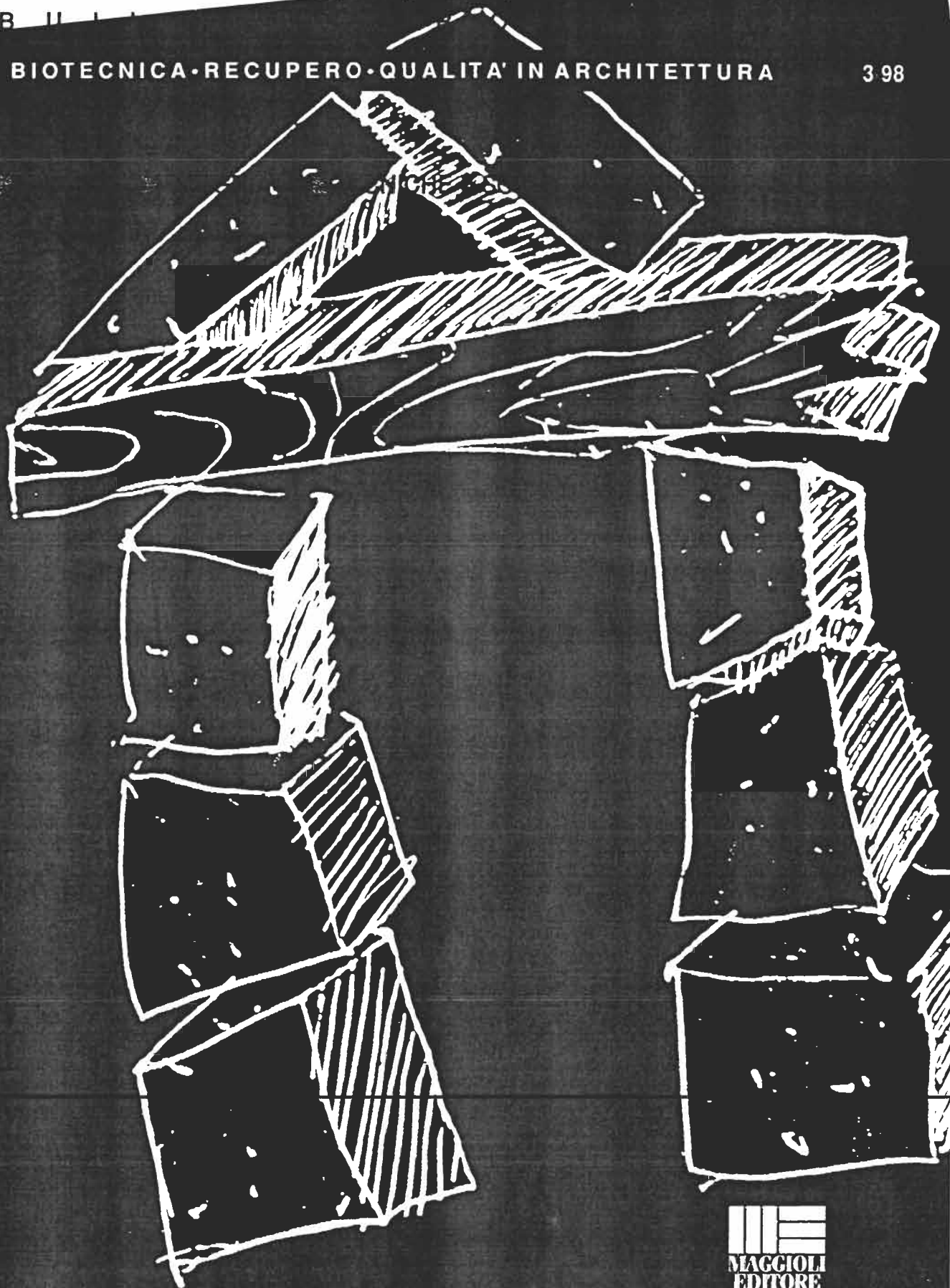


Rivista trimestrale • Anno II • N. 3 • luglio / settembre 1998

# AMBIENTE COSTRUITO

BIOTECNICA • RECUPERO • QUALITA' IN ARCHITETTURA

398



Sped. abo. post. in a. p. comma 26, art. 2, legge 549/95 • Filiale di Perugia • € 19.000 • P479803

  
MAGGIOLI  
EDITORE

*Efficacia strutturale e rispetto delle preesistenze si possono ottenere con tecniche e metodi già conosciuti e con modi di intervento non tradizionali di recente sviluppo*

*1 Archetti di contrasto tra edifici vicini, in un carrugio ligure.  
2 Basilica di San*

## Il miglioramento sismico degli edifici storici

Lorenzo Jurina

I recenti eventi sismici nell'Umbria e nelle Marche hanno riportato alla attenzione dei tecnici e dei legislatori la esigenza di predisporre interventi rivolti al miglioramento oppure all'adeguamento degli edifici esistenti che siano strutturalmente efficaci e che, assieme, rispettino le preesistenze.

Alcune vigenti normative risultano infatti inadeguate dal punto di vista meccanico e fortemente invasive. L'articolo propone alcune modalità di intervento, oggetto di studio e di prime realizzazioni, che paiono interessanti e meritevoli di approfondimento.

tenga conto delle specificità presenti, di possibili o auspicati cambiamenti di uso, del ricorso a semplici interventi di sorveglianza e di manutenzione programmata, dell'uso di tecniche locali.<sup>1</sup>

Talora tuttavia la situazione è tale da rendere inderogabile un intervento sulle strutture ed è quindi di fondamentale importanza risalire alle cause prime dei danni.

Durante un evento sismico le costruzioni antiche in muratura presentano danni dovuti sia alla limitata resistenza del materiale costituente le pareti sia ad errori di progettazione e di esecuzione sia, talora, ad indebiti interventi eseguiti in epoche successive.

In particolare le principali cause dei dissesti sismici degli edifici in muratura possono riassumersi in:

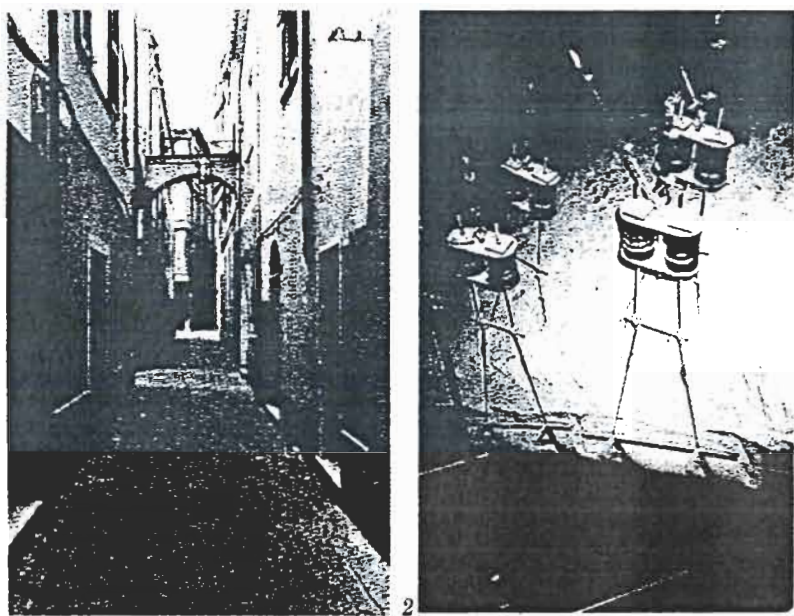
a) errata disposizione in pianta delle pareti, e conseguenti dissimmetrie; b) inadeguato ammortamento tra le pareti verticali; c) insufficiente rigidità dei solai nel loro piano; d) inadeguato collegamento tra solai e pareti; e) coperture o strutture murarie spingenti; f) aperture di dimensioni eccessive; g) scarsa resistenza e fragilità della muratura, spesso in ciotoli poco legati, nonché degrado dei materiali e degli elementi costitutivi; h) presenza di elementi concentrati di elevata rigidità; i) dissesti pregressi, anche di origine sismica; l) processi di trasformazione edilizia.

Negli interventi di miglioramento o di adeguamento antisismico allora occorre procedere a scelte mirate che tengano conto delle cause prime e che siano capaci di rispettare quei criteri di compatibilità, reversibilità e durabilità che devono caratterizzare l'opera di chi si occupa del patrimonio artistico.

L'articolo presenta brevemente una serie di modalità di intervento, senza pretese di esaurire l'argomento. Accanto a metodi e tecniche conosciute ed applicate (alcune più, altre meno invasive) verranno descritte alcune proposte non tradizionali, oggetto di studi e sviluppi in questi ultimi anni.

### I criteri dell'intervento

Gli interventi su edifici esistenti, realizzati sia prima che dopo un evento sismico, si traducono in tentativi di ovviare alle cause di cattiva risposta mediante modifiche apportate alla geometria, ai



*Francesco di Assisi: tiranti applicati alle volte con molle ammortizzanti e culle per il sostegno delle nervature.*

*Lorenzo Jurina, ingegnere, è professore di Tecnica delle Costruzioni presso il Dipartimento di Ingegneria strutturale del Politecnico di Milano. Ha realizzato molti interventi di consolidamento su edifici antichi in Italia e all'estero.*

### Introduzione

Dopo ogni terremoto si è costretti a prendere atto degli effetti, spesso tragici, indotti sul patrimonio architettonico del paese. La eterogeneità dei materiali, la complessità delle geometrie e dei particolari costruttivi, le peculiarità delle fasi costruttive determinano quasi sempre situazioni uniche alle quali va data una "risposta individuale" sia in fase diagnostica che nella fase di definizione dell'intervento.

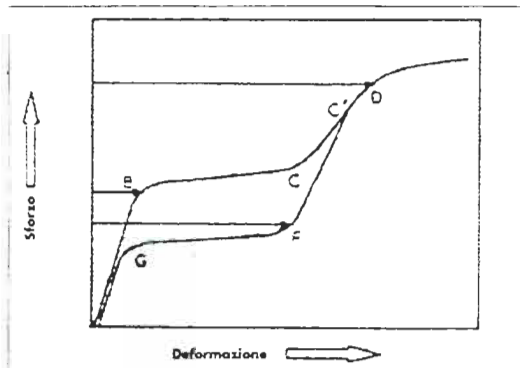
Il rischio sismico non è ovviamente l'unico rischio al quale la struttura è sottoposta e pertanto le decisioni in merito ad ogni caso devono essere prese dopo un confronto multidisciplinare che



3 Reticolo di iniezione in una parete in muratura.

4 Legame tra sforzi e deformazioni in una lega a memoria di forma.

5 Sistema di isolamento alla base realizzato nella torre campanaria di Melfi; 5a., sezione verticale della base; 5b., sezione verticale della torre; 5c., pianta dei primi tre livelli.



materiali ed ai carichi. In grande sintesi tutte le proposte si possono ricondurre a due criteri:

A) rendere minima l'energia che viene trasferita dal terreno alla struttura, B) migliorare la capacità della struttura di assorbire l'energia entrante, vale a dire fare sì che rigidità e resistenza siano adatte a ben distribuire e successivamente a resistere alle sollecitazioni....un po' come un bravo pugile che ha due alternative: può lavorare di gambe e di tronco per evitare o per ammorbidire i colpi oppure può fare una ginnastica mirata ad irrobustire gli addominali in modo che i colpi non gli facciano troppo male.

La esigenza di conservare il bene nella sua originalità ed irripetibilità si scontra spesso con il dovere di proteggere la costruzione e le vite umane dal rischio sismico.<sup>2</sup>

Ciò crea dilemmi sovente difficili da risolvere che vanno affrontati caso per caso.

Una possibile soluzione risiede nel concetto di "miglioramento" antisismico introdotto dal DM del 24/1/86 e definito come "quell'insieme di opere atte a conseguire un maggiore grado di sicurezza nei confronti delle azioni sismiche senza peraltro modificare sostanzialmente il comportamento globale dell'edificio". Questo criterio invita ad una specializzazione dell'intervento adattandolo al singolo edificio e tenendo in conto tutti quei contributi, talora anche di origine "non strutturale", che possano essere utili ad aumentare la sicurezza di insieme.

All'interno di questi criteri generali il progettista dovrà scegliere un modo di agire. Le sue possibilità di azione sono inevitabilmente limitate a modificare i parametri meccanici che influenzano la risposta all'evento sismico e che si possono riassumere in: massa dell'edificio, accelerazione e spostamento imposti alle fondazioni, rigidità dei componenti strutturali, resistenza dei componenti strutturali, capacità di dissipazione di energia.

I primi tre parametri influenzano la quantità di energia comunicata alla struttura, gli ultimi tre la modalità di risposta dell'edificio.

Li esamineremo brevemente descrivendo i criteri e le modalità operative che ne conseguono e

che si possono applicare per la mitigazione degli effetti sulla struttura.

### Le tecniche dell'intervento

A) Un primo modo per intervenire sulla struttura è quello di diminuire le masse o di modificare sostanzialmente la distribuzione spaziale, ad esempio spostandole verso i piani più bassi.

La rimozione delle macerie dai sottotetti e l'alleggerimento almeno parziale delle volte sono interventi spesso possibili e sicuramente utili soprattutto in edifici antichi.

Analoghi risultati si ottengono con il trasferimento a piano terra o piano interrato degli impianti e soprattutto degli archivi.

B) Operare sulla rigidità della struttura consente una notevole varietà di interventi.

Si può anzitutto intervenire modificando la rigidità di insieme della struttura in modo tale che le frequenze proprie di risposta dell'edificio risultino sostanzialmente diverse dalle frequenze della azione sismica perturbante che verrà plausibilmente comunicata dal terreno, al fine di evitare pericolosi fenomeni di risonanza.

Tale obiettivo può essere conseguito sia mediante aggiunte che mediante sottrazioni di materiale oppure di collegamenti. Mi pare significativa, a questo proposito, la antica pratica adottata in vari centri storici italiani di accoppiare edifici contigui mediante puntelli o connessioni rigide, come si può constatare ad esempio in Toscana ed in Liguria dove il tessuto urbano è caratterizzato da frequenti archetti di contrasto tra edifici vicini. (Fig.1)

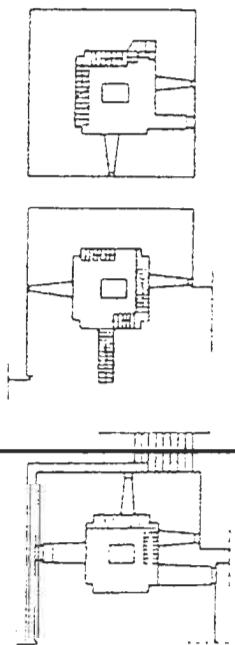
Appartengono allo stesso criterio tutti quegli interventi locali di aggiunta o di rimozione di pareti murarie e la creazione di nuovi giunti tra corpi contigui di edifici irregolare, a forma di C o di L, con l'obiettivo di ottenere corpi isolati più semplici e simmetrici per forma e per rigidità.

Questi interventi tra l'altro tendono a ridurre l'eccentricità tra il baricentro delle masse e quello delle rigidità, così da limitare l'influenza dei modi torsionali sulla risposta dinamica dell'edificio.

Un interessante esempio di modifica di connessioni esistenti si è realizzato nella chiesa di san Francesco ad Assisi, dove le volte sono state vincolate e smorzate da tenditori soggetti a carico praticamente costante, con la interposizione di molle di compensazione. L'intervento tempestivo è risultato particolarmente utile nel fare fronte alle numerose scosse successive alla principale. (Fig.2)

C) Oltre agli interventi sulla rigidità si può intervenire sulla resistenza.

Appartengono a questa categoria le operazioni di sostituzione dei materiali, gli interventi di placcaggio delle murature, ossia i cosiddetti "intonaci armati" tanto criticati ma indubbiamente



utili se ben collegati alle murature esistenti, e le iniezioni delle murature (Fig.3), di grande validità quando vengano applicate correttamente e quando si proceda a verifiche in corso d'opera dei risultati ottenuti.<sup>3</sup>

Riguardo a questa tecnica i maggiori problemi si presentano in murature con grandi vuoti e, per converso, in murature molto dense, legate con malta di argilla, materiale debole ma quasi impermeabile al passaggio dei fluidi.

Molta attenzione va inoltre posta alla compatibilità tra i materiali, evitando i materiali a base cementizia oppure i materiali troppo rigidi o poco noti dal punto di vista della durabilità.

Ove possibile, e soprattutto nella edilizia storica, è preferibile usare malte idrauliche a base non cementizia, simili in certa misura ai materiali esistenti.

D) Il concetto di modifica contemporanea della resistenza e della rigidità si applica in tutti quegli interventi volti a rendere effettivamente solidali tra loro gli elementi strutturali, realizzando un "effetto scatola" tridimensionale. Per ottenere la desiderata condizione di "congruenza" tra gli spostamenti orizzontali ai vari livelli dell'edificio, si può operare sia migliorando l'ammorsamento tra le pareti verticali (soprattutto quelle costruite in tempi successivi al corpo originario), sia garantendo il collegamento tra le pareti e gli elementi orizzontali, vale a dire solai e coperture.

L'attuale normativa consente ed anzi sollecita la costruzione di "cordoli" in cemento armato, realizzati in breccia nelle murature, con lo scopo di ammorsare tra loro le pareti.

L'obiettivo è certamente condivisibile ma lo strumento proposto, oltre ad essere estremamente invasivo per edifici di interesse storico, rischia di provocare localmente inaccettabili situazioni di indebolimento locale dovuto agli "scassi" nelle pareti, impossibili da ripristinare mediante successivi getti in c.a. (soprattutto se effettuati senza additivi contro il fenomeno del ritiro).

Molto più interessanti sono invece gli interventi dove la connessione viene ottenuta utilizzando lo stesso solaio irrigidito nel suo piano. In questa ottica, a fianco della usuale e spesso abusata soluzione con cappa in calcestruzzo e rete elettrosaldata, una modalità adottata sempre più di frequente negli edifici antichi consiste nel disporre un nuovo tavolato in legno (oppure due) al di sopra e solidale a quello esistente, collegandolo poi il tutto alla muratura mediante connettori discreti, vale a dire puntuali ed uniformemente distribuiti, quali ad esempio barre sagomate in acciaio, fissate al solaio e fissate perimetralmente alla muratura con malte antiritiro o con resine epossidiche.

Collegare tra loro le pareti perpendicolari im-

plica un mutuo sostegno realizzato dall'elemento che momentaneamente è più resistente nei confronti di quello più debole, rispetto alla particolare orientazione della sollecitazione. L'obiettivo è quello di impedire crolli locali i quali coinvolgano poi a cascata tutti gli elementi strutturali.

La duttilità dei materiali e degli elementi coinvolti gioca un ruolo essenziale e la adozione di elementi metallici a fianco della muratura contribuisce a questo obiettivo.

Tiranti verticali inseriti nelle pareti intervengono a migliorare la resistenza a taglio, soprattutto quando venga applicato un post-tensionamento in grado di incrementare la resistenza a scorrimento della muratura per effetto frizionale.

Tiranti orizzontali posti esternamente alle murature contribuiscono anch'essi all'effetto scotolare ed all'ammorsamento duttile tra le pareti verticali e i solai.

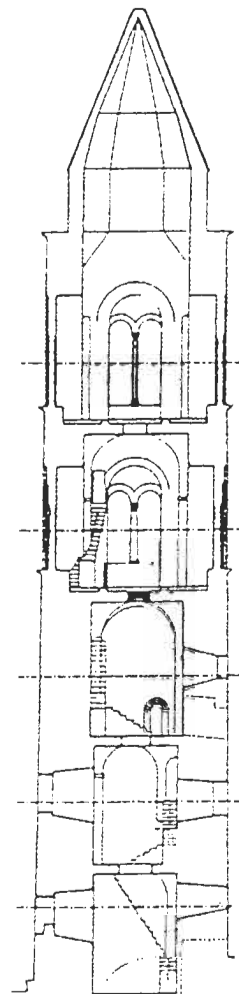
Un analogo effetto viene ottenuto applicando iniezioni armate all'interno delle murature, soprattutto in posizioni strategiche quali le superfici di affaccio di pareti costruite in epoche successive.

Appartengono a questa categoria le operazioni la cerchiatura degli elementi strutturali, chiamate anche interventi di "confinamento laterale", e l'uso di catene e tiranti in acciaio (meglio se in acciaio inossidabile) a livello degli orizzontamenti.

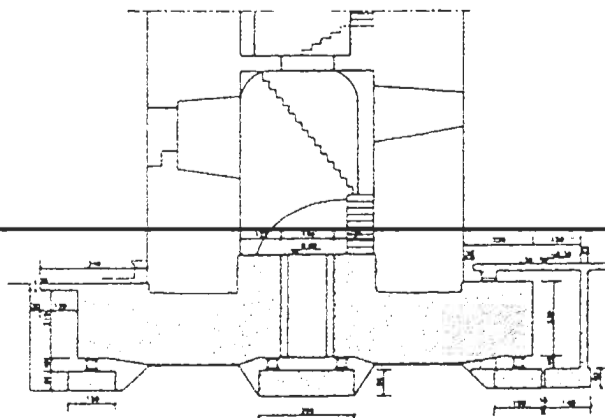
Sempre con riferimento agli eventi del '97 in Umbria, ha dato ottimi risultati rispetto alle scosse di assestamento l'uso di cerchiature di emergenza realizzate con fascie in poliestere e semplici dispositivi di serraggio in opera, applicati soprattutto ai ritti delle celle campanarie.

Recenti interventi di "cerchiatura radiale", realizzati introducendo tiranti post-tesati nelle buche pontate di torri medioevali, si inseriscono nella medesima logica.<sup>4</sup>

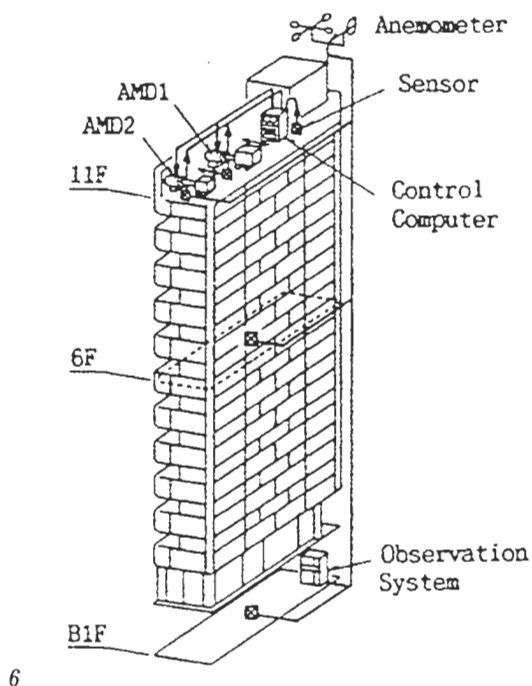
La realizzazione di un diaframma irrigidente posto a livello di copertura è usualmente la soluzione più semplice, più efficace e meno dispendio-



5b



5a



6 Sistema denominato AMD, per il controllo attivo delle risposte sismiche di un edificio mediante masse a geometria variabile.

7 Arco armato con cavi estradossali pretesi, soggetto a prove di carico. 7a., deformate prima del collasso; 7b., particolare dei cavi estradossali.

sa rispetto ad un intervento a livello di solaio, anche se il terremoto del settembre '97 in Umbria ha messo in evidenza quanto dannoso possa essere un rifacimento massiccio del tetto, realizzato con strutture in c.a. eccessivamente pesanti e rigide, se al piano sottostante le murature sono comunque inadeguate a resistere agli sforzi tangenziali.

Ci si chiede allora se non sia più opportuno, negli interventi sull'esistente, lasciare intenzionalmente che qualche elemento possa rompersi, dissipando energia in modo controllato ed in punti circoscritti. L'osservazione trae origine dall'esame

degli edifici danneggiati dal terremoto del '97 in Umbria dove si osserva che nella maggior parte dei casi i danni si presentano soltanto a livello delle coperture oppure soltanto a livello delle pareti con crolli perpendicolari alle pareti stesse, oppure soltanto a livello di muratura con danni a taglio e lesioni incrociate.<sup>5</sup> Nei casi esaminati solo raramente modalità di collasso tra loro diverse si sono presentate contemporaneamente.

E) Ne consegue allora un criterio, vale a dire la creazione di zone o elementi con funzioni di "fusibile strutturale", capaci di localizzare gli effetti del danneggiamento, rompendosi o meglio deformandosi in modo duttile. La fragilità che caratterizza la rottura delle murature va infatti mitigata nei limiti del possibile: essa implica fenomeni di collasso locale e la conseguente impossibilità da parte di un elemento di trasferire ad altri elementi strutturali contigui la quota di sollecitazioni a cui non è in grado di fare fronte.

L'introduzione di fusibili strutturali ed un incremento diffuso della duttilità della struttura nel suo complesso rappresentano ottimi criteri di intervento.

Uno studio accurato della struttura potrebbe consentire la introduzione di fusibili strutturali che siano anche elementi facilmente intercambiabili, preposti a deformarsi plasticamente o a rompersi in modo controllato con lo scopo di dissipare energia.

L'introduzione di elementi sollecitati a trazione (barre di controvento) o sollecitati a flessione (pettini metallici tra le varie parti) consente lo

sviluppo di fenomeni di dissipazione plastica di energia, con possibilità successiva di sostituzione degli elementi danneggiati.

A fianco delle soluzioni più applicate, che fanno largo impiego dell'acciaio, nuovi materiali apparsi recentemente sono in grado di cambiare ciclicamente forma e struttura cristallina dissipando energia.

Ci si riferisce in particolare ai "materiali a memoria di forma" (o SMA, Shape Memory Alloy), materiali realizzati in lega equiatomica nichel titanio con due speciali caratteristiche: capacità di recuperare la forma iniziale, mediante semplice somministrazione di calore, al termine di un processo di deformazione plastica, ed inoltre "superelasticità", vale a dire possibilità di realizzare cicli chiusi sforzi-deformazioni intrinsecamente isteretici e quindi dissipativi.<sup>6</sup> (Fig.4)

L'uso di materiali a memoria di forma potrebbe risolvere il gravoso problema delle sostituzioni degli elementi a seguito del sisma.

Si tratta infatti di materiali che possono essere ripristinati nella geometria originaria senza gravose sostituzioni, inducendo modesti riscaldamento nel materiale metallico.

F) Tra gli interventi ancora poco frequenti, anche se concettualmente classici, ma suscettibili di grande sviluppo va ricordata la realizzazione di "filtri di base", costituiti da molle oppure da giunti a basso attrito e da smorzatori, introdotti all'interfaccia tra terreno e struttura, il cui scopo è di aumentare il periodo proprio di vibrazione, riducendo così le accelerazioni massime applicate alla struttura, e assieme di aumentare le capacità di dissipazione di energia.<sup>7</sup>

L'utilizzo di filtri tende a disaccoppiare l'edificio dal terreno ottenendo così una sostanziale riduzione delle accelerazioni indotte su di esso.

Un sistema a sole molle presenta inconvenienti gravi quali un ridotto smorzamento e la possibilità di consentire spostamenti relativi non tollerabili rispetto al terreno, anche sotto carichi di vento. Molto meglio allora se meccanica comunicata. Con questo scopo sono stati messi a punto negli ultimi anni numerosi sistemi di "isolamento alla base" tra terreno ed edificio, realizzati in acciaio con interposizione di dispositivi in gomma o neoprene oppure in acciaio e piombo.

Il metodo, con innumerevoli varianti, è stato proposto e sperimentato già da anni per edifici di nuova progettazione ed è adattabile, anche se con ovvie difficoltà, alle strutture esistenti, soprattutto quando si presentino di ridotte dimensioni, di forma semplice ed isolati da altri edifici. Tra i primi esempi in Italia, relativi ad edifici monumentali, ricordo quelli portati a termine nel 1991 nella chiesa di S. Pietro a Frigento<sup>8</sup> e nella Torre campanaria di Melfi<sup>9</sup>. (Fig.5)

Nella medesima ottica, sarebbe utile verificare a posteriori la risposta sismica di edifici in cui sia stato effettuato un taglio meccanico alla base delle murature per consentire la intreposizione di strati di materiale impermeabilizzante.<sup>10</sup> Isolamento sismico ed isolamento dalla umidità di risalita si potrebbero verosimilmente ottenere con lo stesso provvedimento.

A favore di soluzioni di questo tipo osservo che, nella maggioranza dei casi, nelle strutture monumentali o antiche sono assenti quei collegamenti tra il terreno e la struttura (quali tubi, servizi, fognature, ecc) che invece negli edifici nuovi rendono difficile il disaccoppiamento.

Tutti gli interventi descritti sopra si possono definire passivi, nel senso di puntare ad una diminuzione degli effetti sull'edificio più che alla eliminazione o mitigazione delle cause.

G) A fianco di tali modalità, in anni recenti si è venuta sviluppando un criterio di intervento attivo, estremamente interessante, che consiste nell'utilizzo di masse a geometria variabile, ad esempio zavorre poste all'ultimo piano dell'edificio, dove la movimentazione della massa viene indotta in tempo reale durante lo svilupparsi dell'evento sismico. Scopo di questa operazione è applicare alla struttura delle azioni antagoniste rispetto a quelle esercitate dal movimento del terreno, riducendo in tale modo le accelerazioni e le sollecitazioni locali.<sup>11</sup>

Un metodo particolarmente interessante, denominato ADM (Active Mass Driver), viene illustrato da Kobori<sup>12</sup> in relazione ad un edificio di 12x4 metri di base e 32 metri in altezza recentemente realizzato a Tokyo. Sono state utilizzate due masse "ausiliarie" da 900 kg circa, appese mediante funi all'ultimo piano, e connesse all'edificio mediante attuatori idraulici orizzontali. Un sistema di controllo ubicato in tre posizioni ( alla base dell'edificio, a metà ed in cima ) consente la movimentazione controllata delle masse al fine di imporre nuove sollecitazioni alla struttura che si contrappongano nel migliore modo possibile a quelle applicate dal terreno. (Fig.6)

Non ho notizia di esperienze simili realizzate su edifici antichi elevati, quali torri civiche o torri campanarie in muratura o pietra, ma è ipotizzabile che una soluzione come quella descritta possa offrire risultati interessanti. Come massa oscillante si potrebbero addirittura usare le stesse campane.

Mi è giunta notizia peraltro di un sistema ingenuo, ma interessante, adottato nell'antichità in Medio Oriente per la protezione antisismica delle cupole in muratura, che consiste nell'appendere al vertice della cupola stessa una macina da mulino o una grossa pietra che oscillando esercita una funzione smorzante, legata ai di-



7a



7b

versi periodi propri delle strutture accoppiate.

Un punto critico del metodo di "isolamento alla base" consiste naturalmente nella difficoltà di conoscere con un certo anticipo le sollecitazioni indotte alla base per prendere le contromisure più opportune. Usualmente le misure vengono rilevate alla base dell'edificio e l'azione antagonista è applicata alla cima, ma nulla vieta tuttavia che si pongano sensori in profondità nel terreno oppure che vari monumenti della città vengano collegati tra loro in orizzontale in modo da preallertare il sistema, individuando con maggiore anticipo l'arrivo dell'onda d'urto e le sue caratteristiche.

### Alcune proposte recenti

Ogni evento traumatico porta con sé il desiderio di circoscriverne i danni e di impedirne il ripetersi. L'evento sismico non fa eccezione e ne discendono frequentemente studi e sperimentazioni con la proposta di nuove tecniche. In particolare nella chiesa di San Francesco ad Assisi, a seguito del crollo parziale della volta, si è dato corso ad una applicazione interessante di materiali che non sono nuovi in assoluto ma che sono ancora poco usati nel mondo del restauro<sup>13</sup>. Mi riferisco ai materiali compositi fibrosi (FRP), che, organizzati in fasce di rinforzo di larghezza 30 cm circa, sono stati "incollati" alle volte della chiesa di Assisi, in corrispondenza delle lesioni di estradosso, provvedendo anzitutto ad una loro messa in sicurezza e successivamente ad un intervento di consolidamento.

Gli FRP sono composti di fibre continue ad alta resistenza (aramide, carbonio, vetro), immerse in matrici polimeriche. Sono caratterizzati da elevata capacità meccanica e resistenza agli attacchi chimici, ma presentano allungamenti viscosi sotto carico ed una resistenza che

si riduce fortemente al crescere della temperatura.

La facilità di posa in opera, la modellabilità del materiale ed il ridotto spessore dei nastri rende possibile adattare questa soluzione ad usi diversi, quali ad esempio placcaggi all'intradosso di travi e realizzazione di tiranti verticali (di parete) o orizzontali (di solaio), collocati esternamente alle murature stesse.

Una tecnica di intervento per alcuni punti simile è stata messa a punto dall'autore<sup>14</sup> e sperimentata su 12 archi in muratura di luce 250 cm, soggetti a carichi simmetrici ed asimmetrici.

È stata denominata "arco armato" e consiste nella posa di cavi in acciaio post-tesati, all'estradosso delle volte. (Fig. 7a, 7b)

La tecnica prende spunto da una semplice constatazione: gli archi crollano quando la apertura successiva di fessure dà luogo alla formazione di quattro "cerniere", che costituiscono un meccanismo di collasso. Tali fessure si aprono in modo alternato all'intradosso ed all'estradosso dell'arco. Se si riesce ad impedire la formazione di almeno una di queste cerniere la struttura si comporta come un "arco a tre cerniere", staticamente adeguato a sopportare i carichi. Ebbene il posizionamento dei cavi all'estradosso impedisce ovunque la formazione della quarta cerniera.

Le prove sperimentali eseguite hanno evidenziato un incremento di resistenza rispetto all'arco semplice di oltre il 1500%, paragonabile a quello che si può conseguire con la più usuale, ma molto più invasiva, tecnica del betoncino armato, con rete elettrosaldata e connettori.

Va sottolineato che tale risultato è ottenuto con elementi totalmente rimovibili, in cui l'uso dell'acciaio inox può garantire una notevole durabilità. La massa di materiale aggiunto inoltre è sostanzialmente trascurabile, a tutto vantaggio del buon comportamento sismico.

La post-tensione imposta ai cavi induce forze applicate all'arco (o alla volta) con andamento di tipo radiale e questo provoca un incremento del carico assiale nell'arco, capace di avvicinare maggiormente al baricentro la risultante dei carichi, favorendo così la riduzione delle trazioni sul materiale. Per archi o volte particolarmente deformati è possibile inoltre incrementare localmente la intensità del carico radiale applicato, mediante la interposizione di distanziatori.

Questo implica una modifica dei carichi sulla struttura che vengono scelti in modo da adattarsi alla geometria esistente (anche se deformata). In altre parole invece di far sì che la geometria si adatti ai carichi presenti, è possibile modificare i carichi in modo da adattarli alla geometria esistente.

## Conclusioni

Trarre insegnamenti dall'esperienza fa parte delle attitudini dell'uomo. In questo senso l'evento sismico va preso come una formidabile (anche se dispendiosa) prova del nove per verificare la validità dei criteri e delle tecniche accettate dalla comunità scientifica e professionale e come tale va usato. Le possibilità analizzate nei paragrafi precedenti non sono certo esaustive e vanno adattate alle specifiche realtà degli edifici su cui si dovrà intervenire.

C'è spazio tuttavia per nuovi approcci e nuove strategie, per nuovi materiali e nuovi criteri.

La insostituibilità del nostro patrimonio storico deve spingerci a sperimentazioni attente ma anche a tentativi di "fertilizzazione incrociata" tra il mondo dei materiali tradizionali e quello dei materiali innovativi ed ancora tra il mondo degli edifici di nuova progettazione e quello della edilizia storica e monumentale.

## Bibliografia

- 1 Corsanego A., D'Agostino S., Gavarini C., "Decision Process for Monuments", IABSE Symposium, Roma, 1993
- 2 Ballardini R., Gavarini C., "Normativa tecnica e regole del restauro: sicurezza e livello di rischio accettabili", 5° Cong. Naz. ASSIRCO, Orvieto, 1997
- 3 Binda L., (a cura di) "Effectiveness of injections techniques for retrofitting of stone and brick masonry walls in seismic areas", CNR-GNDT Int. Workshop, Milano 1992
- 4 Jurina L., "Il confinamento laterale delle pareti in muratura mediante tiranti inseriti nelle buche pontate", Conv. Naz. La meccanica delle murature tra teoria e progetto, Pitagora Editrice, Messina, 1996
- 5 Sarà G., comunicazione personale
- 6 Laudicina M., "Antisismica e conservazione. Tecniche innovative e prospettive", L'Edilizia, novembre 1997
- 7 Parducci A., "Isolamento sismico e sistemi dissipativi", Int. Meet. on Base Isolation and Passive Energy Dissipation, Assisi, 1990
- 8 Sparacio R., Cavuoto F., Vanzi L., Zampino G., "Retrofit through base-isolation: S. Pietro-Frigento", 10° World Conf. on Earth. Engng., Madrid 1992
- 9 Braga F., Zampino G., "Seismic isolation of the ancient Bell-Tower of Meffi", 10° World Conf. on Earth. Engng., Madrid 1992
- 10 Chesi C., Parisi M.A., Mitsopoulos E., "La risposta sismica di edifici con fondamenti impermeabilizzate", L'industria italiana del cemento, n°3, 1985
- 11 Soong T.T., "Active structural control: theory and practice", Longman London and Wiley NY 1990
- 12 Kobori T., "Approach to dynamic intelligent building" Proc. A.I.J. Meeting, 1986
- 13 Balsamo A., Battista U., Calandrino N., Soffi R., "Attraverso l'occhio di San Francesco", Realtà Mapei, n.34, 1998
- 14 Jurina L., "L'arco armato: una nuova tecnica di consolidamento di archi e volte in muratura con uso di tiranti metallici", XVI Cong. Naz. C.T.A., Ancona, 1997