

## Miglioramento della risposta al sisma con controventi dissipativi

A cura di Franco Braga, Francesca Buttarazzi, Andrea Dall'Asta, Walter Salvatore –  
Pubblicazione di Fondazione Promozione Acciaio

### 1 GENERALITÀ

Il principio base su cui si fonda l'ingegneria antisismica è quello di realizzare opere che, a seguito di un evento sismico di elevata intensità, garantiscano la salvaguardia delle vite umane, pur sacrificando l'indennità strutturale degli organismi edilizi. La filosofia di progettazione che si è affermata in tutti i paesi ad elevata sismicità è quella che accetta l'entrata in campo plastico della struttura legando l'entità delle azioni di natura sismica su di essa agenti alla propria capacità di deformarsi senza collassare, ossia alla sua duttilità.

Tuttavia, l'incertezza sull'effettiva formazione delle zone plastiche e sul grado di influenza che su di essa hanno gli elementi "non strutturali", insieme al fatto che al concetto di duttilità è immediatamente associabile quello di deterioramento, talvolta irreversibile, degli elementi strutturali con conseguenti elevati costi associati alla riabilitazione o alla demolizione e ricostruzione dell'edificio, hanno spinto verso la ricerca di strategie non convenzionali di protezione sismica che, negli ultimi decenni, hanno fatto registrare straordinari avanzamenti.

Ancora più complessa è la scelta degli interventi da mettere in atto su un edificio esistente per ottenere un livello di protezione sismica confrontabile con quello degli edifici di nuova costruzione. In questi casi, infatti, è inevitabile confrontarsi anche con le caratteristiche specifiche della singola costruzione e con la "pratica progettuale" dell'epoca di edificazione.

Gli interventi di adeguamento sismico che prevedono l'utilizzo di tecniche di protezione innovative (controventi dissipativi o isolamento sismico alla base) possono far conseguire elevati livelli prestazionali, in caso di terremoto, ad un costo ragionevole.

L'insieme dei diversi approcci innovativi presenta l'intento comune di regolare in modo intelligente la risposta dinamica di un sistema al fine di ridurre le vibrazioni indotte da azioni di tipo dinamico, quali appunto il sisma.

A differenza di quanto avviene adottando criteri di progettazione tradizionali (progettazione in capacità), basati sull'implicita accettazione dello sviluppo di deformazioni anelastiche nella struttura, l'obiettivo progettuale è la riduzione, o addirittura l'eliminazione, del danno strutturale, facendo in modo che la struttura non attinga alle proprie risorse di duttilità e limitando le sue escursioni in campo plastico, anche in occasione di terremoti di notevole intensità. Tali obiettivi sono ottenuti in modo completamente diverso con i due approcci. Dal confronto in termini di rigidezza del primo modo di vibrare di una struttura adeguata sismicamente con controventi elastici e con isolamento alla base è possibile notare che l'effetto ottenuto in un caso è un irrigidimento della struttura, nell'altro un aumento di flessibilità (v. Figura 1).

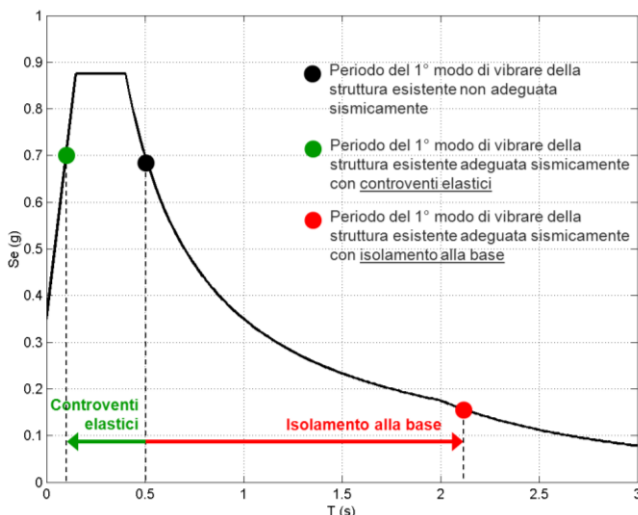


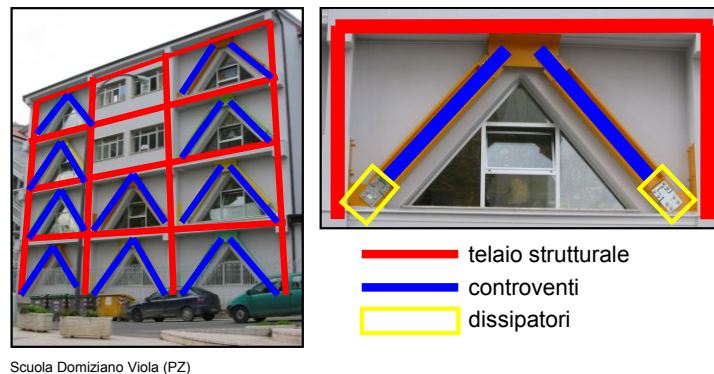
Figura 1 - Confronto in termini di effetti sulla variazione di rigidezza del primo modo di vibrare della struttura tra controventi elastici ed isolamento alla base. (Spettro di risposta elastico per la componente orizzontale dell'accelerazione sismica – Zona sismica I – Suolo A – Smorzamento convenzionale del 5% - NTC08).

Ciò determina da una parte una riduzione degli spostamenti subiti dai nodi della struttura, dall'altra una significativa riduzione delle forze sperimentate dalla struttura le cui caratteristiche dinamiche si spostano nella zona dello spettro a contenuto energetico inferiore, a fronte di un incremento degli spostamenti totali.

Per poter ottenere anche con l'intervento di

controventamento una riduzione della risposta in termini di forze, e non solo in termini di spostamenti, è possibile introdurre in corrispondenza dei controventi opportuni dispositivi di dissipazione energetica (v. Figura 2). L'energia sismica in eccesso rispetto a quella che la struttura è in grado di sopportare viene assorbita da elementi più rigidi della struttura, i controventi, e da questi si indirizza su dispositivi ausiliari di dissipazione energetica, i quali, sfruttando le proprietà dissipative del loro legame costitutivo, contribuiscono a ridurre l'entità delle forze sismiche agenti complessivamente sulla struttura protetta.

L'effetto ottenuto è chiaramente visibile dal confronto degli spettri di risposta in accelerazione che tengono conto della variazione in termini di periodo e di smorzamento della struttura (v. Figura 3), confronto ottenuto considerando che i dispositivi, con le loro caratteristiche di rigidità e smorzamento, influenzano entrambe le caratteristiche meccaniche globali della struttura.



Scuola Domiziano Viola (PZ)

Figura 2 Adeguamento sismico tramite controventi dissipativi della scuola Domiziano Viola – Potenza

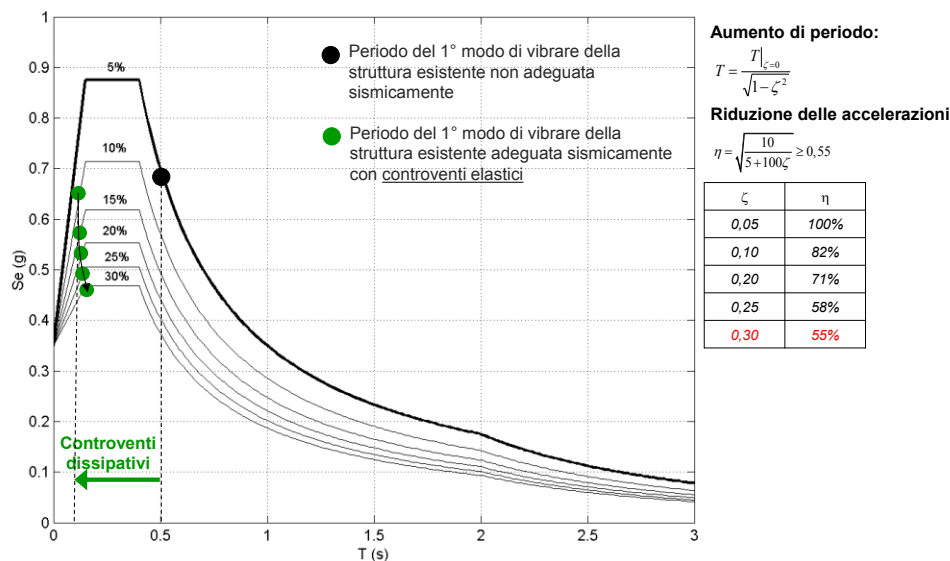


Figura 3 Effetto dello smorzamento aggiuntivo ottenuto tramite l'inserimento di controventi dissipativi (Spettro di risposta elastico per la componente orizzontale dell'accelerazione sismica – Zona sismica 1 – Suolo A – Smorzamento convenzionale variabile tra il 5% ed il 30% - DM 14/01/2008).

L'incremento dei costi legato all'inserimento di controventi e dispositivi di dissipazione è ampiamente compensato dai vantaggi conseguibili con un'attenta progettazione, quali, ad esempio:

- il maggior livello di protezione sismica della struttura intelaiata a parità di resistenza/rigidità;
- la limitazione degli interventi ai soli telai interessati dall'introduzione dei dispositivi;
- la riduzione di interventi in fondazione (da localizzare, ad esempio, solo in corrispondenza dei controventi stessi);
- la possibile riduzione degli eventuali interventi di riparazione ed il mantenimento della funzionalità e operatività delle costruzioni, anche a seguito di terremoti violenti.

La protezione passiva mediante controventi dissipativi è quindi una tecnica che ben si adatta all'adeguamento sismico di strutture esistenti, vista l'efficacia che offre nel ridurre il danno strutturale sia attraverso l'aumento della rigidità laterale del telaio portante sia con l'aumento del livello globale di dissipazione energetica della struttura. Tuttavia, la progettazione di un tale intervento non è di immediata implementazione: affinché il telaio abbia una risposta sismica ottimale occorre determinare l'esatto valore della rigidità e della capacità dissipativa che il sistema di protezione deve offrire per evitare comportamenti strutturali non desiderati ascrivibili ad eccessiva rigidità dei controventi o alla mancata attivazione dei dissipatori. Tutto ciò dovrebbe inoltre soddisfare i criteri di minimo costo.

Da quanto fin qui esposto, è evidente che tale problema progettuale possa essere affrontato come un problema di ottimizzazione.

Di seguito, dopo una breve sintesi delle procedure di progettazione presenti in letteratura, si descrive la procedura di ottimizzazione di progettazione di controventi dissipativi su base multi-prestazionale sviluppata negli ultimi anni dal gruppo di ricerca del prof. Braga sia in ambito di tesi di dottorato (G. Lomiento [2005], N. Bonessio [2010]) che di tesi di laurea (G. Conti [2012]).

## 2. STATO DELL'ARTE DELLE PROCEDURE DI PROGETTAZIONE

Il problema progettuale di un intervento di adeguamento sismico mediante controventi dissipativi può essere ricondotto ad un problema di **ottimizzazione strutturale**: si definisce, cioè, una **funzione obiettivo da minimizzare** tenendo conto dei vincoli progettuali di natura tecnico ed economica.

La funzione obiettivo deve essere, per la natura del problema, espressa in termini di:

- **rigidità** della struttura esistente;
- **resistenza** della struttura esistente;
- **rigidità** del sistema di protezione;
- **capacità dissipativa** del sistema di protezione.

Una procedura iterativa di progettazione dovrà, in via generale, essere articolata nei seguenti passi:

1. definizione delle proprietà strutturali dell'edificio ed analisi strutturale nello stato di fatto;
2. determinazione della capacità di dissipazione energetica desiderata;
3. scelta della disposizione dei controventi dissipativi compatibilmente ai vincoli architettonici ed impiantistici presenti nell'organismo edilizio;
4. scelta delle caratteristiche meccaniche dei singoli dissipatori (in termini di legame "forza-deformazione") in modo da conseguire la capacità di dissipazione desiderata;
5. verifica delle reali prestazioni del sistema strutturale a seguito dell'adeguamento.

Vista la complessità del problema, a cui è in parte legata la limitata diffusione di questa tecnica di intervento rispetto, ad esempio, alla tecnica che prevede l'isolamento alla base, il progettista necessita di un'adeguata procedura di progettazione che, partendo da una corretta impostazione teorica del problema progettuale, permetta di definire le caratteristiche tecniche dell'intervento in modo efficiente.

Nell'ambito delle metodologie progettuali disponibili in letteratura si possono distinguere approcci che ricorrono a *procedure semplificate* e approcci che utilizzano *procedure di ottimizzazione strutturale*.

Le *procedure semplificate* sono tali da poter essere agevolmente utilizzate in fase di predimensionamento ma portano spesso a risultati poco cautelativi in quanto le semplificazioni adottate conducono a significative approssimazioni del reale comportamento della struttura.

Procedure che operano secondo questo tipo di approccio sono, ad esempio, quelle proposte da A. Filiatrault e S. Cherry [1990], A. Vulcano [1991], R. H. Zhang e T. T. Soong [1992], V. Ciampi [1993], Y. Fu e S. Cherry [2000], D. L. Garcia [2001].

Un'assunzione comune a tutte le procedure di questo tipo risiede nella possibilità di assimilare il comportamento della struttura a quello di un telaio *shear type*, nel quale la massa si assume concentrata ai piani, le travi sono supposte infinitamente rigide a flessione e si trascura la deformabilità assiale di travi e pilastri. A seguito dell'adozione di queste ipotesi di lavoro, i momenti dovuti a forze orizzontali assumono, nei pilastri, un andamento a "farfalla" con valore nullo in mezzzeria. In tal modo la descrizione matematica della struttura è notevolmente semplificata, dal momento che i gradi di libertà dinamicamente significativi della struttura sono solo gli spostamenti orizzontali dei piani. Per contro, tale modello non permette di cogliere diversi aspetti peculiari della risposta laterale di un telaio, fra cui il più importante è senz'altro legato alla capacità di un telaio di resistere all'azione ribaltante indotta dalle forze sismiche grazie anche a meccanismi di tira-spingi nei pilastri. Ciò porta alla definizione di un modello a svantaggio di sicurezza in

quanto gli spostamenti orizzontali risultano associati esclusivamente alla forza orizzontale, trascurando il termine legato ai momenti trasferiti dalla trave ai pilastri. Questa semplificazione conduce ad inevitabili errori nella definizione del reale comportamento strutturale del telaio, prima e dopo l'intervento di adeguamento.

Anche le *procedure di ottimizzazione strutturale* presenti in letteratura, tra le quali si ricordano quelle proposte da M. A. Austin e K. S. Pister [1985], F. Braga e P. D'Anzi [1994], I. Takewaki [1999], L. M. Moreschi e M. P. Singh [2002], J. H. Park e K. W. Kim [2004], hanno il limite di utilizzare una modellazione *shear type* della struttura a cui si associa, nonostante l'ipotesi semplificativa adottata nella descrizione della struttura, una significativa complessità di implementazione. Inoltre non tutte le procedure sono utilizzabili in caso di intervento sull'esistente, in quanto alcune, come ad esempio quella di Austin e Pister, sono state concepite per la progettazione di controventi dissipativi in strutture di nuova realizzazione. Si rimanda ai riferimenti bibliografici riportati nel capitolo 7 per la descrizione delle diverse procedure di progettazione basate sull'ottimizzazione strutturale presenti in letteratura.

La procedura proposta da Braga et al. [2005, 2010, 2012] consente di progettare sistemi di protezione antisismica che prevedono l'inserimento di controventi elastici e/o dissipativi, garantendo il controllo delle prestazioni strutturali per diversi stati limite, senza operare semplificazioni sul comportamento strutturale dell'edificio.

Si fa notare che, confrontando i risultati ottenuti dalla procedura di seguito proposta con quelli ottenuti dalle procedure suddette, si è visto come queste ultime non siano competitive dal punto di vista dell'impegno economico, in quanto conducono a sovrastimare, nella maggior parte dei casi, le dimensioni dei controventi ed i valori di capacità dissipativa necessari.

Il presente articolo è tratto dal volume *“Protezione sismica di edifici esistenti in c.a con controventi dissipativi in acciaio”*, a cura di Franco Braga, Francesca Buttarazzi, Andrea Dall'Asta, Walter Salvatore – *Pubblicazione di Fondazione Promozione Acciaio*.

*In relazione ai contenuti del presente articolo nel volume si presenta la procedura prima per il caso, più semplice, dei controventi elastici e poi per quello dei controventi dissipativi. La procedura deve essere implementata in un programma di analisi matematica (ad es. Matlab) che consenta di risolvere problemi di equazioni non lineari. Le grandezze di input fondamentali per poter avviare il processo iterativo progettuale sono fornite, nella maggior parte dei casi, da qualunque programma agli elementi finiti utilizzato per la realizzazione del modello di calcolo dell'edificio.*