

TERREMOTI

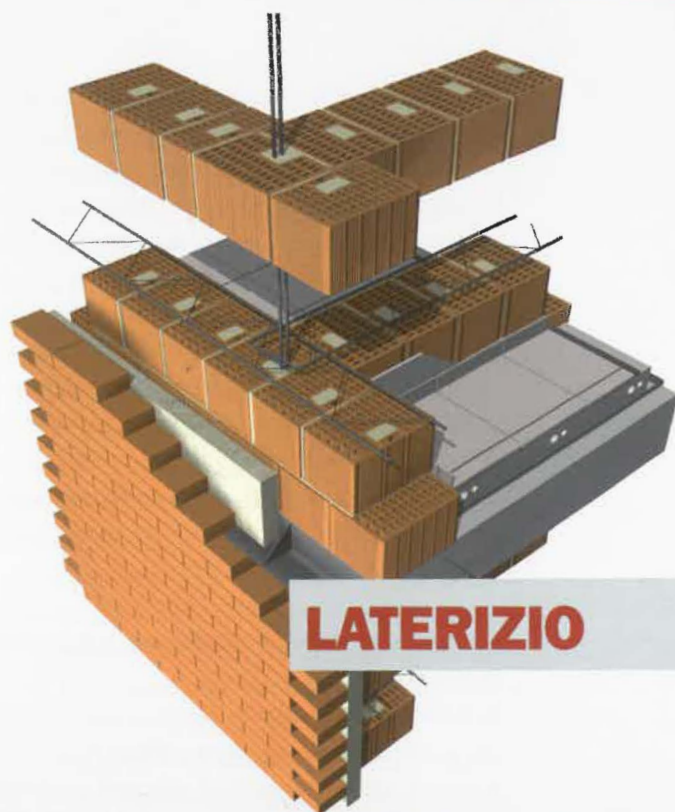
Non è possibile prevedere i terremoti, non ancora. Ma esistono sistemi e tecnologie efficienti per contenere i danni agli edifici. Il punto della situazione sull'antisismica

Massimiliano Muscio

ACCIAIO



PROGETTAZIONE ANTISISMICA

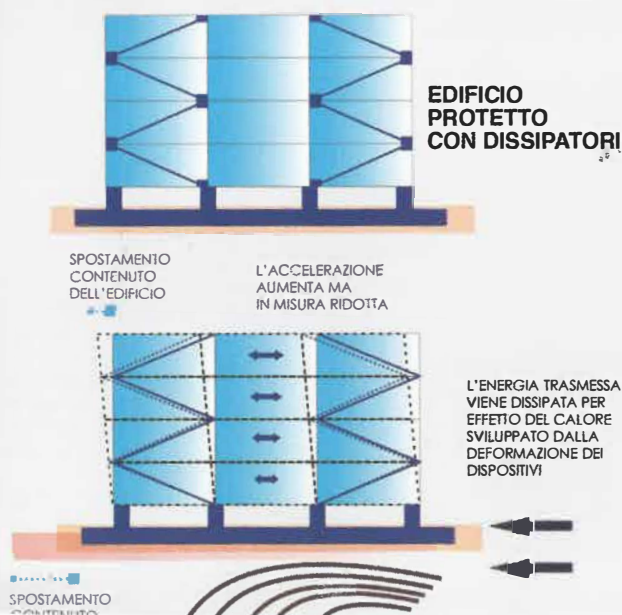


LATERIZIO

COLLAUDO SISMICO



DISSIPATORI



Lo stato dell'arte di sistemi e tecnologie per l'antisismica disponibili in Italia costituisce un insieme di grande efficacia per la protezione degli edifici, sia che si intervenga sul costruito attraverso i principi dell'adeguamento e del miglioramento, sia che si consideri la nuova progettazione ed è frutto di un Know-how sviluppato negli anni. Conoscenza acquisita sul campo (considerando che il nostro è un territorio da sempre interessato agli eventi sismici) oppure "importata" grazie al trasferimento di tecnologie da paesi interessati agli stessi fenomeni, quali il Giappone e gli Stati Uniti, con grande vocazione alla sperimentazione e alla ricerca. E' chiaro che rispetto alla globalità di tecniche, tecnologie e procedure utilizzate, le applicazioni italiane,

soprattutto per quello che riguarda la difesa del costruito, si concentrano su sistemi maggiormente calibrati alle costruzioni presenti o realizzabili sul territorio nazionale, e che hanno sostanziali differenze di scala con le architetture nipponiche o statunitensi potendo riguardare anche piccole o piccolissime strutture (anche opere d'arte come sculture o singole parti ed elementi architettonici di un edificio). Nei centri urbani della moltitudine di piccoli comuni, fortemente storicizzati e ricchi di emergenze monumentali, sono applicati ed allo studio dispositivi raffinati di protezione attiva con veri e propri meccanismi impiantati nelle membrature degli edifici.

Protezione sismica mediante dispositivi antisismici

Sostanzialmente i sistemi moderni per la protezione sismica delle strutture si dividono in attivi e passivi con la possibilità di integrarli in sistemi ibridi. I sistemi attivi comportano l'uso di meccanismi veri e propri che sono azionati se registrano una scossa sismica e la cui forza è modulata in base alle accelerazioni registrate. I sistemi passivi, più diffusi e utilizzati, usano dispositivi e vincoli che ottimizzano la risposta dell'insieme alle sollecitazioni trasmesse dal suolo. Se volessimo fare un parallelo con un'automobile, potremmo dire che l'ASR o l'EPS costituiscono dei sistemi attivi mentre gli ammortizzatori sono un sistema passivo. Tra i due quindi vi sono alcune sostanziali differenze tra cui la maggiore economicità e versatilità di utilizzo negli edifici già costruiti dei

sistemi passivi, la complessità nella messa in opera, nell'uso, nella manutenzione e gestione per i sistemi attivi, fattori questi che comportano la differente diffusione degli uni rispetto agli altri. Per lo sviluppo e l'uso di tecniche di protezione passiva i principi seguiti sono sostanzialmente due, il primo e più semplice è quello di separare la struttura dal terreno per evitare che questo possa trasmettere le accelerazioni impresse dall'onda sismica, una tecnica, a quanto sembra, già appartenuta alle architetture antiche e storiche. Il secondo è di assorbire parte dell'energia trasmessa dal sisma attraverso vincoli o dispositivi (una sorta di ammortizzatori) che riducono la quantità di sollecitazioni trasmesse all'edificio e ai suoi occupanti.

Pertanto le tecniche utilizzate sono quelle dell'isolamento e della dissipazione, essendo chiaramente possibile un'efficace combinazione tra le due. L'isolamento permette di separare una struttura, generalmente alla base e comunque in ogni parte del telaio (anche su elementi orizzontali quindi "tagliandola" verticalmente) secondo le necessità di calcolo, permettendo il distacco della parte resistente dal suolo. Generalmente gli isolatori sono di diverse dimensioni e composti, oltre che da acciaio o piombo, da mescole di gomma dura o resine per permetterne la necessaria elasticità senza eccessive deformazioni. E' importante, per questi sistemi, la capacità del dispositivo (spesso insita nel materiale quando si usano leghe metalliche superelastiche o a "memoria di forma") di ritornare nella posizione originaria (ricentraggio)

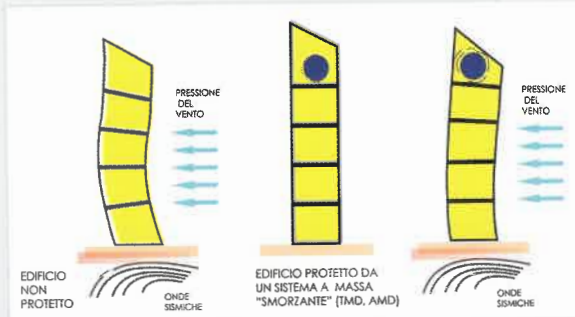
Tecniche passive di protezione: protezione mediante isolamento e/o dissipazione

Principio	Tecnica corrispondente	Metodo	Dispositivi	Campi di applicazione
Separazione della struttura dal terreno	Isolamento	Struttura separata alla base e in ogni punto del telaio = distacco della parte resistente dal suolo	Isolatori in acciaio o, piombo, mescole di gomma dura o resine (elastici senza eccessive deformazioni), di dimensioni diverse.	Su edifici di nuova costruzione. Su edifici esistenti costruiti con struttura intelaiata Su interi quartieri considerati come grandi piattaforme isolate
Assorbire parte dell'energia trasmessa attraverso vincoli e dispositivi	Dissipazione	L'energia trasmessa dal sisma viene smorzata attraverso la deformazione di dispositivi predisposti e dimensionati.	Dissipatori elastoplastico, viscosi o viscoelastico in acciaio inossidabile, materiali a memoria di forma, elastomeri e fluidi siliconici, elementi di grandi dimensioni.	Localizzati tra le membrature del telaio resistente, devono integrarsi con il sistema di chiusure verticale esterne e gli impianti e con eventuali destinazioni d'uso. Più adatti alle costruzioni ex novo.

Masse smorzanti per edifici alti

Accanto a quelli più comunemente utilizzati, vi sono poi una serie di meccanismi adatti a risolvere problematiche particolari quali i dispositivi di vincolo provvisorio e le masse accordate, o masse smorzanti, (Tuned Mass Damper). Le masse smorzanti sono molto utilizzate oltreoceano nelle costruzioni di una certa altezza e particolarmente snelle, non tanto per contrastare pericolosi terremoti ma, soprattutto, per attutire gli effetti del vento o di scosse sismiche di magnitudo leggera che su grattacieli alti qualche centinaio di metri possono provocare fastidiosi effetti di oscillazione. Meglio conosciuti come Mass Damper, questi meccanismi non sono altro che contrappesi posti sulla sommità di strutture (non soltanto edifici ma anche tralicci, ecc.) che, per effetto del carico concentrato (costituito generalmente da piombo o acciaio), riducono le oscillazioni indotte dai fenomeni esterni. Alcune intelligenti applicazioni di questo principio, di grande semplicità concettuale, combinano la necessità del sistema di protezione applicato a grandi strutture ad alcune esigenze funzionali. Ecco quindi che un piccolo eliporto oppure una piscina sul piano attico di un edificio possono diventare delle masse smorzanti. Per la realizzazione di questi elementi sono in uso anche materiali alternativi al piombo e all'acciaio.

Un'applicazione interessante è quella che prevede l'uso di serbatoi d'acqua (Liquid mass Damper) utilizzati anche come riserva o sistema antincendio.



senza subire deformazioni o spostamenti una volta terminata l'azione sismica. L'applicazione di questi sistemi è possibile anche su edifici già costruiti con struttura intelaiata nel cui caso s'interviene "tagliando" letteralmente i pilastri in prossimità delle fondazioni o, dove necessario, le travi. Il concetto è applicabile dalla piccola alla larghissima scala nel senso che è possibile isolare un singolo elemento di piccole dimensioni (come si fa con alcune statue) oppure interi quartieri considerandoli delle grandi piattaforme isolate sulle quali costruire successivamente le case. Sono molti i vantaggi nell'uso dei sistemi d'isolamento, oltre alla testata efficacia sono caratterizzati dall'essere poco invasivi e spesso

nascosti, non comportando problemi estetici o funzionali nel disegno complessivo degli edifici sono quindi adattabili a diverse situazioni e di uso più semplice e intuitivo. La dissipazione funziona secondo un principio differente, non impedisce alle forze sismiche di raggiungere la struttura ma ne "smorza" gli effetti consumandone parte dell'energia attraverso la deformazione di dispositivi opportunamente predisposti e dimensionati. I dissipatori possono essere di tipo elastoplastico, viscoso o viscoelastico secondo la maniera in cui assolvono il loro compito e dei materiali di cui sono composti che, come per l'isolamento, sono principalmente acciai inossidabili (fortemente deformabili nel campo plastico), materiali a memoria di forma ed elastomeri ai quali però si aggiungono anche fluidi siliconici

Vantaggi

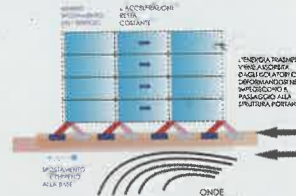
Poco invasivi, non comportano problemi estetici e funzionali nel disegno dell'edificio.

I dissipatori possono connotare esteticamente e formalmente gli edifici.

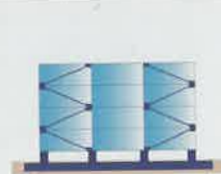
Schema grafico



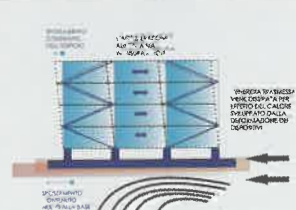
EDIFICIO ISOLATO ALLA BASE



ONDE SISMICHE



EDIFICIO PROTETTO CON DISSIPATORI



ONDE SISMICHE

(sfruttando gli stessi principi dei pistoni idraulici e oleopneumatici).

La dissipazione, al contrario dell'isolamento, fa uso di elementi spesso di grandi dimensioni e fortemente caratterizzanti, preferibilmente localizzati tra le membrature del telaio resistenti, che raramente riescono a essere nascosti nell'edificio soprattutto se l'intervento non riguarda una costruzione ex-novo. Pertanto sono oggetto di un controllo più accurato per quanto riguarda l'impianto funzionale e formale di un edificio, considerando che devono integrarsi con il sistema di chiusura verticale esterna e con le aperture, con gli impianti e, non ultimo, con possibili cambiamenti di destinazione d'uso. In alcuni casi gli stessi elementi, dal design minimal e funzionale, diventano parte integrante del progetto e fortemente connotanti (così come avviene per gli impianti o per alcuni sistemi strutturali a vista) riuscendo a caratterizzare le nuove costruzioni o a migliorare la qualità estetica di edifici "anonimi".

Alcuni tipi di dissipatori chiamati Shock Transmitter, sono realizzati con pistoni oleopneumatici che, al variare dell'intensità delle accelerazioni registrate, assorbono e consumano energia in tempo reale riducendo al minimo quella trasmessa alle strutture.

Tecniche attive di protezione

Le tecniche di protezione attiva invece usano dispositivi riconducibili a vere e proprie macchine che, in un certo senso, "reagiscono" ai terremoti. Ci sono tipologie di dispositivi che possono essere sia attivi che passivi proprio in funzione dell'esistenza di congegni che ne determinano il funzionamento. E' il caso degli Active Mass Damper nei quali i pesi sono movimentati da bracci meccanici le cui oscillazioni sono controllate elettronicamente e la cui frequenza è stabilita in funzione dello stimolo ricevuto, o dei sistemi idraulici il cui liquido, magneto resistivo, modifica le sue caratteristiche di viscosità in funzione degli stimoli elettrici inviati da un'apposita centralina. Esistono poi dei sistemi detti semi-attivi, ovvero dei sistemi in cui i dispositivi, qualora il sistema di controllo non ne ottimizzasse il comportamento, sarebbero comunque in grado di offrire un contributo al pari di un dispositivo passivo.

Sugli edifici esistenti: tecniche CAM e FRP

Un'altra tipologia d'intervento classificabile come sistema di protezione passivo, riferibile alle azioni di miglioramento e adeguamento sul costruito anche storico e monumentale, è quella delle fasciature e delle cerchiature eseguita con fibre di carbonio o acciai. Tra i primi ricordiamo le










Normativa

La normativa, già da diversi anni, ha accolto l'urgenza di un nuovo e unico apparato che comprenda e rinnovi i precedenti riferimenti, adeguato alle richieste della comunità scientifica, a cominciare dal riordino della mappatura sismica del territorio ormai obsoleta e orientandosi secondo logiche a carattere prestazionale. Pur tuttavia, continui rimandi e proroghe e un percorso tortuoso e travagliato fatto di modifiche, errate corrette e note esplicative, hanno complicato e limitato l'impiego di quei principi che la stessa tende a diffondere. Il punto di svolta potrebbe essere individuato nel terremoto del Molise del 2002 causa del doloroso crollo della scuola di San Giuliano in un territorio a rischio sismico non riconosciuto tale dalla zonizzazione e dalla normativa esistente. Nel 2003 è pubblicata l'Ordinanza del Presidente

del Consiglio dei Ministri 3274/2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica". Nel 2004 si estende la validità della 3274 ad un maggior numero di costruzioni (Ordinanza 3333 del 23/01/2004) apportando e integrando alcune parti. Dopo percorsi italianamente complessi, rimandi e correzioni, con DM del 14 gennaio 2008, vengono pubblicate le "NTC 2008", ovvero le Norme tecniche sulle costruzioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere e la loro valutazione in termini prestazionali e per la qualità di materiali e prodotti. Tali norme dovrebbero porre fine alla querelle ed entrare in vigore nel mese di marzo. Con il Decreto Milleproroghe 248/2007 però l'applicazione delle NTC è posticipata al 30 giugno del-

lo stesso anno, ad eccezione delle nuove progettazioni di alcuni edifici e infrastrutture considerate d'interesse strategico per la protezione civile. Per tutti gli altri edifici, resta la coesistenza e l'applicazione facoltativa delle norme del nuovo testo, di quelle del 2005 e della vecchia normativa del 1996. Ancora prima della scadenza prevista un nuovo Decreto del febbraio 2009 proroga l'entrata in vigore della legge al 30 giugno 2010 e, nello stesso periodo, il Ministero dei Trasporti e delle Infrastrutture con la circolare 617/2009 pubblica le Istruzioni per l'applicazione delle NTC. Nel mese di aprile, il giorno otto, a due giorni dai drammatici accadimenti dell'Abruzzo, la Commissione Ambiente della Camera dei Deputati sollecita il Governo all'applicazione delle Norme abrogando la proroga prevista per giugno.

Dispositivi antisismici

Dispositivo	Tipologia	Funzionamento	Caratteristiche e campi d'applicazione	Esempio
Isolatori elastomerici	Alternanza di strati sottili di acciaio e mescola di gomma vulcanizzata a caldo.	Gli strati sono incollati tra loro, gli elastomeri hanno comportamento viscoelastico che si attiva in caso di sollecitazione esterna.	Questo dispositivo è identificato dalle lettere S, N o H che ne dichiarano il tipo di mescola (Soft, Normal oppure Hard) e, spesso, da due cifre di cui la prima indica il diametro del dispositivo e la seconda lo spessore totale degli strati di gomma. Casi applicativi: Viadotto Somplago dell'autostrada Udine-Cervia Isolamento di opere d'arte: Bronzi di Riace Satiro Danzante di Mazara del Vallo Statua di Germanico del Museo Archeologico di Perugia Ospedale Gervasutta di Udine	
Isolatori gomma-piombo (Lead Rubber Bearing)	Isolatore elastomerico tradizionale che consente la deformazione.	All'interno un nucleo cilindrico verticale in piombo che plasticizzandosi tende a dissipare energia.	Vengono utilizzati isolatori a scorrimento con elementi dissipativi isteretici a E e U. Posti alla base della struttura da proteggere, funzionano sfruttando il mutuo scorrimento di superfici di acciaio e teflon e la dissipazione isteretica di energia indotta dalle deformazioni elastoplastiche degli elementi di acciaio che possono essere di diversa forma. Questi dispositivi possono essere utilizzati insieme sulla stessa struttura. Casi applicativi per lo più utilizzati nel caso di isolamento di ponti e viadotti	
Isolatori con dissipatori in acciaio	Uso integrato di un elemento che funziona come appoggio (carrello o cerniera) con uno o più gradi di libertà.	Sul bordo esterno sono disposti dei dissipatori in acciaio di forma variabile.		
Isolatori a pendolo scorrevole	SSP_Single Sliding Pendulum - singola curvatura DSP_Double Sliding Pendulum - doppia curvatura.	Funzionano secondo il principio legato all'omonimo vincolo statico. Sono composti in acciaio inox e teflon.	SSP: due superfici curve, scorrendo mutuamente, dissipano energia attraverso l'attrito generato ricentrandosi. Una cerniera sferica consente il movimento relativo tra la struttura e la base piana da cui è composto l'isolatore. DSP funziona allo stesso modo, ma ci sono due coppie di superfici curve, il che consente di costruire dispositivi più piccoli a parità di spostamento. Casi applicativi Utilizzati in alcuni dei nuovi fabbricati a L'Aquila del progetto CASE	
Isolatori a ricircolo di sfere d'acciaio	Sfere di acciaio contenute in guide all'interno del dispositivo: riducono l'attrito dovuto allo scorrimento tra base e supporto in caso di sisma (come succede nei comuni cuscinetti).	Più costosi per la loro complessità meccanica, utili in applicazioni particolari per i quali sia necessario un vincolo in grado, oltre che di portare i carichi verticali, anche di resistere a trazione.	E' un tipo di meccanismo che è utilizzato per l'isolamento di strutture leggere (anche opere d'arte) e che non abbiano problemi nel subire lunghe oscillazioni. Casi applicativi Edificio comunale di Gifu, Giappone Isolamento di opere d'arte: sistema con guide a ricircolo di sfere e sistema elastico di richiamo: Guerriero di Capestrano (presso il museo archeologico Nazionale a Chieti)	
Dissipatori viscosi	Un cilindro contenente fluido silconico altamente viscoso e un pistone che si muove all'interno di esso.	Attraverso la resistenza opposta dal fluido al movimento relativo tra le estremità del dispositivo è possibile la dissipazione di maggiori o minori quantità di energia. Gli estremi sono solitamente dotati di uno snodo a cerniera per consentire il preciso funzionamento del meccanismo anche su strutture complesse e poste in opera difficili. Esiste anche un sistema di dissipatore viscoso con capacità "ricentrante" di caratteristiche simili ma con una maggiore componente elastica della reazione.	I dissipatori viscosi sono molto utilizzati anche quando si vogliono ridurre gli effetti del vento su grandi strutture come i ponti. Casi applicativi Scuola Domiziano Viola di Potenza controventi elastoplastici Scuola Gentile Fermi di Fabriano controventi viscoelastici Chiesa Dives in Misericordia a Roma Rion-Antirion Bridge in Grecia Dissipatori viscosi ricentranti: Duomo di Siena	
Dissipatori isteretici in acciaio	Elementi di acciaio inox la cui forma è studiata per massimizzare l'effetto dissipativo dovuto alla deformazione elastoplastica dell'acciaio.	Possono essere utilizzati in combinazione con gli isolatori in un unico dispositivo integrato.	Le caratteristiche e i campi di applicazione sono simili a quelli che si ritrovano nei dissipatori viscosi.	
Dispositivi di vincolo dinamico - Shoch transmitters		Principio di funzionamento simile a quello dei dissipatori viscosi, ma con un sistema idraulico diverso che consente il movimento lento della struttura (come quello conseguente all'escursione termica)	Inibisce il movimento dovuto ad una sollecitazione dinamica quale potrebbe essere quello provocato da vento o sisma Casi applicativi: Museo nazionale della arti del XXI secolo a Roma MAXXI Ponte Vasco da Gama, Portogallo Teatro La Fenice a Venezia	
Dispositivi in lega a memoria di forma SMAD (Shape Memory Alloy Devices)	Leghe metalliche in Nichel e Titanio	I materiali si deformano e diventano superelastici a causa di uno stress che carica l'elemento (un'accelerazione provocata da un terremoto) anche oltre la soglia elastica, secondo una trasformazione che si chiama martensitica. Al termine dello sforzo il materiale costituito da sottili fili metallici ritorna nello stato originario recuperando la forma ed annullando completamente la deformazione.	Gli SMAD possono essere usati come tiranti ma anche per assorbire i mutui spostamenti tra parti contigue di un fabbricato (applicazione ad architetture storiche e monumentali). I dispositivi di ricentraggio con lega NiTi, oltre a ridurre gli spostamenti riportano la struttura nella posizione iniziale. Casi applicativi: Campanile Badia Fiorentina a Firenze Chiesa di San Pietro a Feletto (TV) Chiesa di San Serafino a Montegranaro (AP) Cattedrale di Foligno, utilizzati per migliorare il collegamento (indebolito dal terremoto dell'Umbria del 1998) tra il timpano e la copertura. Dispositivi in lega a memoria di forma SMAD (Shape Memory Alloy Devices)+ dispositivi di vincolo dinamico (Shoch Transmitters Units): Restauro della Basilica di San Francesco di Assisi. Gli STU sono stati utilizzati per irrigidire la struttura e gli SMAD sono stati applicati tra i due timpani e la copertura del transetto, in seguito ai danni del terremoto dell'Umbria del 1998	

Il progetto SOFIE sugli edifici di legno con tecnologia X-LAM: riflessioni a margine delle prove sismiche su tavola vibrante

Ario Ceccotti

Il programma di ricerca denominato SOFIE (Sistema costruttivo FIEmme), finanziato dalla Provincia Autonoma di Trento, con lo scopo di valorizzare il legno del Trentino attraverso il suo uso in edilizia, e condotto dal Consiglio Nazionale delle Ricerche attraverso l'Istituto per la valorizzazione del legno e delle specie arboree, IVALSA, ha svolto una vasta campagna sperimentale, per certi versi unica nel suo genere, sul comportamento sismico degli edifici in X-LAM, cross-laminated timber, o, in italiano, compensato di tavole. La resistenza ai terremoti, infatti, ha sempre rappresentato un punto delicato nella percezione che l'utente finale ha della costruzione a struttura portante di legno. Ma ricerca ed innovazione hanno fatto recentemente passi da giganti per migliorare le prestazioni delle costruzioni di legno nei confronti di questo importante aspetto.

Le ricerche svolte da IVALSA sono andate proprio in questa direzione, concentrandosi sullo studio del sistema costruttivo a pannelli X-LAM, cross-lam, ovvero pannelli – solai e pareti – realizzati incollando fra di loro, in maniera incrociata tavole di legno massiccio e/o giuntato a dita – come i fogli di un pannello di compensato. I pannelli hanno uno spessore variabile da 8 cm ad oltre 40cm.

I pannelli poi sono collegati tra di loro attraverso staffature metalliche (hold-down, per resistere al sollevamento, ed angolari metallici per resistere allo scorrimento relativo fra pannelli) e viti auto-foranti a gambo lungo di nuova generazione. Il comportamento che si ottiene è un comportamento scatolare, molto stabile e resistente sotto ogni tipo di sollecitazione meccanica.

Il "prodotto" che si ottiene ha mostrato caratteristiche meccaniche sorprendenti:

- praticamente indistruttibile anche nelle prove di laboratorio più severe. La compensazione delle caratteristiche deboli del legno in direzione ortogonale alla fibratura è ottenuta dalle tavole con la fibratura messa in direzione trasversale (come in una sorta di auto-armatura). Il fenomeno dello splitting non si presenta più;
- la resistenza locale in corrispondenza degli attacchi metallici è accresciuta grazie alla compensazione delle caratteristiche meccaniche;
- la stabilità fuori del piano aumenta grazie al funzionamento a piastra dei pannelli;
- l'inflammabilità è ridotta rispetto al sistema americano a montanti di legno e pannelli in compensato, mentre la resistenza agli urti ed ai colpi è di gran lunga superiore;
- grande è la stabilità dimensionale nei confronti delle

variazioni di umidità ambientale;

- il pannello ha la resistenza termica propria del legno massiccio, e ne mantiene le caratteristiche di traspirabilità;
- le colle usate sono colle poliuretaniche, formaldeide esenti;
- infine, il materiale si può approvvigionare in loco. Non è necessario avere tavole di prima scelta, ma tavole di seconda, per i solai, e di terza, per le pareti, possono bastare.

Dopo una serie di prove condotte su un edificio di tre piani, in scala reale nei laboratori del NIED di Tsukuba in Giappone [A. Ceccotti. New technologies for construction of medium-rise buildings in seismic regions: The X-lam case. Structural Engineering International, 18:156-165, 2008. che hanno permesso di valutare in $q=3$ un valore plausibile per il coefficiente di struttura sismico secondo l'Eurocodice 8 e le NTC italiane, si è deciso di condurre un test sismico su un edificio di 7 piani, sulla tavola vibrante più grande e potente al mondo, quella dei laboratori NIED a Miki in Giappone. L'edificio (nella foto) è stato progettato assumendo un fattore di importanza $\gamma=1.5$ come per gli edifici strategici, ed un fattore di struttura $q=3$. Avere adottato un coefficiente di importanza 1.5, non ha comportato aumenti degli spessori delle pareti, né un incremento del numero e della dimensione delle staffature metalliche (hold-down ed angolari), ma soltanto un incremento del numero delle viti e dei chiodi. All'interno dell'edificio si sono collocate, sul pavimento di ogni piano, 30 tonnellate di piastre di acciaio a simulare i pesi propri portati dalla struttura (sovraccarico solai, rivestimenti alle pareti etc).

I terremoti "forniti" sono stati 7, uno in fila all'altro, tutti di forte intensità, con un minimo di 0,35g di PGA fino al massimo di 0.82g in 2D e 3D. Fra un terremoto e il successivo si provvedeva solo al riserraggio dei bulloni di collegamento fra un piano e l'altro. Le deformazioni residue finali sono state assolutamente trascurabili, per cui la configurazione dell'edificio al termine della prova era identica a quella all'inizio di tutte le prove (cfr. anche Modulo 353 luglio/agosto 2009 "Residenziale Multipiano", articolo di Jacopo Gaspari).



tecnologie FRP (fiber reinforced polymer), nella categoria delle cerchiature in acciaio è particolarmente interessante il metodo CAM (cuciture attive metalliche). Entrambi partono da un presupposto molto semplice appartenuto alle architetture storiche (con le catene e le tirantature che precomprimono le masse murarie), che consiste nel far collaborare tutto l'edificio con un comportamento a scatola e oggi reinterpretato alla luce dell'uso di nuovi e più performanti materiali e di sofisticate tecniche di calcolo e di montaggio. Entrambi i sistemi usano tecnologie di posa in opera e materiali innovativi per riuscire a intervenire, in modo più appropriato e con migliori risultati di quanto non abbiano fatto i sistemi tradizionali (iniezioni armate, catene, reti metalliche, ecc.), sul rinforzo strutturale in chiave antisismica delle costruzioni in cls armato e in muratura tipiche dell'architettura diffusa. La caratteristica comune dei due sistemi è quella di recuperare il funzionamento delle membrature portanti dell'edificio, ristabilendo gli schemi statici originari ed utilizzando le capacità meccaniche dei materiali di cui lo stesso è costituito. Ad esempio, un setto di muratura portante disconnesso e con malte decoese non sfrutta le caratteristiche di resistenza a taglio e compressione tipica degli elementi lapidei, pertanto è a

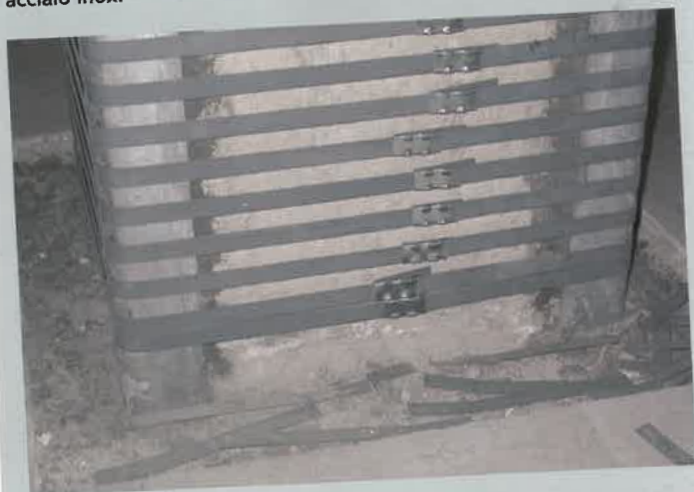
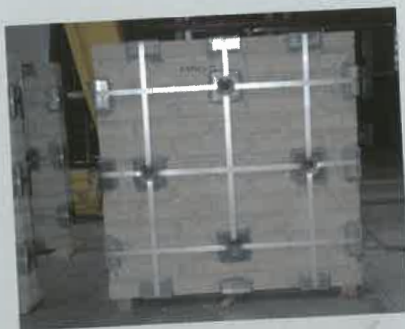
rischio di crollo anche con minime sollecitazioni. In questo caso, applicando un sistema di precompressione, si recupera la capacità portante, tanto del singolo elemento quanto dell'insieme di cui è parte, esattamente come era in origine spesso migliorandola ed ovviando a vizi originari del fabbricato quali una cattiva esecuzione delle opere o uso di materiali scadenti. Il CAM è, a tutti gli effetti, una tecnologia leggera d'intervento, oltre ad essere invisibile e garantire ottime performances.

Lo stesso acronimo -Cuciture Attive Metalliche- illustra il principio di funzionamento, cioè imbracare l'edificio "ricucendone" le parti con sottili nastri di acciaio inox. Per effetto dello stato di trazione indotto (parte attiva) si genera la compressione degli elementi strutturali: travi, pilastri o murature portanti; sfruttando appieno la principale caratteristica meccanica del materiale utilizzato. I sistemi FRP (Fiber Reinforced Polymer) hanno anch'essi la finalità di fasciare (sebbene senza alcuna precompressione), attraverso tessuti o lamine, interamente o parzialmente la struttura oggetto di rinforzo al fine di aumentarne la resistenza. Come le cuciture attive sono impiegati esclusivamente su strutture già esistenti in in muratura o cls armato, a telaio o a pareti portanti, sebbene al contrario delle prime con una invasività maggiore e senza reversibilità.

Nel caso dei fibrorinforzati al variare della tipologia di intervento cambiano materiali, tecniche di impiego e applicazione dei prodotti. Le operazioni possono riguardare soltanto alcuni elementi strutturali oppure coinvolgere l'intero edificio. In virtù delle caratteristiche del fabbricato, delle finalità e dell'estensione del progetto, delle condizioni al contorno (uso, budget economico, clima, materiale di substrato, ecc.), delle professionalità impiegate, dei prodotti da utilizzare, ecc. si stabiliscono le possibilità e i modi di applicazione. Il metodo FRP prevede l'uso di tessuti generalmente realizzati in fibra di carbonio, unidirezionali o pluridirezionali, impregnati con resine, meccanicamente o manualmente, direttamente in cantiere (wet lay up) oppure utilizza lamine o lastre sottili pre-impregnate, adesive su uno o entrambi i lati, da applicare con lo stesso principio. In alcuni casi sono previste barre a sezione circolare in carbonio (preformati pultrusi) come supplemento alle armature metalliche preesistenti. A differenza di altre tecniche utilizzate è chiaro che nel caso dell'uso degli FRP, la valutazione

CAM e FRP

Il CAM è una tecnologia leggera d'intervento. Lo stesso acronimo -Cuciture Attive Metalliche- ne illustra il principio di funzionamento, cioè imbracare l'edificio "ricucendone" le parti con sottili nastri di acciaio inox.



CONCEPT

Collaudo sismico

Progetto C.A.S.E.: per il collaudo sismico dei fabbricati, una serie di test che, per la prima volta, hanno verificato gli edifici dalla sottostruttura ai dispositivi di isolamento sismico

Claudio Moroni

Il Progetto C.A.S.E. (Costruzioni Antisismiche Sostenibili Ecocompatibili) è stato messo a punto dal Dipartimento della Protezione Civile, all'indomani del terremoto del 6 aprile 2009, per dare una sistemazione temporanea confortevole alle famiglie senzatetto del Comune di L'Aquila, attraverso la realizzazione di alloggi in edifici con caratteristiche di grande comfort, durata pari a quella di un normale edificio, ed elevata ecosostenibilità, protetti dai terremoti con moderni dispositivi antisismici. Al termine dell'uso temporaneo, ovvero del tempo necessario ai senzatetto per riparare o ricostruire le proprie abitazioni danneggiate, è prevista la loro utilizzazione come residenze universitarie, in relazione alla notevole presenza di studenti fuori sede nell'Università dell'Aquila.

L'approccio moderno, quando addirittura non innovativo, utilizzato in tutte le fasi del progetto C.A.S.E. ha spostato, di fatto, la frontiera dello stato dell'arte nel mondo delle costruzioni. Il fattore tempo ha rappresentato il parametro di riferimento di ogni processo così da indurre a ricercare soluzioni ad elevata affidabilità che evitassero imprevisti, e quindi rallentamenti, imputabili a cattive esecuzioni cui dover porre successivamente rimedio. Quanto detto si è concretizzato con un massiccio uso della prefabbricazione, adottato per ciascuna delle 16 tipologie costruttive (calcestruzzo, acciaio, legno) con cui sono stati realizzati i 185 fabbricati, distribuiti sulle 19 aree adiacenti gli insediamenti abitativi esistenti.

Sono state, invece, interamente gettate in opera le platee di fondazione e le piastre in calcestruzzo, poste superiormente agli isolatori a scorrimento con superficie curva, su cui sono state costruite le palazzine di tre piani. Un'ele-



vata ingegnerizzazione dei processi ha visto gettare, in totale, oltre 200.000 m³ di calcestruzzo (in gran parte con classe di resistenza 50 MPa), di cui oltre 115.000 m³ di autocompattante, riuscendo nell'impresa di realizzare ciascuno degli immobili in 80 giorni naturali e consecutivi, a partire dallo spiccato di fondazione fino al montaggio degli arredi interni ed alla sistemazione a verde delle aree comuni. Si è inoltre dimostrato che, a fronte di una così elevata velocità di avanzamento dei lavori, è possibile eseguire controlli approfonditi, in quantità e qualità, con standard elevati e decisamente superiori a quelli che, comunemente e con il vantaggio di non essere in situazioni emergenziali, si conducono sulle opere civili.

Agli innumerevoli primati che hanno caratterizzato il progetto C.A.S.E., va ad aggiungersi l'ideazione e l'esecuzione dei test di collaudo sismico dei fabbricati. Alle prove di accettazione dei materiali e degli isolatori, ed alle tradizionali prove di carico sugli edifici, infatti, è stata affiancata l'esecuzione dei test di collaudo che hanno impresso dinamicamente, alla piastra di base dell'edificio, un ciclo di spostamento pari a quello massimo che si avrebbe per un terremoto con intensità maggiore di quella che il 6 aprile 2009 ha colpito il territorio abruzzese. Per la prima volta, quindi, è stato possibile verificare il comportamento della costruzione nella sua interezza, dalla sottostruttura ai dispositivi di isolamento sismico, dalla risposta dei fabbricati, ai particolari costruttivi degli impianti e delle finiture.

Tale metodologia, condivisa dalla Commissione di Collaudo Statico (prof. Pinto - presidente, prof. Cosenza, prof. Manfredi, ing. Moroni, prof. Zanon) con il RUP (prof. Dolce) ed il Direttore dei Lavori (prof. Calvi), ha previsto l'esecuzione di test sismici su ciascuna delle tipologie costruttive ed è stata possibile tramite la realizzazione di un'apparecchiatura altamente sofisticata, appositamente realizzata. Anche nell'allestimento del sistema di prova si





è stabilito una sorta di primato: in soli 20 giorni il Dipartimento della Protezione Civile ha progettato e realizzato il complesso ed avanzato sistema composto da due attuatori dinamici, in grado di applicare una forza massima di 2250 kN (450 tonnellate in totale) e uno spostamento di circa 26 centimetri, da un sistema pompante idraulico, accumulatori di olio in pressione a 280 bar, dal generatore elettrico e dall'apparato elettronico di controllo (alloggiato in una cabina di facile trasportabilità), nonché da una struttura di rinforzo e contrasto. Parte del sistema di prova appena detto è stato alloggiato in un semirimorchio di 13,5 m, così da consentire la massima mobilità e da poter realizzare prove, che sarebbero complesse anche all'interno di un laboratorio di ingegneria strutturale, nei cantieri, con smontaggio e montaggio del sistema in tre giorni. Quanto detto evidenzia come il collaudo, anche quando in corso d'opera, sebbene dai non addetti ai lavori venga spesso quasi relegato ad un mero adempimento formale, in realtà rappresenta l'elemento tecnico con cui è possibile dare agli edifici un valore aggiunto rispetto al semplice "bollino" di edificio staticamente idoneo. Gli eventi sismici mettono in risalto come i dettagli costruttivi, comunemente ritenuti aspetti secondari, risultano spesso determinanti per il buon comportamento delle strutture ed ai collaudatori è affidato l'onere di valutare e assicurare, in accordo con la Direzione Lavori, che le soluzioni adottate siano quelle più idonee a garantire la buona qualità del fabbricato nel suo insieme. Si sottolinea, infine, che l'esecuzione di prove aggiuntive a quelle della Direzione Lavori comporta, molto frequentemente, un processo virtuoso per l'intera filiera, e conferisce ulteriori motivazioni per realizzare meglio e con più attenzione quanto si costruisce. Il certificato collaudo, così, dà la giusta soddisfazione e l'adeguato riconoscimento a chi ha ben lavorato, rispetto a chi si limita a rispettare le leggi ed i regolamenti. Di pari passo, una rivalutazione dei compensi, inadeguati alle responsabilità ed agli impegni per l'adempimento del compito, costituirebbe un valido incentivo a chi è chiamato a svolgere questo importante ruolo.

delle prestazioni va fatta sull'intero sistema, pertanto diventano fondamentali i prodotti "complementari" e cioè malte, primer, collanti e vernici, tanto che il risultato dell'intervento (compresa la tenuta strutturale) oltre che dal prodotto utilizzato dipende dalla qualità e dalla posa in opera dei singoli materiali. Oltre al rispetto della legislazione antisismica i sistemi FRP hanno una normativa specifica. Sebbene non nella stessa quantità rispetto agli acciai e alle tecniche che adoperano materiali il cui uso è consolidato, per gli FRP, a partire dalla fine degli anni Ottanta, sono stati elaborati ed esistono tuttora sistemi di normazione nei paesi maggiormente industrializzati come Stati Uniti, Canada e Giappone. Nell'ultimo decennio in Europa diversi paesi (Germania, Inghilterra, ecc.) hanno prodotto proprie raccomandazioni e sul territorio italiano dal 2004 è operativo il riferimento normativo relativo alle Istruzioni CNR-DT 200/2004.

Performance based design: metodo di progetto strutturale

Nel caso della progettazione e realizzazione in chiave antisismica, dove le variabili sono molte e possono combinarsi in maniera differente, l'approccio al problema diventa di carattere esigenziale-prestazionale, valutando risposte e performance diverse in funzione del mutare delle condizioni al contorno e delle specifiche richieste. Anche la normativa si è mossa in tal senso, secondo un principio che non impone norme inderogabili per tutti i casi, ma verifica le prestazioni ottenibili da metodi di calcolo e tecniche che possono adattarsi alle differenti necessità, assicurando livelli di protezione variabili al variare dell'importanza dell'edificio ed avendo sempre come obiettivo principale la salvaguardia della vita. Secondo questa filosofia, è nato e si sta sviluppando già da alcuni anni il Performance Based Design (PBD) cioè il "progetto basato sulla prestazione". Pertanto, più che pensare a un edificio resistente a qualsiasi condizione di carico e terremoti di forte intensità e lunga durata (requisito improbabile ed eccessivamente costoso), si cerca di massimizzare la risposta delle costruzioni ottenendo i migliori risultati possibili per l'operatività dell'edificio e la protezione degli occupanti.

E' chiaro che, da questo punto di vista, non tutti gli edifici sono uguali. Il costo, in termini sia economici sia sociali, dell'inoperatività o addirittura del crollo di un edificio scolastico non è uguale a quello di un edificio residenziale e comunque sarà, a sua volta, inferiore a quello di una struttura ospedaliera o operativa quale una caserma dei Vigili del Fuoco, che

proprio nei momenti di massima allerta deve poter essere perfettamente funzionante per riuscire a salvare più vite umane possibili. E' chiaro quindi come, considerando tutte le variabili di cui si è detto in precedenza (volumetria, posizione, ecc.), seppur con la stessa attenzione e utilizzando le stesse tecniche o dispositivi di protezione, l'approccio al progetto di una casa, una scuola, un ospedale o una caserma cambi proprio in funzione delle prestazioni che si vogliono ottenere in caso di sisma.

Il PBD prevede cinque classi o categorie nelle quali qualsiasi edificio o struttura può trovarsi dopo il verificarsi di un evento sismico di qualunque intensità, classi in funzioni delle quali le costruzioni misureranno un certo tipo di danneggiamento e, di conseguenza, potranno essere completamente o parzialmente utilizzate per i loro scopi. Le classi sono quelle di: completa operatività, operatività, riparabilità, salvaguardia della vita umana e collasso. Gli eventi sismici considerati sono quelli di leggera, media, alta e altissima intensità. I danni possono essere assenti, minimi, lievi (cioè su parti non strutturali), gravi (che coinvolgono la struttura) o riguardare il collasso. L'operatività, a seguito dell'evento sismico, può essere interrotta, parziale o completa. Incrociando tutte queste categorie si ottengono diversi risultati.

Secondo questa filosofia di approccio al progetto un evento sismico di forte intensità potrà provocare un grave danneggiamento (sebbene "ragionato" e salvaguardando le vite degli occupanti) delle strutture residenziali ma non dovrà compromettere l'uso di un ospedale che, proprio per un'emergenza del genere, dovrà essere al massimo delle sue capacità. Un evento di medio-bassa intensità invece non dovrà in alcun modo preoccupare nessuna categoria di costruzioni ma, al limite, comportare un danno limitato a parti ed elementi secondari facilmente riparabili e non pregiudicanti l'uso del fabbricato. La differenza di valutazione è anch'essa fornita da una categorizzazione che divide le tipologie di edifici in tre categorie d'importanza a ognuna delle quali è associato un parametro utilizzato nel progetto e nel dimensionamento delle strutture come fattore di

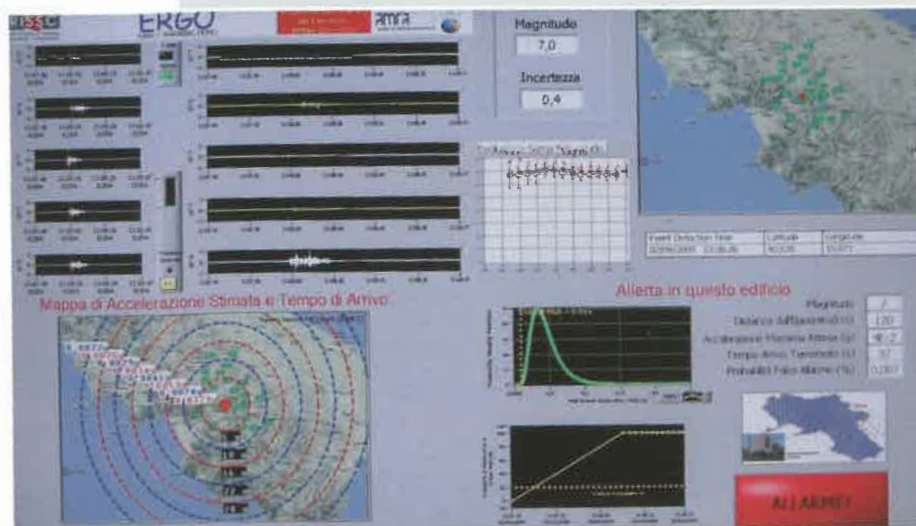
amplificazione per l'intensità dell'azione sismica. Le unità residenziali appartengono alla III categoria e non hanno fattore di amplificazione; alcuni edifici pubblici o a grande affluenza e quelli scolastici rientrano nella II categoria con un parametro di 1,2; le strutture di soccorso (ospedali) e quelle logistiche (caserme, municipi, ecc.) sono le più importanti e perciò di classe I con un'amplificazione di 1,4.

Per quanto detto sopra il PBD non costituisce una tecnica di calcolo o di progetto specifica ma piuttosto un orientamento, una filosofia di approccio organizzata con una trama a maglie larghe che si sostanzia secondo l'applicazione di un principio prestazionale modificando gli obiettivi del progettista. Piuttosto che pensare a strutture passivamente resistenti a terremoti di grande intensità, diventa necessario verificare

Mostra itinerante Terremoti d'Italia

Cominciata nel 2007, in occasione della concomitanza degli anniversari di numerosi e significativi eventi sismici passati (come Umbria-Marche, Belice e Messina), la mostra itinerante "Terremoti d'Italia", del Dipartimento della Protezione Civile - Presidenza del Consiglio dei Ministri, esposta in numerose città d'Italia, ha rappresentato l'occasione per far confrontare e avvicinare ricercatori, tecnici, studiosi, semplici appassionati e gente comune alla comprensione del fenomeno sismico e dei suoi effetti, diventando l'occasione per riflettere sullo stato dell'arte della cultura sismica in Italia. Un'informazione condensata per aree tematiche, ed accompagnata in un percorso narrativo fatto da numerosi pannelli e da una parte "attiva" di 23 schermi, contenenti altrettante presentazioni in video su temi vari ma collegati da un unico filo conduttore. Di grande effetto i due "simulatori" e cioè la stanza sismica e la città sismica.

Nella foto: Mostra itinerante "Terremoti d'Italia", Napoli 2009: visualizzatore grafico per un sistema di Early Warning nella Regione Campania.



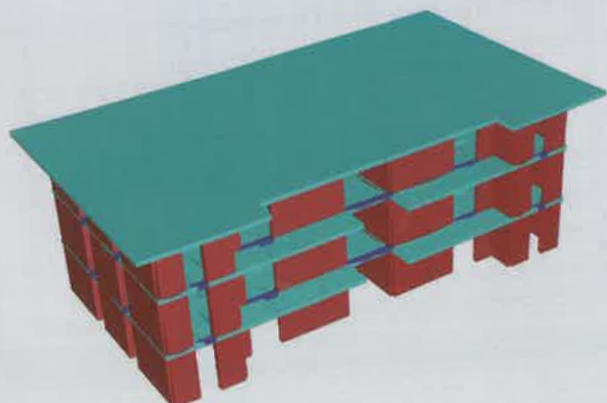
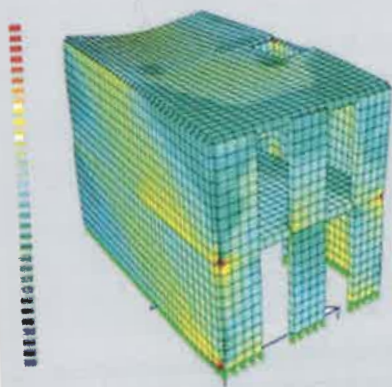
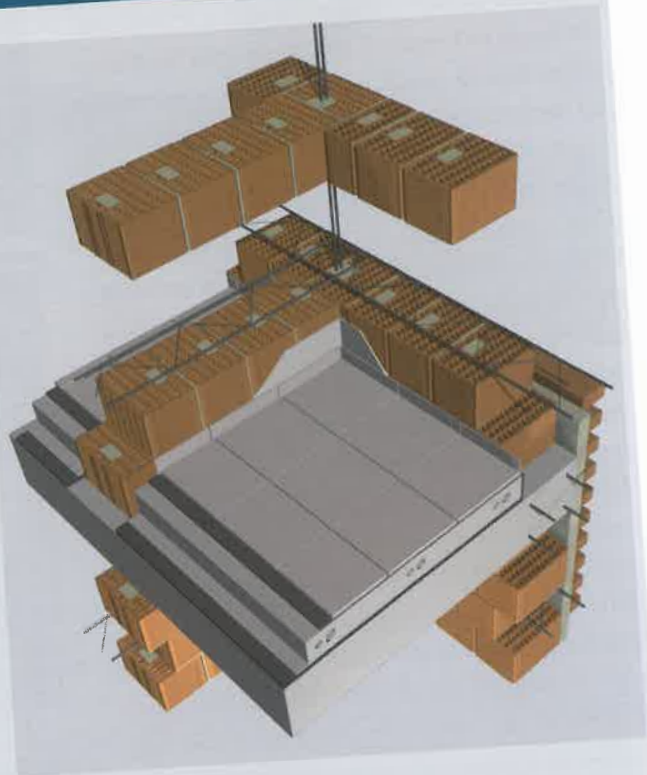
Laterizio

ESECMaSE, DISWall: la punta di diamante della ricerca sul laterizio applicata all'antisismica

Adolfo Baratta

Sul tema del comportamento dei sistemi costruttivi lineari sotto azioni sismiche, appositi progetti di ricerca scientifica, cofinanziati dalla Comunità Europea, si sono occupati di indagare prodotti e assemblaggi di ultima generazione (blocchi rettificati, a incastro, a setti sottili, muratura ad armatura diffusa e concentrata, ecc.). Tra questi merita di essere segnalata la ricerca ESECMaSE (Enhanced Safety and Efficient Construction of Masonry Structures in Europe), il cui obiettivo principale è stato quello di fornire ai progettisti ed ai costruttori una migliore conoscenza dei criteri di sicurezza nella progettazione e realizzazione degli edifici in muratura portante in zona sismica rispetto ad altre soluzioni costruttive. In questo contesto, l'European Centre of Training and Research in Earthquake Engineering di Pavia ha effettuato numerose prove cicliche di tipo statico, che hanno riguardato molteplici tipologie di elementi da muro ed, in particolare, le "prove cicliche" di parete (altezza 2,6 m e larghezza 1,25 m), confezionate con blocchi in laterizio (spessore 30 cm), con ottimi risultati in termini di "capacità di spostamento". Nell'ambito dello stesso progetto di ricerca,

sono state svolte altre sperimentazioni finalizzate alla valutazione del comportamento sismico delle mura. All'Università di Atene, sono stati testati su "tavola vibrante" i modelli in scala reale di tre edifici a due piani, simulando



terremoti di intensità crescente, fino al raggiungimento dello stato di collasso delle strutture. A Ispra (VA), presso il Joint Research Center sono state effettuate prove "pseudo dinamiche" di modelli in scala dello stesso tipo indagato ad Atene. Il Developing Innovative Systems for reinforced masonry Walls, finalizzato allo sviluppo di sistemi innovativi per la muratura armata soggetta ad azioni sismiche e al trasferimento dei risultati agli organismi normativi nazionali ed europei (progetto coordinato dall'Università di Padova, Prof. C. Modena), ha visto la messa a punto di un'intensa campagna di indagini, tra le quali due "prove cicliche fuori piano" su altrettanti pareti in laterizio armato in scala reale di altezza 6,0 m (larghezza circa 2,0 m e spessore 0,38 m) e sedici "prove di compressione monoassiale" eseguite su elementi di muratura armata con blocchi a fori orizzontali.

Il sistema di calcolo

I risultati emersi da diverse ricerche effettuate presso differenti sedi universitarie (Università di Padova, Università di Bari, Università di Perugia, ecc.) hanno consentito di poter dotare i professionisti di un utile strumento di calcolo, ANDILWall, curato da EUCentre e dall'Università degli Studi di Pavia, con la collaborazione di CRSoft, che consente di dimensionare, analizzare e verificare gli edifici con struttura portante in muratura tradizionale o armata, oltre che procedere alla verifica sismica degli edifici esistenti, mediante analisi statiche non lineari, con una descrizione più accurata del comportamento della struttura in condizioni ultime, unitamente ad una maggiore probabilità di successo della verifica di sicurezza.

le prestazioni di un edificio che debba subire un'azione sismica di magnitudo variabile, in modo tale che questo possa conservare una piena o parziale operatività, stabilendone il grado di efficienza in funzione dei target che lo stesso progettista si pone insieme alla committenza nel rispetto della normativa. In entrambi i casi, l'obiettivo principale resta la sicurezza, nel secondo, però si ottiene anche un forte vantaggio economico e sociale. Secondo questi presupposti e considerando che, in caso di forti sollecitazioni, la resistenza, la rigidezza e la duttilità di un edificio non sono elementi che possono essere determinati con assoluta certezza, è chiaro che devono essere modificate anche le tecniche di progetto e conseguentemente di calcolo. Una delle applicazioni pratiche è quella del Capacity Design, attraverso la quale si riesce a programmare la risposta strutturale dell'edificio e a indurre la formazione di cerniere plastiche in punti specifici della struttura favorendo, in tal modo, il comportamento duttile dell'insieme. Secondo il metodo di progetto noto come gerarchia delle resistenze si possono provocare plasticizzazioni tanto su travi che su colonne, da cui l'indicazione a travi o colonne plasticizzate. Le valutazioni fatte dai progettisti devono quindi tener conto oltre che delle funzioni per quel tipo di edificio anche delle modalità con cui il danneggiamento della struttura deve progressivamente evolvere.

Early Warning e sistemi predittivi

La possibilità di prevedere un evento sismico è, con le attuali conoscenze, alquanto remota se non del tutto inesistente.

Le previsioni, se così possono essere definite, sono più che altro ipotesi che, per terremoti di forte magnitudo, individuano un territorio (più o meno vasto) ed un arco temporale (che può essere di decine di anni). L'obiettivo principale, quindi, resta quello della mitigazione del rischio sismico che comporta, oltre a sviluppare sistemi di rinforzo e protezione efficaci, la capacità di concentrare energie e risorse sulla messa a punto e diffusione di comportamenti preventivi: corrette politiche di gestione del territorio; individuazione di piani di emergenza efficaci e tempestivi; sviluppo di sistemi adeguati di pre-allerta.

Questi ultimi sono meglio noti come Early Warning e derivano da applicazioni nei settori più disparati potendo essere genericamente

Performance based design: classi di operatività dell'edificio

Categorie di stato post sismiche

Classi di operatività dell'edificio
Completa operatività
Operatività
Riparabilità
Salvaguardia vita umana
Collasso

Intensità degli eventi sismici considerati

Intensità
Leggera
Media
Alta
Altissima

Danni agli edifici

Assenti
Minimi
Lievi (su parti non strutturali)
Gra vi (su parti strutturali)
Collasso

Operatività

Interrotta
Parziale
Completa

definiti come "meccanismi che, attraverso il controllo sistematico di determinati parametri, permettono di segnalare una situazione critica". Nell'ingegneria sismica questi sistemi sono utilizzati ormai da diversi anni ed hanno visto la loro prima applicazione negli Stati Uniti e in Giappone.

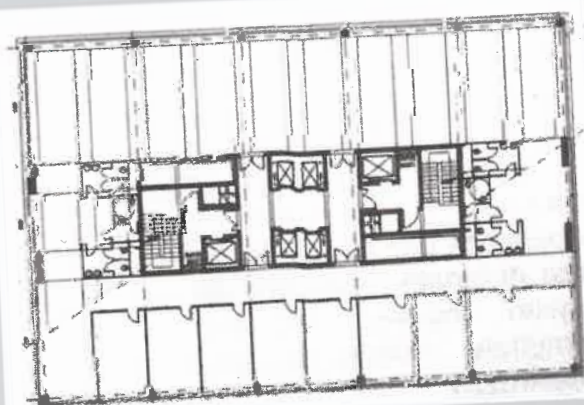
L'EW quindi non costituisce una previsione, ma è un insieme di operazioni consequenziali al momento in cui il sisma è registrato e protratte per tutta la sua durata, sostanzialmente l'inibizione del funzionamento (nel minor tempo possibile) di impianti e apparati di importanza strategica. Il discorso potrebbe essere valido anche per gli edifici residenziali ma lo è ancor di più per le infrastrutture come i sistemi ferroviari, i gasdotti, le reti elettriche, gli edifici pubblici, le caserme e gli ospedali oppure le fabbriche, le centrali elettriche o nucleari, ecc. Una rete di EW si compone di una serie di stazioni riceventi diffuse sul territorio che una volta registrato il sisma ne rileva la potenziale forza distruttiva. Prevedendone la direzione e l'area di azione, "comunicano" in tempo reale con altre stazioni e dispositivi collocati nei punti nevralgici delle strutture sensibili.

Calcestruzzo

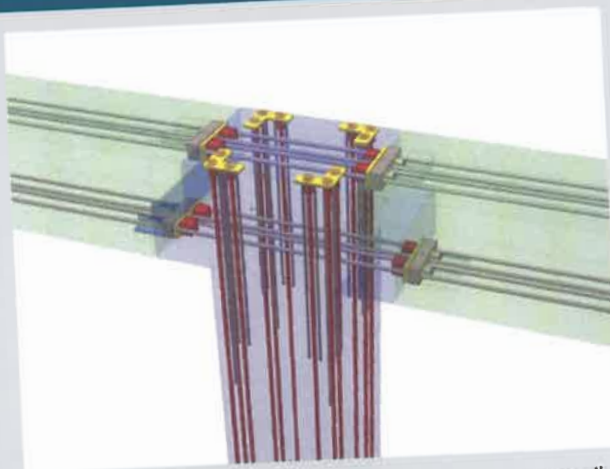
Cls: quando il peso diventa un'opportunità

Ing. Alberto Dal Lago - DLC

Il conglomerato cementizio armato (C.A.), usualmente chiamato calcestruzzo, si presenta davanti alle problematiche sismiche come il materiale in passato più utilizzato e con tutte le carte in regola per rispondere alle normative dato che associa all'economicità e versatilità d'impiego del calcestruzzo (C) la resistenza e duttilità dell'armatura in acciaio (A) potendo così oggi rispondere in modo del tutto soddisfacente alla richiesta di prestazioni delle nuove norma di progettazione per un territorio italiano divenuto totalmente a rischio sismico. E' opportuno valutare per il C.A. la presunta criticità del "fattore peso" che in zona sismica sembrerebbe penalizzare le costruzioni in C.A. Quando si parla di pesi strutturali, va notato che un telaio in acciaio, se opportunamente protetto dal fuoco, pesa poco meno di un'equivalente struttura in C.A., realizzata con calcestruzzo di alta resistenza. Comunque il peso complessivo di un edificio risente in minima parte della differenza di peso di pilastri e travi realizzati in acciaio o in CA; infatti i solai, per le esigenze acustiche, per il peso della sovrastruttura, per esigenze di rigidità e per la richiesta di resistenza al fuoco, finiscono ad essere realizzati comunque in calcestruzzo. L'involucro esterno poi, con le esigenze ribadite dalle nuove normative sull'isolamento acustico e termico, è chiamato a svolgere una importante funzione di abbattimento acustico e di volano termico ed igrometrico, che si ottiene solo con la massa. E' anzi per mancanza di peso che pareti e coperture, sia in legno che in lastre d'acciaio, non possono essere impiegate quando la loro massa sia inferiore a 230 kg/m^2 (norme energetiche DPR 59/09). Lo schema strutturale più frequente e più utilizzato in zona sismica per gli edifici civili è quello del nucleo sismoresistente in calcestruzzo realizzato con pareti composte a cui sono convogliate tutte le azioni orizzontali sismiche delle strutture che a questo nucleo sono collegate, siano queste in acciaio, in legno o in C.A.



Nucleo centrale sismoresistente di un edificio di elevata altezza, realizzato con pareti composte in calcestruzzo.



La prefabbricazione può realizzare nodi incastrati tra travi e pilastri e dare continuità strutturale a pilastri giuntati in opera avvalendosi di specifici collegamenti meccanici di nuova concezione.

In definitiva il peso globale dell'edificio risente in minima parte della differenza di peso strutturale di colonne e travi in CA o in acciaio. Il vero problema non è quindi il peso; sembrerebbe piuttosto essere un altro, cioè il pericolo imminente che una struttura possa essere mal progettata e/o mal realizzata, in particolare una struttura a larga diffusione come quella in CA. La progettazione, in presenza di nuove regole del tutto innovative, fortemente complesse e di non facile comprensione, con verifiche di resistenza allo stato limite, con controllo di duttilità, con applicazione della gerarchia delle resistenze, coi limiti di danno, con il calcolo dei collegamenti delle sovrastrutture alla struttura e con il controllo degli spostamenti, dovrebbe essere affidata a veri specialisti, mettendo fuori gioco un gran numero di strutturisti che non hanno saputo aggiornarsi e che, alla richiesta di precisare il fattore q , sono indotti a pensare che per il calcolo sismico ci voglia una buona dose di fortuna. La richiesta di qualità nel processo di costruzione, con il necessario impiego di un C.A. sempre più prestazionale, con prescrizioni esecutive sempre più mirate che esigono un lavoro in qualità di specialisti che dovrebbe escludere la prassi dei subappalti a cascata non specialistici che degenerano spesso in cottimi mascherati di mano d'opera non qualificata, dovrebbe incanalare il mercato verso quella industria delle costruzioni cioè verso una prefabbricazione a componenti strutturali in calcestruzzo che sia in grado di fornire nei tempi programmati qualità e sicurezza del prodotto. Le ricerche e le prospettive che vedono l'Italia in prima linea per realizzare strutture prefabbricate in C.A. con telai a nodi incastrati, per prefabbricare muri o nuclei sismoresistenti, per controllare le deformazioni utilizzando la precompressione e per realizzare collegamenti strutturali di componenti che rispondono alla esigenza di efficienza e duttilità delle zone critiche, possono portare interessanti trasformazioni del settore delle costruzioni in C.A. verso un'industrializzazione che garantisce maggior sicurezza, tempi più ridotti ed elevato rapporto qualità/costo.