

CONTROVENTI DISSIPATIVI PER L'ADEGUAMENTO SISMICO DI EDIFICI ESISTENTI: PRINCIPI E PROGETTAZIONE

Prof. Ing. Camillo Nuti



Dipartimento di Architettura
Camillo.nuti@uniroma3.it

OGGETTO DELLA PRESENTAZIONE

- Normativa Italiana- Protezione sismica delle strutture
- Controventi dissipativi – Controventi tradizionali
- Descrizione dei principi alla base della metodologia studiata
- Analisi non lineare delle strutture
- Descrizione della procedura progettuale
- Validazione con caso studio:
 - Discussione dei risultati ottenuti dalle analisi di spinta con quelli ottenuti conducendo analisi dinamiche
- 3 applicazioni a edifici

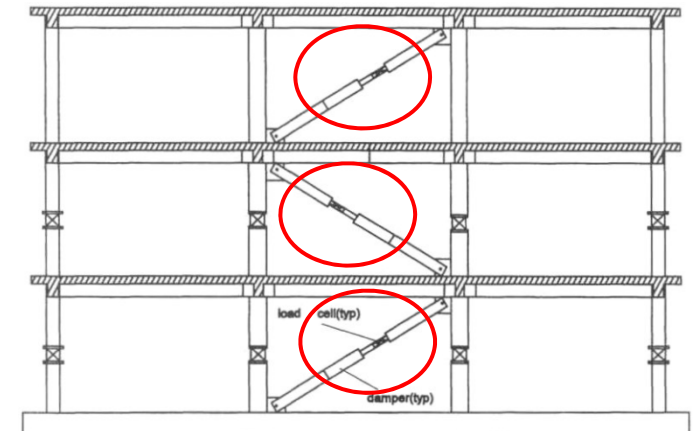
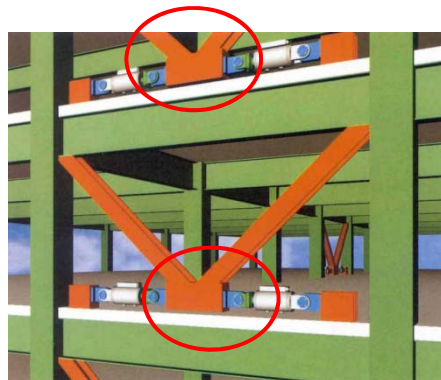
PROTEZIONE SISMICA DELLE STRUTTURE

Strutture di nuova realizzazione

- progettazione classica:
 - Resistenza
 - Duttilità
- (Protezione attiva e semiattiva)
- **Protezione passiva**
 - **Isolamento alla base**
 - **Controventi dissipativi**

Adeguamento di strutture esistenti

- Interventi di tipo tradizionale:
 - Resistenza
 - Duttilità
- Interventi di rinforzo con materiali di ultima generazione
 - Resistenza
 - Duttilità
- (Protezione attiva e semiattiva)
- **Protezione passiva**
 - **Isolamento alla base**
 - **Inserimento di controventi dissipativi**



Normativa Italiana

Il DM 14 Gennaio 2008 tratta l'isolamento al punto 7.10:

7.10 COSTRUZIONI E PONTI CON ISOLAMENTO E/O DISSIPAZIONE

Ove si dice in modo esplicito:

Le prescrizioni del presente capitolo non si applicano ai sistemi di protezione sismica basati sull'impiego di elementi dissipativi distribuiti a vari livelli, all'interno della costruzione.

La Circolare del 2 Febbraio 2009, N. 617 dedica ai controventi dissipativi l'appendice C7A(al capitolo C7)

C7A.10. (APPENDICE AL § C7.10) COSTRUZIONI CON ISOLAMENTO E/O DISSIPAZIONE

Questa appendice ha lo scopo di fornire indicazioni utili alla progettazione e la realizzazione di costruzioni, in particolare di edifici, dotati di sistemi di protezione sismica basati sulla dissipazione di energia.

C7A.10. (APPENDICE AL § C7.10) COSTRUZIONI CON ISOLAMENTO E/O DISSIPAZIONE

- ◎ **C7A.10.1 SCOPO**
- ◎ **C7A.10.2 REQUISITI GENERALI E CRITERI PER IL LORO SODDISFACIMENTO**
- ◎ **C7A.10.3 CARATTERISTICHE E CRITERI DI ACCETTAZIONE DEI DISPOSITIVI**
- ◎ **C7A.10.4 INDICAZIONI PROGETTUALI**
 - C7A.10.4.1 Indicazioni riguardanti i dispositivi e il sistema dissipativo
 - C7A.10.4.2 Controllo di movimenti indesiderati
- ◎ **C7A.10.5 MODELLAZIONE E ANALISI STRUTTURALE**
 - C7A.10.5.1 Proprietà del sistema di dissipazione di energia
 - C7A.10.5.2 Analisi
 - C7A.10.5.2.1 *Analisi Lineari*
 - C7A.10.5.2.2 *Analisi non lineari*
- ◎ **C7A.10.6 VERIFICHE**
 - C7A.10.6.1 Verifiche agli stati limite di esercizio
 - C7A.10.6.2 Verifiche agli stati limite ultimi
- ◎ **C7A.10.7 ASPETTI COSTRUTTIVI, MANUTENZIONE, SOSTITUIBILITÀ**
- ◎ **C7A.10.8 ACCORGIMENTI SPECIFICI IN FASE DI COLLAUDO**

NORMATIVA ITALIANA

C7A.10.1 SCOPO

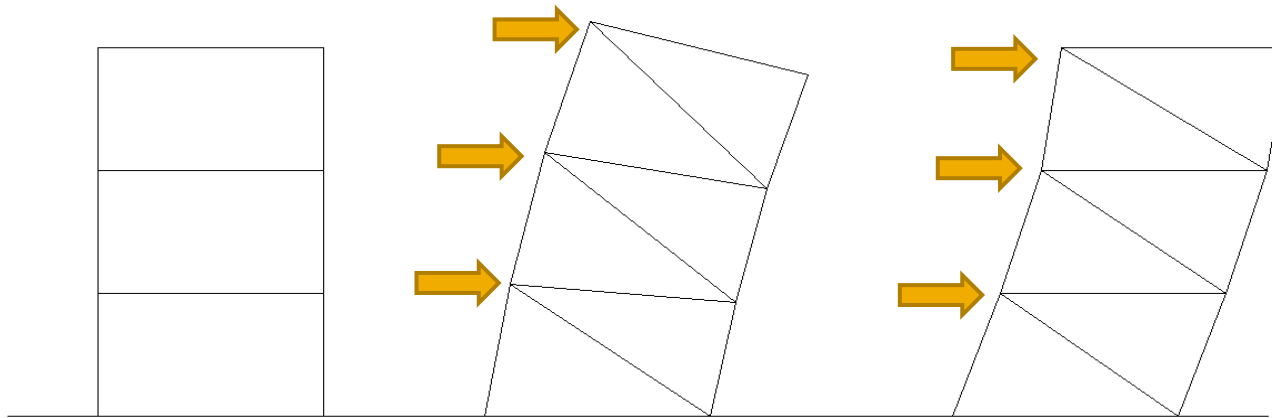
Come detto in C7.10.1, **per l'applicazione dei sistemi di controventi dissipativi ad edifici con struttura intelaiata non si forniscono indicazioni aggiuntive**. Le NTC, infatti, forniscono le necessarie indicazioni e prescrizioni generali sugli strumenti e i metodi di valutazione (modellazione e analisi strutturali lineari e non lineari) nonché le regole per le verifiche di sicurezza degli elementi strutturali e dei dispositivi.

Tra i vari schemi applicativi, quello sicuramente più spesso utilizzato nella protezione sismica degli edifici, e al quale si rivolge prevalentemente questa appendice, si fonda sull'introduzione all'interno della maglia strutturale di un sistema supplementare, che utilizza speciali dispositivi incorporati in (o collegati a) controventi rigidi, quasi sempre di acciaio, che connettono due piani della struttura, solitamente consecutivi.

Lo spostamento interpiano prodotto dal sisma attiva i meccanismi di dissipazione di energia prima che gli spostamenti relativi possano produrre danni significativi sugli elementi strutturali. In tal modo la maggior parte dell'energia in entrata viene immagazzinata e dissipata nei dispositivi, mentre la funzione di sostegno dei carichi verticali rimane attribuita alla struttura convenzionale.

.....

Controventi Convenzionali Vs Dissipativi: rigidezze - resistenze



es. struttura esistente
Comportamento "shear type"

Struttura con
controventi
convenzionali: elastici
Comportamento a
"mensola"

Struttura con controventi
dissipativi
Comportamento "shear type"

Controventi tradizionali:

- fanno aumentare la rigidezza
- spesso modificano il comportamento strutturale
- spesso riducono lo smorzamento equivalente

controventi dissipativi

- consentono (se opportunamente dimensionati) il mantenimento della risposta strutturale originale, ad es: tipo "shear type"
- In queste condizioni è possibile considerare il contributo della componente strutturale rimanga inalterato anche dopo l'inserimento dei controventi

Normativa Italiana

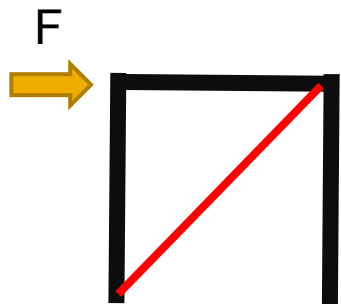
C7A.10.1 SCOPO

.....

Facendo riferimento alle forme tipiche degli spettri di risposta elastici delle accelerazioni e degli spostamenti, **il comportamento di una struttura dotata di dispositivi dissipativi, assimilata ad oscillatore elementare, può essere interpretato osservando che l'introduzione del sistema di dissipazione produce un aumento dello smorzamento e, se il sistema determina un irrigidimento della struttura, una riduzione del periodo, oltre che, per molti sistemi di uso corrente, un aumento della resistenza complessiva.** Ciò determina una sensibile riduzione degli spostamenti complessivi (v. spettro degli spostamenti) e, quindi, degli spostamenti interpiano, con conseguente riduzione dei danni agli elementi strutturali e non.

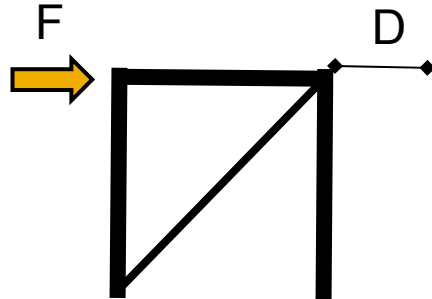
Sistemi di controventi dissipativi

- È UNA TECNICA DI PROTEZIONE PASSIVA
- APPLICATA INIZIALMENTE A STRUTTURE NUOVE OFFRE GRANDI POTENZIALITÀ NELLA PROTEZIONE DEGLI EDIFICI ESISTENTI
- I CONTROVENTI DISSIPATIVI AGISCONO SU RIGIDEZZA E DISSIPAZIONE
 - ✓ i controventi tradizionali incrementano rigidità e resistenza della struttura esistente
 - ✓ I controventi dissipativi, ben dimensionati, debbono conferire capacità dissipativa senza incrementare eccessivamente resistenza e rigidità



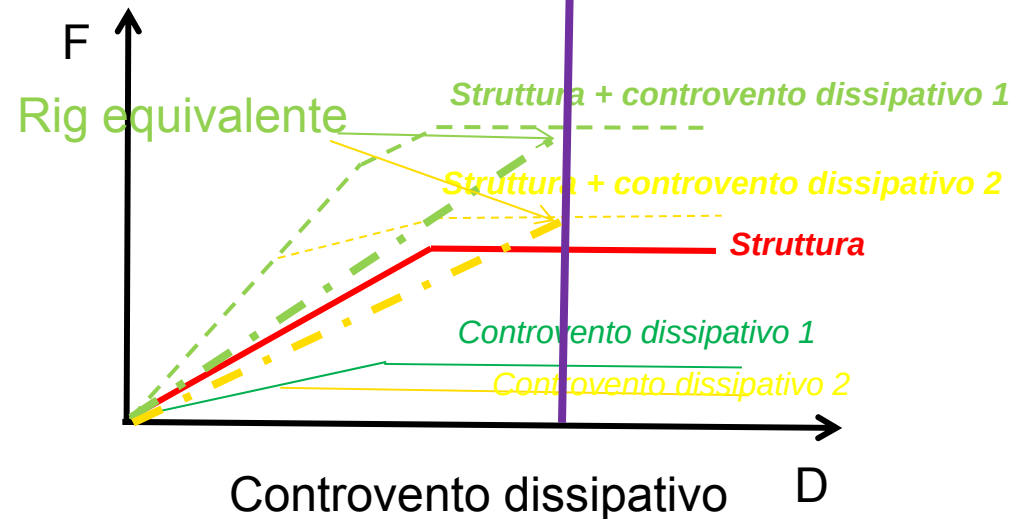
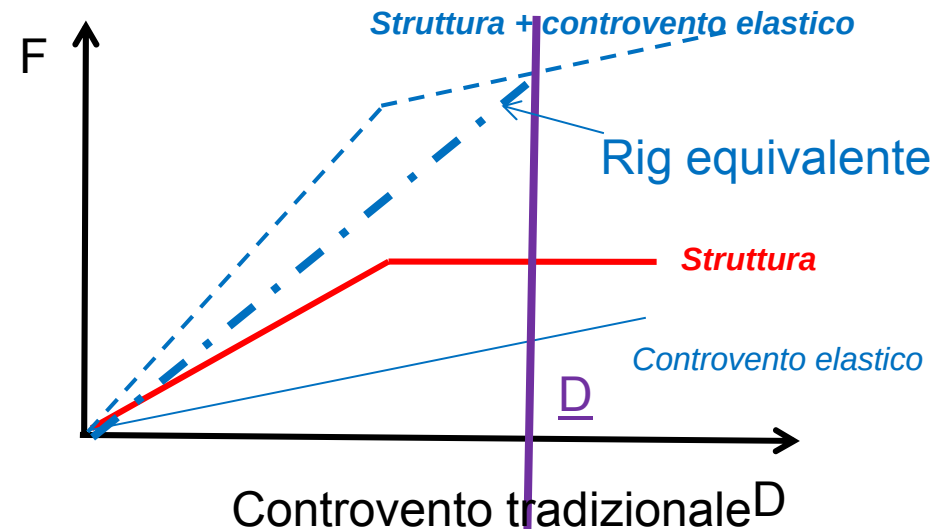
- Un controvento tradizionale rimane elastico e dunque irrigidisce la struttura
- Un controvento dissipativo oltre ad irrigidire la struttura incrementa la dissipazione

Sistemi di controventi elastici o dissipativi

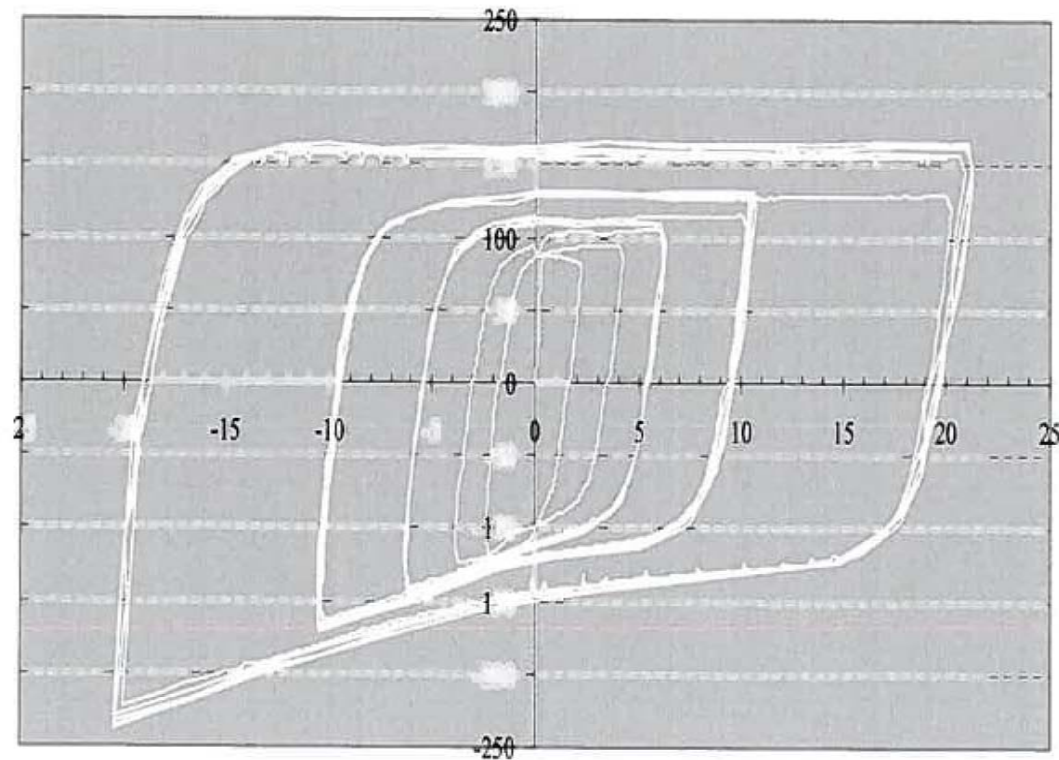


- Un controvento tradizionale rimane elastico e dunque irrigidisce la struttura
 - I controventi possono modificare lo stato di sollecitazione e quindi il comportamento strutturale globale: es da telaio a mensola
 - Certamente aumentano le sollecitazioni (taglio alla base)
 - Certamente si riducono gli spostamenti
 - Lo smorzamento equivalente si riduce!

- Un controvento dissipativo oltre ad irrigidire la struttura incrementa la dissipazione



Prova Ciclica di Controventi Dissipativi

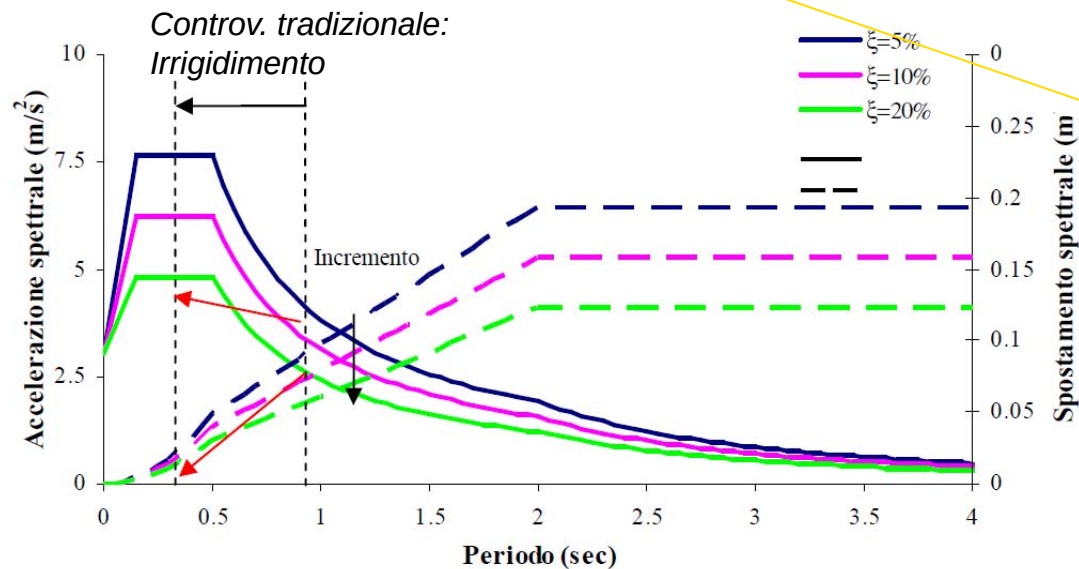
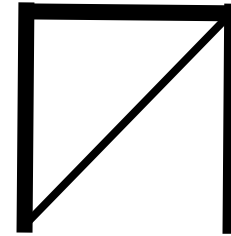


controventi tradizionali

CONTROVENTI TRADIZIONALI

Devono restare elastici

- Incrementano la rigidezza
 - ridotti gli spostamenti
 - crescono le sollecitazioni (taglio alla base) perché si aggiunge la resistenza del controvento
 - Lo smorzamento equivalente si riduce: aumenta l'energia elastica

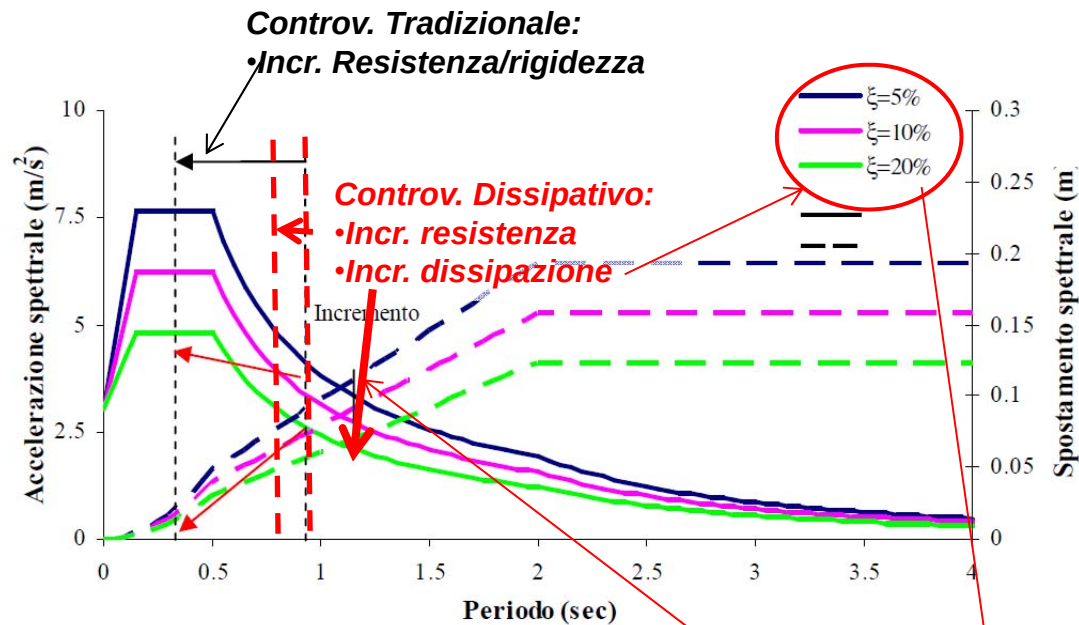


È solo quella della struttura originale

$$V_{eq,S} = \frac{1}{4\pi} \frac{E_{D,S}}{E_{S,S}}$$

È la somma della strutt. Originale e dei controventi

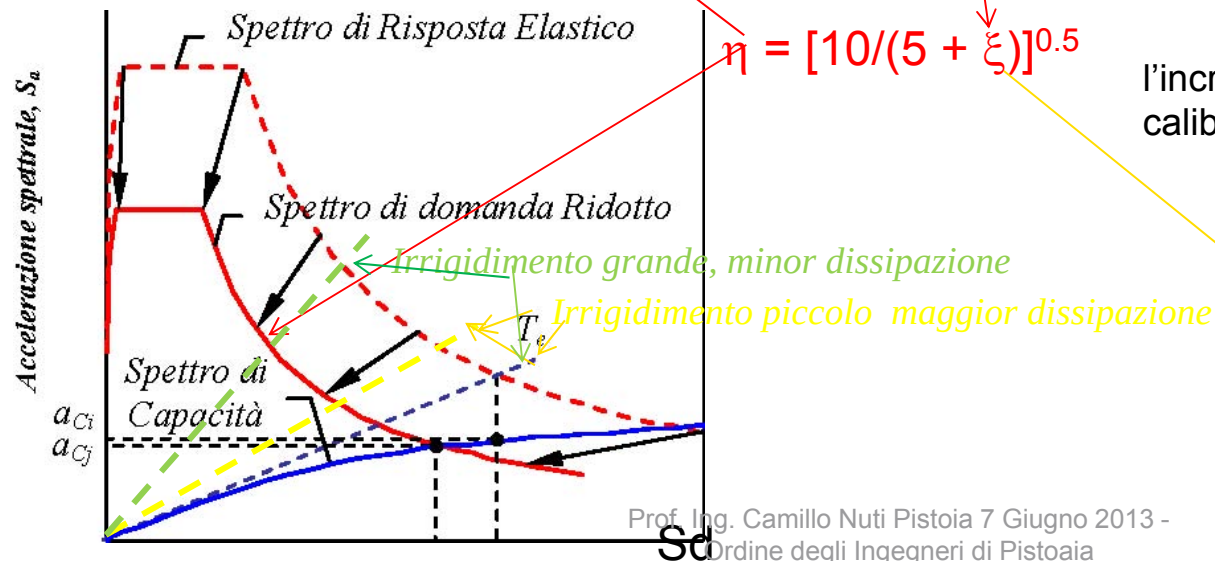
Controventi dissipativi



CONTROV. DISSIPATIVO

•Incrementano la rigidezza e anche la dissipazione

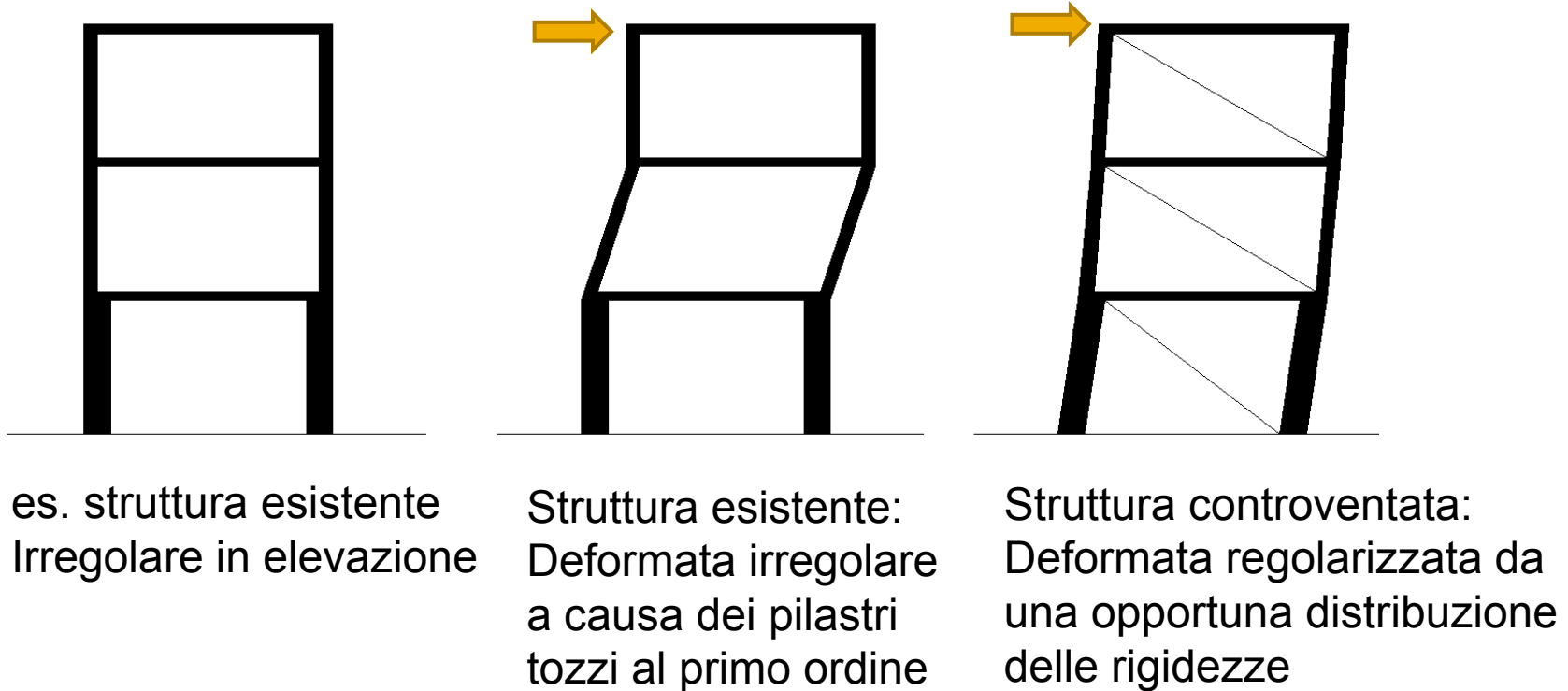
- riducono gli spostamenti per 'incremento di rigidezza (sino alla plasticizzazione)
- limitando l'incremento di sollecitazioni (fusibile) + dissipazione
- limitando gli spostamenti anche per la dissipazione



l'incremento di rigidezza può essere calibrato per regolarizzare la struttura

$$v_{eq,S} = \frac{1}{4\pi} \frac{E_{D,S}}{E_{S,S}}$$

Sistemi di controventi dissipativi: distribuzione delle rigidezze

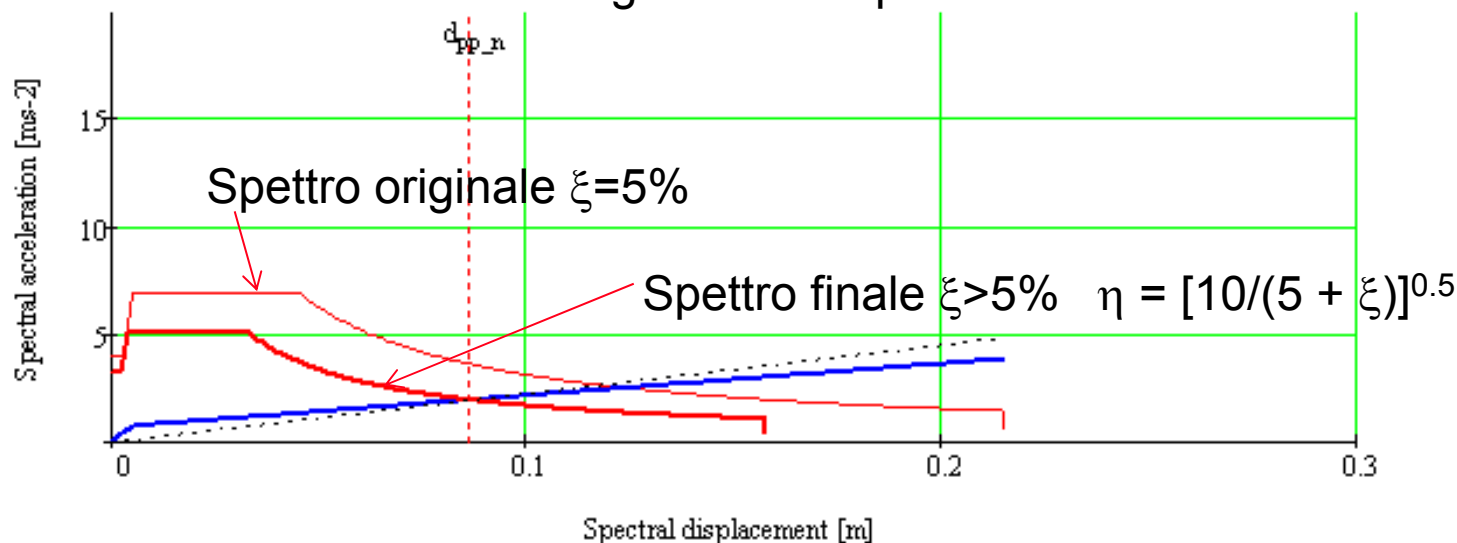


NB: Così come in elevazione le rigidezze dei controventi possono eliminare anche irregolarità in pianta.

La rigidezza conferita dai controventi dissipativi regolarizza, la dissipazione riduce le sollecitazioni

Determinazione della Risposta Massima

- Gli americani: ATC40, propongono l'uso di un metodo iterativo basato sullo spettro di risposta abbattendo lo spettro di risposta con lo smorzamento equivalente della struttura.
- Se i controventi non modificano lo smorzamento ξ la risposta è data dall'intersezione tra curva forza-spostamento (elastica equivalente) e spettro di risposta.
- Per calcolare la risposta è necessario conoscere lo smorzamento equivalente
- È possibile valutarlo in modo adeguato e semplice?



Determinazione dello smorzamento

Data la deformazione raggiunta dalla struttura, sia essa nuda o dotata di controventi dissipativi, corrisponde un livello di energia che la struttura ed i dissipatori dissipano;
tale energia la si può tenere in conto mediante lo smorzamento viscoso equivalente.

Dato D con la relazione proposta da *A.K.Chopra (2001)*, lo smorzamento viscoso equivalente della sola struttura $v_{eq,S}$:

$$v_{eq,S} = \frac{1}{4\pi} \frac{E_{D,S}}{E_{S,S}}$$

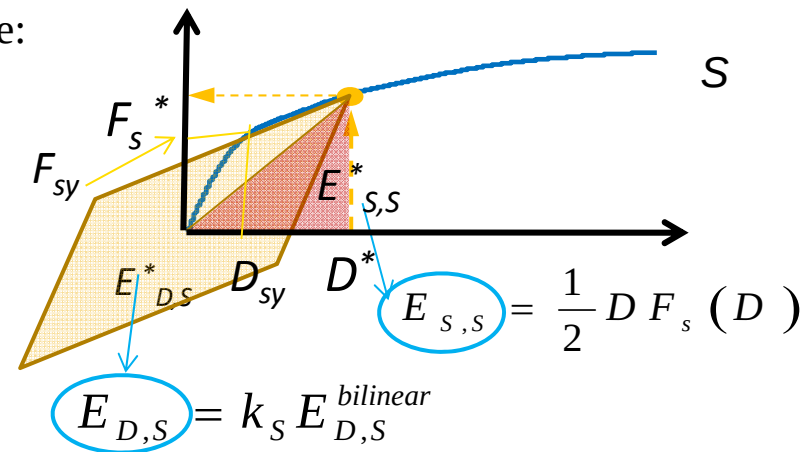
$E_{D,S}$ è l'energia dissipata in un singolo ciclo di ampiezza D

$E_{S,S}$ l'energia di deformazione del sistema relativa allo spostamento D .

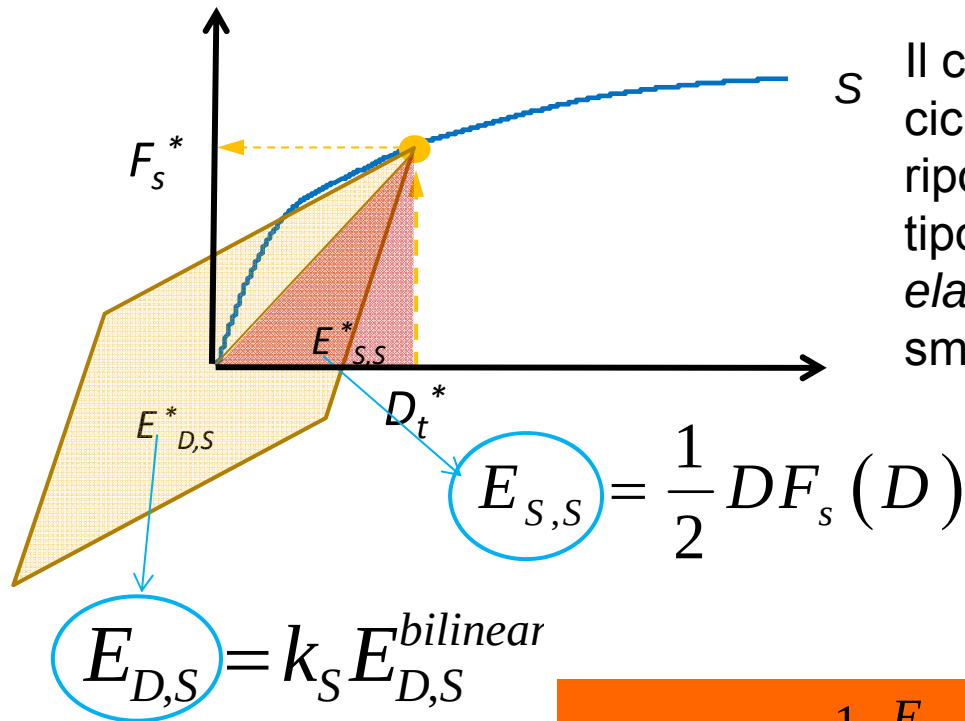
rappresentazione bilineare elasto-plastica incrudente:

$$E_{D,S}^{bilinear} = 4 \left(F_{sy} D - D_{sy} F_s(D) \right)$$

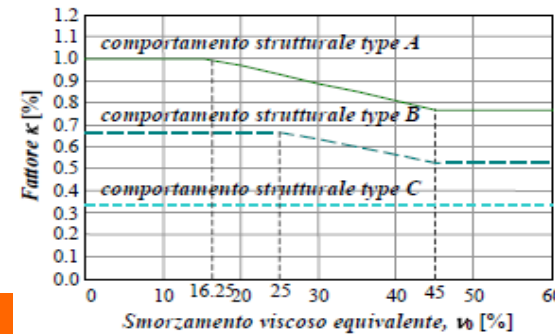
$$E_{S,S} = \frac{1}{2} D F_s(D)$$



Determinazione dello smorzamento viscoso equivalente



Il coeff. \$K_s\$ riconduce il ciclo ideale al ciclo reale. Valori per questo coeff. sono riportati nell'ATC 40 al variare della tipologia strutturale (\$K_s=1\$ per strutture elasto plastiche) è funzione dello smorzamento viscoso equivalente



$$E_{S,S} = \frac{1}{2} D F_s(D)$$

$$E_{D,S} = k_s E_{D,S}^{bilinear}$$

$$v_{eq,S}^*(D_t^*) = \frac{1}{4\pi} \frac{E_{D,S}(D_t^*)}{E_{S,S}(D_t^*)}$$

Nel caso dei controventi dissipativi si segue lo stesso criterio adottando però un \$K=K_b\$ circa pari ad 1 (i cicli dei controventi sono generalmente molto regolari)

$$v_{eq,B}^*(D_t^*) = \frac{1}{4\pi} \frac{E_{D,B}(D_t^*)}{E_{S,S+B}(D_t^*)}$$

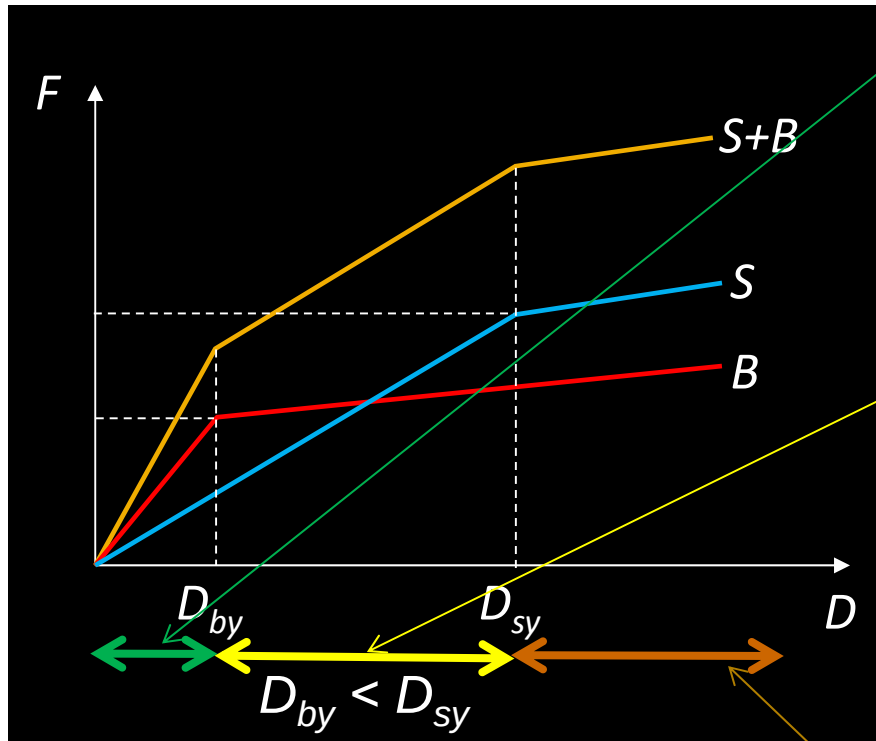
$$v_{eq,S+B}^*(D_t^*) = \frac{1}{4\pi} \frac{E_{D,S}(D_t^*) + E_{D,B}(D_t^*)}{E_{S,S+B}(D_t^*)}$$

Smorzamento dei controventi

Smorzamento della struttura con controventi

Determinazione dello smorzamento

Alcune scelte possibili



Controventi tradizionali

S e B elastici lineari (S non danneggiato)

$K_{S+B} > K_S \Rightarrow D_{S+B} < D_S$ per carichi laterali

$$v_{S+B} = v_I$$

Controventi dissipativi (struttura rimane elastica)

S lineare, B snervato (S non danneggiato)

$K_{S+B} > K_S$ ($\beta_b > 0$)

$$v_{S+B} = v_I + v_B$$

Controventi dissipativi (struttura plastica)

S e B plasticizzati (S danneggiato)

$$v_{S+B} = v_I + v_S + v_B$$

Procedura semplificata di dimensionamento

1. Si esegue una analisi statica non lineare sulla struttura esistente
2. Si ipotizza una distribuzione di controventi e si esegue una analisi statica non lineare ricavando la curva di spinta S+B
3. Si determina per differenza il contributo dovuto ai soli controventi

$$V_{eq,S+B}^*(D_t^*) = \frac{1}{4\pi} \frac{E_{D,S}(D_t^*) + E_{D,B}(D^*)}{E_{S,S+B}(D_t^*)}$$

2) Dall' analisi sulla struttura controventata

$$E_{D,S+B}(D_t^*) = E_{D,S}(D_t^*) + E_{D,B}(D^*)$$

3) Può essere dedotto dalla curva ricavata per differenza

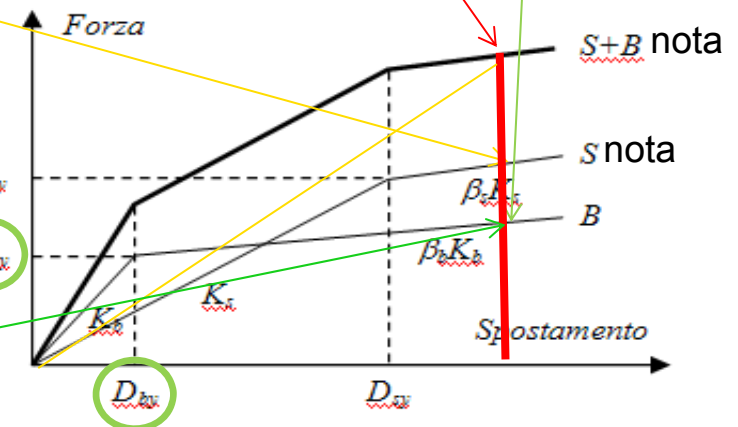
1) Dall' analisi sulla struttura esistente

$$E_{D,S} = k_S E_{D,S}^{bilinear}$$

$$E_{D,S}^{bilinear} = 4 \left(F_{sy} D - D_{sy} F_s(D) \right)$$

$$E_{S,S+B} = \frac{1}{2} F_{S,S+B} D_{S,S+B}$$

$$E_{D,B} = 4 \cdot (D_s F_{sy,B} - D_{sy,s+B} F_s)$$



Prof. Ing. Camillo Nuti Pistoia 7 Giugno 2013 -

Noto : le caratteristiche dei controventi $F_{sy,B}$ e $D_{sy,B}$ posso determinare $E_{D,B}$

Procedura semplificata di dimensionamento: osservazioni

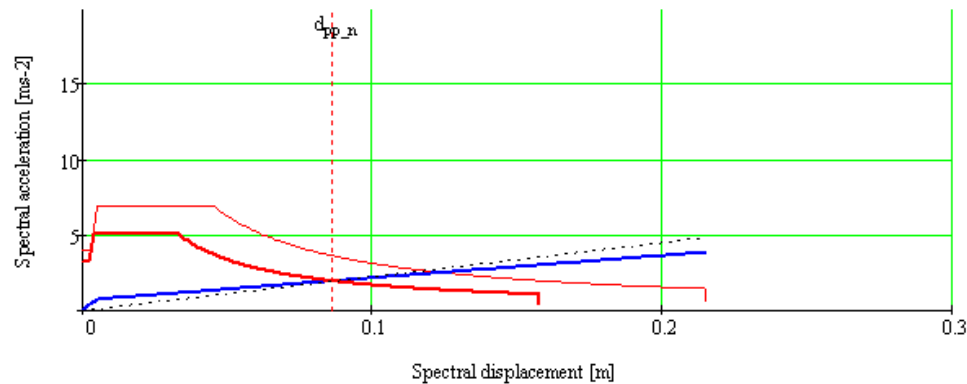
Ipotesi fatte

1. Il comportamento strutturale non cambia salvo una maggiore regolarità
2. l'ipotesi 1 vale solo se $D_{by} \ll D_{sy}$ ovvero i controventi entrano in campo plastico molto prima della struttura originaria (scarso aumento rigid. equivalente)
3. E' possibile studiare la dissipazione dovuta ai controventi sulla base della curva di spinta S+B

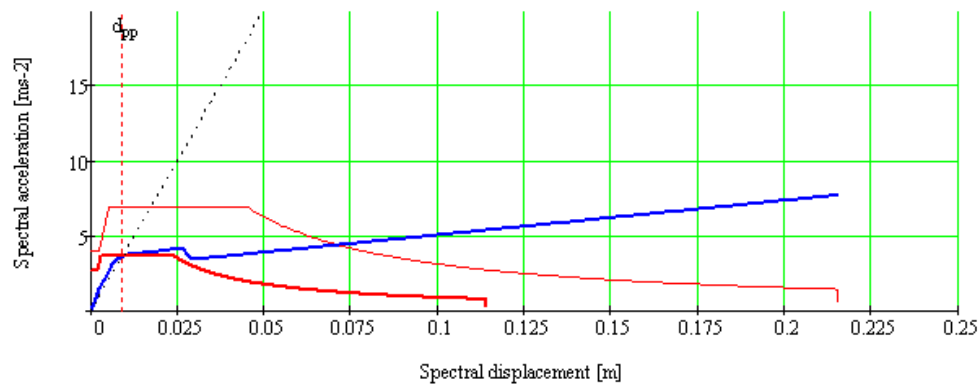
NB

l'ipotesi 3 è la più incerta, la procedura illustrata è utile per un predimensionamento e da un errore pari a circa il 10% nella stima dello smorzamento viscoso equivalente

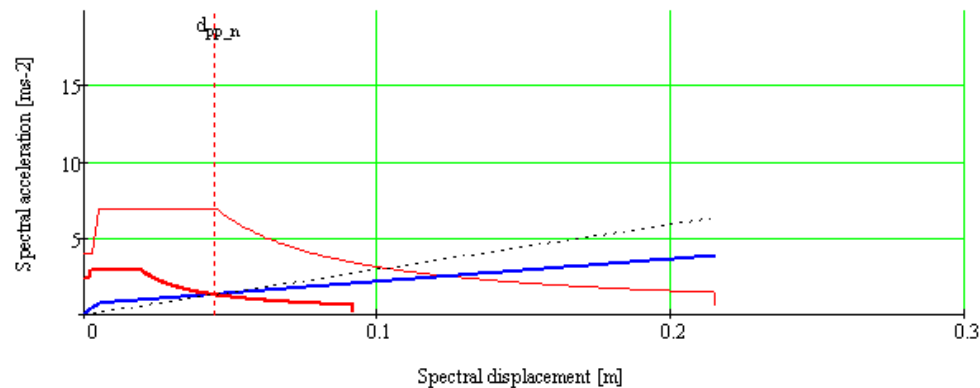
Effetti dell'inserimento dei controventi dissipativi



Struttura esistente:
determinazione del punto di
funzionamento

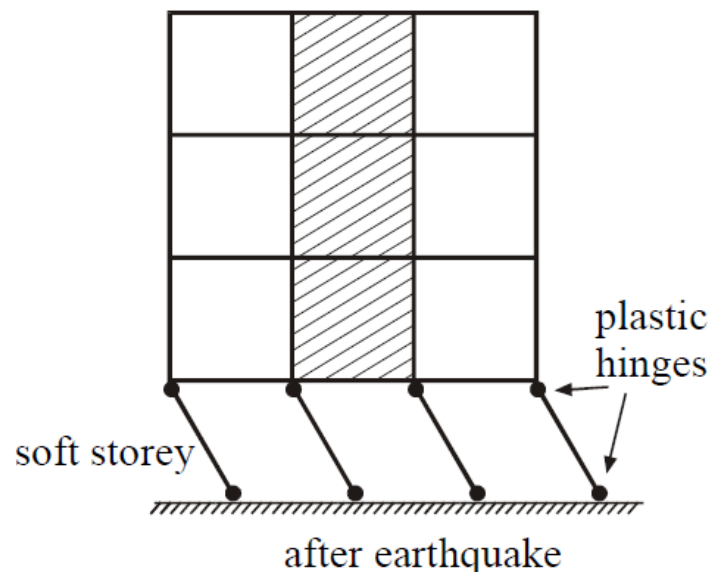


Struttura con controventi dissipativi
molto rigidi:
determinazione del punto di
funzionamento



Struttura con controventi dissipativi
ben calibrati (bassa rigidezza e alta
dissipazione):
determinazione del punto di
funzionamento

DANNI RISCONTRATI SU TELAI IN C.A.



Meccanismo di collasso per piano soffice, tipico in strutture ove è presente una brusca diminuzione della rigidezza in elevazione ad es. per un non costante distribuzione delle tamponature



DANNI RICONTRATI SU TELAI IN C.A.



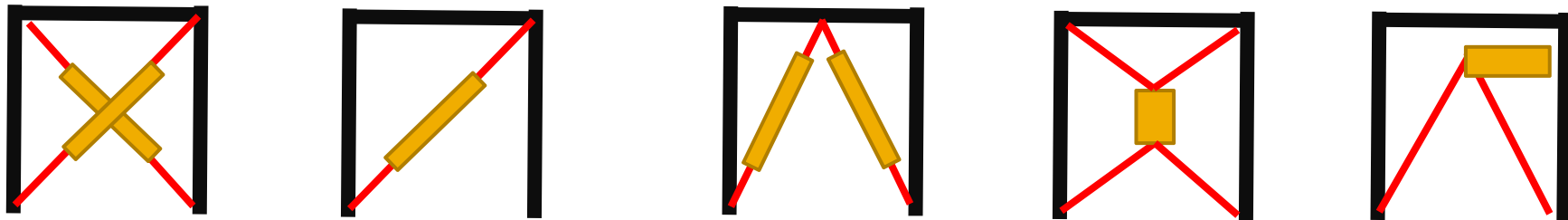
DANNI RISCONTRATI SU TELAI IN C.A.

Esplosione delle tamponature agli angoli delle strutture: le strutture realizzate su forte pendio hanno risentito di forte torsione



CONTROVENTI DISSIPATIVI

- DISPOSITIVI VISCOELASTICI
- DISPOSITIVI AD ATTRITO
- DISPOSITIVI PER PLASTICIZZAZIONE DELL'ACCIAIO



controventi dissipativi

Alcune tipologie esistenti

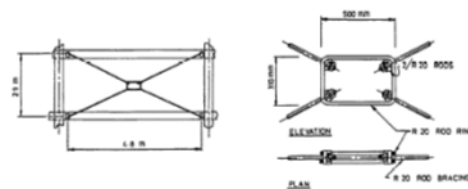
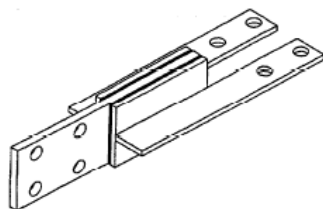


Figure 3.10 Yielding steel brace system (after Tyler, 1985)

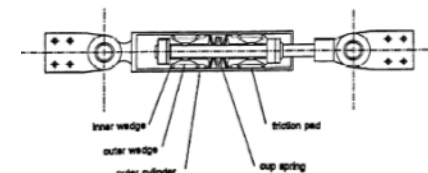


Figure 3.3 Sumitomo friction damper (after Aiken et al., 1992)

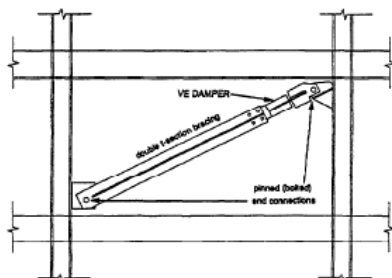


Figure 3.20 Viscoelastic damper and installation (after Aiken et al., 1990)

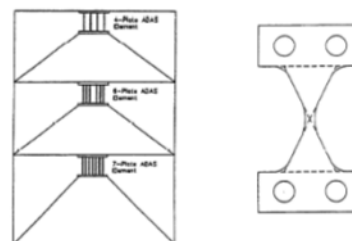


Figure 3.11 ADAS elements and installation (after Whittaker et al., 1991)

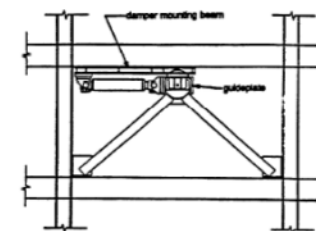


Figure 3.4 Installation detail of Sumitomo friction dampers in the experimental frame (after Aiken et al., 1992).

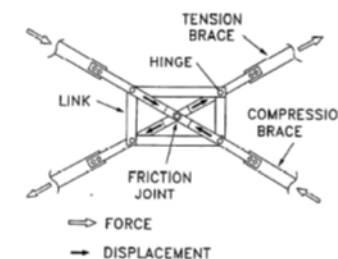
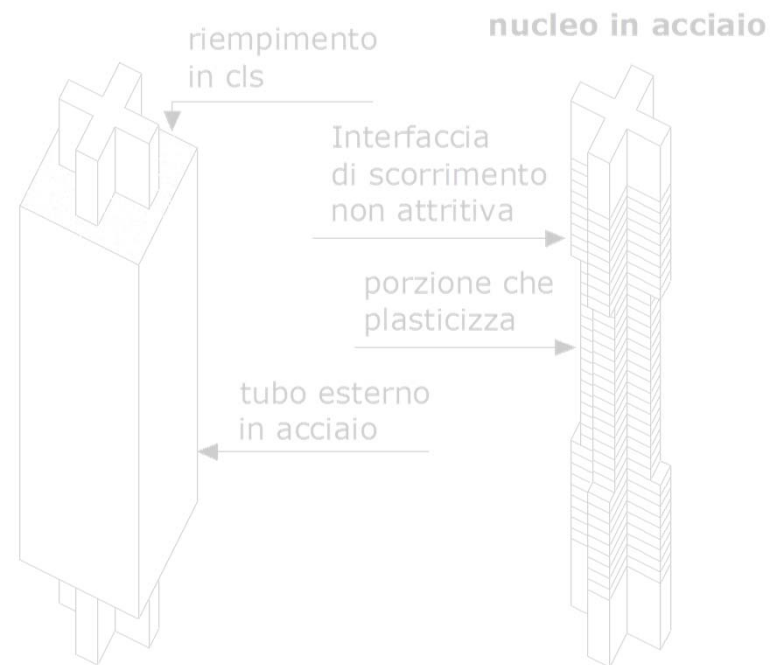


Figure 3.2 Pall friction damper (after Pall and Marsh, 1982)

CONTROVENTI DISSIPATIVI AD INSTABILITÀ IMPEDITA

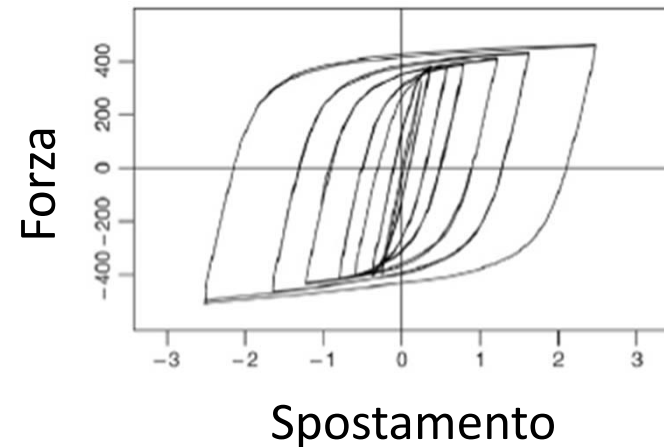
Dispositivo di larga diffusione che offre notevoli vantaggi



CONTROVENTI DISSIPATIVI AD INSTABILITÀ IMPEDITA

Vantaggi

- adattabilità alle aperture
- minimo incremento di peso (lavora sia in comp. che in traz.)
- interferenza modesta con l'uso dell'edificio
- semplice modellazione
- controllo dell'incremento di resistenza
- elevata dissipazione di energia



CONTROVENTI DISSIPATIVI AD INSTABILITÀ IMPEDITA

Configurazione tipo – altre disposizioni possono essere adottate

