



**Protezione passiva:**

- isolare gli edifici dal terreno di fondazione;
- dissipare la maggior quantità di energia possibile;
- combinare le due azioni precedenti.

# ISOLARE ... DISSIPANDO

**La protezione passiva di ultima generazione utilizza dispositivi in grado di isolare le strutture dal terreno, dissipando contemporaneamente l'energia trasmessa dal suolo**

Massimiliano Muscio

Le tecniche di protezione dai terremoti applicate agli edifici residenziali e per la tutela del patrimonio storico-architettonico hanno registrato, nell'ultimo periodo, un notevole miglioramento dovuto anche alla capacità di riuscire a testare, con maggiore facilità nuove tecnologie e materiali. Già alcuni progettisti iniziano ad utilizzare, anche se non in maniera diffusa, le indicazioni provenienti da studi e ricerche condotte in laboratorio riuscendo ad applicare soluzioni ampiamente verificate, con riscontri positivi, su strutture in muratura o intelaiate in acciaio e c.a. L'esperienza ed il know how sviluppati dall'Italia e da alcuni paesi all'avanguardia nella ricerca in questo settore (primo fra tutti il Giappone), che già da parecchi anni studiano gli effetti del sisma sugli edifici adottando sistemi appropriati di protezione ed elaborando e applicando opportune normative, possono rappresentare il background sul quale lavorare per mettere a punto protocolli adeguati al luogo in cui si interviene, riferendosi non sol-

tanto alle caratteristiche geomorfologiche e tettoniche ma anche a quelle socio-economiche, alla quantità e qualità di edifici costruiti, al patrimonio storico-artistico e, non ultime, alle capacità degli operatori presenti sul luogo (ricercatori, progettisti e imprese di costruzione), ecc. Non bisogna dimenticare che la ricerca condotta su metodi e materiali ha anche la necessità di esportare, in paesi relativamente poveri, tecnologie economicamente accessibili e che sfruttino al massimo le risorse dei luoghi adattandosi alle condizioni ambientali che via via possono essere trovate.

## I sistemi "passivi"

In Italia, dove una parte cospicua degli interventi dovrebbe essere indirizzata al ripristino, miglioramento e recupero del costruito, allo stato attuale, studiosi e tecnici, tendono a sviluppare maggiormente le tecniche di protezione garantite dai sistemi passivi che, a parità di efficacia, sono certamente più economici e meno impegnativi da gestire dei sistemi attivi sia per quanto riguarda le applicazioni su strutture edificate in muratura portante e tecnologie tradizionali sia per le tipologie strutturali a telaio in acciaio o c.a.

Non potendo, per ovvi motivi di costi e di effettiva riuscita, costruire edifici il cui presupposto sia quello di opporsi alle sollecitazioni trasmesse dal suolo o, al contrario, talmente tanto deformabili da non cedere anche sotto spinte di notevole intensità, per realizzare un sufficiente grado di protezione sismica

## Isolamento sismico

Principio di riferimento	Modalità	Posizionamento	Materiali	Campi di applicazione
Separare l'elemento costruito dal terreno	Dispositivi diversi per forma, materiali e modi di funzionamento. Devono avere buone caratteristiche di elasticità e resistenza	Piano orizzontale (in previsione delle scosse ondulatorie)	Mescola di gomma + altri materiali. HDR = miscela di gomma + resine LRB = miscela di gomma + anima in piombo - gomma + acciaio + teflon	Opere d'arte, reperti archeologici, edifici, intere aree costruite

sembra che le strade percorribili siano quelle che prevedono rinnovate tecniche di calcolo e dimensionamento delle armature - e comunque delle sezioni resistenti- oppure l'utilizzo e la predisposizione di un'opportuna serie di vincoli e dispositivi dedicati.

Fino a questo momento, per le nuove costruzioni, i metodi impiegati in fase di calcolo ed esecuzione hanno fatto riferimento ad una metodologia operati-

va - cioè progettuale- poco attenta alla necessità di localizzare, in modo opportuno, la disposizione delle cerniere plastiche sulla struttura nella fase del cedimento della stessa.

Oltre, quindi, alla necessità di una maggiore efficacia considerando anche l'esigenza, più volte ricordata, di avere un campo operativo che si divide tra l'adeguamento e il miglioramento di strutture già esistenti e la progettazione di nuove (con il primo di gran lunga superiore rispetto al secondo), i sistemi di protezione sismica passiva di ultima generazione che prevedono l'utilizzo di dispositivi da affiancare alle nuove tecniche costruttive possono essere individuati in funzione di tre gruppi di interventi riguardanti: la possibilità di isolare gli edifici dal terreno di fondazione; la capacità di dissipare la maggiore quantità possibile di energia trasmessa dal suolo oppure una combinazione delle due precedenti.

Le tecniche attualmente allo studio e maggiormente utilizzate in questo ambito sono:

- le tecniche di isolamento;
- le tecniche dissipative;
- le tecniche di isolamento con dissipazione.

### Tecnologie e dispositivi dell'isolamento

Sono quelle più conosciute ed applicate per i buoni risultati che riescono a garantire e questo in funzione della capacità che gli isolatori hanno di annullare quasi completamente gli effetti dei terremoti più violenti. L'isolamento sismico è stato applicato sin dai tempi antichi secondo un principio semplice quanto efficace che consiste nel separare l'elemento costruito dal terreno sul quale è appoggiato. Così facendo le accelerazioni al suolo provocate dalle scosse sismiche non si ripercuotono - oppure lo fanno in minima parte- sulle strutture in elevazione. In pratica, favorendo la deformazione elastica ed il conseguente spostamento degli isolatori posti alla base, l'edificio resta immobile oppure, al limite, si sposta rigidamente con oscillazioni contenute. Considerando la necessità che l'elemento costruito ha di essere appoggiato a delle fondazioni (e quindi non sospeso, una condizione ottimale ai fini antisismici ma irrealizzabile per necessità funzionali) questa sorta di separazione che si interpone è costituita

## "Architetture antisismiche"

L'utilizzo delle tecniche di protezione antisismica è relativamente recente e non è stato ancora del tutto assimilato da tecnici e progettisti. In alcuni casi i sistemi di protezione risultano essere notevolmente "invasivi" dal punto di vista non solo funzionale, ma anche formale e, quindi, hanno delle notevoli ricadute sul disegno architettonico dell'edificio che si evidenziano soprattutto quando si interviene sul costruito. Questo comporta, necessariamente, una stretta collaborazione tra strutturisti ed architetti che devono lavorare sinergicamente per ottimizzare esigenze statiche e formali o funzionali.

Tra le tecniche di protezione, l'isolamento sismico usa, generalmente, tecnologie "nascoste", formate da dispositivi posizionati poco sopra il piano di fondazione e non costituisce alcun problema. La dissipazione invece impiega elementi che, visto il funzionamento, devono essere collocati sulle maglie del telaio resistente e quindi a vista o "inglobati" nelle chiusure verticali. L'intervento su strutture già realizzate può costituire un problema notevole per la presenza di aperture o elementi architettonici con i quali elementi troppo "invasivi" potrebbero non armonizzarsi bene. In questo caso l'utilizzo di dispositivi di grande dimensione diventa un vero e proprio atto progettuale che influenza non poco la qualità estetica e funzionale dell'edificio. Allo stesso modo le tecniche di "rinforzo" (ad esempio le cuciture attive) pur se "invisibili" devono tenere conto di eventuali cambi di destinazione d'uso degli edifici e si devono integrare in maniera corretta all'impiantistica - se sottotraccia- presente o da realizzare. Ad ogni modo se usate nella maniera corretta tutte queste tecnologie possono diventare fortemente caratterizzanti. Gli elementi di protezione, utilizzati "a vista", diventano parte del lessico formale delle architetture contribuendo a connotarle in maniera marcata. In tal senso, necessità strutturali e formali possono trovare una comune intesa. E' emblematico, ad esempio, il caso della Applause Tower a Osaka, un edificio di 34 piani fuori terra, che utilizza un sistema AMD costituito da un eliporto, il cui peso di 480 tonnellate, contribuisce a stabilizzare le vibrazioni dell'edificio nel caso di vento forte o di terremoti di piccola e media intensità. Gli isolatori in gomma dell'Amitie Shinosaka ad Osaka anziché essere nascosti in fondazione sono "dichiarati" all'esterno e coperti da un guscio protettivo ampiamente visibile.

Allo stesso modo i dissipatori possono diventare un "motivo" architettonico tanto di edifici high tech quanto di architetture "tradizionali" e, in molti casi, migliorare la qualità estetica di edifici scarsamente caratterizzati.



**Dissipazione**

Principio di riferimento	Modalità	Effetto	Materiali e comportamento sotto sforzo	Applicazione
Assorbimento di parte delle accelerazioni sismiche, riducendo gli effetti	Dispositivi dissipatori si deformano sotto sforzo (effetto ammortizzatore)	Riducono le azioni orizzontali sulle sezioni portanti. Diminuiscono gli spostamenti relativi tra le diverse parti della struttura, senza eliminarli (funzionano come elastici)	Acciai con alte capacità di deformazione plastica=Elastoplastici; Utilizzo di fluidi siliconici=Viscosi; Gomme=Viscoelastici; Materiali in grado di opporsi ai campi magnetici=Elettroinduttivi	Quando l'isolamento non è applicabile; quando le condizioni statiche limitano l'efficacia dell'isolamento

da una serie di dispositivi che possono variare per forma, materiali, e modi di funzionamento e che sono opportunamente posizionati sul piano orizzontale in previsione della maggiore quantità e pericolosità delle sollecitazioni su questo agenti - scosse ondulatorie- rispetto a quello verticale (vista anche la capacità degli edifici "tradizionali" di resistere meglio a sollecitazioni di questo tipo). In ogni caso diventa possibile, applicando la medesima tecnica, isolare un'intera struttura (o parte di essa), "tagliando" il telaio portante, sia orizzontalmente che verticalmente, in più punti.

Per le necessarie caratteristiche di deformabilità (senza le quali un isolatore non potrebbe assolvere al suo compito) è chiaro che i materiali utilizzati per la sua costruzione sono tutti quelli che possiedono forti doti di elasticità, unite ad una buona resistenza. Naturalmente con un'eccessiva flessibilità dei dispositivi si rischierebbe di provocare deformazioni troppo accentuate oppure, al contrario, di causare fastidiosi piccoli spostamenti nel caso di forze di modesta entità (si pensi, ad esempio, all'effetto del vento su di un edificio oppure al passaggio di un treno o di automobili su un ponte). Per tutti questi motivi, nella costruzione degli isolatori viene generalmente impiegata una miscela di gomma unita ad altri materiali come nei dispositivi HDRB (High Damping Rubber Bearing) nei quali è abbinata a resine o LRB (Lead Rubber Bearing) dove ricopre un'anima cen-

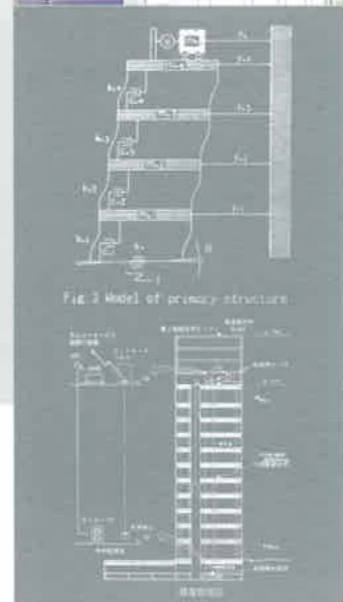
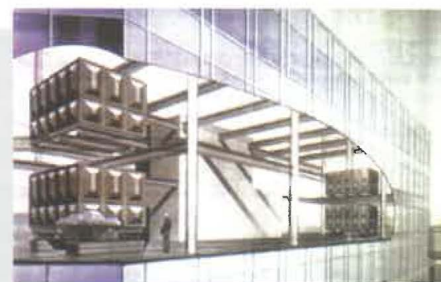
**Active Mass Damper**

**Sistemi che riescono a modulare la movimentazione istantanea di uno o più pesi posti sulla sommità della struttura "adattandosi" all'accelerazione trasmessa dal suolo attraverso dei meccanismi elettronici di controllo (veri e propri processori ne governano lo stato tensionale modificandone il comportamento in funzione dello "stimolo" registrato).**

In alto: prospettiva di Active Mass Damper.

Al centro: Modello di struttura primaria Active Mass Damper.

Sotto: sezione Active Mass Damper ([www.columbia.edu](http://www.columbia.edu)).



trale in piombo. Isolatori unicamente in gomma sono generalmente accoppiati ad altri dispositivi solitamente in acciaio - o acciaio e teflon - che garantiscono una parte di dissipazione dell'energia necessaria nel caso di forti sollecitazioni. Le tecnologie che fanno riferimento all'isolamento sismico oltre che sulle nuove costruzioni sono applicabili anche nel caso di strutture già realizzate in acciaio o c.a. e per le quali si interviene tagliando la struttura alla base ed inserendovi i

**Interventi sul costruito**

Tecnologia	Azione	Effetto	Materiali
Cerchiatura attiva	Cucire le membrature di un costruzione	Aumento della resistenza degli edifici in muratura o cls armato	Acciaio, leghe inossidabili; carbonio; leghe metalliche a memoria di forma
Scock Transmitter (sistema attivo)	Assorbe sollecitazioni in funzione dello sforzo trasmesso	Ottimizza in tempo reale la migliore risposta al sisma	Pistoni oleopneumatici
Masse smorzanti	I blocchi aggiunti funzionano come contrappesi	Smorzano il movimento della struttura	Masse e pesi concentrati sulla sommità della costruzione in conglomerato cementizio o acciaio. - Active Mass Camper (sistema attivo) - Tuned Mass Camper (sistema passivo) - TLCD, LVCA, TSWD (acqua al posto del cls)

dispositivi più idonei. In questi casi è possibile anche ottenere un notevole risparmio economico dato che vengono evitati altri accorgimenti più massivi e onerosi di rinforzo strutturale con notevole spreco di risorse e materiali e di dubbia efficacia. L'unica limitazione può essere rappresentata, in alcuni casi, dalla necessità di installare dei giunti al bordo degli edifici in numero e disposizione variabili al variare degli spostamenti ammessi e questo, nel caso di edifici troppo ravvicinati, potrebbe costituire

un serio problema e favorire una soluzione alternativa (la dissipazione).

È interessante notare come con le tecniche di protezione passiva che prevedono l'isolamento siano salvaguardate anche numerose opere d'arte e reperti archeologici (soprattutto sculture ed oggetti comunque "voluminosi"). Questo conferma la validità di un principio indifferentemente applicabile a piccoli oggetti quanto ad intere aree costruite; in questo caso è significativa la soluzione adottata per la protezione di un intero complesso residenziale giapponese per il quale si è preferito isolare la base comune di appoggio in c.a. piuttosto che gli edifici singolarmente, costruendo una sorta di piattaforma separata dal suolo attraverso cui poter ottenere il movimento rigido e "assoluto" di tutto l'insieme ottimizzando le lavorazioni e, probabilmente, diminuendo i costi dell'intera operazione.

## Mass Damper

È chiaro come le strutture che abbiano un elevato rapporto tra le due maggiori dimensioni, come ad esempio altezza e superficie occupata al suolo (quindi molto snelle come potrebbe essere un grattacielo), essendo più flessibili possano risentire in maniera più marcata di carichi orizzontali anche molto leggeri. Fastidiose oscillazioni provocate, ad esempio, dal passaggio delle auto su di un ponte o dall'effetto del vento su di un edificio molto alto e "sottile" (la cui sommità può spostarsi anche di diverse decine di centimetri) in casi malaugurati potrebbero diventare pericolose – entrando in risonanza-. Se a questo si aggiungono gli effetti che un terremoto di magnitudo medio-alta potrebbe causare sulle stesse strutture, si capisce come da tempo progettisti e tecnici stiano studiando sistemi "ammortizzatori" il cui scopo è quello di irrigidire la costruzione nel caso di carichi modesti oppure di limitarne la flessione nel caso di violente scosse sismiche. Tra questi diventano interessanti i sistemi chiamati Mass Dampers che utilizzano masse o pesi concentrate, generalmente, sulla sommità delle costruzioni. Sebbene siano meno utilizzati degli altri sistemi sono interessanti da conoscere per il principio che governa il loro meccanismo di funzionamento e che prevede la possibilità di far oscillare i blocchi "aggiunti" utilizzandoli come contrappesi e smorzando il movimento della struttura. In pratica applicando alla massa una direzione di movimento opposta a quella della forza esterna si riducono gli effetti delle vibrazioni da questa indotte.

In relazione alle modalità di funzionamento e dei materiali utilizzati questi sistemi possono dividersi in:

- Active Mass Damper;
- Tuned Mass Damper;
- Tuned Liquid Column Dampers (TLCD), oppure Liquid Column Vibration Absorbers (LVCA);
- Tuned Sloshing Water Dampers (TSWD).

I primi sono sistemi attivi e utilizzano il controllo garantito da un sistema computerizzato che, attraverso bracci meccanici fa oscillare le masse.

I Tuned Mass Damper sono sistemi che utilizzano il peso (generalmente blocchi in conglomerato cementizio, ma anche in acciaio) in maniera "passiva". Nella specifica accezione di Liquid Mass Damper si indica l'utilizzo di appositi serbatoi riempiti d'acqua invece delle masse di calcestruzzo. In questo caso l'uso dell'acqua pur garantendo le stesse performances può offrire qualche ulteriore vantaggio e cioè:

- minore sfruttamento di materiali difficilmente riciclabili (cemento) ed utilizzo di risorse naturali ad impatto ambientale nullo (acqua);
- maggiore economicità nella realizzazione e semplicità di gestione;
- capacità di "aggiustamento" del peso e quindi della frequenza di vibrazione attraverso la realizzazione di camere d'aria;
- possibilità di riutilizzare l'acqua nei serbatoi come riserva idrica o a servizio del sistema antincendio.

**In alto: la sfera dorata del peso di 730 tonnellate è la più grande e pesante "tuned mass damper". Serve ad "ancorare" l'edificio e a ridurre l'oscillazione del vento. È incorporata nella Torre di Taipei ed è visibile dall'alto della Torre.**



## Metodi e dispositivi della dissipazione

Le tecniche dissipative differiscono in maniera sostanziale da quelle di isolamento perché agiscono secondo un principio che non impedisce il passaggio delle accelerazioni sismiche dal suolo alla struttura ma tende a ridurre gli effetti assorbendone una parte. Come un ammortizzatore, il dissipatore funziona deformandosi sotto sforzo (consumando l'energia accumulata per effetto del movimento attraverso il calore sviluppato) e riducendo le azioni orizzontali sulle sezioni portanti.

In tal modo il dispositivo riesce comunque a far diminuire gli spostamenti relativi tra le diverse parti della struttura ma senza eliminarli perché, esattamente come un elastico, ha bisogno di essere caricato per funzionare (questa è una delle sostanziali differenze con le tecniche di isolamento). L'utilizzo della dissipazione viene consigliato quando l'isolamento diventa difficilmente applicabile o quando particolari condizioni statiche ne limiterebbero fortemente l'efficacia (ad esempio per una struttura eccessivamente deformabile nel suo sviluppo verticale ed incapace di realizzare un movimento rigido). In certi casi (nelle tecniche che potremmo definire "miste") e per le loro capacità di "consumare" energia, i dissipatori possono essere accoppiati, come è stato detto, agli isolatori oppure ad altri dispositivi di protezione o rinforzo, migliorandone le performances nel momento in cui specifiche esigenze di progetto lo prevedano.

I dispositivi maggiormente utilizzati che lavorano per dissipazione si dividono, in funzione del loro comportamento sotto sforzo, in:

- elastoplastici;
- viscosi;

- viscoelastici.

La modalità di dispersione dell'energia dipende, in questo caso, dai materiali con i quali sono costruiti i meccanismi e rispettivamente:

- acciai con alte capacità di deformazione plastica;
- utilizzo di fluidi siliconici (contenuti all'interno di pistoni opportunamente predisposti);
- gomme.

Meno utilizzati quelli definiti elettroinduttivi, nei quali si impiegano dispositivi combinati che sfruttano le capacità dei materiali di cui sono costituiti di opporsi ai campi magnetici nei quali sono immersi.

A differenza delle tecniche di isolamento che restano sostanzialmente "nascoste", quelle di dissipazione impongono, a volte, l'uso di elementi ingombranti e spesso visibili (soprattutto quando gli interventi sono realizzati su strutture esistenti) e quindi in grado di caratterizzare fortemente, anche dal punto di vista formale, un edificio. Da ciò ne deriva, in fase di progetto e di esecuzione, una necessaria interazione tra strutturista ed architetto al fine di valutare, nel modo migliore possibile e considerando le esigenze statiche, possibili impatti funzionali ed estetici dell'elemento che si andrà a mettere in opera e della sua migliore integrazione nel contesto costruito.

**Nuovi sistemi di rinforzo strutturale per gli interventi nel costruito**

Alle tecniche appena viste se ne aggiungono altre che possiamo definire di rinforzo strutturale dato che sono relative alla possibilità di intervenire sull'edificio, migliorandolo staticamente, a prescindere dall'eventualità che sia colpito oppure no da un ter-

**Isolamento**

L'isolamento è una delle tecniche maggiormente utilizzate (sia in Italia che nei paesi a maggior rischio sismico) per la sostanziale semplicità ed efficacia delle regole che ne governano la progettazione e l'applicazione e per i buoni risultati che riesce a garantire in termini di protezione. Il principio di "separare" l'edificio costruito dal suolo sul quale è appoggiato, attraverso l'uso di materiali diversi, è conosciuto sin dall'antichità. Alcuni templi a Paestum, ad esempio, sembra siano stati costruiti su più strati di sabbia, per annullare o diminuire l'intensità delle accelerazioni trasmesse durante un terremoto.

Oltre alla maggior protezione di cose e persone, un edificio ben isolato diminuisce di molto la "percezione" del sisma da parte dei suoi occupanti che, nel caso di terremoti a bassa intensità, possono continuare a svolgere qualsiasi attività ed evitando "fastidiosi" danni secondari (piccole lesioni, distacchi di intonaco, rottura di parti ed elementi di arredo, ecc.) che gravano in maniera notevole sulla gestione economica del fabbricato.

Un ulteriore vantaggio dei sistemi che utilizzano l'isolamento passivo è quello di avere una tecnologia "nascosta" (i dispositivi utilizzati restano appena al di sopra delle fondazioni). Questo è un vantaggio notevole, soprattutto nel caso si intervenga sul costruito, nei confronti della dissipazione che ha, solitamente, bisogno di elementi ben visibili ed, a volte, difficilmente integrabili con il contesto.

remoto. Sono esclusivamente indicate per l'adeguamento ed il ripristino di edifici esistenti e vanno dall'utilizzo di sistemi classici fino alle moderne tecniche che prevedono l'uso di acciai inossidabili e fibre di carbonio.

Un sistema particolarmente efficace è rappresentato dalla possibilità di aumentare la resistenza degli edifici in muratura o calcestruzzo armato attraverso delle procedure di cerchiatura attiva.

In questo caso si utilizzano le capacità meccaniche di alcuni materiali (metalli, plastiche, fibre, ecc.) per "cucire" letteralmente le membrature di una costruzione.

*Segue a pagina 243*

**Tuned Mass Dumper e sistemi misti**

Le masse usate "passivamente" funzionano da contrappesi, smorzando le oscillazioni trasmesse dal suolo (una frequente applicazione di questo principio è quella che viene realizzata sui tralicci degli impianti). E' possibile combinare l'azione AMD (Active Mass Dumper) con quella TMD (Passive Tuned Mass Dumper).

**Negli schemi: sistema di controllo attivo e passivo con binati.**  
<http://moment.mit.edu/documentLibrary/Duox/duox.html>.

