

## L'Approfondimento

La Redazione ■

La rubrica che inauguriamo da questo numero è una sorta di filo conduttore tra il presente ed il recente passato, poiché conterrà approfondimenti e spunti legati agli articoli pubblicati dal 2009 ad oggi. I contenuti verranno alimentati dalle domande dei Lettori e dalla disponibilità degli Autori, che ringraziamo fin d'ora, a dare ulteriori informazioni specifiche sui propri lavori. Il numero di pagine è limitato, per cui sarà necessario riorganizzare e sintetizzare il materiale che giungerà in redazione. In ogni caso, chiunque volesse proporre riflessioni e spunti più articolati delle semplici richieste di chiarimenti, potrà trovare spazio nell'apposita rubrica "Qui Lettori" inaugurata qualche anno fa.

In questo numero l'attenzione è focalizzata su di un metodo che suscita grande interesse nell'ambito del consolidamento sismico, quale l'utilizzo di elementi controventanti dissipativi. Questa tecnica è applicabile sia alle costruzioni esistenti, sia a quelle di nuova progettazione e presenta indubbi vantaggi legati al fatto che può essere in genere impiegata indipendentemente dalle caratteristiche dinamiche della forzante esterna e che trova applicazione anche nel caso di strutture flessibili e terreni soffici, dove, per esempio, la tecnica dell'isolamento sarebbe inefficace.

Una domanda, piuttosto articolata, giunta in redazione riguarda la richiesta di chiarimenti a proposito dello smorzamento da considerare nella determinazione della domanda sismica in caso di **Analisi Statica Non Lineare** relativamente all'articolo "Aspetti di analisi e progettazione di controventi dissipativi per l'adeguamento sismico di strutture esistenti in calcestruzzo armato", pubblicato sul n. 2-2012 di PS. La riportiamo di seguito sintetizzata come rappresentativa di tutte le altre richieste, molto più brevi, pervenute in redazione e riguardanti questo argomento.

"[...] a pag. 88 si richiama la procedura di Analisi Statica Non Lineare per la determinazione della domanda sismica mediante spettro elastico, da confrontare con la capacità dell'oscillatore a un grado di libertà nell'ambito del metodo N2. Nel caso di presenza di sistemi di dissipazione aggiuntivi, si riporta che la domanda sismica letta nel piano ADRS viene determinata su uno spettro di risposta che va modificato da un coefficiente di smorzamento viscoso equivalente totale che tiene conto della

quota  $\xi_{intr} = 5\%$  della struttura e degli altri contributi dovuti allo smorzamento viscoso aggiuntivo introdotto dai sistemi dissipativi stessi. Si precisa inoltre che la quota di smorzamento viscoso aggiuntivo tiene conto della presenza dei soli dissipatori fluido-viscosi e viene posta pari a zero nel caso di sistemi costituiti da dissipatori isteretici o ad attrito. Gli effetti della presenza di sistemi di dissipazione aggiuntiva sono poi messi in evidenza nel grafico di Figura 12, dove si riporta lo spettro di domanda elastico al 5% e quello modificato a causa del superiore valore dello smorzamento effettivo ( $\xi_{intr} + \xi_{vis}$  dissipatori).

Da quanto sopra riportato emerge chiaramente che nel caso di presenza di dissipatori isteretici ciò non comporta modifiche sullo spettro elastico su cui va a determinarsi la domanda di spostamento con procedura N2, mentre nel caso di presenza di dissipatori fluido viscosi questa comporta una modifica dello spettro a causa del contributo di  $\xi_{vis}$ .

La Figura 12 richiama analogo rappresentazione che si ritrova anche nella Figure C13A-2 (Effective Damping Reduction of Design Demand) delle raccomandazioni FEMA 369, nella quale sono indicati, per le due procedure con rigidità secante (analisi lineare) e rigidità tangente (analisi non lineare), gli effetti dei diversi contributi di dissipazione presenti e da tenere in conto nella modifica dello spettro di domanda.

Leggendo però attentamente l'articolo ("Quest'ultimo approccio va opportunamente modificato per l'analisi delle prestazioni sismiche delle strutture con controventi metallici isteretici (vedi Ramirez et al 2002)") sembrerebbe che, anche con la presenza dei soli dissipatori metallici isteretici, si debbano apportare modifiche allo spettro. [...] Seguendo l'articolo, ad un certo punto si richiama la formula dello smorzamento viscoso equivalente totale e, nel caso specifico (soli dissipatori isteretici), si ha che lo smorzamento equivalente complessivo è:  $\xi_{tot} = \xi_{int} + \xi_{ist}$ . [...], la qual cosa sembra lasciare intendere che nella progettazione di sistemi dissipativi isteretici con Analisi Statica Non Lineare, la domanda di spostamento debba essere ricercata sullo spettro elastico ottenuto con smorzamento equivalente totale modificato anche dallo smorzamento introdotto dai dissipatori isteretici. La lettura di "Elastic and Inelastic Seismic

*Response of Buildings with Damping System” di M. Ramirez (2002) a cui si fa richiamo nell’articolo, in effetti conduce ad una validazione delle procedure previste in FEMA 369 per l’impiego delle strutture dotate di Damping Systems. Nel caso di Analisi Non Lineari, le raccomandazioni FEMA 369 definiscono la modifica dello spettro di riferimento con Added Viscous e Inherent Damping ( $\xi_{tot} = \xi_{int} + \xi_{vis}$ ) (intercettato dalla Rigidezza Tangente, ndr), si veda Figure C13A-2, mentre nel caso della applicazione del Linear Analysis Methods lo spettro risulta modificato dai tre contributi ( $\xi_{tot} = \xi_{int} + \xi_{ist} + \xi_{vis}$ ) e risulta intercettato dalla Rigidezza Secante.*

*Come precisato in FEMA 369, nel caso di procedura di Analisi Lineare le proprietà non-lineari della struttura sono considerate attraverso la Damping reduction, tenendo in conto l’Effective damping (inherent + added viscous + hysteretic) [...]. Nel caso di procedura di Analisi Non Lineare, le proprietà non lineari della struttura (comprese quelle dei controventi isteretici) sono incluse nella esplicita modellazione e su tale modello si costruisce la curva di capacità del sistema adeguato, che pertanto misura già la dissipazione energetica del sistema dissipativo integrativo. [...].*

*A parere dello scrivente, misurare con l’Analisi Non Lineare la domanda di spostamento sullo spettro modificato dallo smorzamento isteretico introdotto dal sistema dei controventi dissipativi costituisce un raddoppio della valutazione dell’energia dissipata dal sistema, dato che i controventi dissipativi stessi hanno già concorso alla costruzione della curva di capacità.*

Ed ecco di seguito la risposta, con cui crediamo di dissipare i dubbi sollevati dal lungo quesito proposto.

“La domanda è relativa all’uso dell’espressione dello smorzamento equivalente nel caso di a) analisi elastica e b) analisi inelastica. L’osservazione/domanda è che quando si usa un’analisi inelastica (statica) nell’espressione dello smorzamento viscoso equivalente (da utilizzare per la riduzione nel piano ADRS dello spettro accelerazione-spostamento) occorrerebbe non tener conto dello smorzamento isteretico. La risposta non è ovvia! Essa dipende anche dal modello usato per i controventi (elastico, elastico equivalente o inelastico) per le analisi statiche non lineari. Se si usa un modello inelastico dei controventi e si esegue un’analisi statica non lineare, nella valutazione dell’espressione dello smorzamento viscoso equivalente da usare per lo spettro accelerazione-spostamento nel piano ADRS non occorre, a rigore, tener conto del contributo dello smorzamento isteretico. Se si adotta questa impostazione, cioè non si consi-

dera nessuna riduzione dello spettro, si effettua un calcolo a vantaggio di sicurezza, in quanto si impone alla struttura una domanda maggiore. Più in dettaglio, nei casi in cui si usa un elemento (controvento) dissipativo in un’analisi strutturale è necessario tener conto del contributo dell’isteresi nella valutazione della risposta del sistema strutturale.

Se si eseguisse un’analisi dinamica non lineare al passo (con uso di accelerogrammi) è necessario e sufficiente definire solo un modello non lineare (in genere elasto-plastico) per gli elementi dissipativi (ovviamente per le altre membrature –travi, pilastri, etc.- dipende dal tipo di comportamento: elastico o inelastico). La domanda essendo costituita da accelerogrammi non deve essere in alcun modo “modificata”.

Nel caso di analisi dinamiche modali con spettro (elastiche) e/o inelastiche statiche si pone il problema della valutazione della domanda da applicare su un sistema che contiene i controventi dissipativi.

Nel caso richiesto di approfondire, ovvero quello di analisi statica non lineare, è necessario considerare che tipo di modello viene usato nella discretizzazione della struttura per i controventi dissipativi. Questa ultima affermazione deriva dal fatto che a rigore domanda e capacità sono correlati. Un sistema che dissipa (sistema con controventi) è soggetto anche ad una domanda minore. In un’analisi statica non lineare, se i controventi si plasticizzano si deve quindi anche tener conto di uno smorzamento viscoso equivalente da usare nella definizione di spettri di accelerazioni e spostamenti che risulti maggiore del 5%.

Ora, se si usa: a) spettro con smorzamento al 5%, b) modello non lineare dei controventi, c) analisi statica non lineare, risulta che l’analisi/calcolo è a vantaggio di sicurezza, in quanto si sta imponendo di fatto una domanda (al 5%) maggiore sulla struttura. Quest’ultima, infatti, dissipando aumenta la sua isteresi e quindi, questo incide sul valore dello smorzamento viscoso equivalente dello spettro di domanda (aumentandolo).

Questo è quello che deriva da un ragionamento della risposta inelastica (statica) del sistema.

Ovviamente le norme nazionali ed internazionali non sempre tengono, a vantaggio di sicurezza, conto delle precedenti considerazioni.”

Rileviamo, quindi, che nei precedenti articoli si è sempre sostenuto di applicare il metodo dell’analisi statica non lineare lavorando a vantaggio di sicurezza, come imposto dai codici, che non riportano esplicitamente considerazioni teoriche più approfondite, ma in via più semplificata e diretta, impongono quanto suggerito dai Lettori che hanno posto i quesiti e che ringraziamo.