



Andria 25 giugno 2010

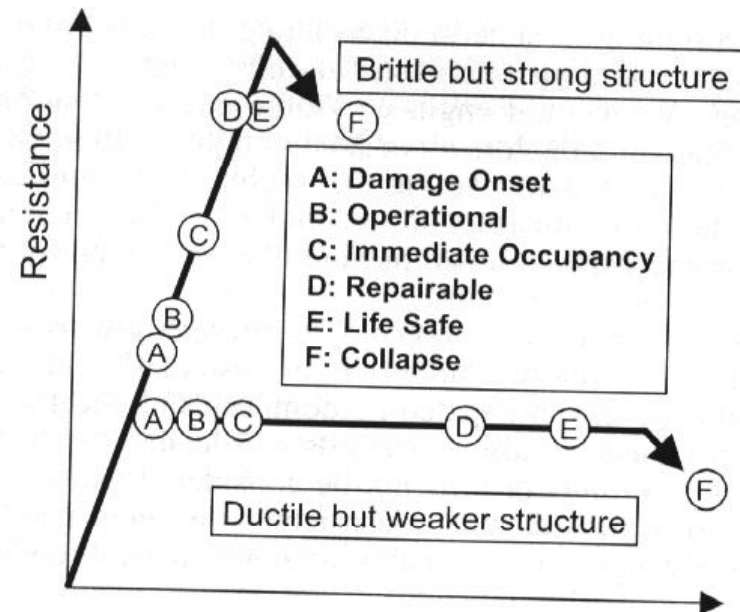
ADEGUAMENTO DI STRUTTURE ESISTENTI IN ZONA SISMICA

STRATEGIE DI INTERVENTO

Prof. Ing. C. Nuti; Ing. A. Bergami
Dipartimento di Strutture
Università degli Studi Roma Tre

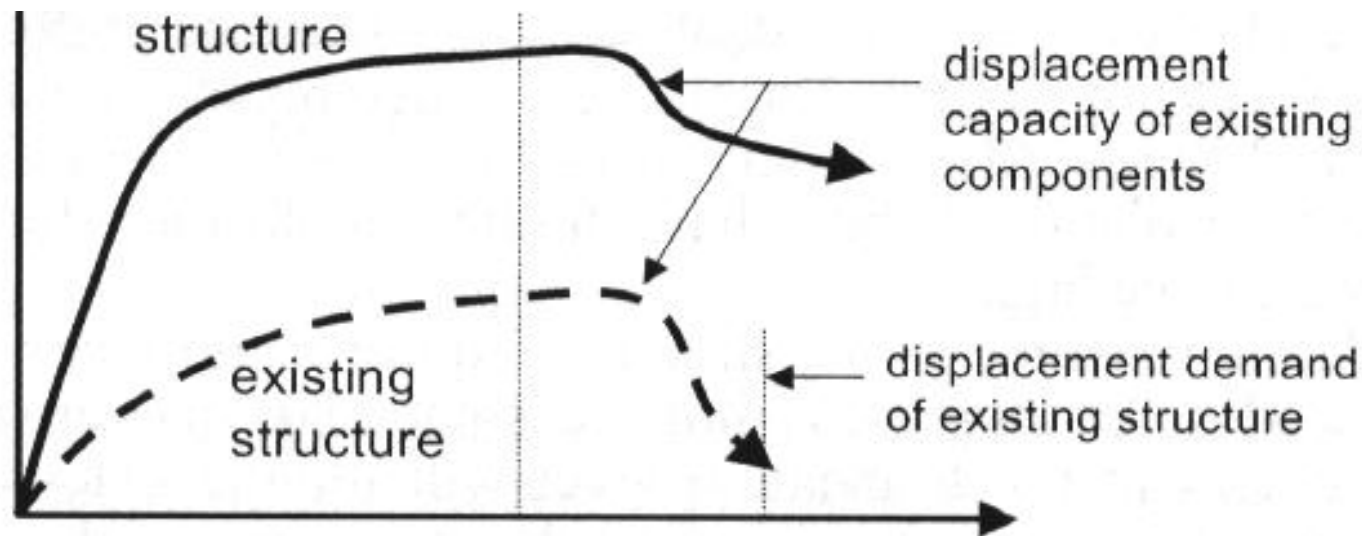
Strategie di intervento

- Tre possibili filosofie
 - Due agiscono sulla disponibilità della struttura:
 - Struttura estremamente resistente
 - Struttura estremamente duttile
 - Riduzione della domanda



Strategie di intervento

- Aumento della resistenza - riduzione della domanda in spostamento



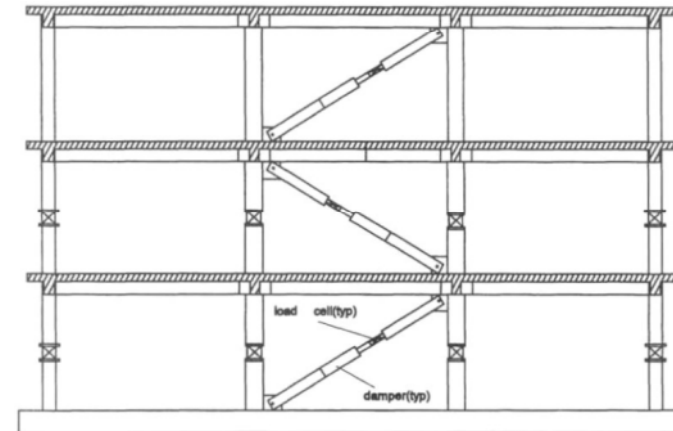
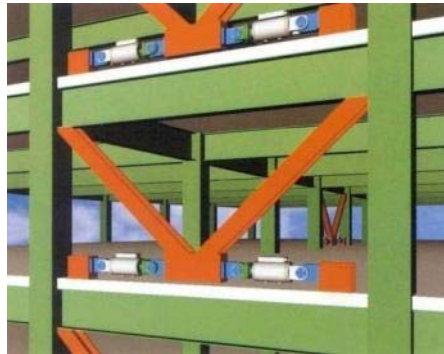
Protezione sismica delle strutture

Strutture di nuova realizzazione

- progettazione classica
- Protezione attiva e semiattiva
- **Protezione passiva**
 - **Controventi dissipativi**
 - **Isolamento alla base**

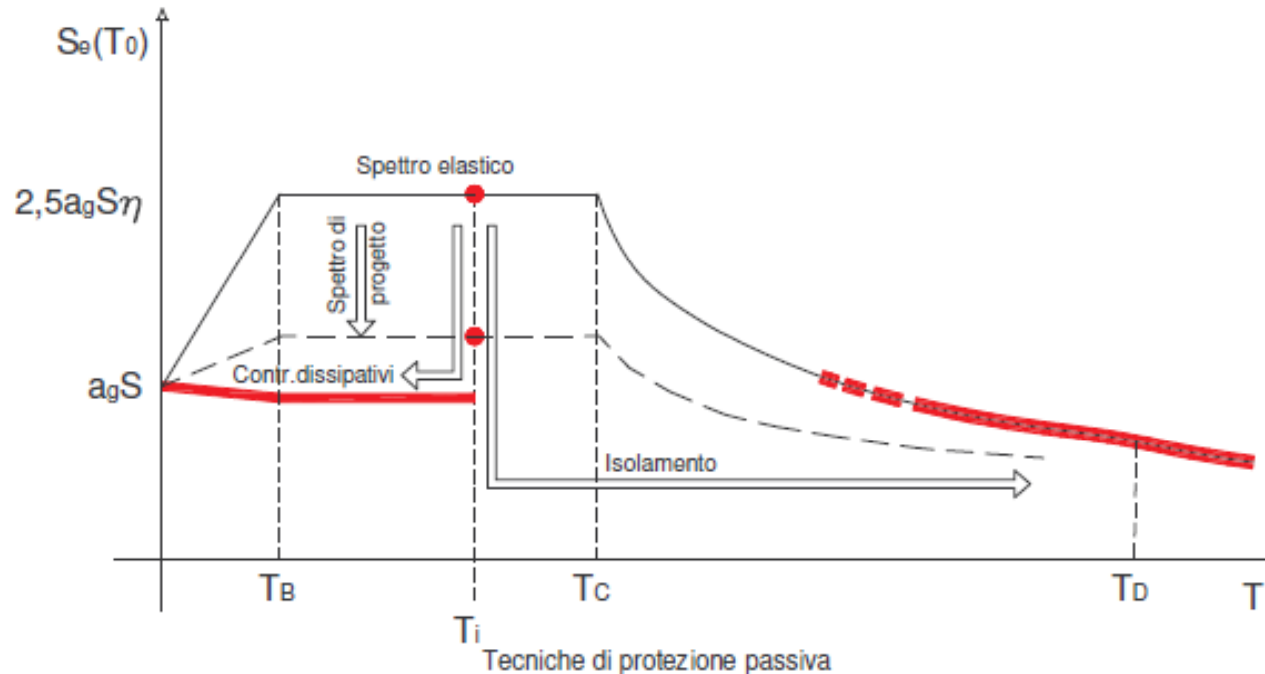
Adeguamento di strutture esistenti

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



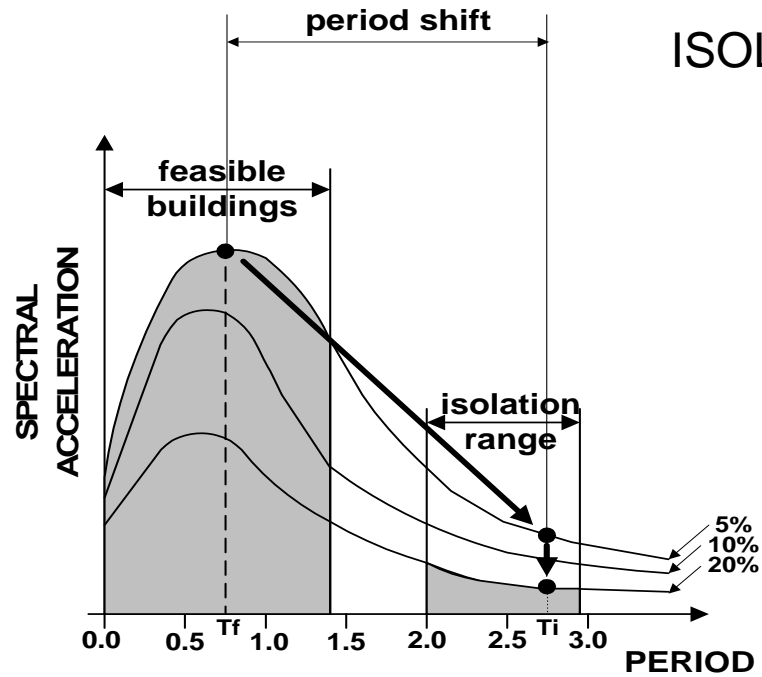
Riduzione della domanda

Isolamento alla base e controventi dissipativi

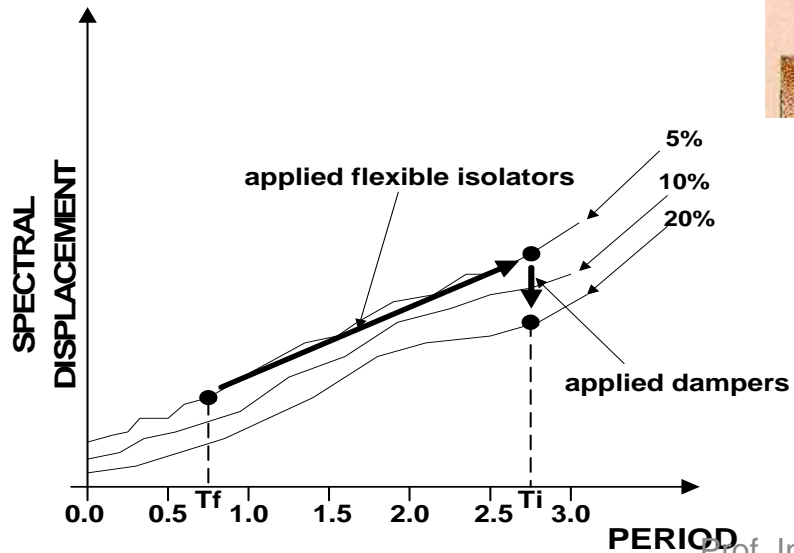
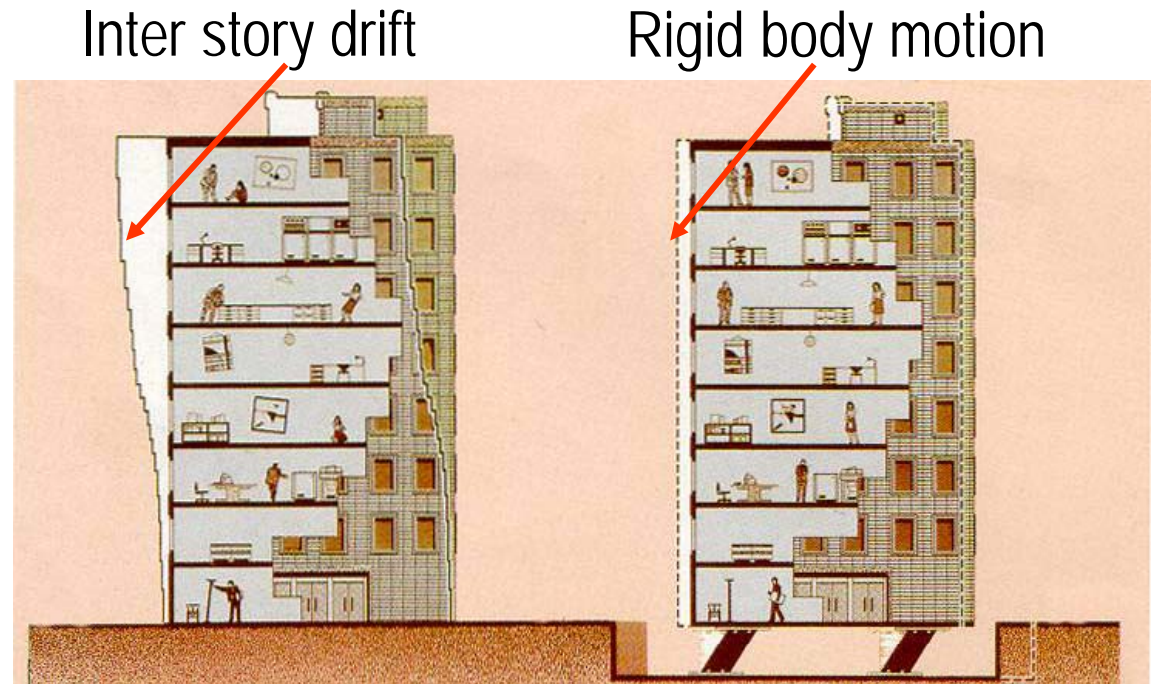


- L'isolamento alla base tende a ridurre la sollecitazione sismica incrementando il periodo della struttura
- I controventi dissipativi incrementano l'energia dissipata (abbattimento dello spettro di risposta elastico) ed irrigidiscono la struttura
- Entrambe le tecniche consentono di ridurre le irregolarità in pianta ed in alzata

ISOLAMENTO ALLA BASE



a)



b)

Isolamento alla base

Il Nuovo: Riduzione della domanda sismica

Tecniche di protezione sismica

- Isolamento alla base
- Inserimento di controventi dissipativi



Inserimento di controventi dissipativi in un edificio esistente



Realizzazione di strutture isolate alla base: progetto C.A.S.E. edificio in zona Bazzano L'Aquila. Struttura metallica su piastra in c.a. isolata alla base con isolatori "friction pendulum"

Isolamento alla base: sviluppo della tecnica



Isolamento alla base

Berkeley-Hearst Building (Foto: Nuti 2001)

L'isolamento richiede il controven_
tamento della soprastruttura



Isol. Alla base

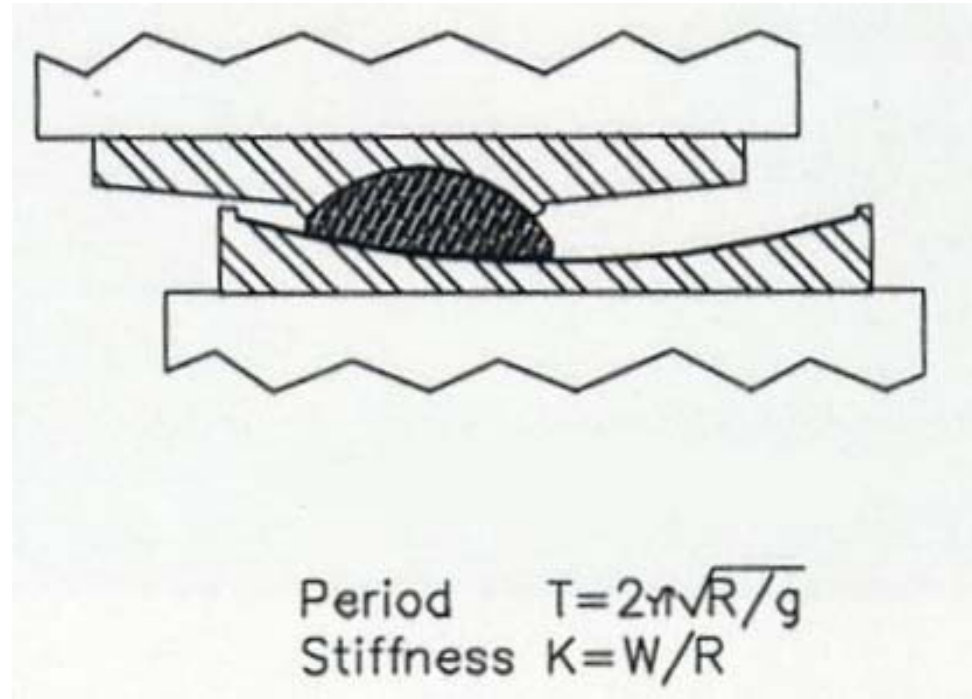
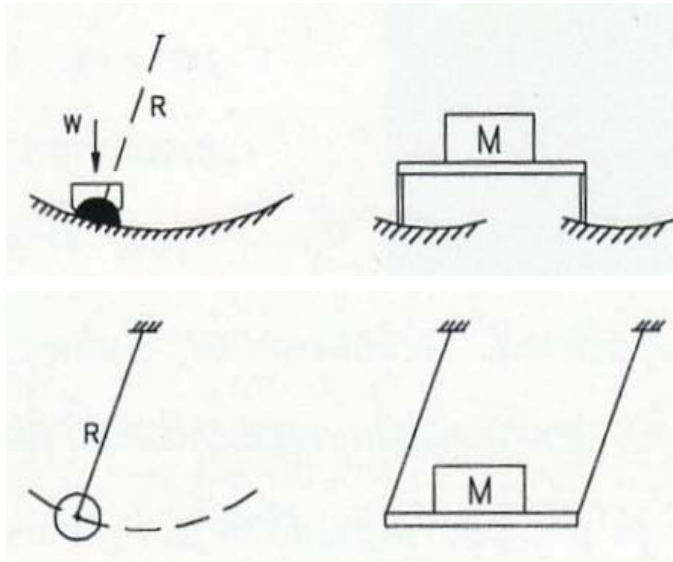
Berkeley-Hearst Building (Foto: Nuti 2001)



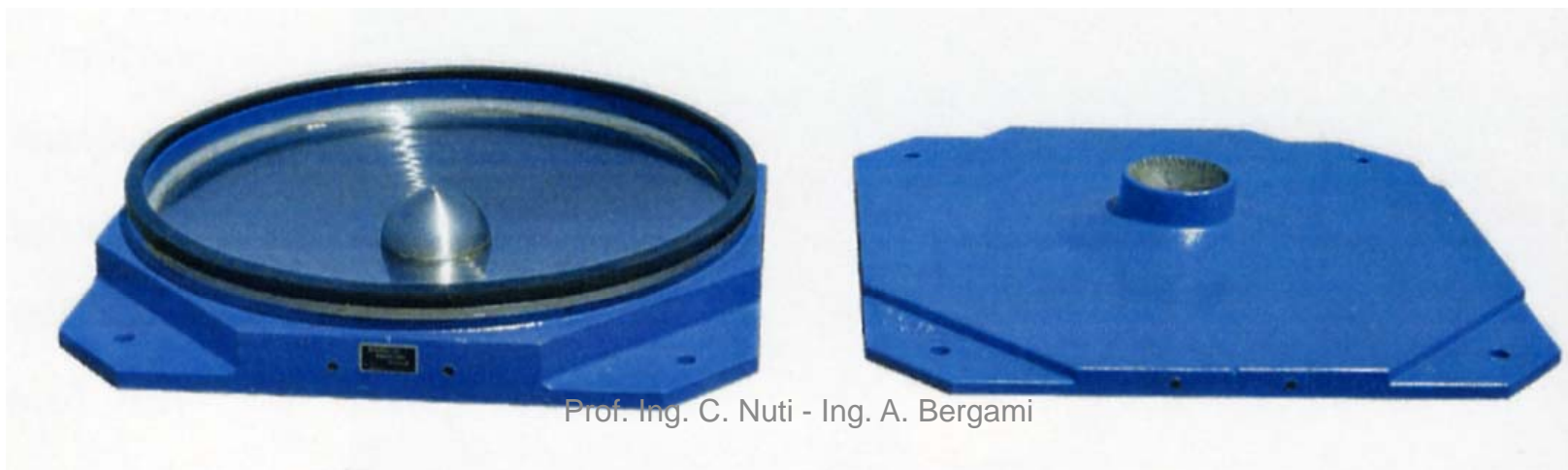
ISOLATORE SISMICO



FRICTION PENDULUM ISOLATOR (FPS)



Isolation Period is independent of the building mass.
Stiffness depends on the compressive load (column load)



Inserimento di controventi dissipativi

Riduzione della domanda sismica

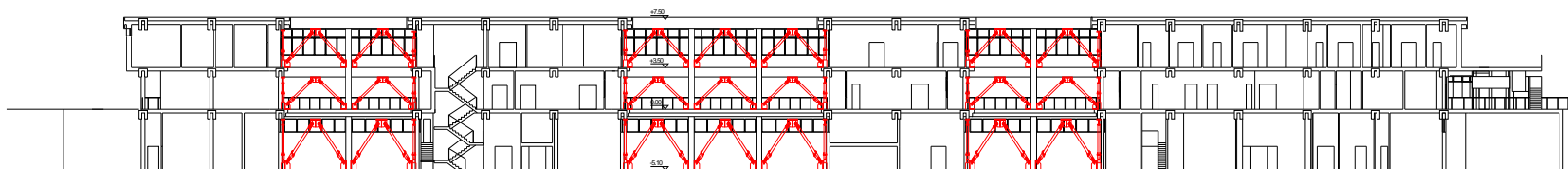
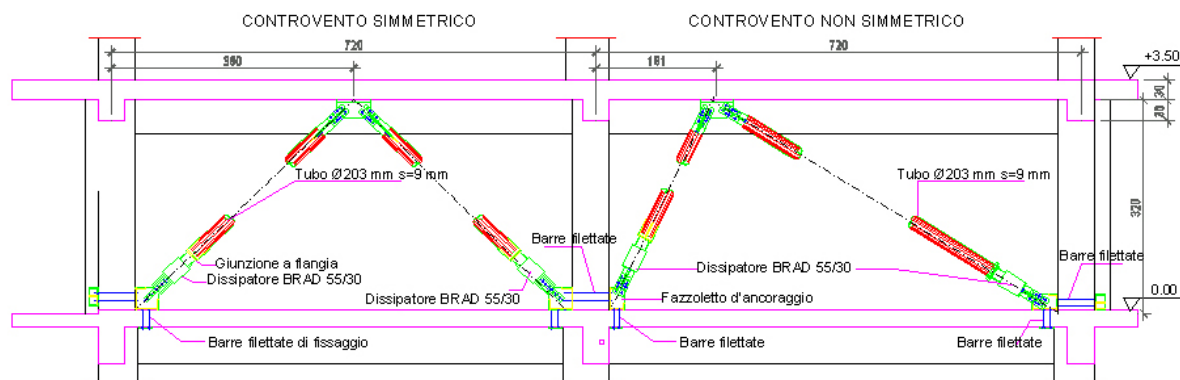


Inserimento di controventi dissipativi in un edificio esistente

Diffusione della tecnica: Ospedale (esistente) di Lamezia Terme – progetto di adeguamento

(Progettisti: Studio Speri, STIN, Prof. Camillo Nuti; Committente: Ministero della Salute)

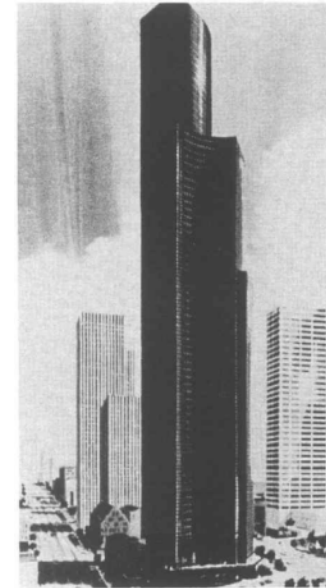
Inserimento di controventi e catene a resistenza assegnata a comportamento ciclico stabile



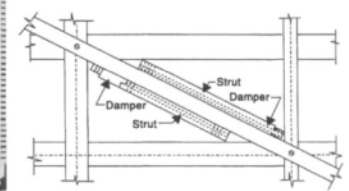
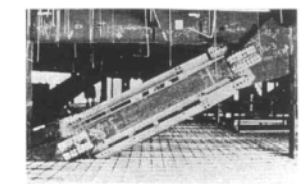
Controventi dissipativi

Storia dei Dispositivi per la dissipazione dell'energia

- Kelly J.M. et al. (1972)
 - *Mechanism of energy absorption in special devices for use in earthquake resistant structures, bull N.Z. soc. Earthquake Engineering*
 - **Il concetto di dissipazione viene inserito come componente aggiuntiva dei sistemi di isolamento alla base.**
- Pall A.S. et al. (1981)
 - Response of friction damped braced frame, J. Struct. Div., ASCE, 108(6)
 - **Si introduce il concetto di controvento dissipativo finalizzato al rallentamento della velocità di oscillazione della struttura**
- 1982
 - Prima applicazione **Columbia Sea First Building di Seattle**
- Austin et al. (1985)
 - *Design of Seismic-resistant Friction Braced Frames, J. Struct. Eng., ASCE, 111(12)*
 - **Viene proposta la prima procedura semplificata specifica per controventi dissipativi**
- 1988-1990
 - Altre applicazioni fuori dagli Stati Uniti
- Prime linee guida americane
 - NEHRP Guidelines for the seismic rehabilitation of buildings (1997), FEMA, vol. FEMA 273 poi FEMA-356
- 2000
 - NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures, (2000), Federal Emergency Management Agency, vol.FEMA-368



(a) The Columbia SeaFirst Building

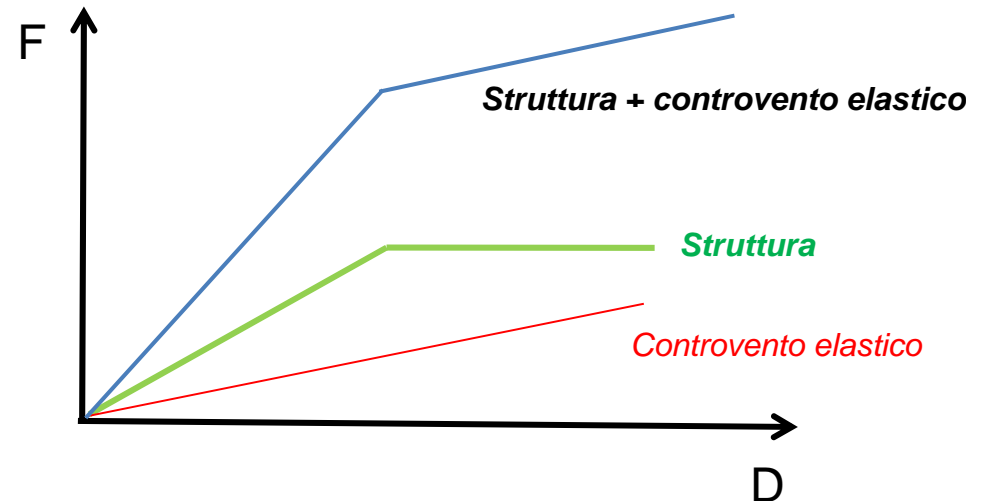
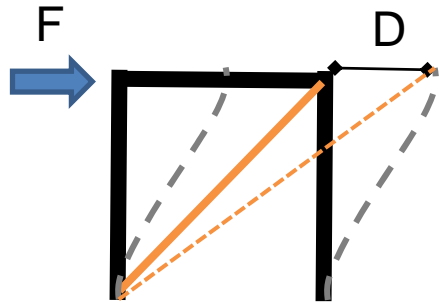


(b) Damper Installation

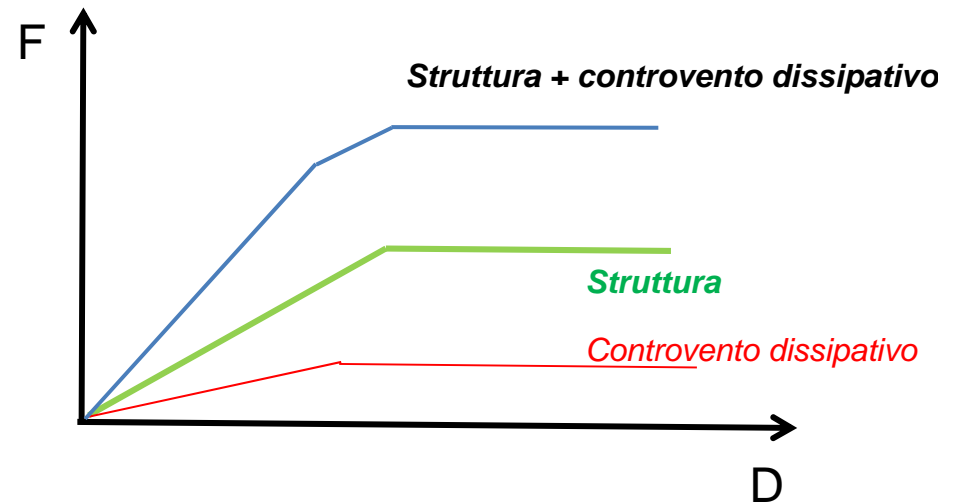
Sistemi di controventi dissipativi

- **NATA PER LE STRUTTURE NUOVE**
- **OFFRE NOTEVOLI POTENZIALITA' NELLA PROTEZIONE DEGLI EDIFICI ESISTENTI**
- **I CONTROVENTI DISSIPATIVI HANNO UNA RESISTENZA MASSIMA CONTROLLATA**
 - **Aumentano la resistenza e la rigidezza strutturale modificando il comportamento strutturale – regolarità in pianta e alzata**
 - **Aumentano la dissipazione originale**

Sistemi di controventi 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
 - Problemi in fondazione?

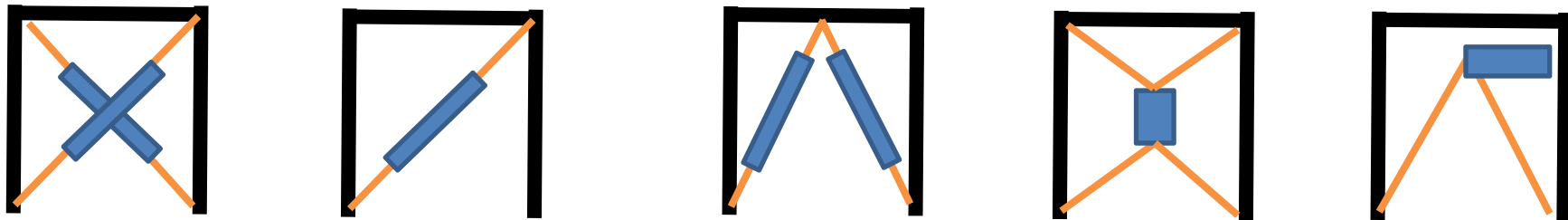


- Un controvento dissipativo oltre ad irrigidire la struttura incrementa la dissipazione

controventi dissipativi

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

POSSIBILE CONFIGURAZIONE NELLA MAGLIA STRUTTURALE



controventi dissipativi

Alcune tipologie esistenti

VISCOELASTICI

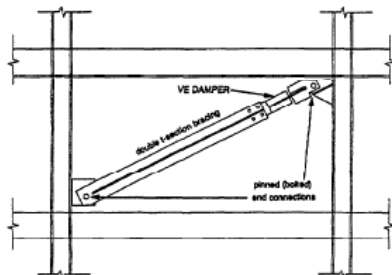
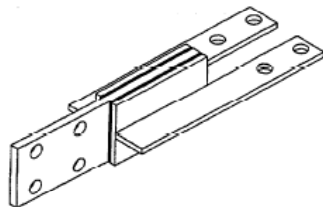


Figure 3.20 Viscoelastic damper and installation (after Aiken et al., 1990)

PLASTICIZZAZIONE DEL METALLO

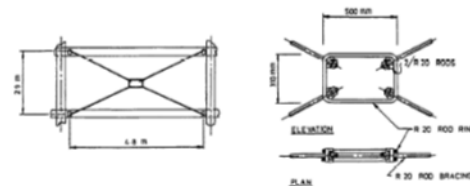


Figure 3.10 Yielding steel bracing system (after Tyler, 1985)

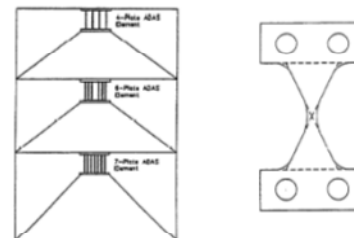


Figure 3.11 ADAS elements and installation (after Whittaker et al., 1991)

AD ATTRITO

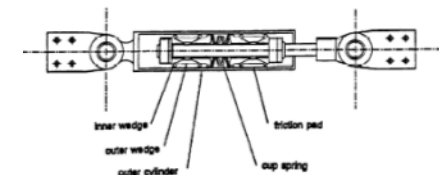


Figure 3.3 Sumitomo friction damper (after Aiken et al., 1992)

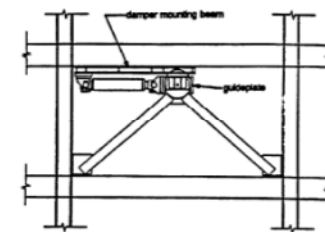


Figure 3.4 Installation detail of Sumitomo friction dampers in the experimental frame (after Aiken et al., 1992).

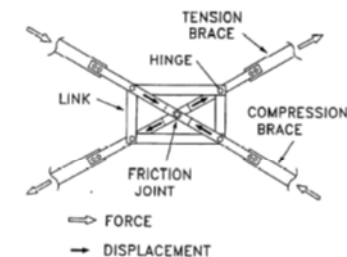
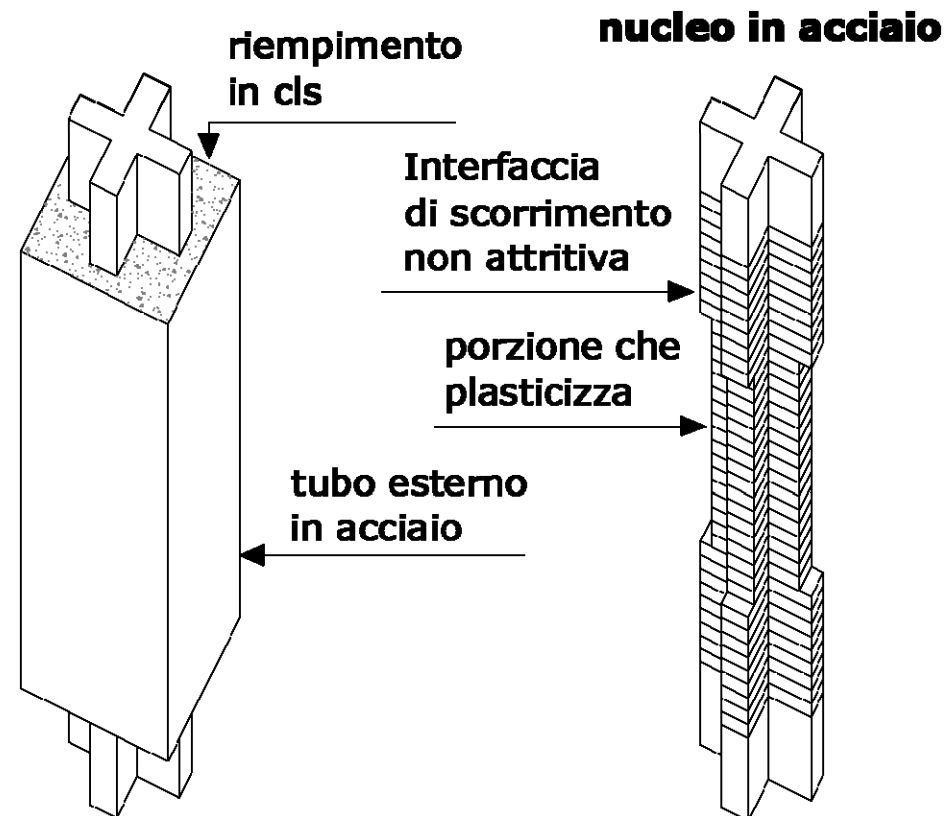


Figure 3.2 Pall friction damper (after Pall and Madsen, 1982)

controventi dissipativi ad instabilità impedita

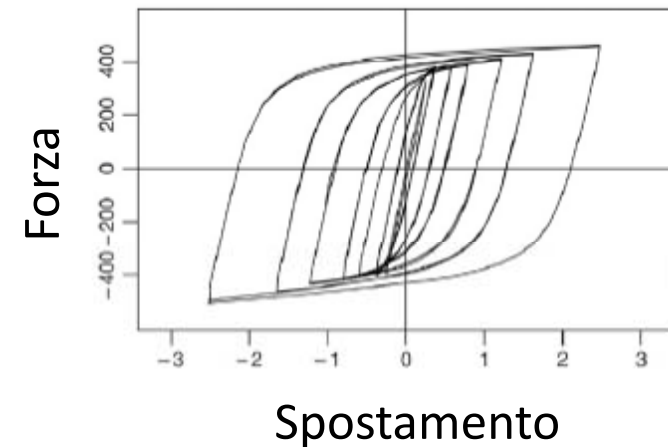
Dispositivo di larga diffusione che offre notevoli vantaggi



controventi dissipativi ad instabilità impedita

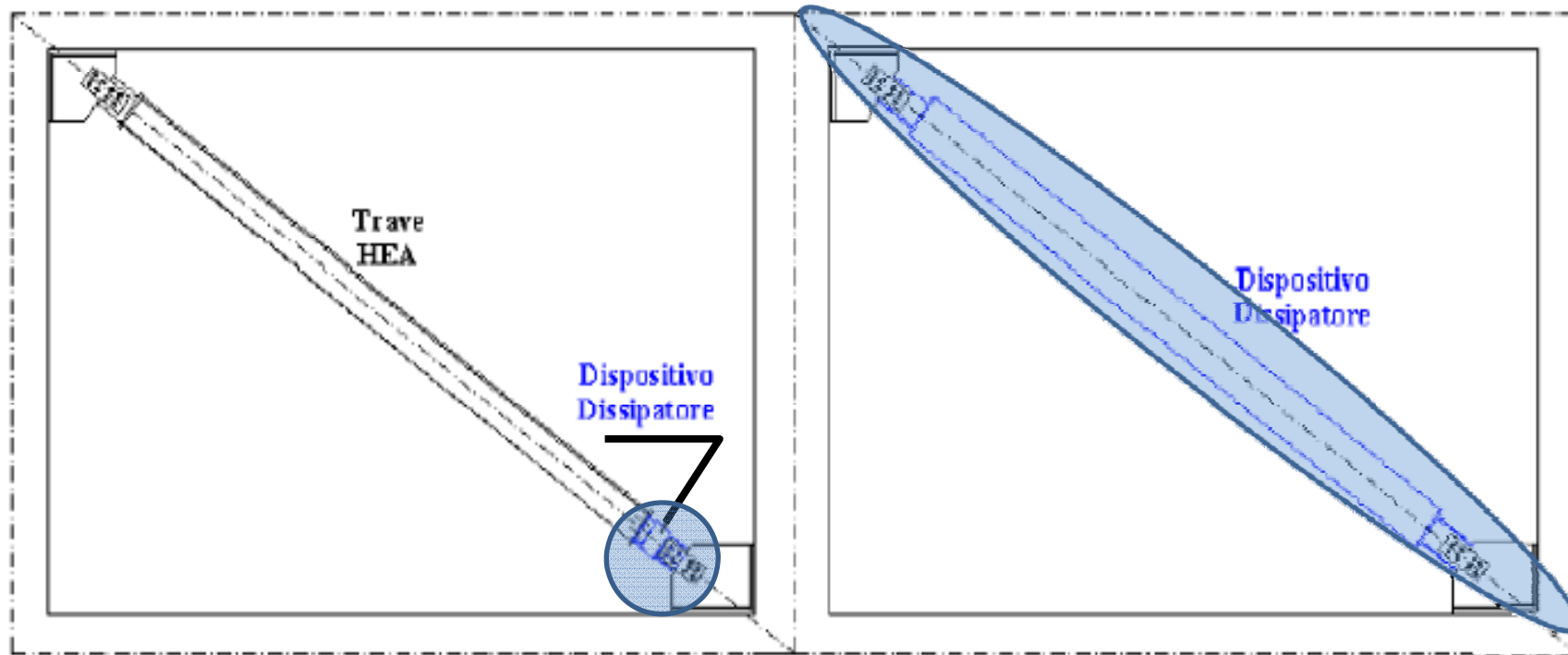
Vantaggi

- 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



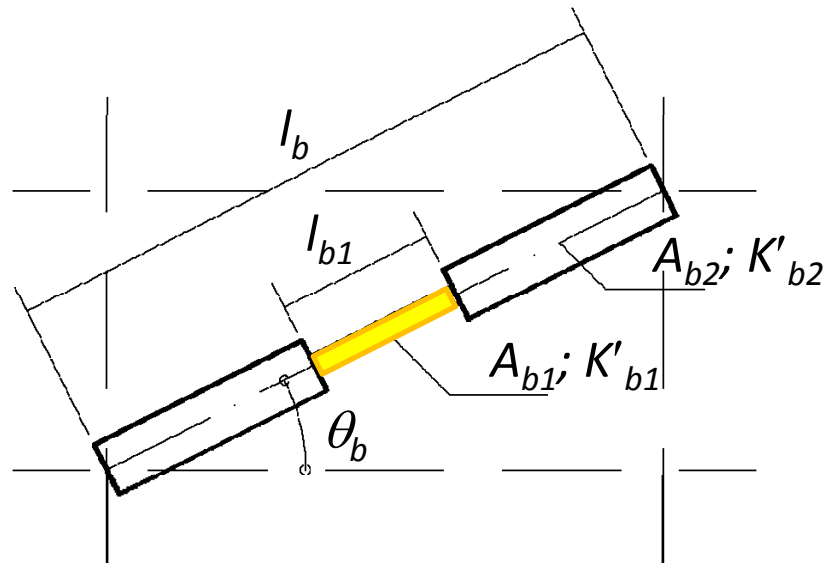
controventi dissipativi ad instabilità impedita

Configurazione tipo – altre disposizioni possono essere adottate



controventi dissipativi ad instabilità impedita

Schematizzazione



$$K'_b = \frac{K'_{b1} K'_{b2}}{K'_{b1} + K'_{b2}}$$

$$F'_{by} = f_{by} A_{b1}$$

$$D'_{by} = \frac{F'_{by}}{K'_{b1}} = \frac{f_{by}}{E_b} l_{b1}$$

Criteri progettuali

Comportamento del BRB

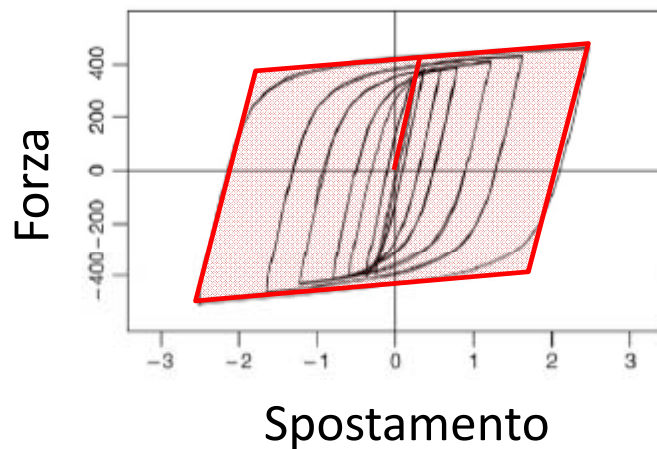
Proprietà meccaniche (f_{by} , E_b , β_b)

Caratteristiche geometriche (I_b , θ_b , A_b)

Posizione piano-altimetrica



Comportamento ciclico stabile

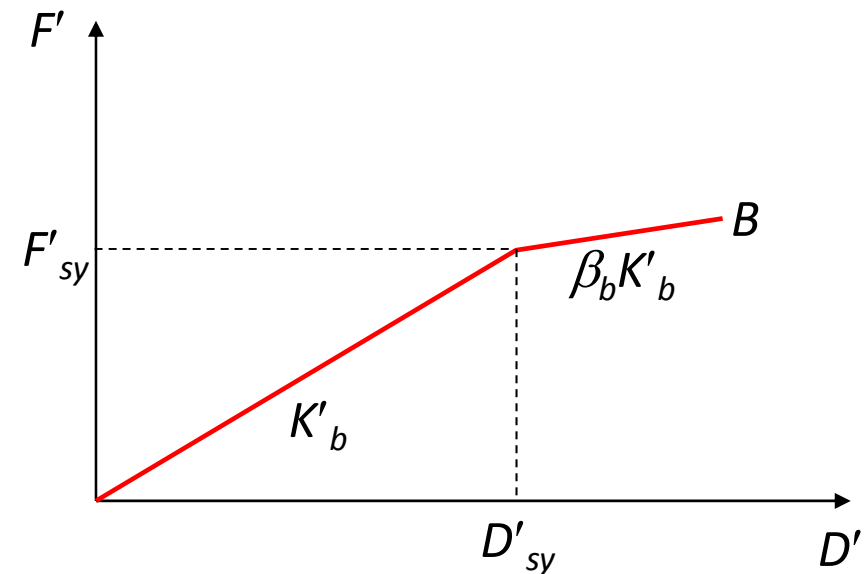


Comportamento monotono bilineare

Rigidezza assiale K'_b

Forza/spost. di snervamento F'_{sy}/D'_{sy}

Rapporto di incrudimento β_b



ANALISI STRUTTURALE

Una struttura dotata di sistemi di dissipazione dell'energia deve essere studiata attraverso modelli non lineari.

E' di fondamentale importanza la metodologia che si adotta per l'analisi strutturale.

- ANALISI DINAMICA NON LINEARE:

- è in teoria la soluzione esatta ma impone:

- un elevato onere computazionale
- una grande accuratezza in fase di modellazione strutturale
- una attenta selezione degli accelerogrammi
- una complessa interpretazione dei risultati

- ANALISI STATICA NON LINEARE:

- Richiede un minor onere computazionale
- l'azione sismica viene applicata sotto forma di forze orizzontali monotonamente incrementate
- L'accuratezza del risultato è legata alla regolarità strutturata ed alla distribuzione di forze scelta

ANALISI STRUTTURALE

Il metodo per la progettazione dei controventi qui presentato utilizza l'analisi statica non lineare

- rappresenta una metodologia di più agevole applicazione
 - accurata per strutture regolari
 - attraverso un opportuno inserimento di controventature, possono essere regolarizzate anche strutture non regolari.
- una struttura con l'inserimento di controventi dissipativi può essere resa "più regolare" della struttura convenzionale iniziale
- L'analisi statica non lineare è dunque maggiormente adatta per una analisi di strutture con controventi dissipativi.

L'analisi dinamica non lineare semplifica la valutazione della sensibilità alle incertezze di modellazione (es accuratezza del modello ciclico – dissipazione)

Il riferimento all'analisi modale (uso delle forme modali) consente ragionamenti anche di tipo globale sulle scelte progettuali

ANALISI STATICA NON LINEARE: 2D O 3D

- Si presenta qui il caso di modelli piani 2D che possono essere rappresentativi di strutture dotate di notevole regolarità.
- Il metodo proposto è comunque estendibile al caso 3D (per la valutazione della curva di capacità della struttura)

Se sono di rilievo meccanismi torsionali conseguenti alla specifica distribuzione di masse e rigidzze, è necessaria l'analisi di tipo 3D.

L'inserimento dei controventi dissipativi secondo un'opportuna distribuzione può ridurre gli effetti torsionali "regolarizzando" la struttura e consentendo analisi 2D.

In letteratura sono comunque presenti metodologie per condurre analisi di spinta che consentano di condurre comunque analisi piane includendo in esse, con una certa approssimazione, gli effetti di meccanismi propri del sistema 3D (Lin J., Tsai K. 2007; Chopra A.K., Goel R.K. 2004).

Analisi statica non lineare

Consiste nell'applicare alla struttura un sistema di forze (adottando una opportuna distribuzione) orizzontali monotonamente crescenti sino al raggiungimento della condizione ultima. L'analisi si articola come segue:

1. Si applicano le forze orizzontali secondo la prefissata distribuzione
2. Si incrementano le forze monotonamente e si determina un legame forza-spostamento tra le forze applicate (ovvero il taglio alla base) e la traslazione di un punto di controllo (es. baricentro dell'ultimo piano)
3. Si determina un sistema ad 1gdl equivalente caratterizzato da un legame forza-spostamento bilineare equivalente
4. Si determina la risposta massima in spostamento del sistema ad 1gdl equiv. mediante spettro elastico
5. Si valuta con procedimento inverso la configurazione deformata dell'edificio da verificare a partire dalla risposta del sistema ad 1gdl equiv..

Analisi statica non lineare

1. Si determina un sistema ad 1gdl equivalente caratterizzato da un legame forza-spostamento bilineare equivalente

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{u}} + \mathbf{C}\dot{\mathbf{u}} + \mathbf{F}(\mathbf{u}, \dot{\mathbf{u}}) = -\mathbf{M}\mathbf{I}\ddot{u}_g \quad \mathbf{u}(t) = \Phi \mathbf{q}(t) = \sum_{m=1}^{N_m} \phi_m q_m(t)$$

$$\phi_m^T \mathbf{M} \phi_m \ddot{q}_m + \phi_m^T \mathbf{C} \phi_m \dot{q}_m + \phi_m^T \mathbf{F}(\mathbf{u}, \dot{\mathbf{u}}) = -\phi_m^T \mathbf{M} \mathbf{I} \ddot{u}_g$$

$$L_m = \phi_m^T \mathbf{M} \mathbf{I} \quad M_m = \phi_m^T \mathbf{M} \phi_m \quad C_m = \phi_m^T \mathbf{C} \phi_m \quad \Gamma_m = \frac{L_m}{M_m}$$

$$M_m \ddot{q}_m + C_m \dot{q}_m + \phi_m^T \mathbf{F}(\phi_m q_m, \phi_m \dot{q}_m) = -\Gamma_m M_m \ddot{u}_g$$

$$\frac{\ddot{q}_m}{\Gamma_m} + 2\nu_m \omega_m \frac{\dot{q}_m}{\Gamma_m} + \phi_m^T \frac{\mathbf{F}(\phi_m q_m, \phi_m \dot{q}_m)}{\Gamma_m M_m} = \frac{\ddot{q}_m}{\Gamma_m} + 2\nu_m \omega_m \frac{\dot{q}_m}{\Gamma_m} + \frac{\tilde{F}_m(\phi_m q_m, \phi_m \dot{q}_m)}{\Gamma_m M_m} = -{}_m \ddot{u}_g$$

$$D_m = \frac{q_m}{\Gamma_m} \quad D_m + 2\nu_m \omega_m D_m + \frac{\tilde{F}_m(\Gamma_m \phi_m D_m, \Gamma_m \phi_m \dot{D}_m)}{\Gamma_m M_m} = D_m + 2\nu_m \omega_m D_m + \phi_m^T \frac{\tilde{F}_m(D_m, \dot{D}_m)}{\Gamma_m M_m} = -{}_m \ddot{u}_g$$

Analisi statica non lineare

1. Si determina un sistema ad 1gdl equivalente caratterizzato da un legame forza-spostamento bilineare equivalente

$$D_m + 2v_m \omega_m D_m + \frac{\tilde{F}_m(\Gamma_m \phi_m D_m, \Gamma_m \phi_m \dot{D}_m)}{\Gamma_m M_m}$$

$$D_m = \frac{u_t}{\Gamma_m \phi_{mt}} \quad \frac{\tilde{F}_m(D_m)}{L_m} = \frac{V_{bm}}{\Gamma_m L_m}$$

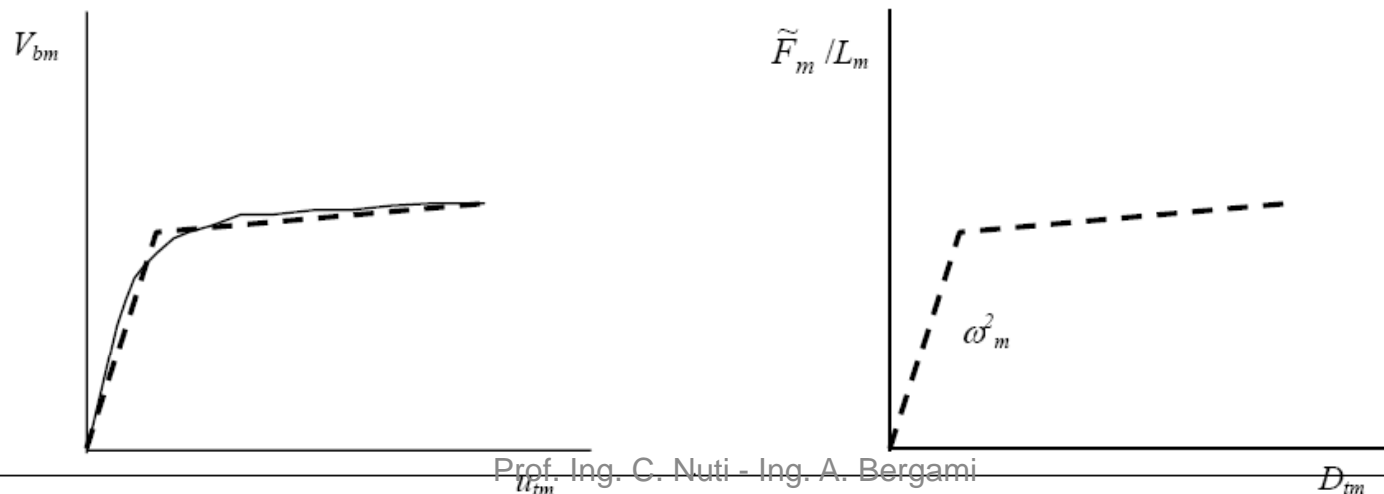


Figura 3.8. Definizione del legame costitutivo del sistema SDOF a partire dalla curva di capacità della sistema MDOF.

Analisi statica non lineare

Il sistema di forze applicato e che spinge sino al collasso la struttura deve essere rappresentativo degli effetti prodotti dal sisma

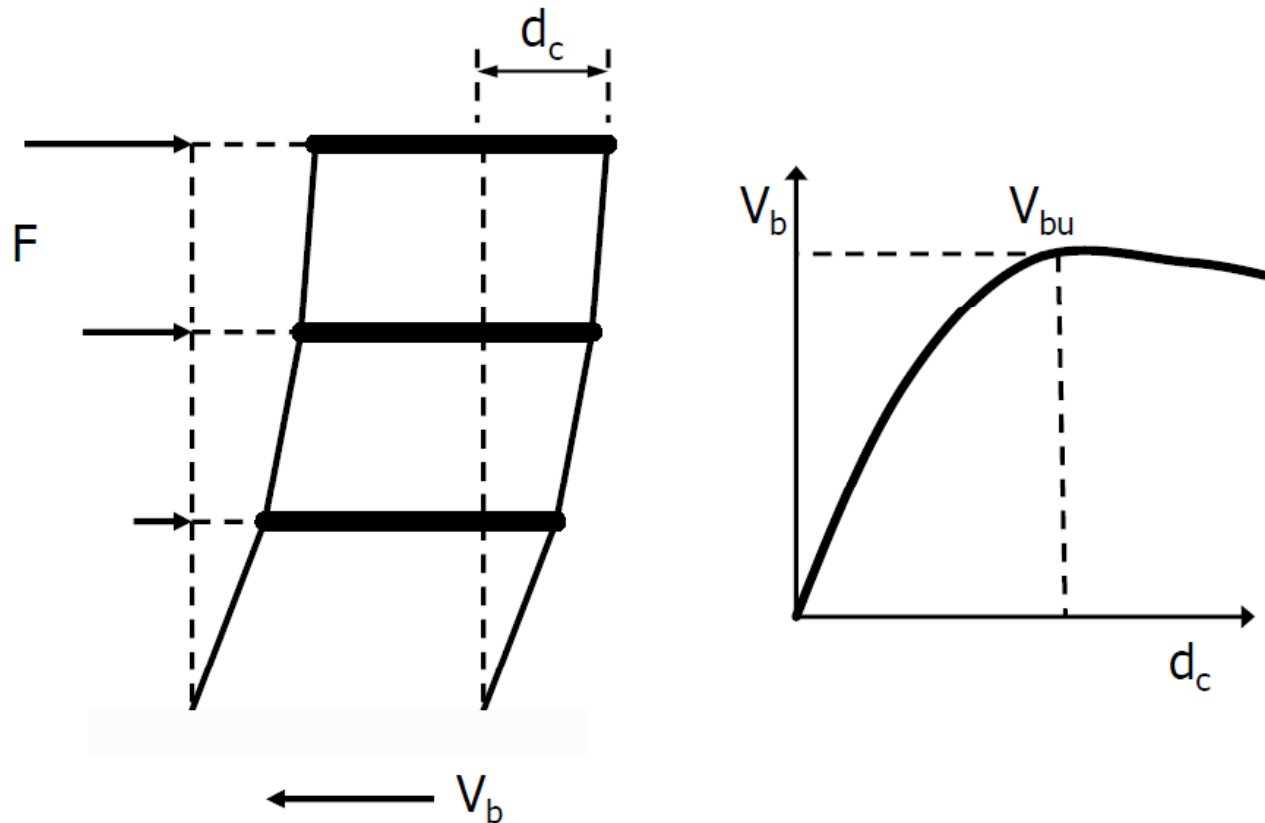
Gli effetti prodotti dal sisma sulla struttura sono legati alla risposta strutturale e dunque queste forze dovrebbero modificare la loro distribuzione durante le fasi dell'analisi (pushover adattivo)

Altro fattore da tenere in considerazione è l'eccentricità delle masse rispetto alle rigidità con conseguente accoppiamento roto-traslazionale. E' possibile tenere in conto di questi effetti introducendo una eccentricità delle forze o conducendo analisi distinte forza-spostamento e momento-rotazione (Lin J., Tsai K. C. (2008))

Esistono anche metodi per poter condurre analisi statica non lineare tenendo in conto degli effetti delle varie forme modali; il contributo delle forme modali superiori è particolarmente rilevante nelle strutture alte (Chopra A. K., Goel R. K. (2004))

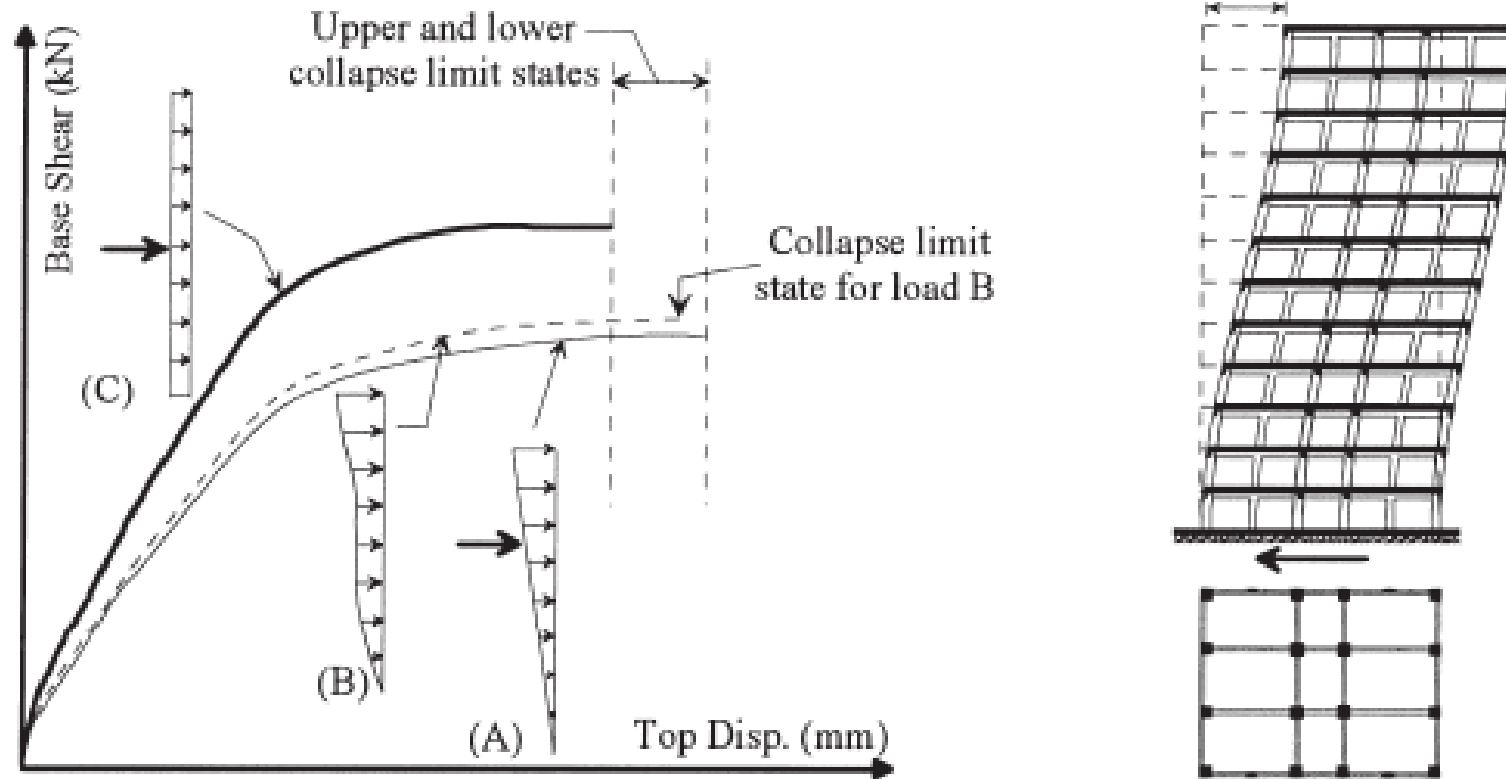
In genere si adotta una distribuzione di forze orizzontali rappresentativa della prima forma modale (valida per strutture “a primo modo prevalente”)

ANALISI STATICA NON LINEARE



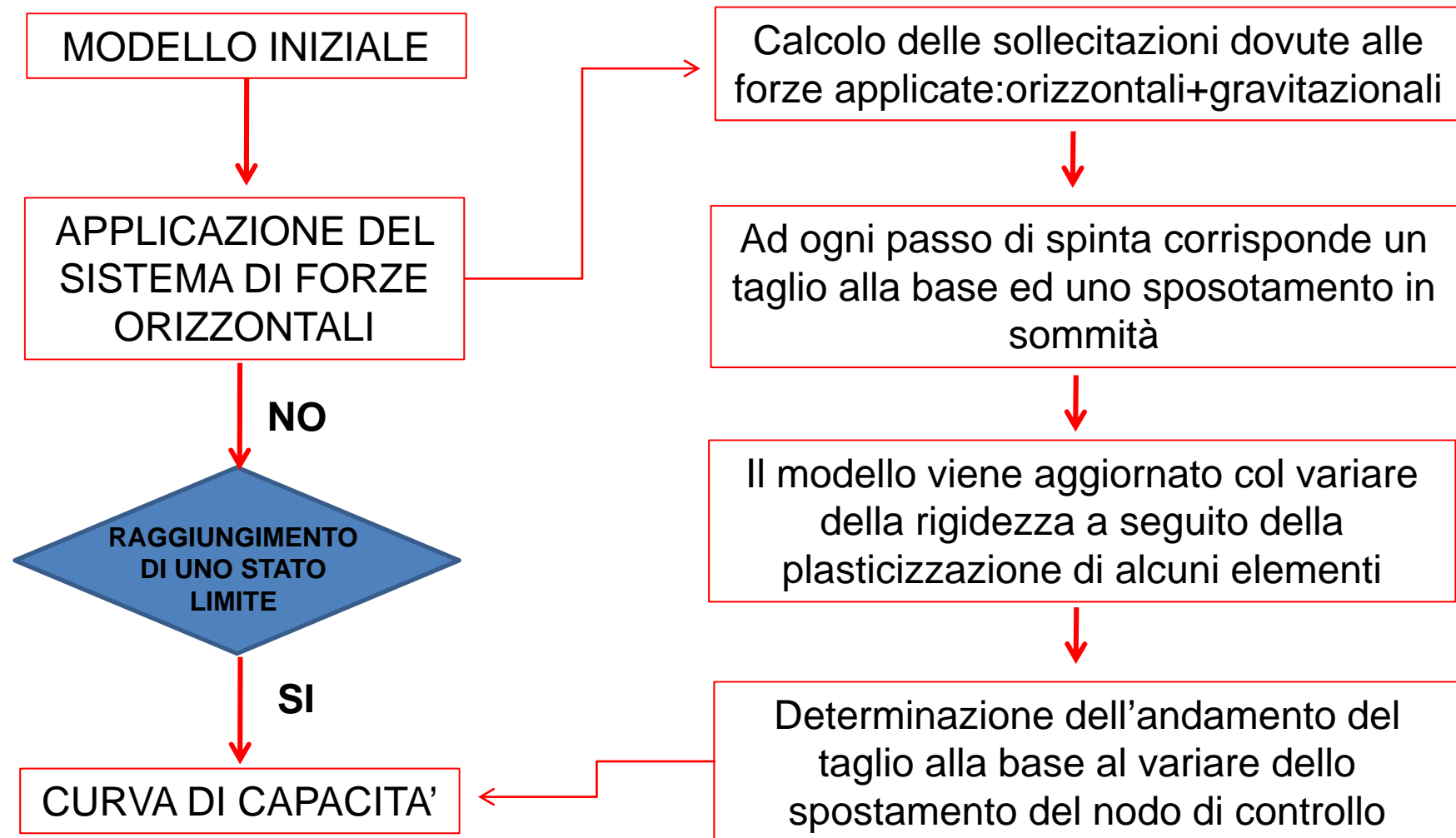
Applicazione di un profilo di carico (forze F) su di un telaio piano e valutazione della traslazione “ d_c ” del punto di controllo. La curva di capacità rappresenta il taglio alla base “ V_b ” al variare dello spostamento “ d_c ”

ANALISI STATICA NON LINEARE



Curve di capacità ottenute con diversi profili di carico: (A) triangolare, (B) modale, (C) Costante.

Analisi statica non lineare



Analisi dinamica non lineare

Consiste nell'applicare alla struttura una serie di accelerogrammi orizzontali (se necessario anche verticale), ad ogni passo dell'analisi corrisponde una risposta della struttura (nel corso dell'analisi può essere raggiunta una condizione ultima):

1. Definizione di un modello molto accurato (l'accuratezza del modello è fondamentale per evitare risultati non significativi)
2. Definizione di legami ciclici per gli elementi
3. Definizione dell'input sismico ovvero di una serie di accelerogrammi rappresentativi
4. Verifica della struttura

Questa analisi richiede un ingente onere computazionale ed i risultati ottenuti sono di più complessa interpretazione. Il modello strutturale richiede grande accuratezza e un'approfondita conoscenza delle caratteristiche, anche cicliche, di materiali ed elementi.