

DISSIPAZIONE DI ENERGIA: CAPACITY DESIGN E ISOLAMENTO SISMICO DELLE STRUTTURE

Marco BOZZA *

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

INTRODUZIONE

Le costruzioni soggette a sisma (edifici ed opere di ingegneria civile, ma anche impianti e strutture speciali) devono essere progettate in modo tale da soddisfare tre obiettivi fondamentali in caso di evento tellurico:

- 1) *la salvaguardia delle vite umane;*
- 2) *il contenimento dei danni alle strutture;*
- 3) *il mantenimento della funzionalità delle strutture essenziali per la Protezione Civile.*

Per ottenere questi obiettivi è necessario conseguire un livello di protezione adeguata (nel senso precisato dalla normativa) nei confronti di due condizioni limite: uno *Stato Limite Ultimo* (SLU) e uno *Stato Limite di Danno* (SLD). Lo scopo è quello di soddisfare, con un opportuno margine di sicurezza, i seguenti due requisiti:

- A - *requisito di non collasso strutturale;*
- B - *requisito di limitazione del danno.*

Naturalmente il verificarsi del requisito B implica automaticamente anche quello A. La protezione sismica delle costruzioni viene affrontata, in generale, adottando criteri progettuali (strategie) che prevedono l'uso di metodologie costruttive e dispositivi antisismici (controllo strutturale) in grado di assorbire le sollecitazioni indotte dal terremoto mediante dissipazione di energia.

Si descrivono di seguito due strategie per soddisfare i requisiti sopra citati:

strategia del Capacity Design: *il requisito A viene soddisfatto richiedendo che la dissipazione di energia sia affidata interamente agli elementi strutturali, in modo che la struttura entri in campo plastico.*

strategia dell'isolamento sismico: *il requisito B viene soddisfatto richiedendo che la dissipazione di energia sia affidata interamente ai dispositivi antisismici (isolatori), in modo che la struttura rimanga in campo elastico.*

STRATEGIA DEL CAPACITY DESIGN

Con questa metodologia si progettano gli elementi strutturali in modo da incrementare la duttilità globale della struttura. La duttilità di un materiale è una proprietà fisica che indica la sua capacità di deformarsi sotto carico esibendo deformazioni plastiche prima di giungere a rottura: un materiale è dunque tanto più duttile quanto maggiore è la deformazione plastica raggiunta prima della rottura. L'obiettivo delle prescrizioni della normativa è quello di realizzare strutture sismo-resistenti in modo tale che esse possiedano sufficienti riserve di resistenza, anche oltre il limite elastico, adottando una progettazione finalizzata ad ottenere un preciso meccanismo di plasticizzazione (*Capacity Design* o *gerarchia delle resistenze*).

A tale scopo gli elementi strutturali devono poter garantire sufficienti livelli di capacità di deformazione plastica, al fine di poter dissipare, attraverso la formazione di meccanismi, l'energia sismica tramite la duttilità delle loro sezioni, per evitare la formazione di meccanismi di rottura fragili o non desiderati. L'energia dissipata è tanto maggiore quanto più la struttura entra in campo post-elastico, con la formazione di meccanismi in grado di subire elevate deformazioni permanenti, localizzate in zone critiche (*cerniere plastiche*) della struttura stessa. La capacità dei sistemi strutturali di sopportare le azioni sismiche in campo non lineare permette, in generale, di progettargli per forze sollecitanti minori di quelle che si dovrebbero considerare nel caso si ipotizzasse una risposta puramente elastica.

Per evitare di dover compiere analisi non lineari in fase di progetto, la capacità di dissipazione di energia di una struttura, essenzialmente mediante il comportamento duttile dei suoi elementi e/o altri meccanismi, è tenuta in conto svolgendo un'analisi lineare basata su uno spettro di risposta ridotto, detto *spettro di progetto*. Questa riduzione è ottenuta introducendo il *fattore di struttura* q . Esso rappresenta un'approssimazione del rapporto tra le forze sismiche che la struttura dovrebbe sopportare se la sua risposta fosse puramente elastica (con uno smorzamento viscoso del 5%) e le più piccole forze sismiche che potrebbero essere utilizzate in sede di progetto con un modello lineare convenzionale che ancora garantisce una risposta soddisfacente da parte della struttura.

STRATEGIA DELL'ISOLAMENTO SISMICO

L'isolamento sismico consiste nell'inserimento tra la struttura e le sue fondazioni di opportuni dispositivi in grado di aumentare il periodo proprio di vibrazione della struttura sovrastante al fine di allontanarlo dalla zona dello spettro di risposta con maggiori accelerazioni del suolo.

Questi dispositivi, detti *isolatori*, realizzano una discontinuità nello sviluppo verticale della costruzione, e, fungendo da "filtro" rispetto alle tipiche frequenze sismiche, disaccoppiano il moto della sovrastruttura da quello del terreno, inducendo nella stessa minori sollecitazioni dovute all'azione sismica. Tipicamente gli isolatori sono dispositivi costituiti da strati di elastomero alternati a lamine di acciaio solidarizzati mediante vulcanizzazione, che conferiscono loro una bassa rigidità nei confronti dagli spostamenti orizzontali e nello stesso tempo una deformabilità trascurabile in direzione verticale.

Queste particolari proprietà meccaniche rendono il sistema fondazione-isolatori-struttura 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 di rimanere pressoché immobile rispetto al moto del terreno (funzionando praticamente in campo elastico), ottenendo di conseguenza una fortissima riduzione dei danni nelle finiture ed assenza di lesioni agli elementi strutturali. Il sistema di isolamento appena descritto costituisce una tecnica di protezione sismica di tipo passivo, detta anche *isolamento alla base*, ovvero *base isolation*.

VANTAGGI DELL'ISOLAMENTO SISMICO

I vantaggi offerti dall'isolamento sismico possono essere ricondotti essenzialmente a quelli di natura strutturale ed economica.

Vantaggi strutturali

Come detto, l'isolamento sismico di un edificio comporta una sensibile riduzione delle accelerazioni trasmesse dal sisma alla struttura, anche ai piani più alti. In conseguenza di questo si hanno i seguenti principali benefici effetti, rispetto ad un analogo edificio non dotato di isolamento alla base:

- *minori forze sulla struttura che evitano, non solo il collasso dell'edificio, ma anche il danneggiamento degli elementi strutturali;*
- *minori accelerazioni di piano che consentono di evitare i danni a quanto è contenuto nell'edificio, e quindi di mantenere la funzionalità anche dopo un terremoto violento;*
- *riduzione degli spostamenti d'interpiano che consentono di evitare i danni, non solo agli elementi strutturali, ma anche agli elementi non strutturali (come le tamponature) e agli impianti tecnici (ascensori, impianti elettrici, impianti idraulici, impianti di riscaldamento, ecc) (danni che possono rendere inutilizzabile un edificio realizzato in modo tradizionale);*
- *minore percezione umana delle scosse sismiche, grazie all'effetto "filtro" degli isolatori.*

La peculiarità più importante dell'isolamento alla base degli edifici è dunque la possibilità di eliminare completamente, o quantomeno ridurre significativamente, i danni strutturali e non. Questo aspetto ha una ripercussione importantissima nei seguenti casi:

- *edifici che devono rimanere operativi anche dopo un sisma violento (ospedali, caserme dei VVFF, ecc);*
- *edifici il cui contenuto ha un valore (economico, artistico, culturale, ecc) molto superiore a quello degli edifici stessi (banche, musei, centri per le telecomunicazioni, biblioteche, ecc).*

Vantaggi economici

Il confronto economico tra edifici con e senza isolamento sismico viene fatto solitamente valutando il costo aggiuntivo del sistema di isolamento (comprensivo degli isolatori veri e propri, della realizzazione delle opere strutturali aggiuntive e del giunto sismico intorno all'edificio per consentirne gli spostamenti orizzontali), senza considerare i possibili risparmi sulla struttura. Ipotizzando un livello di rischio corrispondente agli obiettivi b) e c) elencati all'inizio, tale costo aggiuntivo è solitamente il 5-10% del costo totale. È importante sottolineare che in alcuni casi l'uso dell'isolamento alla base, nonostante i costi aggiuntivi del sistema di isolamento, può consentire un risparmio dello stesso ordine di grandezza (5-10%), per esempio in quanto permette di utilizzare fondazioni dirette anziché su pali.

Osservazione

Dai vantaggi strutturali sopra elencati è utile fare un'altra considerazione: come già ricordato, lo scopo della progettazione sismica è quello di soddisfare gli obiettivi fondamentali 1), 2), 3). Si fa notare che per soddisfare i requisiti 2) e 3), una costruzione non dotata di isolamento sismico dovrebbe essere progettata in modo tale che, qualora sia soggetta ad un sisma violento, la sua risposta rimanga comunque in campo elastico (condizione per l'assenza di deformazioni e danni permanenti). Ne segue che essa costituirebbe una soluzione antieconomica rispetto al medesimo edificio dotato di isolamento alla base, poiché dovrebbe essere molto rigida, comportando questo un costo di costruzione certamente più elevato.

Si consideri poi che, a fronte di un costo di costruzione iniziale certo ed elevato (riferito alla struttura non isolata), potrebbe non corrispondere un effettivo “utilizzo” della struttura così realizzata, potendosi non verificare durante la vita di esercizio della stessa il sisma per il quale era stata progettata.

ISOLAMENTO SISMICO E PROGETTAZIONE ARCHITETTONICA

L'utilizzo dell'isolamento sismico si fonda quindi su una concezione nuova del progetto strutturale e richiede pertanto una revisione ed un aggiornamento di alcune abitudini progettuali. Questo è dovuto al fatto che, come detto, la risposta sismica delle strutture isolate è completamente diversa da quelle non isolate, e coinvolge problematiche teorico-costruttive nuove e del tutto differenti.

È necessario comunque precisare che, attualmente in Italia, non in tutti gli ambiti delle costruzioni civili questa innovazione nei metodi e nelle tecniche progettuali comporta lo stesso livello di “novità”. Infatti, a differenza di quanto è avvenuto nella costruzione dei ponti (soprattutto autostradali), nei quali l'isolamento sismico è largamente impiegato da oltre 20 anni, l'isolamento alla base di edifici ad uso residenziali o commerciale ha riguardato un numero piuttosto limitato di realizzazioni.

In quest'ambito il progetto architettonico costituisce un aspetto critico della progettazione antisismica mediante isolamento alla base, coinvolgendo le implicazioni che derivano dal processo secondo il quale, nella pratica corrente, si sviluppa il progetto delle costruzioni in zona sismica. L'obiettivo fondamentale che si cerca di raggiungere è quello di armonizzazione le morfologie architettoniche, e le conseguenti configurazioni strutturali, con le prestazioni specifiche dei sistemi di isolamento. In altri termini, l'importanza della risposta sismica della costruzione isolata è legata alla propria configurazione strutturale, la quale è fortemente condizionata dalla morfologia architettonica. L'armonizzazione della configurazione architettonica e strutturale, con i requisiti dell'isolamento sismico, costituisce una priorità fondamentale affinché questa tecnica di protezione sismica possa assicurare le sue prestazioni nel modo più efficace. Questa necessità scaturisce dall'osservazione che fra le cause dei danni strutturali prodotti dai terremoti, spesso viene individuata la configurazione del sistema resistente. Quest'ultima, infatti, rappresenta il principale fattore che condiziona le modalità di risposta delle costruzioni.

A questo proposito c'è comunque da sottolineare un aspetto positivo della strutture isolate, che ne incoraggia l'utilizzo: l'isolamento alla base è capace di ridurre l'importanza degli effetti negativi di molte irregolarità strutturali, consentendo ai progettisti maggiori scelte compositive. In particolare, la predominanza del primo modo di vibrare consente di ridurre, o di eliminare completamente, le deformazioni torsionali alla base delle strutture in elevazione. Questa particolare peculiarità riduce in maniera consistente le sollecitazioni massime nei pilastri degli edifici in cui siano presenti distribuzioni eccentriche delle rigidità.

È importante aggiungere che una progettazione sviluppata su questi criteri costituisce anche il principale fattore che, come già evidenziato, consente di ridurre i costi di realizzazione. Infatti, l'isolamento può raggiungere le massime prestazioni soltanto quando le esigenze dell'isolamento stesso siano tenute in conto fin dalle prime fasi progettuali. Contrariamente, se il progetto architettonico viene elaborato senza considerare un futuro impiego di uno specifico sistema di protezione sismica, la successiva decisione di inserire l'isolamento può creare difficoltà non facilmente superabili. Le soluzioni da adottare possono dar luogo ad arrangiamenti che richiedono maggiori costi, con l'eventualità di non poter sfruttare in pieno le potenzialità del sistema di protezione scelto.

È quindi fondamentale analizzare la relazione tra morfologia architettonica, configurazione strutturale e comportamento dinamico degli edifici dotati di dispositivi antisismici, in particolare, l'utilizzo di sistemi innovativi di protezione sismica, come l'isolamento alla base e i dispositivi di dissipazione di energia. L'obiettivo è quello di definire i criteri per una corretta concezione architettonica del progetto e per l'individuazione di forme anche complesse, per ottenere un adeguato comportamento sismico. L'idea di base è che alcune caratteristiche essenziali, come irregolarità volumetrica, materiali non omogenei, mancanza di simmetria, allineamento, forma recidivante, di solito non sufficientemente valutate, al contrario devono essere opportunamente considerate per ottenere importanti effetti di smorzamento e di dissipazione di energia.

Queste considerazioni, accennate in questa breve introduzione, indicano che i grandi vantaggi (strutturali ed economici) legati all'impiego dell'isolamento alla base, potranno essere tali solamente, se fin dall'inizio della progettazione, l'edificio viene concepito nella sua globalità, armonizzando necessità strutturali ed esigenze architettonico-compositive.