

BASE-ISOLATION E ISOLATORI ELASTOMERICI

Marco BOZZA *

* *Ingegnere Strutturale, già Direttore della Federazione regionale degli Ordini degli Ingegneri del Veneto (FOIV), Amministratore di ADEPRON*

VANTAGGI DELL'ISOLAMENTO SISMICO

L'*isolamento sismico* è una tecnica del controllo strutturale di tipo passivo mediante la quale si cerca di ottenere un adeguato livello di protezione delle strutture dagli effetti negativi conseguenti al verificarsi di un evento sismico. Per raggiungere questo obiettivo è necessario ridurre in modo significativo gli stati di sollecitazione sulla costruzione dovuti fondamentalmente alle forze d'inerzia che il sisma trasmette, attraverso il terreno e quindi le fondazioni, alla sovrastruttura. Ridurre le forze d'inerzia equivale a diminuire le accelerazioni trasmesse, ovvero ad operare nel ramo discendente dello spettro di risposta (Figura 1).

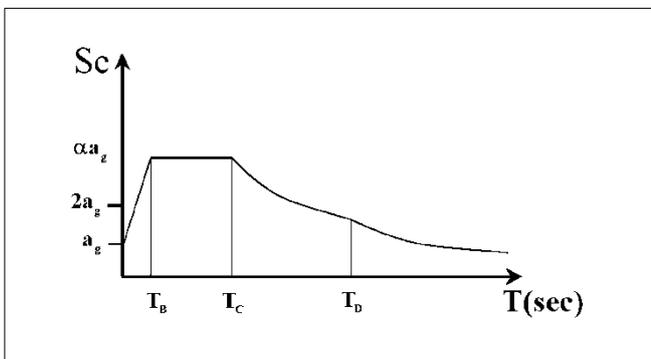


Figura 1

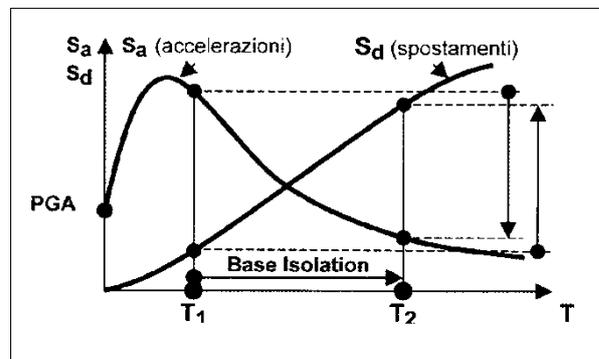


Figura 2

Valori bassi di accelerazione nello spettro di risposta corrispondono ad elevati valori del periodo proprio T dei vari modi di vibrare del sistema strutturale. Ecco allora che per indurre nella struttura bassi livelli di accelerazione è necessario incrementare i periodi naturali dei principali modi di vibrare (Figura 2).

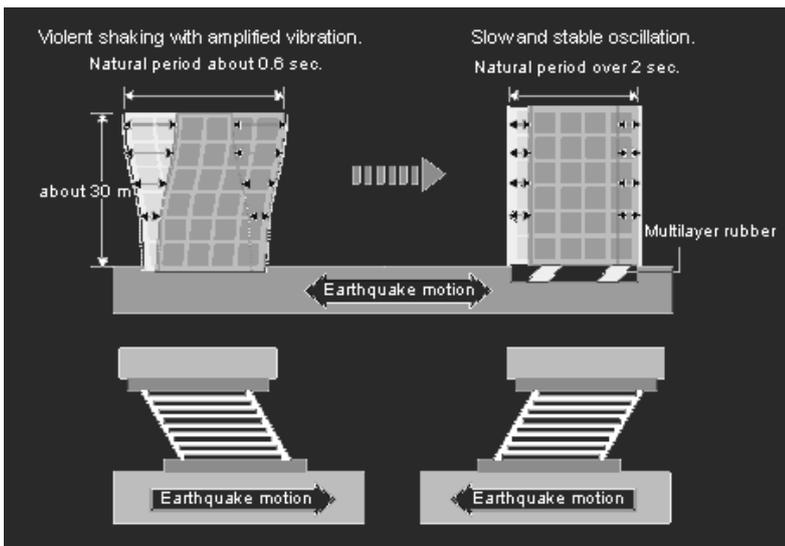


Figura 3

Questo lo si ottiene inserendo tra le fondazioni e la sovrastruttura dei particolari dispositivi detti *isolatori sismici* (Figura 3). Questa tecnica di protezione sismica è detta anche *base-isolation*. Nell'isolamento sismico dei ponti essi vengono interposti tra l'impalcato e la testa delle pile o delle spalle.

In caso di sollecitazione sismica l'inserimento degli isolatori consente, come detto, di incrementare il periodo proprio di vibrazione della struttura, allontanandolo dalla zona dello spettro di risposta con maggiori accelerazioni.

Questo crea un disaccoppiamento dinamico della costruzione rispetto al terreno (effetto "filtro"), così da ridurre la trasmissione alla sovrastruttura dell'energia fornita dall'azione sismica.

Per effetto di quest'ultima il sistema fondazione-isolatori-struttura è in grado di dissipare l'energia sismica del suolo: la dissipazione è concentrata quasi esclusivamente nei dispositivi di isolamento, i quali dissipano l'energia sismica trasmessa loro dalle fondazioni a spese di grandi deformazioni plastiche, mediante ampi cicli di isteresi. Ciò consente alla sovrastruttura, rimanendo pressoché immobile rispetto al moto del terreno, di avere una risposta praticamente in campo elastico. Questo modifica considerevolmente l'input sismico, in quanto riducendo le accelerazioni trasmesse al

fabbricato, innalzano considerevolmente la capacità di risposta della struttura nei confronti della resistenza ultima di collasso e dello stato limite di danno. Questo aspetto è di particolare importanza per tutti quegli edifici che devono rimanere operativi per la gestione dell'emergenza successiva al verificarsi di un terremoto violento, come ad esempio ospedali o caserme dei VV.FF..

A differenza di tutti gli altri sistemi, questi dispositivi permettono anche di proteggere, oltre alla struttura portante, anche le parti non strutturali e quanto in essa contenuto. Infatti per effetto dell'assenza quasi totale di deformazioni di interpiano (*drift*), questa tecnologia consente di evitare lesioni o danni a tamponature, tramezzi, impianti o ai beni contenuti all'interno di edifici, quali musei o biblioteche, centri di calcolo, ecc. Questo consente di minimizzare od eliminare del tutto i danni causati alle strutture da un sisma, mantenendo inalterata, anche dopo il verificarsi di un severo evento tellurico, l'attività che in esse viene svolta.

TIPOLOGIE DI ISOLATORI SISMICI

Come detto, gli isolatori sismici svolgono la funzione di limitare le accelerazioni trasmesse alla struttura mediante l'abbassamento del periodo di oscillazione, riducendo in tal modo le forze inerziali trasferite alla struttura stessa. Affinché questi dispositivi siano in grado di isolare una struttura mediante dissipazione di energia essi devono poter compiere grandi spostamenti. Per rispondere a tale richiesta essi devono possedere elevata rigidità in direzione verticale e bassa rigidità in quella orizzontale. Gli isolatori sismici si suddividono in tre categorie:

- *isolatori elastomerici;*
- *Isolatori elastoplastici;*
- *isolatori a scorrimento.*

Isolatori elastomerici

Gli isolatori elastomerici realizzano la dissipazione di energia a spese di grandi deformazioni plastiche, mediante ampi cicli di isteresi. Sono costituiti da strati di materiale elastomerico alternati a piastre di acciaio connessi tra loro mediante processo di vulcanizzazione. Questi dispositivi sono caratterizzati da ridotta rigidità orizzontale, in modo tale da garantire il disaccoppiamento del moto orizzontale della struttura da quello del terreno, ed elevata rigidità verticale e portata per i carichi verticali.

Isolatori elastoplastici

Gli isolatori elastoplastici sono costituiti da elementi che si mantengono in campo elastico in presenza di soli carichi verticali ed invece plasticizzano in presenza di azioni orizzontali superiori ad una soglia prefissata.

Isolatori a scorrimento

Sostanzialmente sono apparecchi di appoggio scorrevoli che sostengono i carichi verticali trasmessi dalla struttura, consentendo nel contempo gli spostamenti orizzontali. Normalmente gli isolatori a scorrimento sono sempre accoppiati a dispositivi ausiliari in modo tale da riunire in un unico dispositivo la duplice funzione di sostenere i carichi verticali e di dissipare l'energia sismica. I più frequentemente impiegati sono:

- *isolatori a scorrimento con dispositivi isteretici;*
- *isolatori a scorrimento con ammortizzatori viscosi.*

Mentre i primi sfruttano lo snervamento dei metalli per dissipare energia e limitare la massima forza trasmessa, i secondi raggiungono lo stesso obiettivo sfruttando la viscosità di opportuni fluidi.

ISOLATORI ELASTOMERICI



Figura 4a

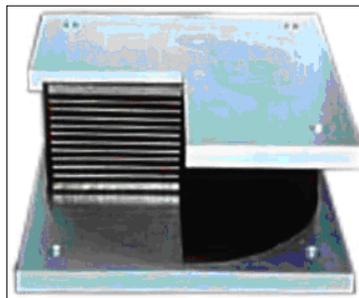


Figura 4b

Come detto, dal punto di vista tecnico gli isolatori svolgono la funzione di limitare le accelerazioni trasmesse alla struttura mediante l'innalzamento del periodo proprio di oscillazione, riducendo in tal modo le forze inerziali trasferite alla struttura stessa, grazie al comportamento fortemente isteretico del materiale elastomerico (gomma naturale, neoprene o materiali artificiali). Si tratta di dispositivi di appoggio in elastomero armato, costituiti cioè da strati alterni di acciaio ed elastomero (*isolatori elastomerici armati*) connessi mediante processi di vulcanizzazione (Figura 4a e Figura 4b), detti HDRB (*High Damping Rubber Bearing*).

Le Figure 5a e 5b mostrano degli isolatori elastomerici interposti tra le fondazioni e la sovrastruttura, mentre le Figure 6a e 6b mostra un tipico sistema di ancoraggio.



Figura 5a

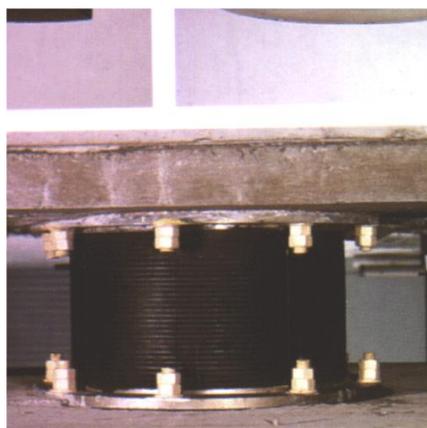


Figura 5b

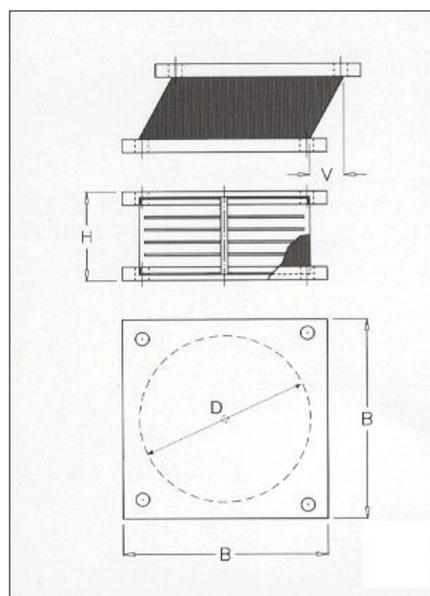


Figura 6a

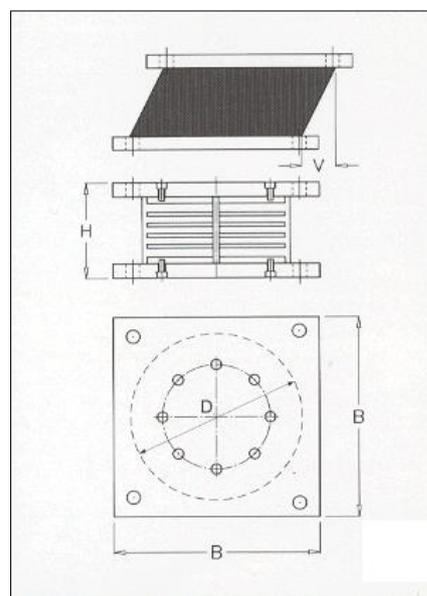


Figura 6b

Essi sono caratterizzati da ridotta rigidità orizzontale, affinché sia garantito il disaccoppiamento del moto orizzontale della struttura da quello del terreno, elevata rigidità verticale per sostenere i carichi verticali senza apprezzabili cedimenti e opportune capacità dissipative per ridurre lo spostamento orizzontale della struttura. Questo tipo di isolatori realizza, attraverso il comportamento pseudo-elastico che li caratterizza, un effettivo allungamento del periodo proprio ed un' apprezzabile dissipazione di energia. La tecnologia dell'isolamento alla base con isolatori elastomerici, collaudata positivamente dai recenti terremoti giapponesi e americani, garantisce all'edificio di poter resistere a terremoti distruttivi di intensità Mercalli 9-10 senza alcun danno né alle strutture né alle finiture, con un conseguente annullamento dei costi di riparazione a seguito di tali eventi e, cosa fondamentale, con probabilità di perdita di vite umane quasi nulla.

CARATTERISTICHE DEGLI ELASTOMERI

Gli strati in gomma manifestano una bassa rigidità nei confronti degli spostamenti orizzontali: perciò l'isolatore è paragonabile ad una trave fortemente deformabile a taglio, di rigidità:

$$(1) \quad K = \frac{GS}{t}$$

dove G è il modulo di taglio, S è la superficie di base e t è l'altezza complessiva degli strati di elastomero. Le caratteristiche geometriche degli isolatori e le proprietà meccaniche dell'elastomero sono i parametri progettuali fondamentali nella determinazione delle rigidità verticali e orizzontali. Il tipo di miscela elastomerica, caratterizzata

da costante di smorzamento viscoso equivalente ξ compreso tra 0,1 e 0,16 e il modulo di elasticità tangenziale G compreso tra 0,4 MPa e 1,4 MPa, determinano invece le capacità dissipative dell'elastomero.

Gli elastomeri che costituiscono gli isolatori sono composti da catene polimeriche fortemente allungabili a comportamento isteretico: esse sono collegate trasversalmente, fatto che consente il recupero pressoché completo delle deformazioni in un campo molto ampio. Le mescole elastomeriche ad alto smorzamento sono caratterizzate da una sensibile diminuzione del modulo di taglio all'aumentare della deformazione tagliante, in particolare per deformazioni al di sotto del 50%. Ciò consente di ottenere un elevato valore di rigidità orizzontale degli isolatori ed evitare quindi spostamenti eccessivi, a fronte di eccitazioni dinamiche di bassa intensità, come quelle dovute al vento. Anche il coefficiente di smorzamento viscoso equivalente varia in funzione della deformazione di taglio.

COMPORAMENTO A "FILTRO"

Quando un oscillatore è sollecitato da una forzante armonica di frequenza ω , a regime manifesta un moto oscillante caratterizzato dallo stesso periodo. In particolare se ω si avvicina alla frequenza naturale dell'oscillatore, questo va incontro a *risonanza*, e in assenza di smorzamento gli spostamenti crescono indefinitamente. Anche se la sollecitazione presenta un contenuto ricco in frequenza, nell'ipotesi di smorzamento sufficientemente basso l'azione di una banda ristretta di frequenze, centrata su quella di risonanza, predomina su tutti gli altri contributi. Per questo motivo si afferma che gli isolatori *funzionano da filtro*, rendendo apprezzabile solo l'effetto della componente della forzante di frequenza ω_B . Normalmente l'area del ciclo isteretico non varia con la frequenza della forzante, e dipende solo dal percorso deformativo.

Il raggiungimento di un grado di isolamento è molto difficoltoso se la flessibilità del manufatto è elevata, perché si rendono necessari isolatori di rigidità esigua, cioè di notevoli dimensioni. Inoltre la flessibilità aumenta l'importanza dei modi superiori, difficilmente controllabili. Queste osservazioni rendono poco efficace l'utilizzo dell'isolamento sismico su strutture alte e snelle.

MODELLI COSTITUTIVI PER GLI ISOLATORI

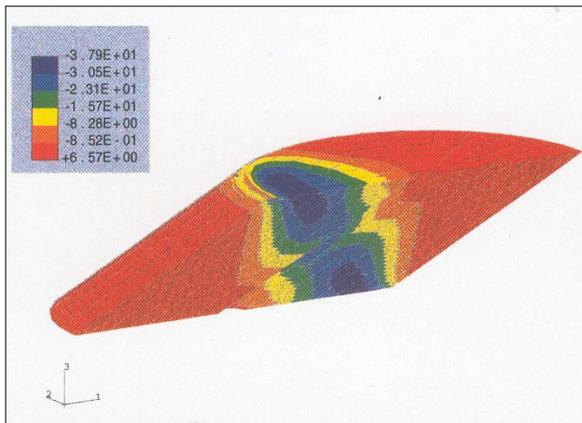


Figura 7

Per la progettazione strutturale degli isolatori sismici elastomerici si utilizzano modelli 3D agli elementi finiti. La Figura 7 mostra un modello FEM di isolatore elastomerico sottoposto a carichi di compressione e taglio.

Il comportamento degli isolatori elastomerici evidenzia, in termini di curve forza-spostamento, caratteristici cicli isteretici, come quelli mostrati in Figura 8a e Figura 8b.

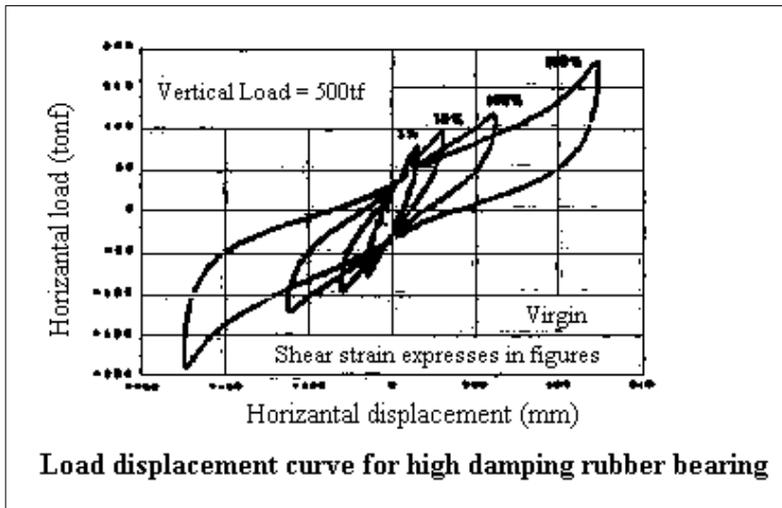


Figura 8a

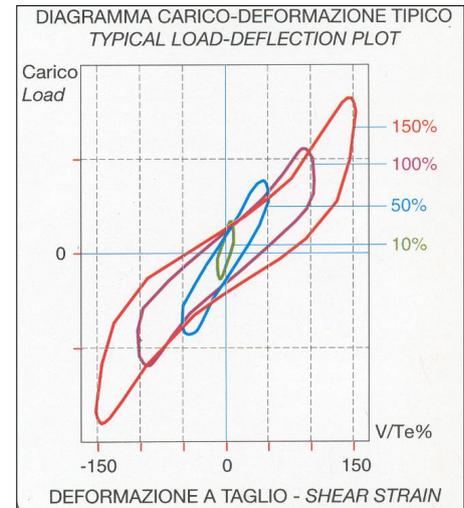


Figura 8b

Modelli costitutivi semplificati

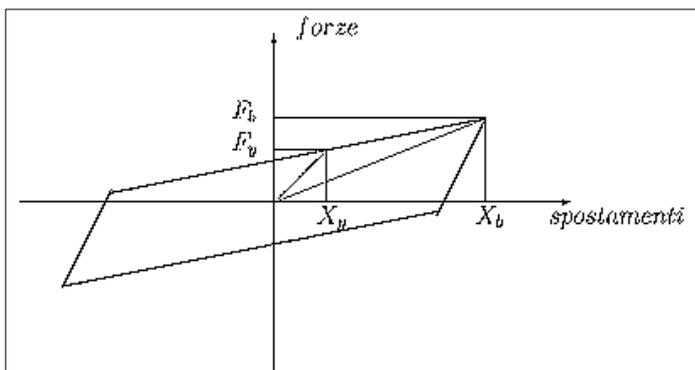


Figura 9

Per poter modellare analiticamente il comportamento in esercizio degli isolatori si ricorre normalmente a diagrammi forza-spostamento semplificati, normalmente di tipo bilineare (Figura 9).

I cicli forza-spostamento degli isolatori riproducono il comportamento bilineare degli elastomeri e sono perfettamente noti quando lo siano il carico di snervamento ed il corrispondente spostamento, nonché i valori limite di forza e spostamento.

Di norma lo spostamento limite corrisponde ad uno scorrimento vicino al 200%, oltre il quale il materiale subisce un brusco incrudimento. Potrebbe sembrare un fattore positivo l'aumento di rigidità in condizioni limite, perché conterrebbe ulteriori incrementi di deformazione. In realtà questo comporta un aggravio delle sollecitazioni sulla sovrastruttura, a causa dell'aumento di importanza dei modi superiori. Per questo motivo il tratto incrudente non viene preso in considerazione nella progettazione. Quella bilineare è una modellazione che rispecchia in modo coerente il comportamento degli isolatori, ma per questo richiede per l'analisi strutturale l'adozione di tecniche di integrazione al passo.

STRUTTURE DOTATE DI ISOLAMENTO ALLA BASE

In riferimento al modello semplificato della Figura 9 si può adottare una rigidità equivalente K_B data da:

$$(2) \quad K_B = \frac{F_B}{X_B}$$

a cui corrisponde una frequenza equivalente:

$$(3) \quad \omega_B = \sqrt{\frac{K_B}{M}}$$

essendo M è la massa che grava sull'isolatore. In corrispondenza di tale frequenza la massa M oscilla con un periodo T pari a:

$$(4) \quad T = \frac{2\pi}{\omega_B}$$

ovvero anche:

$$(5) \quad T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{M}{K_B}}$$

Se la deformabilità degli isolatori è sufficientemente elevata rispetto a quella della sovrastruttura (e questo lo si può ritenere soddisfatto quando il periodo della struttura isolata è maggiore di almeno due volte del periodo della struttura non isolata), con buona approssimazione il sistema si comporta come una massa rigida vincolata elasticamente agli isolatori, riducendo così l'analisi al moto di un oscillatore semplice di rigidezza K_B e massa M . La relazione (5) esprime analiticamente il disaccoppiamento del moto della struttura da quello del terreno, così da ridurre la trasmissione, alla sovrastruttura, dell'energia cinetica fornita dall'azione sismica. La struttura, dunque, per effetto dell'azione sismica oscilla quasi come un corpo rigido, mentre i dispositivi di isolamento dissipano energia deformandosi.