

Isolamento sismico alla base di edifici in muratura

Gli isolatori sismici svolgono la funzione di limitare le accelerazioni trasmesse alla struttura mediante l'abbassamento del periodo di oscillazione. La ricerca di strategie non convenzionali di protezione sismica di edifici in muratura ha prodotto un sistema d'isolamento, alla base della struttura, semplice ed economico

Molti studi, a partire da quelli svolti negli anni '70 dello scorso secolo, hanno messo in risalto la capacità di resistenza della struttura muraria in laterizio, evidenziando come la stessa non solo sia in grado di resistere ai sismi più severi ma, in molti casi, presenti un comportamento più efficiente di altri sistemi strutturali considerati privilegiati.

Le indagini sistematiche hanno consentito un approccio di tipo analitico ad un problema che fino a non molto tempo fa era affrontato in modo del tutto empirico.

In Italia, dove oltre la metà del patrimonio edilizio storico è realizzata in pietra e laterizio, la muratura portante, fino a pochi anni fa, è stata considerata "fuorilegge" non essendoci norme che ne disciplinassero l'uso, il dimensionamento e la progettazione. Lo specifico sistema costruttivo, dunque, ha scontato duramente le conseguenze di ritardi normativi ingiustificati e, soprattutto, del sostegno incondizionato che la cultura progettuale ha assegnato, dagli inizi dello XX secolo, ad altre tecniche costruttive, come le strutture intelaiate in metallo o in cemento armato; una tendenza totalizzante che ha creato i presupposti di un vero e proprio "monopolio tecnologico", sul quale intere generazioni di progettisti hanno fondato - nel bene o nel male - le basi della loro attività professionale.

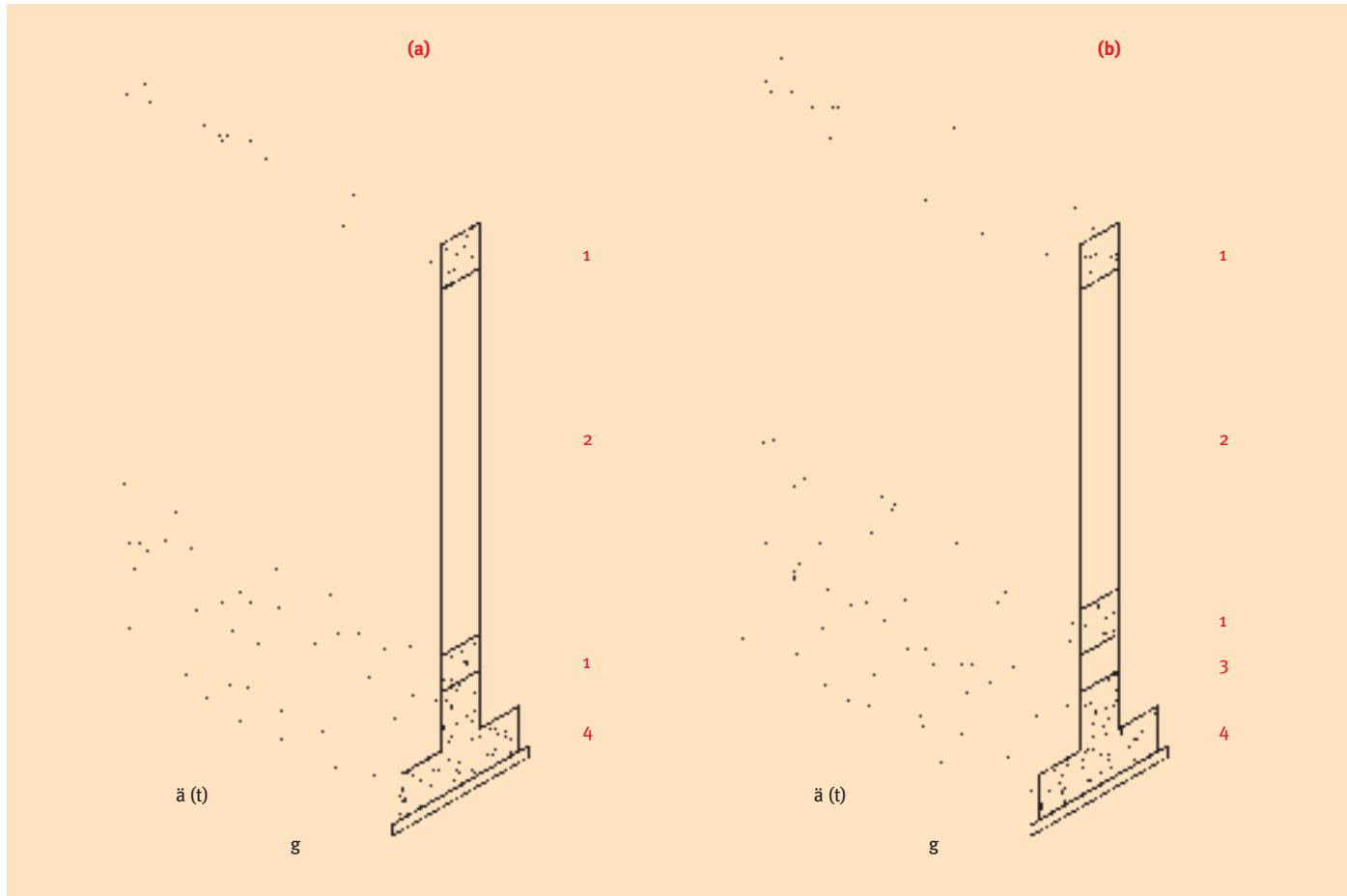
A questa situazione ha sicuramente contribuito anche l'osservazione sommaria e indiscriminata dei danni prodotti dagli eventi sismici sulle costruzioni nel secolo scorso, che ha posto tutti gli edifici in muratura sullo stesso piano, senza fare distinzione fra apparecchiature murarie e materiali costruttivi che, alla prova del terremoto, avevano risposto in modo assolutamente diverso. La riforma normativa che ha

interessato negli ultimi anni il settore, dopo anni di ricerca sperimentale e un lungo processo di maturazione della cultura tecnologica, ha posto le condizioni per restituire alla muratura portante il ruolo di primo piano che si è storicamente meritata.

Il comportamento delle strutture in muratura alle azioni sismiche

Le strutture di un edificio, sotto l'effetto del carico dinamico dovuto all'azione sismica, tendono ad abbandonare il loro comportamento in campo lineare per mettere in gioco la loro capacità di dissipare energia. Il grado di smorzamento dell'energia tellurica che investe un edificio dipende dai materiali con cui la sua struttura è realizzata, dai suoi giunti e dalla presenza d'elementi anche non strutturali attivi all'azione del sisma. Tenere conto dello smorzamento non significa modificare le curve dello spettro di risposta ma considerarne dei valori più bassi, che comportano minori amplificazioni delle accelerazioni impresse alla base, con conseguente riduzione delle forze inerziali che agiscono sull'edificio. Lo smorzamento è una delle caratteristiche peculiari di cui sono generalmente dotate le costruzioni in muratura. Come hanno posto in evidenza prove sperimentali svolte in Italia, lo smorzamento di una struttura in muratura, durante una scossa violenta (tale da danneggiare la costruzione senza provocarne il crollo), è circa quattro volte più grande di quello riscontrabile con sollecitazioni a più bassa intensità, durante le quali la struttura resta in campo elastico.

I test eseguiti hanno posto in risalto una certa duttilità della struttura muraria, espressa come capacità di assorbire spostamenti oltre la fase elastica, in parte modificando il giudi-



Schema del pannello murario su base fissa (a) e su base isolata (b).

Legenda:
 1. cordolo in c.a.
 2. pannello murario
 3. isolamento
 4. fondazione in c.a.

zio corrente sul comportamento delle costruzioni in muratura che in genere è considerato del tipo elasto-fragile. Se la struttura muraria funzionasse solo in campo elastico lineare (con deformazioni proporzionali alle forze agenti) essa dovrebbe resistere a forze orizzontali molto elevate. L'esperienza dimostra, invece, che essa, sotto l'azione del sisma, manifesta un comportamento non lineare di tipo elasto-plastico: si verificano, infatti, fenomeni di plasticizzazione e si assiste alla comparsa di un quadro fessurativo che contribuisce a far decrescere rapidamente la rigidezza del sistema, così che la struttura viene interessata da forze molto più basse di quelle che si avrebbero di fronte ad un comportamento elastico lineare.

I fenomeni descritti danno luogo ad una notevole dissipazione energetica che produce un forte effetto di smorzamento sull'azione sismica agente. Questa è una delle ragioni per cui, come dimostrato dall'esperienza, anche gli edifici in muratura semplice, di modeste dimensioni, correttamente progettati, costruiti e provvisti dei necessari collegamenti strutturali, sono in grado di resistere alle azioni dei terremoti. L'analisi del comportamento sismico degli edifici si articola generalmente, tanto nei suoi aspetti teorici quanto ai fini

pratici del calcolo, in due precisi momenti:

- l'analisi della risposta dinamica della costruzione, che porta alla determinazione delle forze agenti sulla struttura;
- il calcolo delle azioni interne che le forze agenti esercitano sugli elementi strutturali resistenti.

Per tipologie edilizie semplici, il calcolo può essere effettuato trasformando le azioni sismiche in un sistema di azioni orizzontali di tipo statico applicate all'altezza dei vari piani dell'edificio. Nei casi più complessi, la determinazione delle forze inerziali deve essere fatta ricorrendo all'analisi dinamica di tipo "modale", cioè considerando le condizioni di carico più sfavorevoli derivanti dai vari "modi di vibrare" dell'edificio.

I principali schemi strutturali considerati ai fini del calcolo sono due: quello a telaio e quello scatolare. Nel secondo caso, che generalmente corrisponde allo schema strutturale degli edifici in muratura portante, il comportamento dell'edificio alle azioni sismiche è generalmente approssimato a quello di una mensola incastrata in modo elastico al terreno. Il calcolo delle azioni interne, elemento per elemento, deve invece essere fatto ricorrendo a modelli più dettagliati, che possono essere sviluppati con la tecnica degli elementi finiti.

I dispositivi di isolamento nella nuova Ordinanza sismica

L'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003, recante "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica", e le successive modifiche ed integrazioni, al Capitolo 10 fornisce i criteri e le regole per il progetto degli edifici nuovi e dell'adeguamento di quelli esistenti nei quali un sistema d'isolamento sismico è posto al disotto della costruzione medesima allo scopo di migliorarne la risposta nei confronti delle azioni sismiche orizzontali.

Qualunque siano la tipologia e i materiali strutturali dell'edificio, la riduzione della risposta sismica orizzontale può essere ottenuta mediante una delle seguenti strategie d'isolamento oppure mediante la loro appropriata combinazione:

- a. incrementando il periodo fondamentale della costruzione per portarlo nel campo delle minori accelerazioni di risposta;
 - b. limitando la massima forza orizzontale trasmessa. In entrambe le strategie le prestazioni dell'isolamento possono essere migliorate attraverso la dissipazione di una consistente aliquota dell'energia meccanica trasmessa dal terreno alla costruzione.
- In particolare, al punto 10.5.1, l'Ordinanza elenca le seguenti indicazioni progettuali riguardanti i dispositivi:
1. l'alloggiamento dei dispositivi d'isolamento ed il loro collegamento alla struttura devono essere concepiti in modo da assicurarne l'accesso e rendere i dispositivi stessi ispezionabili e sostituibili. È necessario anche prevedere adeguati sistemi di contrasto, idonei a consentire l'eventuale ricentraggio dei dispositivi qualora, a seguito di un sisma, si possano avere spostamenti residui incompatibili con la funzionalità dell'edificio e/o con il corretto comportamento del sistema d'isolamento;
 2. ove necessario, gli isolatori dovranno essere protetti da possibili effetti derivanti da attacchi del fuoco, chimici o biologici. In alternativa, occorre prevedere dispositivi che, in caso di distruzione degli isolatori, siano idonei a trasferire il carico verticale alla sottostruttura;
 3. i materiali utilizzati nel progetto e nella costruzione dei dispositivi dovranno essere conformi alle corrispondenti norme in vigore;
 4. gli isolatori soggetti a forze di trazione o a sollevamento durante l'azione sismica dovranno essere in grado di sopportare la trazione o il sollevamento senza perdere la loro funzionalità strutturale. Tali effetti andranno debitamente messi in conto nel modello di calcolo ed il comportamento degli isolatori a trazione dovrà essere verificato sperimentalmente.

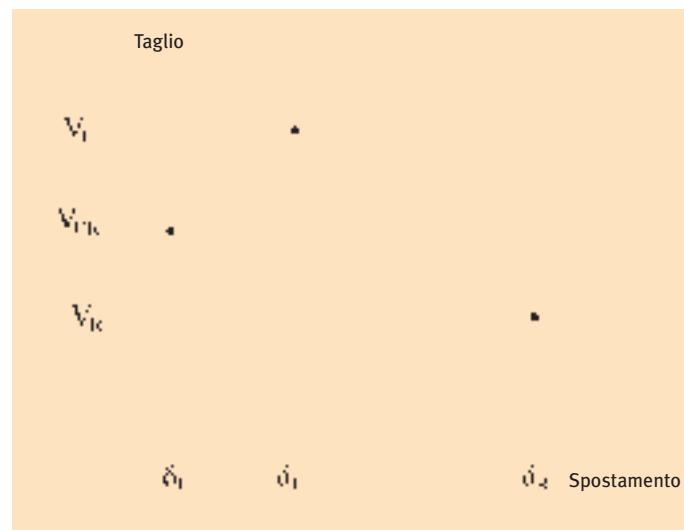


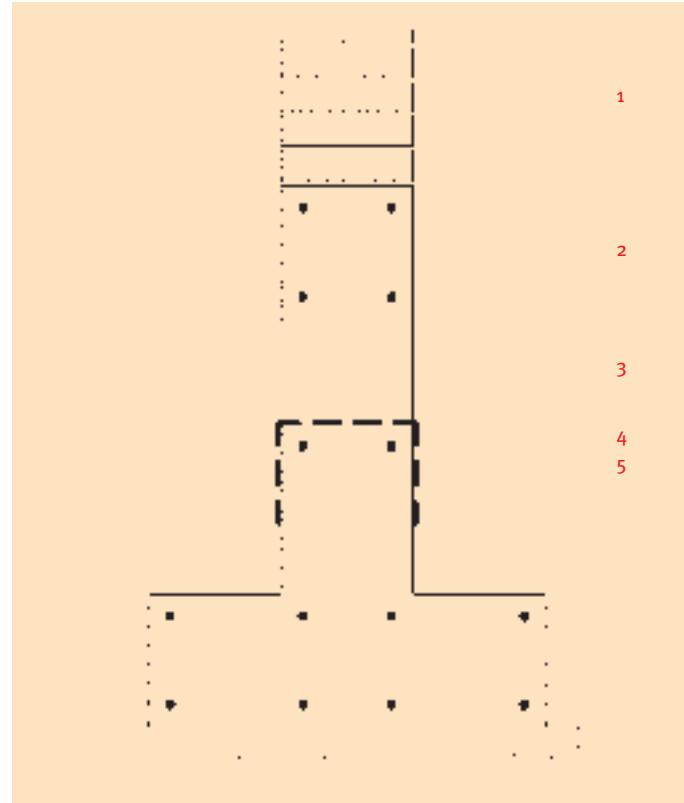
Diagramma taglio-spostamento di un pannello murario. Per quanto riguarda il comportamento a taglio del maschio murario nel proprio piano si sono distinte quattro modalità di rottura:

- 1) rottura per compressione dopo la fessurazione (V_{1u}); 2) rottura per compressione prima della fessurazione (V_{2u}); 3) rottura per fessurazione diagonale al centro del semipannello (V_{3u}); 4) rottura per scorrimento (V_{4u}).

Occorre calcolare il taglio di prima fessurazione V_{CR} e verificare che:

$$V_{CR} < V_{2u}; V_{CR} < V_{3u}; V_{CR} < V_{4u}.$$

In questo caso si ha la fessurazione del pannello murario prima della rottura come il modello adottato in figura.



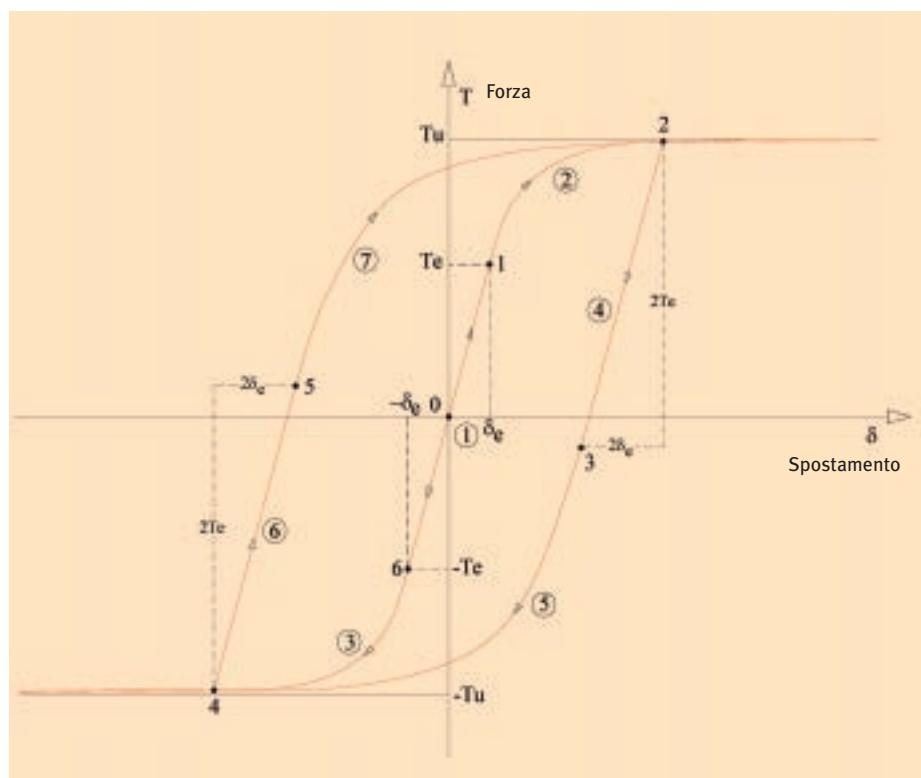
Dettaglio costruttivo del sistema d'isolamento proposto.

Legenda:

1. muratura portante in laterizio
2. cordolo in c.a.
3. strato di malta idraulica con barre verticali
4. guaina impermeabilizzante
5. fondazione in c.a.

Modello isteretico dell'acciaio per l'armatura del cordolo d'isolamento. Le equazioni che descrivono il diagramma forza-spostamento si possono ricondurre a sette diversi tratti:

- 1) fase elastica lineare;
 - 2) primo carico in fase plastica;
 - 3) primo scarico in fase plastica;
 - 4) scarico lineare generico in fase plastica;
 - 5) scarico non lineare generico in fase plastica;
 - 6) carico lineare generico in fase plastica;
 - 7) carico non lineare generico in fase plastica.
- Per studiare gli spostamenti di una barra d'acciaio doppiamente incastrata agli estremi (sottoposta a forze cicliche) si è ricorsi ad una interpolazione delle equazioni ottenute dal calcolo rigoroso con equazioni empiriche molto più semplici e adattabili ad una elaborazione al computer che riproducono il diagramma taglio-spostamento in modo approssimativamente aderente alla realtà.



Il meccanismo in base al quale le azioni sismiche sollecitano gli elementi di una costruzione in muratura portante è relativamente semplice.

Le forze inerziali prodotte dalle masse dell'edificio per effetto dello spostamento dinamico, agenti orizzontalmente, si producono, in direzioni alterne e con un certo numero di ripetizioni, per un dato tempo. Queste azioni vengono trasferite da un elemento all'altro della costruzione essenzialmente secondo le seguenti modalità:

- da una parete all'altra, sullo stesso piano;
- dalle pareti di ogni piano ai solai su cui sono appoggiate;
- dai solai di ogni piano alle pareti del piano sottostante.

Tali meccanismi sono facilmente intuibili quando l'azione del terreno si esercita secondo una direzione parallela ad uno dei lati dell'edificio. In questa ipotesi, le pareti dell'edificio saranno sollecitate, alternativamente, in direzione ortogonale o parallela al loro piano: è evidente che le stesse dovranno essere in grado di resistere alle forze d'inerzia in entrambe le direzioni, poiché l'azione del sisma può esercitarsi in qualsiasi direzione. Le azioni risultanti potranno, in questo caso, essere valutate come ricomposizione degli effetti dell'azione sismica secondo le due direzioni ortogonali principali.

Metodi per la riduzione della risposta sismica delle strutture in muratura L'idea che un edificio possa essere protetto dagli effetti dannosi di un movimento sismico di forte intensità ha destato l'interesse di molti studiosi da oltre 100 anni.

A livello progettuale, l'ipotesi di distaccare l'edificio dal moto del terreno durante un sisma fu presa in considerazione fin dagli inizi del secolo scorso. Dopo il terremoto di Messina, del 1908, una commissione, incaricata di determinare nuovi metodi per la costruzione d'edifici, propose un sistema d'isolamento che consisteva nella realizzazione di uno strato di sabbia e rulli alla base delle fondazioni, ma nessuna costruzione fu mai realizzata con questo sistema.

Nel 1909, quasi contemporaneamente agli studi di Messina, il Dott. Calantairantes di Scarborough (Inghilterra) brevettò un approccio di progetto per edifici resistenti al sisma: uno strato di talco, posto tra l'edificio e le fondazioni, doveva servire da isolamento sismico.

Nel 1921, F.L.Wright progettò la prima realizzazione storicamente significativa basata su una concezione di isolamento sismico alla base: l'Imperial Hotel di Tokyo. Il violento terremoto del 1923 evidenziò l'efficacia del sistema adottato, quantunque fosse basato solo su una geniale intuizione.

Nel 1929, R. Wladislas de Montalk di Wellington (Nuova Zelanda) propose di interporre, tra le fondazioni e la base dell'edificio, uno strato di materiale in grado di assorbire o minimizzare l'evento sismico.

La trasformazione delle concezioni pionieristiche è avvenuta solo in tempi recenti, attraverso il miglioramento delle tecniche di sperimentazione e lo sviluppo dei procedimenti di calcolo che hanno consentito di fare analisi dinamiche di strutture soggette a qualunque tipo di moto sismico. La diffusione degli accelerometri e la maggiore disponibilità delle



Isolatore in elastomero armato (fonte: TIS s.p.a., Roma).



Isolatore in elastomero armato: isolatore deformato (deformazione di 170 mm) durante l'esecuzione di prove di rilascio in situ (fonte: TIS s.p.a., Roma).

relative registrazioni hanno permesso di prendere coscienza dell'elevata entità delle accelerazioni raggiunte dal terreno in occasione di terremoti violenti e della conseguente impossibilità di realizzare, almeno in termini economicamente accettabili, strutture antisismiche che si mantengano in campo elastico durante i terremoti.

Conseguenza di ciò è stata l'affermazione di una filosofia di progettazione che considera accettabile l'entrata in campo elastico della struttura e che utilizza la plasticizzazione come tecnica di protezione dal sisma. La riduzione della rigidezza, dovuta alla plasticizzazione, unita all'incremento dell'energia dissipata per comportamenti isteretici, concorrono a ridurre l'entità delle accelerazioni sismiche sperimentate dalla struttura e l'entità delle conseguenti forze di inerzia. È dunque possibile ridurre l'entità delle azioni di progetto purché la struttura sia capace di entrare significativamente in campo plastico senza collassare, ossia purché la struttura sia duttile. In alternativa a tale filosofia progettuale, in tempi più recenti sono state individuate numerose tecniche costruttive finalizzate a ridurre l'entità dell'entrata in campo plastico delle strutture antisismiche, al limite eliminandola; tali tecniche vengono complessivamente individuate con il termine di "tecniche di protezione passiva".

L'aggettivo "passiva" sottolinea il fatto che le tecniche in questione riducono la risposta della struttura al sisma attraverso un comportamento costante e predeterminato: non si adattano interattivamente ad esso bensì lo subiscono "passivamente".

Accanto alle "tecniche di protezione passiva" sono state sviluppate anche tecniche di "protezione attiva", che operano attivamente attraverso opportune apparecchiature (spesso attuatori idraulici) per modificare istantaneamente le caratteristiche meccaniche della struttura, così da ridurne la risposta sismica, e dispositivi, come i "ritegni antisismici", che ri-

ducono e annullano gli spostamenti relativi d'origine sismica tra strutture contigue e all'interno della stessa struttura.

Le "tecniche di protezione passiva" possono dividersi in tre grandi categorie:

- tecniche di isolamento sismico;
- tecniche di dissipazione di energia;
- tecniche miste.

Le tecniche di isolamento sismico consistono, sostanzialmente, nell'introdurre, lungo lo sviluppo della struttura verticale, una o più discontinuità che separano la struttura in due o più parti, e cioè la sottostruttura, collegata alle fondazioni, e la sovrastruttura; se la prima discontinuità è sistemata alla base della struttura si parla di isolamento sismico alla base. Tra sottostruttura e sovrastruttura sono interposti alcuni "isolatori", ossia apparecchi d'appoggio dotati d'elevata rigidezza per carichi verticali e limitata rigidezza per carichi orizzontali. Con l'inserimento degli "isolatori" si consegue un sostanziale disaccoppiamento, o filtro, tra moto della sottostruttura (strettamente legato al moto del terreno) e moto della sovrastruttura, così da ridurre l'energia cinetica che il terreno trasmette all'edificio.

Una classificazione dei sistemi d'isolamento più diffusi può essere fatta sulla base degli isolatori utilizzati per conseguire il disaccoppiamento della struttura:

- isolatori in materiale plastomerico ed acciaio;
- isolatori elasto-plastici;
- isolatori a scorrimento o a rotolamento.

Gli isolatori in materiale plastomerico ed acciaio sono costituiti da strati alternati di materiale plastomerico (gomma) e d'acciaio; dove l'acciaio svolge una funzione di contenimento dell'elastomero riducendone la deformabilità sotto l'azione dei carichi verticali e lasciando invariata l'elevata capacità di deformarsi sotto l'azione delle sollecitazioni orizzontali. Gli isolatori elasto – plastici sono costituiti da



Isolatore in elastomero armato: prova su prototipo (fonte: TIS s.p.a., Roma).



Isolatore in elastomero armato bloccato, accoppiato con dispositivo a scorrimento.

elementi che si mantengono in campo elastico alla presenza di soli carichi verticali ed invece si plasticizzano alla presenza d'azioni orizzontali superiori ad una soglia prefissata. Gli isolatori a scorrimento o a rotolamento sono costituiti, rispettivamente, da appoggi a scorrimento (acciaio – teflon) o a rotolamento (su rulli o sfere), caratterizzati tutti da bassi valori delle resistenze per attrito.

Nel caso degli isolatori in materiale plastomerico ed acciaio e degli isolatori elasto – plastici, il comportamento fortemente isteretico dei materiali è spesso sufficiente ad assicurare un efficace smorzamento delle forze, mentre nel caso degli isolatori a scorrimento o a rotolamento è necessario disporre opportuni dissipatori di energia, in parallelo agli isolatori stessi.

Le tecniche di dissipazione dell'energia consistono, sostanzialmente, nel collegare alla struttura, ad esempio attraverso controventi, apparecchi dissipatori capaci, all'atto del sisma, di assorbire grandi quantità d'energia.

Proprietà dei sistemi strutturali sismicamente isolati

È possibile riconoscere che gran parte dei diversi approcci innovativi, proposti nel campo del calcolo strutturale, presenta una comune linea di pensiero che si potrebbe definire del “controllo delle vibrazioni” poiché consiste nell'intento di regolare “artificialmente”, con organi non propriamente strutturali, la risposta dinamica, in modo da ridurre le sollecitazioni indotte dal sisma.

In passato, l'isolamento sismico è stato considerato una tecnica da utilizzare solo per alcuni tipi di strutture, tenuto conto della loro funzione e della loro importanza (ospedali, centrali di polizia, ponti, monumenti, ecc.) o delle caratteristiche geomorfologiche del sito (vicinanza alle faglie). In realtà, l'isolamento sismico ha caratteristiche economiche e costruttive che ne possono garantire lo sviluppo in tutte le

zone a rischio sismico, indipendentemente dalle circostanze e dalle condizioni.

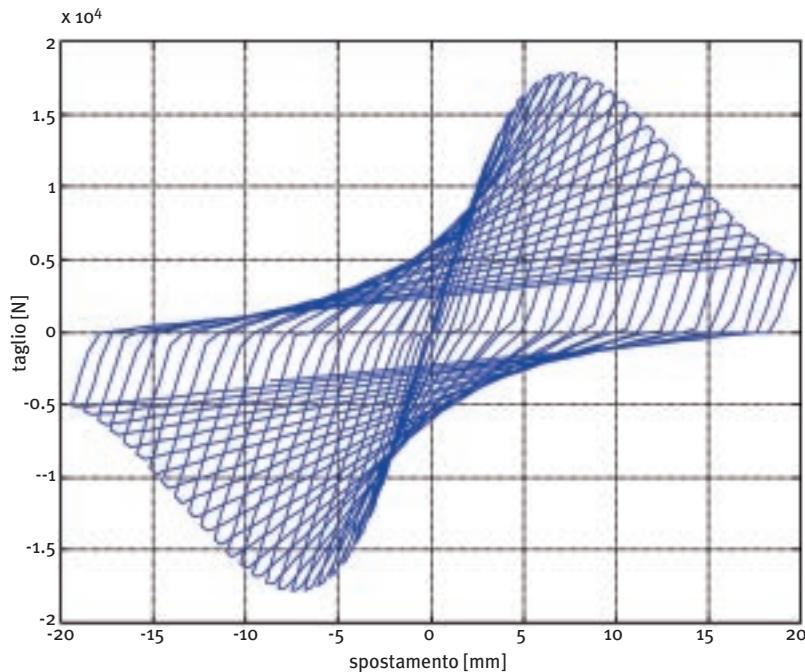
Poiché i componenti di un sistema di isolamento devono essere progettati distintamente dagli altri elementi strutturali, è opportuno identificarne innanzitutto gli elementi fondamentali, che sono:

- un meccanismo flessibile in modo che il periodo della vibrazione del sistema nel suo complesso sia sufficientemente aumentato per ridurre l'intensità della risposta;
- uno smorzatore o un dissipatore di energia tale che gli spostamenti relativi fra l'edificio ed il terreno possano essere controllati entro livelli predefiniti;
- composizione e conformazione in grado di garantire la rigidità sufficiente per i carichi d'esercizio dovuti al vento e alle scosse meno intense.

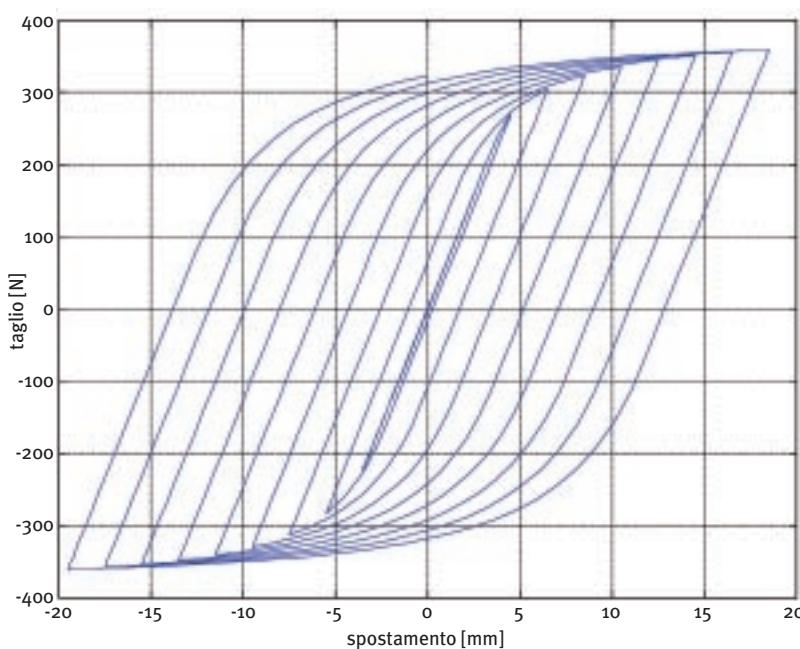
Un buon sistema d'isolamento sismico deve inoltre:

- migliorare la sicurezza strutturale mediante il contenimento o l'eliminazione dei danni nei confronti degli eventi di maggiore intensità attesi nel sito;
- determinare la riduzione delle forze di progetto da utilizzare nelle verifiche tradizionali, senza però ridurre i normali livelli di sicurezza;
- rendere sismicamente più soddisfacenti i sistemi costruttivi dotati di limitata duttilità strutturale;
- consentire l'adeguamento di costruzioni esistenti, carenti dal punto di vista della sicurezza sismica.

L'isolamento sismico delle costruzioni consiste, essenzialmente, nell'installazione di meccanismi che disaccoppiano la struttura, e ciò che essa sostiene, dai movimenti potenzialmente dannosi indotti dal terremoto. Questo disaccoppiamento è ottenuto incrementando la flessibilità del sistema e fornendo contemporaneamente uno smorzamento adeguato. Per ridurre e controllare gli effetti di un sisma, si ricorre, quindi, ad elementi posti alla base dell'edificio, no-



Modello isteretico della malta del cordolo d'isolamento ($h = 30$ cm). Le relazioni che sono state adottate per la determinazione delle caratteristiche meccaniche dello strato di malta da porre alla base dell'edificio in muratura sono quelle della circolare del Min. LL.PP. 30 luglio 1981. Sono state fatte delle considerazioni aggiuntive per permettere di sviluppare un diagramma che rappresentasse il comportamento isteretico della malta sottoposta ad una storia di taglio ciclico ed una compressione costante.



Esempio di un diagramma taglio-spostamento di una barra Ø 8 di lunghezza 20 centimetri, incastrata agli estremi e sottoposta ad un sistema di forze cicliche sinusoidali (elaborazione con programma di calcolo MATLAB).

tevolmente flessibili, che modificano favorevolmente le oscillazioni orizzontali della struttura "isolandola" dallo spostamento orizzontale del terreno e riducendo altresì le accelerazioni indotte nell'edificio. Le forze trasmesse alla struttura isolata possono essere ulteriormente attenuate ricorrendo a degli smorzatori che dissipano l'energia indotta dalle scosse sismiche. Le forze prodotte dal terremoto interagiscono con la struttura di tipo tradizionale non isolata determinando considerevoli deformazioni e fessurazioni; al contrario, in quella isolata le sollecitazioni, molto ridotte, determinano piccole deformazioni della struttura stessa che si comporta come se fosse un'unità rigida. La dissipazione d'energia nel sistema isolato è dovuta alle caratteristiche dell'isolatore, mentre nell'edificio costruito con tecniche tradizionali deriva essenzialmente dai danni strutturali subiti.

Descrizione del sistema di isolamento Il sistema d'isolamento, qui proposto consiste essenzialmente nella realizzazione di un taglia-muro armato al livello della fondazione; come noto, la tecnica del taglia-muro tradizionale è stata proibita dalla normativa vigente in zona sismica perché, in caso di terremoto, la sconnessione creata fra la parte in elevazione dell'edificio e le fondazioni può dar luogo a spostamenti orizzontali non sempre accettabili e comunque irreversibili.

L'idea innovativa consiste nel predisporre, durante la costruzione della fondazione, dei ferri d'attesa che fuoriescono dalla fondazione stessa su cui eseguire un strato di malta a base di calce idraulica. La qualità della malta e lo spessore dello strato sono stabiliti sulla base dei carichi agenti in direzione verticale e orizzontale, così come l'entità e il tipo dell'armatura metallica. Sopra tale strato è poi gettato un cordolo in c.a. in cui si vanno ad ancorare i ferri d'attesa della fondazione. La lunghezza e la larghezza dello strato di malta saranno coincidenti con quelli del maschio murario sovrastante in modo che il sistema assuma un aspetto monolitico con la costruzione. Con tale tecnica si realizza di fatto una sconnessione fra la fondazione e la struttura in elevazione, in grado di disaccoppiare la struttura dal terreno in caso di scossa sismica di forte intensità.

Il comportamento complessivo del sistema d'isolamento sismico formato dall'insieme della malta più le barre d'acciaio è schematizzato come sovrapposizione degli effetti separati dei due elementi. La resistenza al taglio del dispositivo è calcolata come somma algebrica della resistenza al taglio della malta e quella dell'acciaio. La malta è considerata troppo debole per l'instaurazione di meccanismi resistenti (tiranti e puntoni, come avviene per esempio nelle strutture di cemento armato); pertanto si è supposto che la deformazione, che coinvolge entrambi i sistemi in caso di evento sismico, sia la stessa di quella che interessa i materiali: in pratica, la malta e l'acciaio hanno gli stessi spostamenti orizzontali.

La resistenza a compressione del sistema, nelle analisi effettuate, è stata affidata interamente alla malta e, una volta raggiunta la plasticizzazione completa della stessa, si è supposto che essa non abbattesse di molto la sua resistenza iniziale alla compressione in modo da evitare pericolosi fenomeni d'instabilità locale e dell'intera costruzione.

Dalle considerazioni svolte si deduce che nel modello d'isolamento prospettato il maggior contributo alla dissipazione d'energia è attribuito alle staffe d'acciaio; la malta, infatti, una volta superata la deformazione elastica partecipa in tal senso con un contributo molto modesto. Il sistema descritto sembra ridurre efficacemente le forze che agiscono sull'edificio in caso di terremoto, con spostamenti massimi contenuti anche durante un sistema violento.

Si nota che, per sismi di piccola entità, il sistema proposto è più efficace su strutture con periodi alti: in termini d'accelerazione assoluta si ha una diminuzione del 75%. Per scosse di media e forte intensità, si registrano maggiori vantaggi su strutture con periodo d'oscillazione più basso, fino a una riduzione del 50% in termini di accelerazione assoluta. Si nota, inoltre, che la maggior parte dell'energia immessa dal terremoto è assorbita proprio dall'isolamento sismico. L'energia dissipata dal muro isolato, infine, è circa il 25% di quella dissipata dallo stesso muro su base fissa.

Dai grafici della risposta in termini di duttilità, risulta evidente che, per terremoti di piccola e media entità, tutte le strutture isolate rimangono in campo elastico lineare: si ritiene, quindi, che il sistema d'isolamento proposto riesca efficacemente a preservare i maschi murari e a limitare i danni alla sovrastruttura. ¶

Note

L'articolo utilizza dati e sviluppa considerazioni a partire dalla tesi di laurea in Ingegneria Civile di M. Rosi, *Una nuova proposta di isolamento sismico alla base per edifici in muratura*, Facoltà di Ingegneria, Università degli studi di Firenze, A.A. 2000/01. Relatori: Prof. Ing. Sandro Chiostrini, Prof. Ing. Andrea Vignoli, Prof. Ing. Luciano Galano (Dipartimento Ingegneria Civile Università di Firenze).

Bibliografia

- R. Baldacci, *Scienza delle costruzioni*, Volume I e II, Roma 1986.
- C. Ceccoli, P. Pozzati, *Teoria e tecnica delle costruzioni*, UTET, Tipografia Sociale Torinese s.p.a., Volume III, Torino 1987.
- N. Mostaghel, J. Tanabakuchi, *Response of sliding structures to earthquake support motion*, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 11, 355-366, 1983.
- M. Qamarruddin, S.K. Al-Oraimi, K.S. Al-Jabri, *Worldwide development of friction seismic isolation scheme for masonry buildings*, Eleventh World Conference on Earthquake Engineering, 1996, Elsevier Science Ltd.
- M. Sassu, C. Ricci, *An innovative distributed base-isolation system for masonry buildings: the reinforced cut-wall*, 12th World Conference on Earthquake Engineering 2000, New Zealand.
- L. Zongjin, E.C. Rossow, S.P. Shah, *Sinusoidal forced vibration of sliding masonry system*, Journal of Structural Engineering, vol. 115, No. 7, July 1989, ASCE.

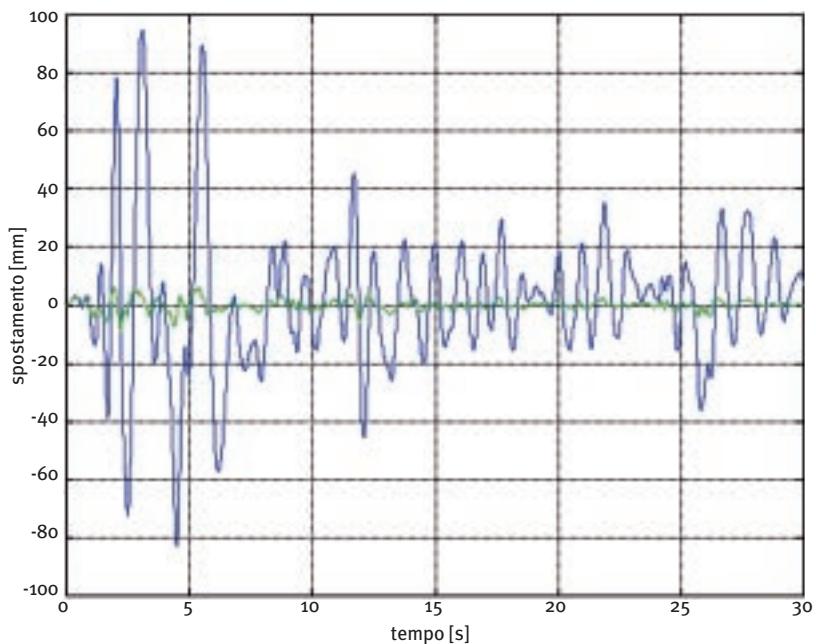


Diagramma degli spostamenti della struttura muraria sottoposta ad un evento sismico misurati alla testa del muro: a base fissa (linea blu) e a base isolata (linea verde). Risulta evidente la minore entità degli spostamenti del muro su base isolata rispetto a quello su base fissa (elaborazione con programma di calcolo MATLAB).

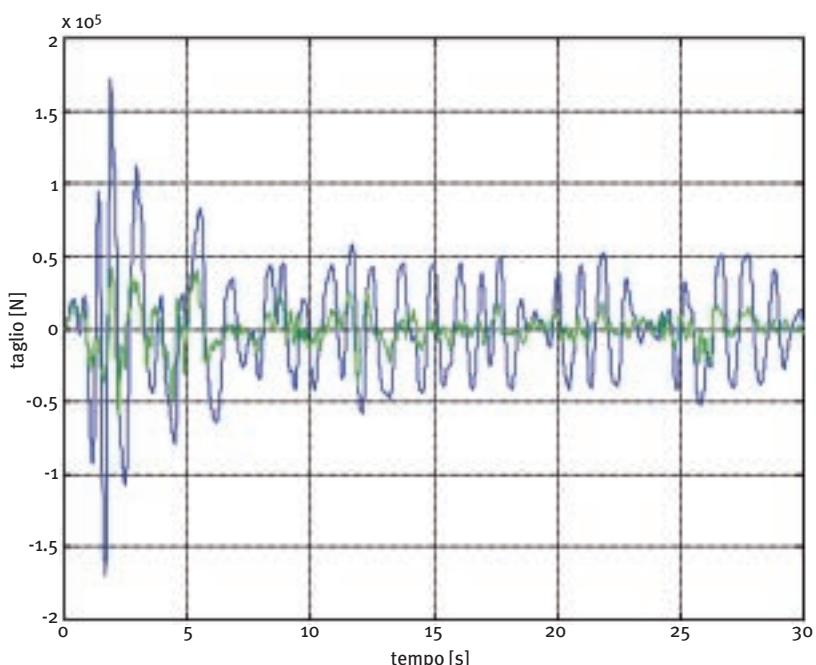


Diagramma dello sforzo di taglio della struttura muraria sottoposta allo stesso evento sismico della figura sovrastante, misurato alla base del muro: a base fissa (linea blu) e a base isolata (linea verde). Risulta evidente la minore entità dello sforzo di taglio sopportato dal muro su base isolata rispetto a quello su base fissa. Questo implica chiaramente una maggiore conservabilità della struttura stessa, il cui comportamento rimane in campo elastico lineare anche in caso di forti eventi sismici (elaborazione con programma di calcolo MATLAB).