



DICEA

**DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA
CIVILE E AMBIENTALE**

L'uso di moderne tecnologie d'isolamento e di dissipazione supplementare di energia per la progettazione del nuovo e l'adeguamento dell'esistente

Metodi di progetto di sistemi di dissipazione supplementare di energia

Prof.ssa Ing. Gloria Terenzi

Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Università di Firenze

Dissipazione supplementare di energia

C.M. n. 7, 21 gennaio 2019 - §C7.10.1

.... l'introduzione del sistema di dissipazione produce

un aumento dello smorzamento

e, se il sistema determina

un irrigidimento della struttura (riduzione del periodo)

oltrech , per molti sistemi di uso corrente

un aumento della resistenza complessiva

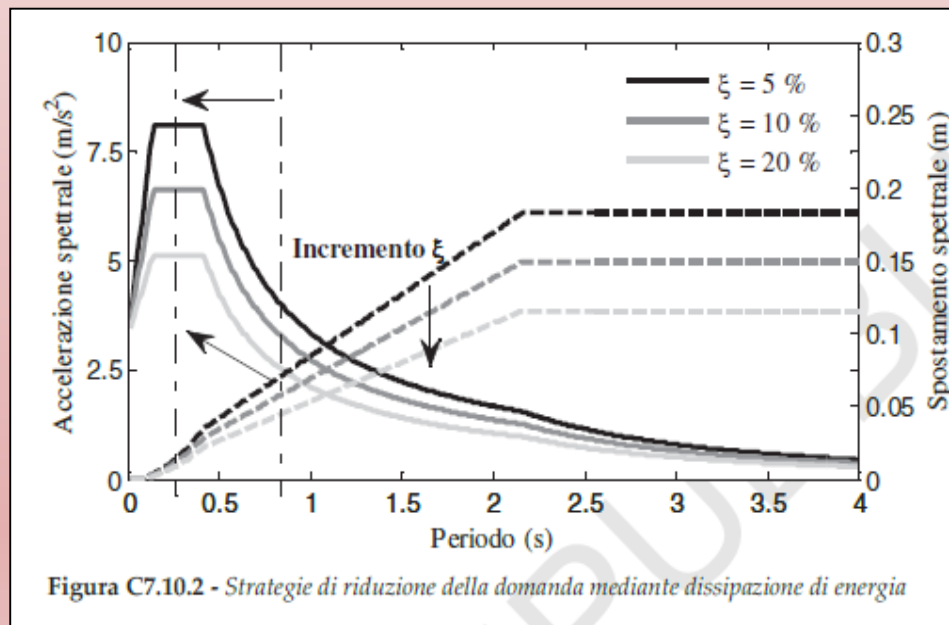


Figura C7.10.2 - Strategie di riduzione della domanda mediante dissipazione di energia

Dissipazione supplementare di energia

C.M. n. 7, 21 gennaio 2019

C7.10.4 INDICAZIONI PROGETTUALI

La progettazione richiede, in generale, la scelta della tipologia dei dispositivi e il loro dimensionamento, in base agli obiettivi da raggiungere.

Nel caso in cui si intervenga su una struttura esistente, l'analisi preliminare della struttura allo stato attuale fornisce utili indicazioni per il progetto del sistema di dissipazione.

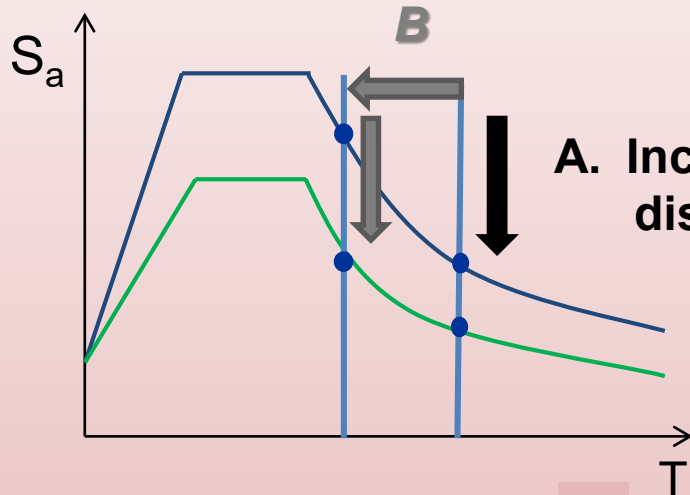
L'inserimento del sistema dissipativo sarà finalizzato a ridurre le deformazioni, in modo da contenere i danni ed evitare il collasso della struttura, attraverso le due seguenti azioni alternative:

1. l'incremento della sola dissipazione, che si traduce in uno smorzamento modale equivalente aggiuntivo, con la conseguente riduzione dell'ordinata dello spettro degli spostamenti, a parità di periodo proprio;
2. l'incremento della rigidità e della dissipazione, per cui la riduzione dell'ordinata dello spettro degli spostamenti avviene sia per aumento dello smorzamento che per riduzione del periodo.

La prima è ottenibile con l'utilizzazione di dispositivi dipendenti dalla velocità e si applica bene a strutture dotate di per sé di buona rigidità e resistenza, per le quali è sufficiente una riduzione dell'ordine del 20-40% delle deformazioni sismiche, conseguente ad una uguale riduzione delle forze sismiche.

La seconda è ottenibile con l'utilizzazione di dispositivi dipendenti dallo spostamento e permette di ridurre drasticamente le deformazioni prodotte dal sisma. Nel contempo si possono però avere notevoli incrementi delle accelerazioni, e quindi incrementi delle forze sismiche, con aggravio delle sollecitazioni in fondazione.

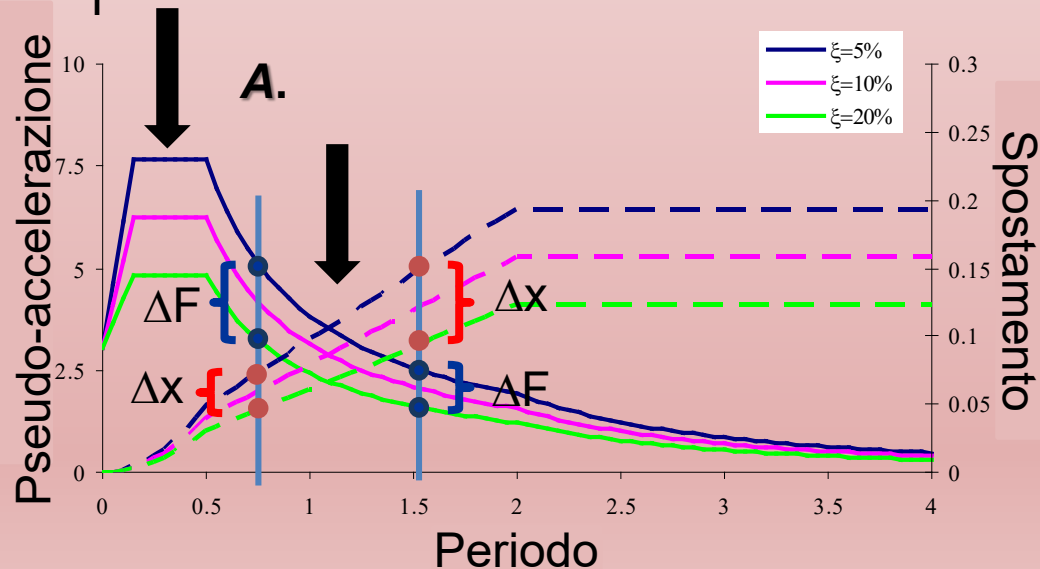
Dissipazione supplementare di energia



A. Inclusione di dispositivi preminentemente dissipativi

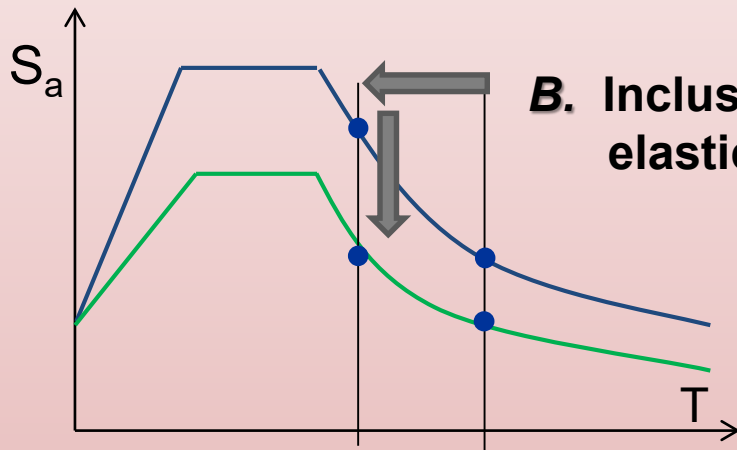
E' preferibile adottare la soluzione A. per periodi $T \leq 1$ s.

$T < 1$ s $\rightarrow \Delta F \gg \Delta X$
 $T > 1$ s $\rightarrow \Delta X \gg \Delta F$



Dissipazione supplementare di energia

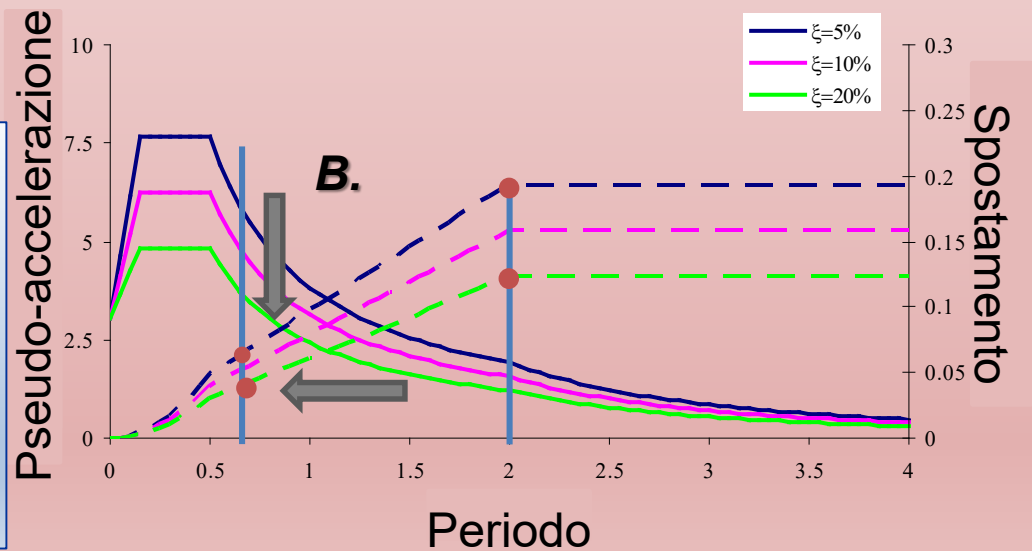
- B.** Necessità di ridurre gli spostamenti nella struttura troppo deformabile nei confronti delle azioni orizzontali per incremento della rigidezza e dello smorzamento.



B. Inclusione di dispositivi congiuntamente elastico-dissipativi

E' preferibile adottare la soluzione **B.** per periodi $T > 1$ s.

Per $0.8 \text{ s} < T < 1.5 \text{ s}$ i benefici derivanti dai dispositivi di **Tipo A.** e **B.** sono confrontabili.
Per periodi minori il dispositivo elastico-dissipativo di **Tipo B.** può non attivarsi anche per basse intensità dell'azione sismica.



Dissipazione supplementare di energia

C.M. n. 7, 21 gennaio 2019 - § C7.10.4 Indicazioni progettuali

.....

Le connessioni tra i controventi e i nodi strutturali devono essere progettate in modo tale da assorbire, con ampio margine di sicurezza, le forze previste dal calcolo. Le stesse aste non dovranno subire fenomeni di instabilità, sotto la massima forza che il dispositivo dissipativo è in grado di trasmettere.

Per i dispositivi dipendenti dagli spostamenti i parametri fondamentali sono la rigidezza k_d e la resistenza F_{dy} , la duttilità μ_c e il rapporto tra la rigidezza del sistema dissipativo k_c e quella della struttura k_s , mentre per i dispositivi dipendenti dalla velocità sono la costante di smorzamento e l'eventuale rigidezza.

Parametri progettuali per

DISPOSITIVI DIPENDENTI DAGLI SPOSTAMENTI:

- rigidezza del dispositivo k_d ,
- resistenza F_{dy} ,
- duttilità del sistema dissipativo μ_c ,
- rapporto fra rigidezza del sistema dissipativo e rigidezza della struttura k_c/k_s

Parametri progettuali per

DISPOSITIVI DIPENDENTI DALLA VELOCITÀ:

- costante di smorzamento equivalente c_{eq}
- rigidezza del dispositivo $k_{d,i,s}$

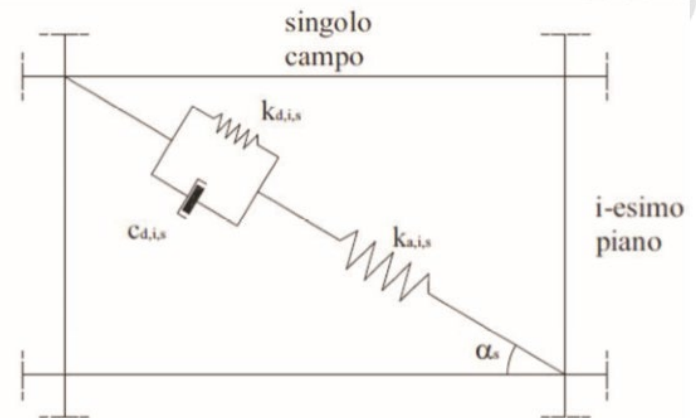
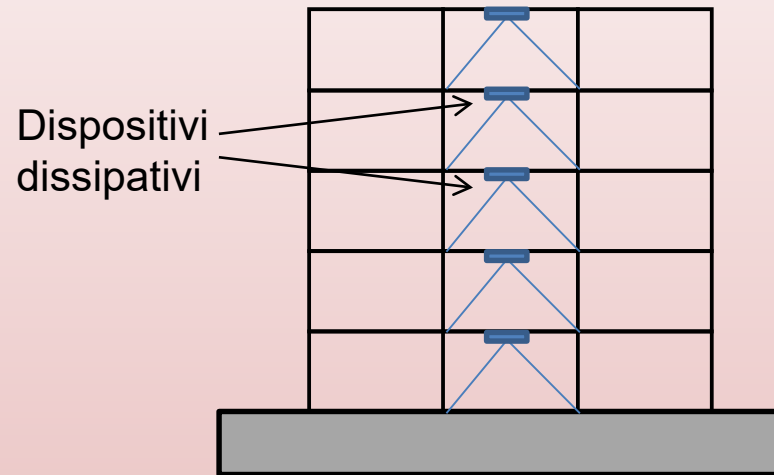
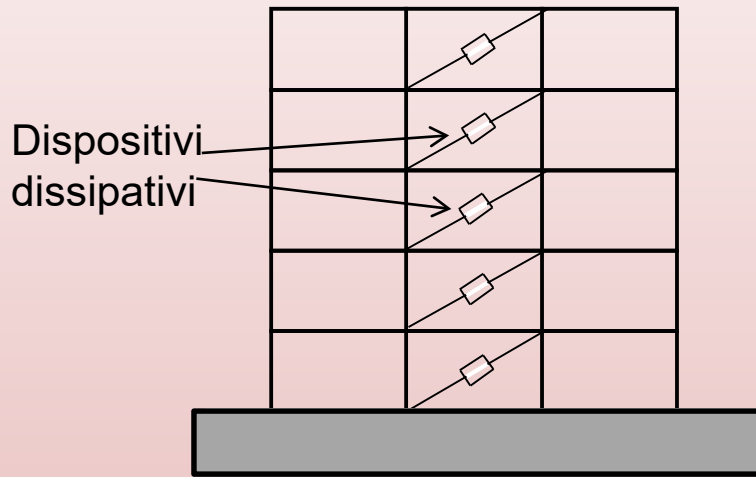


Figura C7.10.2 - Rigidezza risultante del telaio rinforzato con sistema dissipativo

Dissipazione supplementare di energia



La loro disposizione dipende dalla *tipologia di dispositivo* e dalle *caratteristiche architettoniche e strutturali* dell'edificio in cui vanno inseriti

I parametri modali cambiano in ragione del funzionamento in serie di aste diagonali e dispositivi



$$k_C = \frac{k_d \cdot k_a}{k_d + k_a}$$

Dissipazione supplementare di energia

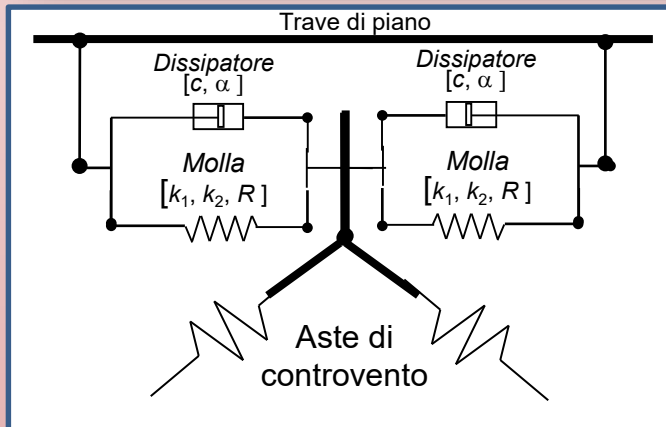
C.M. n. 7, 21 gennaio 2019 - §7.10.4.1

La rigidezza del sistema dissipativo deriva dalla combinazione delle rigidezze dei singoli componenti, ossia del dispositivo dissipativo e della struttura, generalmente metallica, di supporto.

Indicando con: k_c la rigidezza del sistema dissipativo, k_s la rigidezza del telaio, k_d la rigidezza del dispositivo e k_a la rigidezza del supporto metallico, e con riferimento alla Figura C7.10.2, si ha:

$$k_C = \frac{1}{\frac{1}{k_d} + \frac{1}{k_a}} \quad \text{rigidezza del sistema;} \quad [C7.10.1]$$

$$k_{TOT} = k_s + k_c \quad \text{rigidezza del telaio rinforzato.} \quad [C7.10.2]$$



IN SERIE

$$k_C = \frac{k_d \cdot k_a}{k_d + k_a}$$

IN PARALLELE

$$k_{tot} = k_c + k_s$$

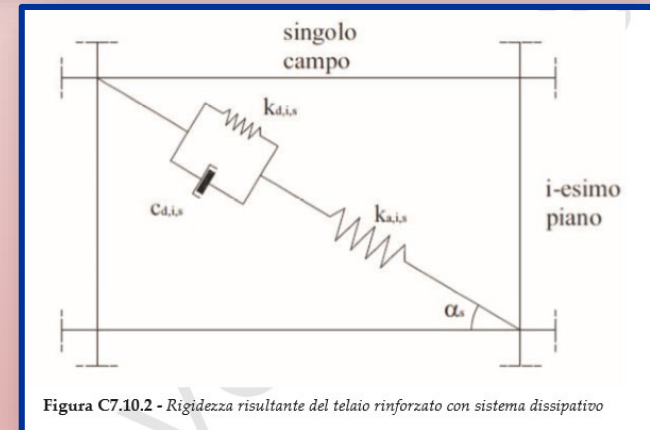


Figura C7.10.2 - Rigidezza risultante del telaio rinforzato con sistema dissipativo

Dissipazione supplementare di energia

C.M. n. 7, 21 gennaio 2019 - §7.10.4.1

.....

In generale il sistema di supporto deve possedere un'elevata rigidezza, rigidezza assiale se si tratta di controventi, necessaria per concentrare le deformazioni indotte dal sisma nei dispositivi e per garantire una significativa dissipazione d'energia per piccoli spostamenti.

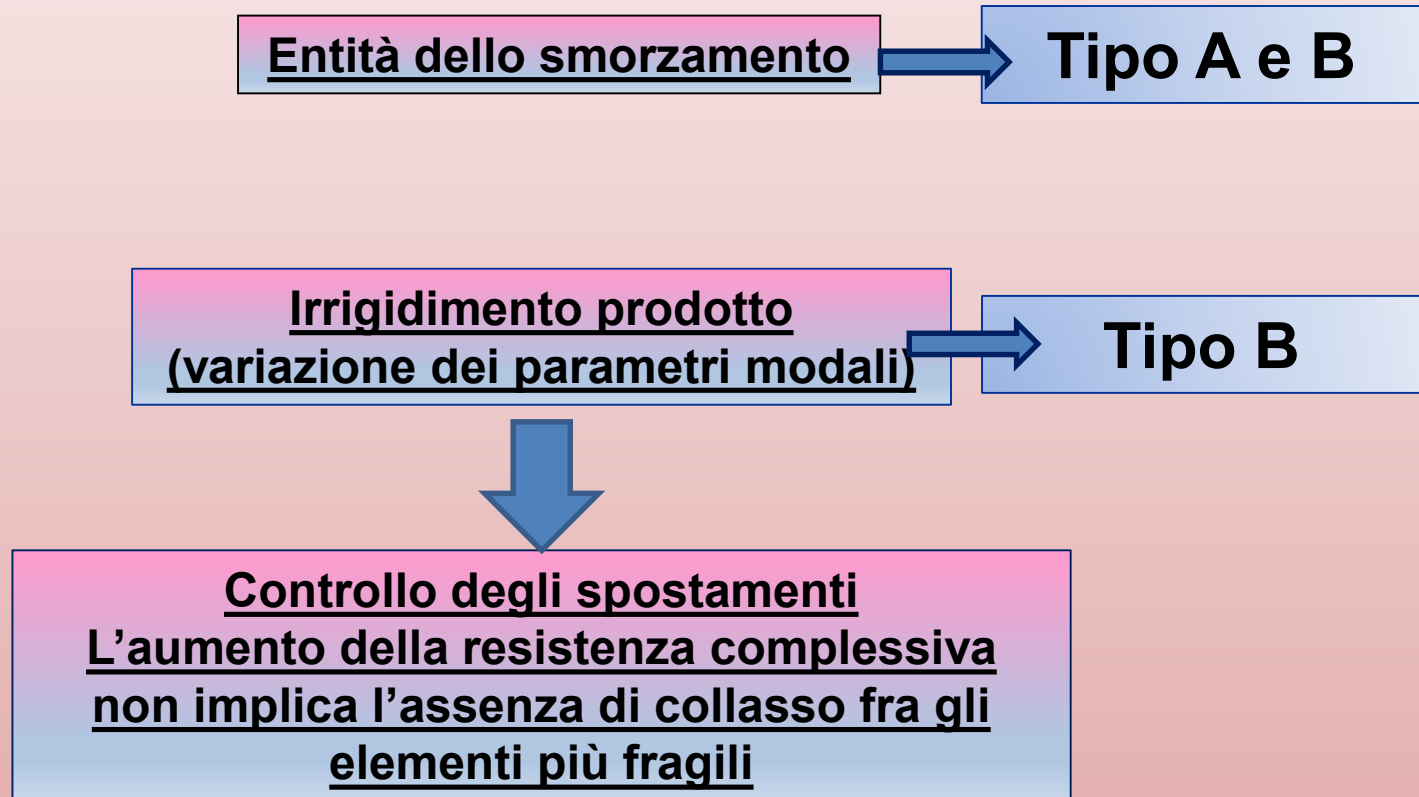
Per garantire un'efficace interazione, i sistemi dissipativi devono essere posizionati nel piano dei telai, possibilmente all'interno delle maglie strutturali. In caso contrario, particolare attenzione va posta nello studio delle connessioni, che possono risultare non sufficientemente rigide o indurre eccessive sollecitazioni locali nelle strutture portanti dell'edificio.

La rigidezza deve essere stimata in relazione alla massima forza esplicabile dal dispositivo. Per essa le aste di controventamento devono rimanere elastiche, senza instabilizzarsi.

Nel caso d'impiego di dispositivi preminentemente dissipativi non è necessario disporre i controventi in quelle maglie in cui risulterebbe minimizzata l'eccentricità fra centro di massa e centro di rigidezza.

Dissipazione supplementare di energia

Parametri di progetto del sistema



Dissipazione supplementare di energia

Parametri di progetto del sistema

Progetto per prestazione

```
graph TD; A[Progetto per prestazione] --> B[Tipo A e B]; C[Se il dispositivo prescelto si attiva prima che si danneggi la tamponatura!] --> A;
```

Tipo A e B

C.M. n. 7, 21 gennaio 2019 - (l'irrigidimento prodotto) determina una sensibile riduzione degli spostamenti complessivi (si vedano gli spettri di spostamento) e, quindi, degli spostamenti interpiano, con conseguente riduzione dei danni agli elementi strutturali e non.....

**Se il dispositivo prescelto
si attiva prima che si
danneggi la tamponatura!**

Dissipazione supplementare di energia

Scenari di danno rilevato in occasione della scossa del 3/11/2016 dovuto alla scossa di $M = 4.8$ (epicentro a Pieve Torrina - MC), successive alla scossa principale del 30/10/2016 $M=6.5$ (epicentro in prossimità di Norcia)

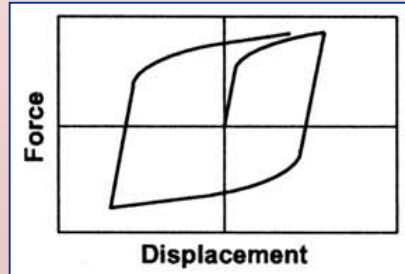


Dissipazione supplementare di energia

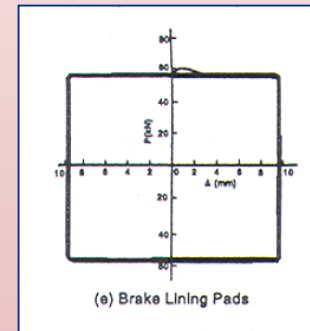
Parametri di progetto del sistema

Lo smorzamento

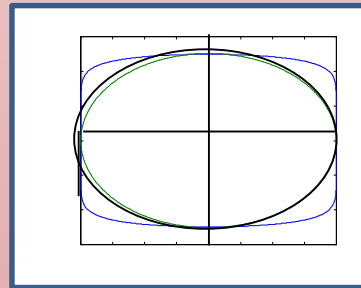
(definizione della modalità di smorzamento per tipologia di dispositivo)



Isteresi metallica



Attrito



Viscosità lineare e non lineare

Dissipazione supplementare di energia

Parametri di progetto del sistema

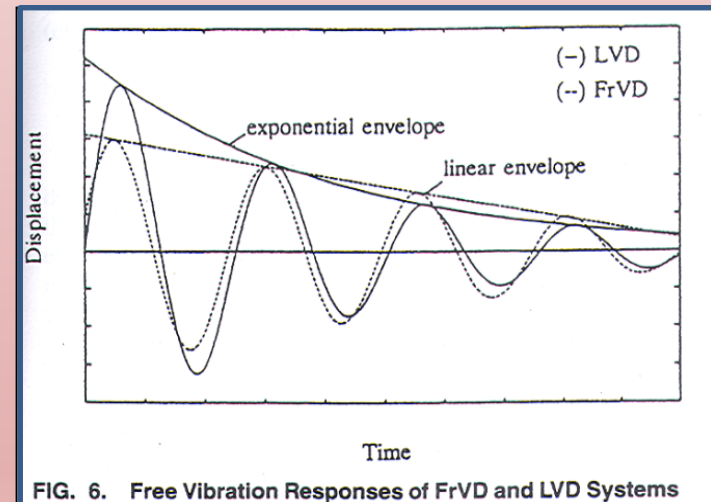
Lo smorzamento (come lo si quantifica)

1. “Decremento logaritmico” δ inteso come rapporto fra le ampiezze di cicli di risposta successivi:
(stimabile per involucri esponenziali)

$$\delta = \frac{1}{N} \ln \frac{W_n}{W_{n+N}}$$

W_n = ampiezza dell'n-esimo ciclo;

W_{n+N} = ampiezza dell'(n+N)-esimo ciclo.



Dissipazione supplementare di energia

Parametri di progetto del sistema

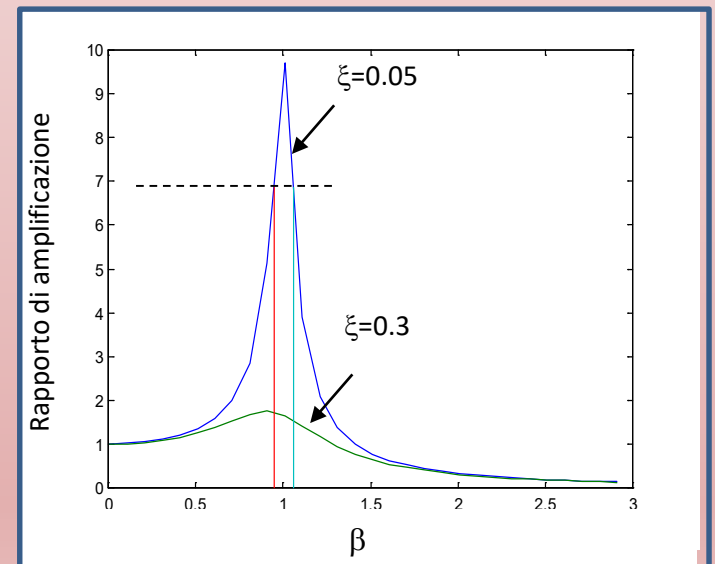
Lo smorzamento (come lo si quantifica)

2. “Fattore di qualità inverso” Q^{-1} :
(per alti rapporti di smorzamento si perde la simmetria)

$$Q^{-1} = \frac{\omega_2 - \omega_1}{\omega_0}$$

ω_0 = frequenza circolare di risonanza;

ω_1, ω_2 = frequenze simmetriche rispetto a quella di risonanza per cui l'ampiezza della risposta strutturale risulta uguale a quella di risonanza moltiplicata per un coefficiente pari ad $1/\sqrt{2}$.



Dissipazione supplementare di energia

Parametri di progetto del sistema

Lo smorzamento (come lo si quantifica)

3. “Coefficiente di smorzamento viscoso” ξ :
(sistemi con viscosità lineare)

$$\xi = \frac{C}{2\sqrt{km}}$$

4. Rapporto fra i moduli E'' ed E' :
(sistemi viscoelastici con modello reologico in serie)



$$\operatorname{tg} \phi = \frac{E''}{E'}$$

5. $\operatorname{tg} \epsilon$: tangente dell'angolo di fase, tra forzante e risposta
(la sua definizione è di non facile calibrazione sperimentale)

Dissipazione supplementare di energia

Parametri di progetto del sistema

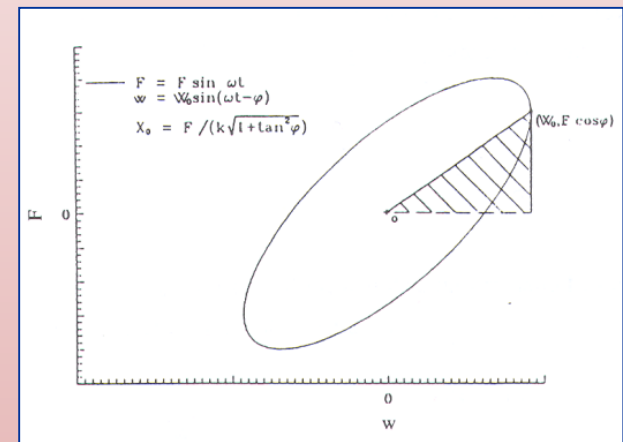
Lo smorzamento (come lo si quantifica)

6. “Loss Factor” κ :

$$\kappa = \frac{E_D}{2\pi E_e}$$

E_D = Energia dissipata;

E_e = Energia di deformazione elastica.



Sempre stimabile!

Dissipazione supplementare di energia

Parametri di progetto del sistema

Lo smorzamento (come lo si quantifica)

Equivalenza accettabile per basse entità dello smorzamento:

$$tg\varepsilon = \frac{E''}{E'} = \kappa = Q^{-1} = \frac{\delta}{\pi} = 2\xi$$

**Assunzione di normativa per lo
smorzamento equivalente**



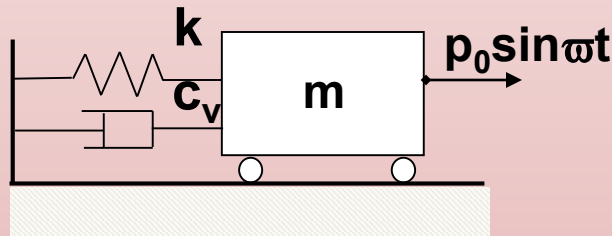
$$\xi_{esi} = \frac{W_d}{2\pi Fd} = \frac{E_D}{4\pi E_e} = \frac{\kappa}{2}$$

Lo smorzamento (come lo si quantifica)

➤ Caso di sistema con caratteristiche di viscosità lineare

Terenzi, G. (1999). Dynamics of SDOF systems with nonlinear viscous damping, *Journal of Engineering Mechanics*, ASCE, 125(8), 956-963.

Sistema ad un grado di libertà



$$\kappa = \frac{E_d}{2\pi E_e} = \frac{\pi c_v \varpi \left(\frac{p_0}{k}\right)^2 D^2}{2\pi \frac{1}{2} k \left(\frac{p_0}{k}\right)^2 D^2} = \frac{c_v \varpi}{k}$$
$$2\xi = \frac{c_v}{\sqrt{km}} = \frac{c_v \omega_1}{k}$$

$$2\xi = \frac{\kappa \omega_1}{\varpi} = \frac{\kappa}{\beta}$$

L'uguaglianza è verificata solo se $\varpi = \omega_1$

Dissipazione supplementare di energia

Parametri di progetto del sistema

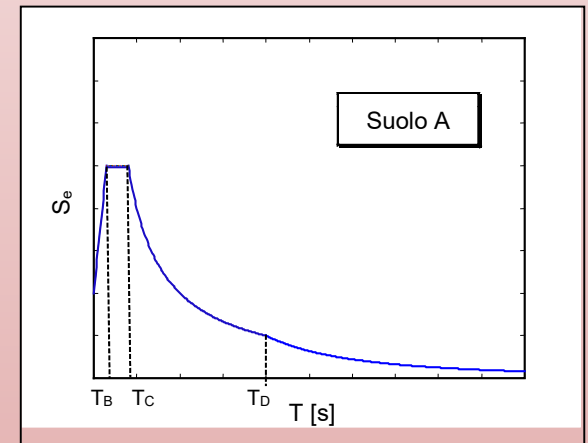
Lo smorzamento (come lo si quantifica)

NTC2018 - §3.2.3.2 **Spettro di risposta elastico in accelerazione**
«.....smorzamento convenzionale ξ del 5%»

.....

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g S \eta F_0 \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta F_0} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

..... η è il fattore che modifica lo spettro elastico per coefficienti di smorzamento viscosi convenzionali ξ diversi dal 5%



$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \leq 0,55$$

$$\xi \leq 28\%$$

Dissipazione supplementare di energia

Se $\xi < 28\%$, vale quanto segue:

$$x_p(t) = -\frac{1}{\omega_{1d}} \int_0^t e^{-\xi\omega_1(t-\tau)} \sin \omega_{1d}(t-\tau) a_g(\tau) d\tau$$

$$\text{Spostamento } S_D = \max |x_p(t)|$$

$$v_p(t) = -\int_0^t e^{-\xi\omega_1(t-\tau)} \cos \omega_{1d}(t-\tau) a_g(\tau) d\tau - \xi\omega_1 x_p(t)$$

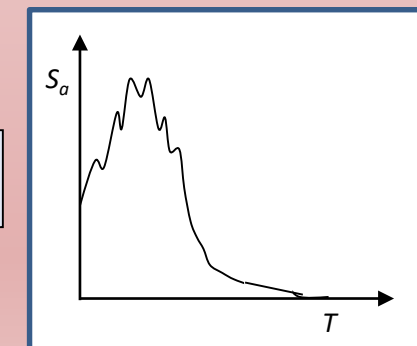
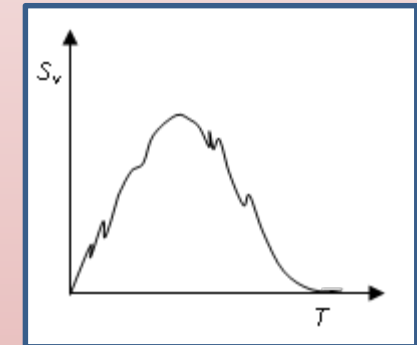
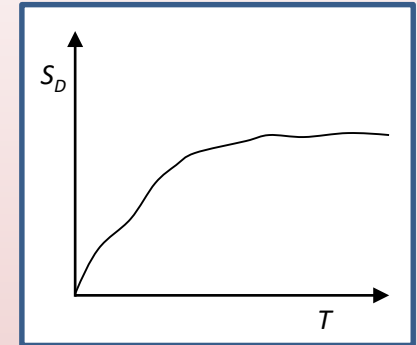
$$\text{Pseudovelocità: } S_V = \max |v_p(t)| \cong \omega S_D$$

$$a_p(t) = -a_g(t) - 2\xi\omega_1 v_p(t) - \omega_1^2 x_p(t)$$

$$a_t(t) = -2\xi\omega_1 v_p(t) - \omega_1^2 x_p(t)$$

$$\text{Pseudo-accelerazione: } S_A = \max |a_t(t)| \cong \omega^2 S_D$$

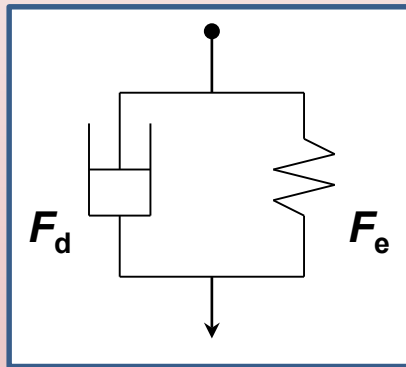
$$mS_A = m\omega^2 S_D = m(k/m)S_D = kS_D$$



Dissipazione supplementare di energia

Parametri di progetto del sistema

La componente elastica e la definizione di ξ_{esi}



$$F_e + F_d = F$$
$$X_e = X_d = X$$

$$m\ddot{v}(t) + c\dot{v}(t) + f_d(t) + kv(t) + f_e(t) = -m\ddot{v}_g(t)$$

Contributo
dissipativo

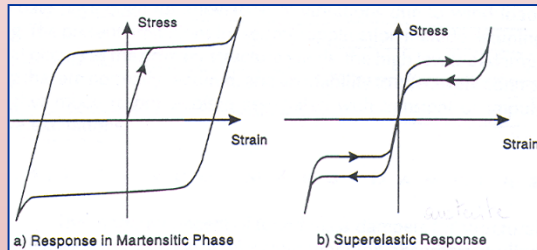
Contributo
elastico

Combinazione IN PARALLELO delle componenti elastica e dissipativa

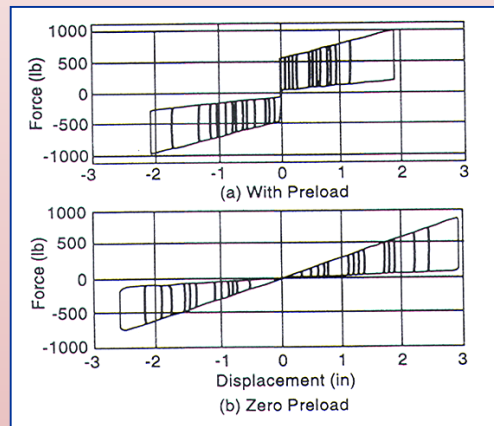
Dissipazione supplementare di energia

Parametri di progetto del sistema

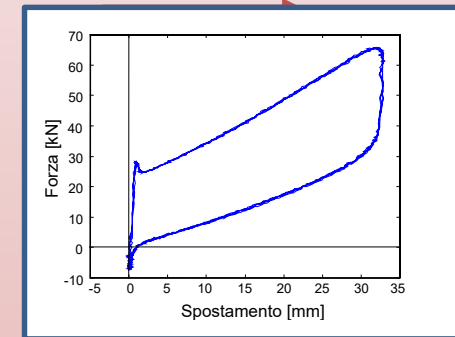
La componente elastica e la definizione di ξ_{esi}



Dispositivi SMA



Dispositivi ad attrito
«Spring friction damper»



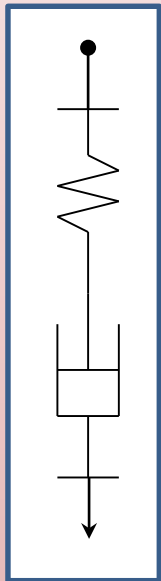
Dispositivi fluidoviscosi
pressurizzati

**Combinazione IN PARALLELO delle componenti elastica e dissipativa
(dispositivi di Tipo A o B a seconda dell'ordine di grandezza della rigidità del
dispositivo rispetto alle aste di sostegno)**

Dissipazione supplementare di energia

Parametri di progetto del sistema

La componente elastica e la definizione di ξ_{esi}



$$F_e = F_d = F$$

$$x_e + x_d = x$$

$$\tau(t) = \gamma_0 [G'(\omega) \sin \omega t + G''(\omega) \cos \omega t]$$

$$m\ddot{v}(t) + c\dot{v}(t) + kv(t) + f_{ed}(t) = -m\ddot{v}_g(t)$$

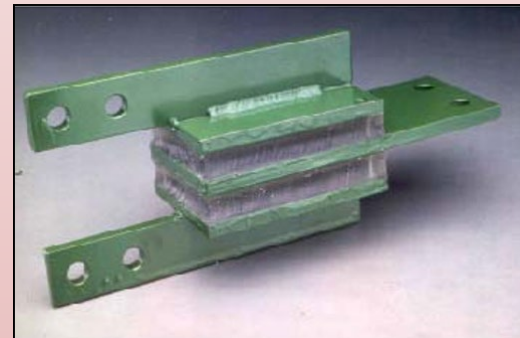
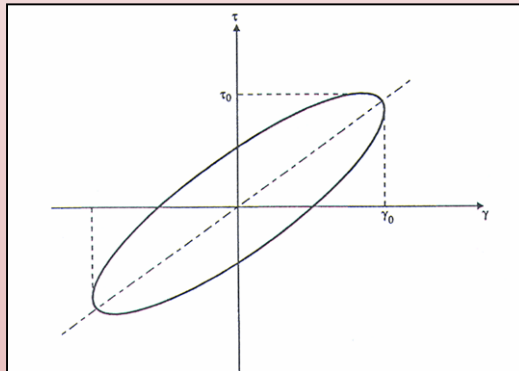
Contributo elastico-dissipativo

Combinazione IN SERIE delle componenti elastica e dissipativa

Dissipazione supplementare di energia

Parametri di progetto del sistema

La componente elastica e la definizione di ξ_{esi}



Dispositivi visco-elastici

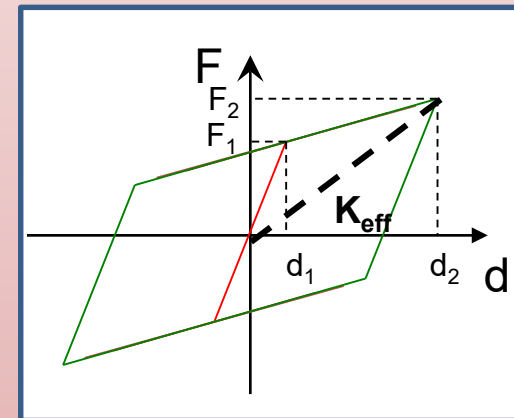
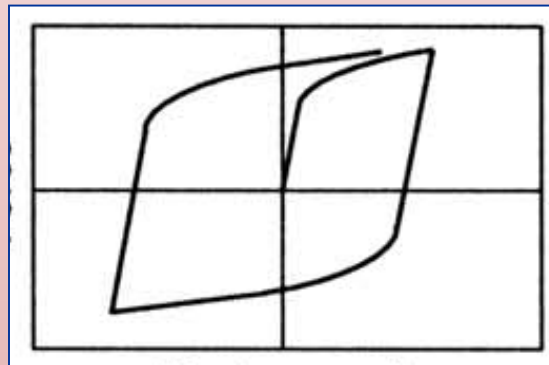
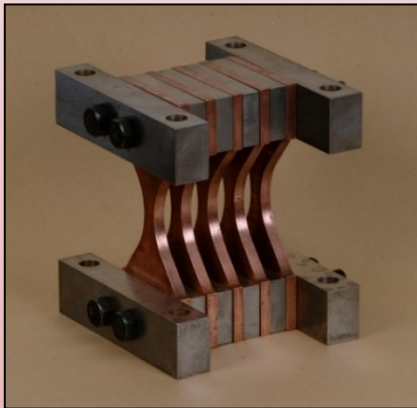
***Combinazione IN SERIE delle componenti elastica e dissipativa
(dispositivi di Tipo B)***

Dissipazione supplementare di energia

Parametri di progetto del sistema

La componente elastica equivalente e la definizione di ξ_{esi}

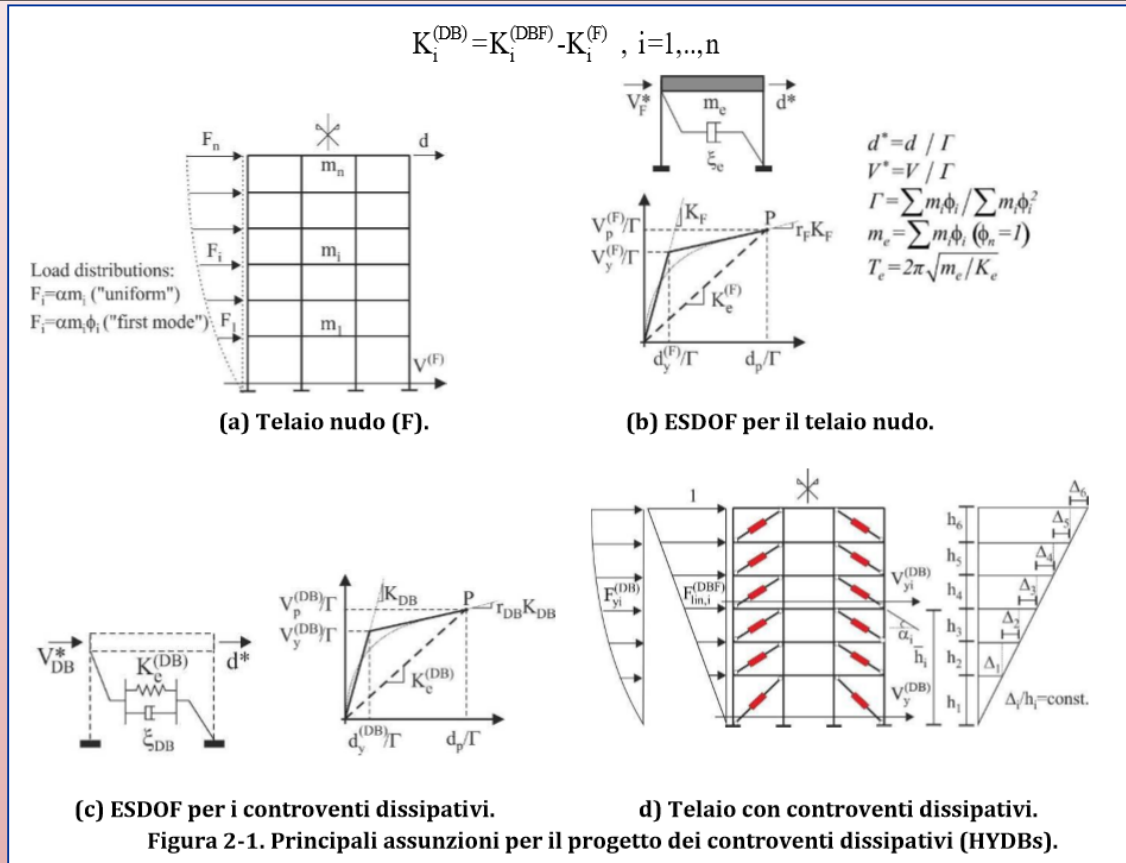
Dispositivi metallici



Imprescindibilità dell'accrescimento della dissipazione con l'evoluzione in campo plastico della risposta ciclica (dispositivi di Tipo B)

Procedura di progetto di *dissipatori isteretici*

Adeguamento sismico di edifici con struttura a telaio in c.a.
 (riferimento al Metodo N2 dell'EC8 che combina l'analisi statica non lineare con l'analisi modale)



Mazza F, Vulcano A (2014). Design of hysteretic damped braces to improve the seismic performance of steel and r.c. framed structures. *Ingegneria Sismica*, 1:5-16.
 Mazza F, Mazza M, Vulcano A. (2015). Displacement-based seismic design of hysteretic damped braces for retrofitting in-elevation irregular r.c.framed structures. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 69:115124

Procedura di progetto di dissipatori isteretici

Adeguamento sismico di edifici con struttura a telaio in c.a.

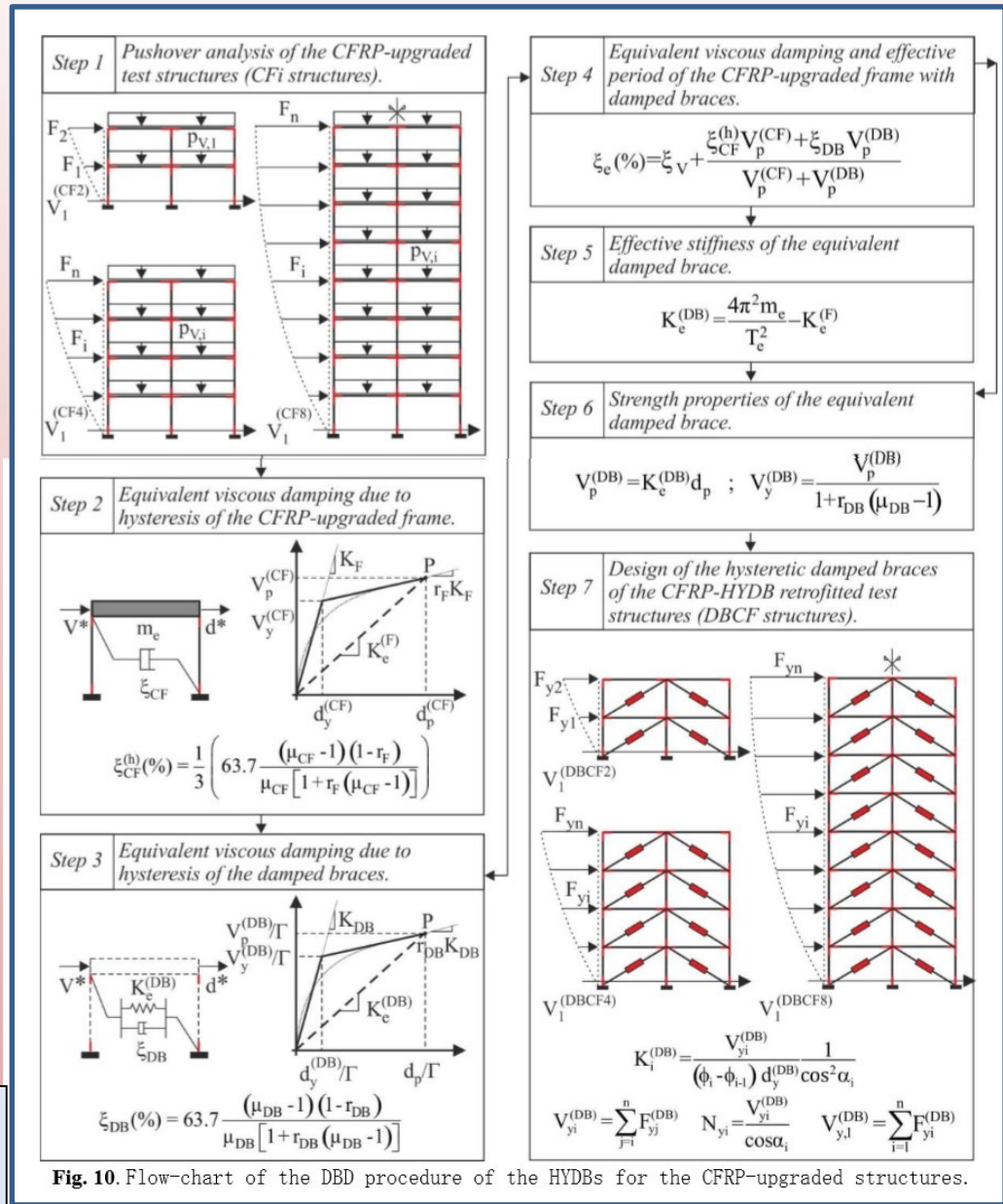


Fig. 10. Flow-chart of the DBD procedure of the HYDBs for the CFRP-upgraded structures.

Procedura di progetto di dissipatori isteretici basata sul controllo degli spostamenti

Progetto del nuovo dall'individuazione di tre comportamenti della struttura priva di controventi assunti come **OBIETTIVI DI PRESTAZIONE:**

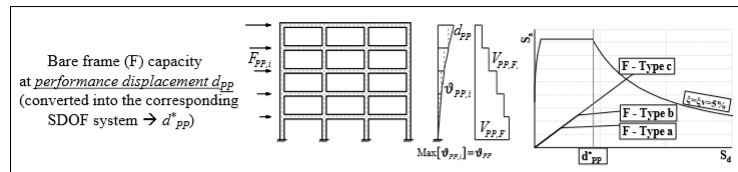
- dissipativo, b) parzialmente dissipativo, c) elastico.

Dal grafico ADRS si stabilisce lo spostamento di progetto.

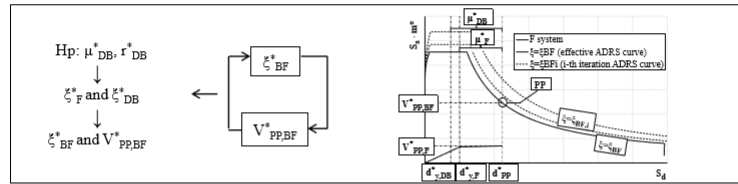
Adeguamento sismico di edifici con struttura a telaio in c.a. (ipotesi da verificare: duttilità μ_{DB} e rapporto di rigidità elastica e post-elastica r_{DB})

Nuzzo I., Losanno D., Caterino N. (2019). Seismic design and retrofit of frame structures with hysteretic dampers: a simplified displacement-based procedure, Bulletin of Earthquake Engineering, 17(5): 2787-2819.

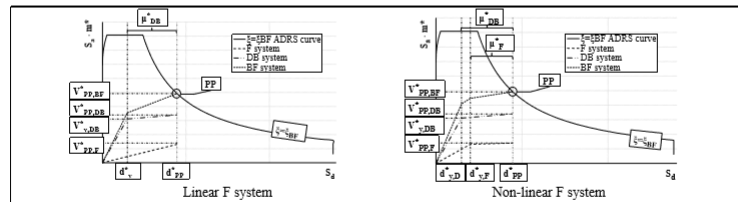
STEP 1 Identification of the target displacement and of the bare frame system



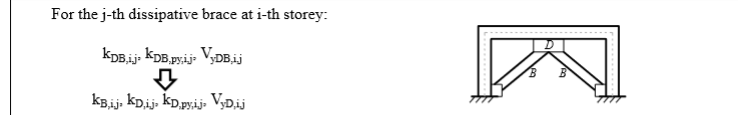
STEP 2 Evaluation of the Performance Point



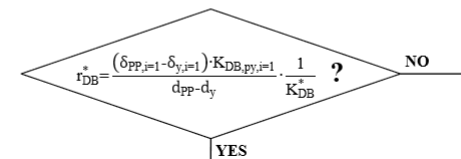
STEP 3 Design capacity curves for BF and DB systems



STEP 4 Preliminary sizing of dissipative braces



STEP 5 Consistency check with the initial assumption about stiffness r_{DB}^*



STEP 6 Consistency check with the initial assumption about ductility μ_{DB}^*

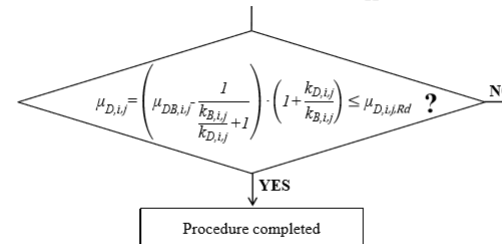


Figura 1-2. Flowchart della procedura di progetto

Dissipazione supplementare di energia



Trattazione del problema ricorrendo all'approccio energetico

C.M. n. 7, 21 gennaio 2019 - §C7.10.1 Scopo

.... Per questi schemi applicativi (*controventi dissipativi*) 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.....

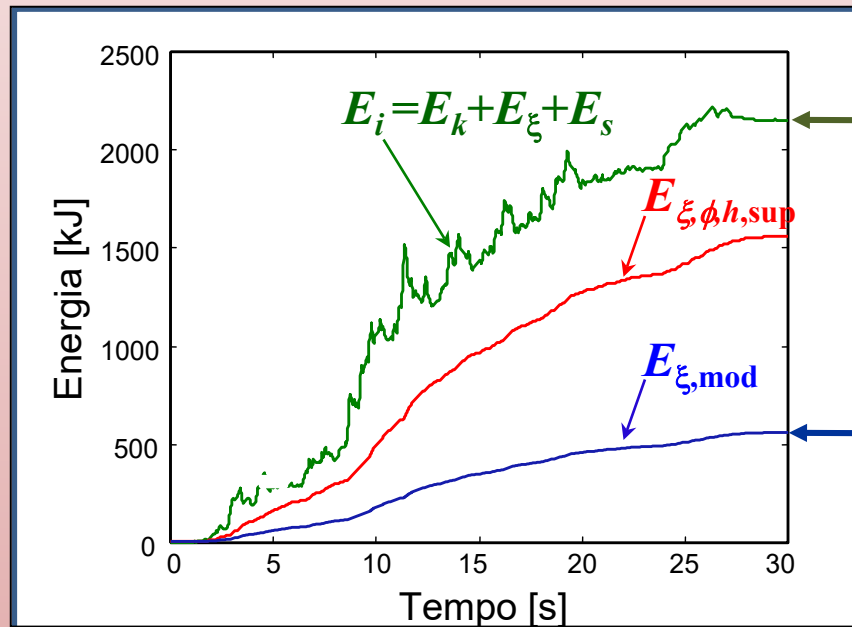
.... In tal modo LA MAGGIOR PARTE DELL'ENERGIA IN ENTRATA VIENE IMMAGAZZINATA E DISSIPATA NEI DISPOSITIVI, mentre la funzione di sostegno dei carichi verticali rimane attribuita alla struttura convenzionale»

Dissipazione supplementare di energia

Approccio energetico

$$\int m\dot{v}_t dv + \int c v dv + \int f_s dv + \int f_{sup} dv = 0 \rightarrow E_k + E_\xi + E_s + E_{\xi,\phi,h,sup} = E_i$$

LS3/LS4 → **SLO/SLD**



$$E_i^f = E_{\xi,mod}^f + E_{\xi,\phi,h,sup}^f$$

Pressoché nullo
danneggiamento
della struttura

$$E_{\xi,mod}^f + E_{\xi,\phi,h,sup}^f = E_i^f$$

Approccio energetico alla progettazione

- Obiettivi di prestazione

LS1 ➔ azioni con P_{VR} del 81%/V_R

LS2 ➔ azioni con P_{VR} del 63%/V_R

LS3 ➔ azioni con P_{VR} del 10%/V_R

LS4 ➔ azioni con P_{VR} del 5%/V_R

	SLO	SLD	SLV	SLC
LS1	X			
LS2	X			
LS3		X		
LS4		X		

La PROGETTAZIONE PER PRESTAZIONE richiede L'ATTIVAZIONE DEI DISPOSITIVI di dissipazione supplementare già per azioni d'intensità LS2

Approccio energetico alla progettazione

- Parametro di progetto

Importanza della definizione del termine

$$E_{\xi, \phi, h, \text{sup}}$$

in relazione alla modalità di smorzamento

Tale parametro rappresenta l'area dei cicli d'isteresi dei dispositivi

Metodi energetici di progetto

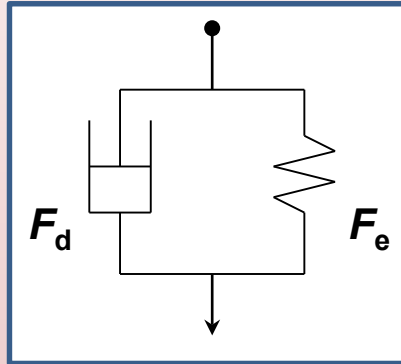
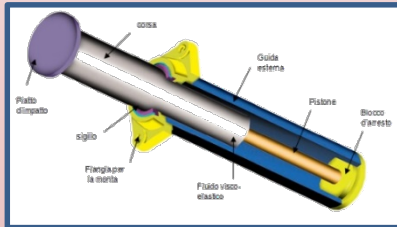
$$\beta_j \bar{E}_{Ij} = \bar{E}_{Dj}$$

Metodi energetici di progetto

Dispositivi fluidoviscosi pressurizzati a matrice siliconica (Tipo A)

Componente di forza dissipativa

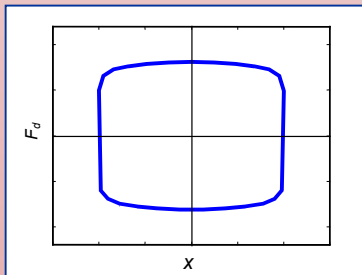
$$F_d(t) = c \cdot \text{sgn}[v(t)] \cdot |v(t)|^\alpha$$



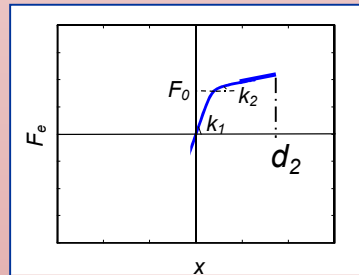
Componente di forza elastica non lineare

$$F_e(t) = k_2 x(t) + \frac{(k_1 - k_2) x(t)}{\left[1 + \left| \frac{k_1 x(t)}{F_0} \right|^R \right]^{1/R}}$$

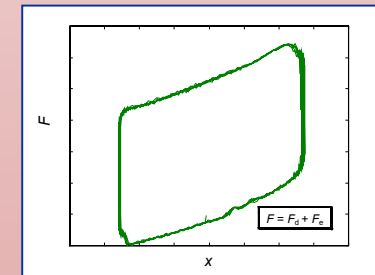
$$F(t) = F_d(t) + F_e(t)$$



+



=



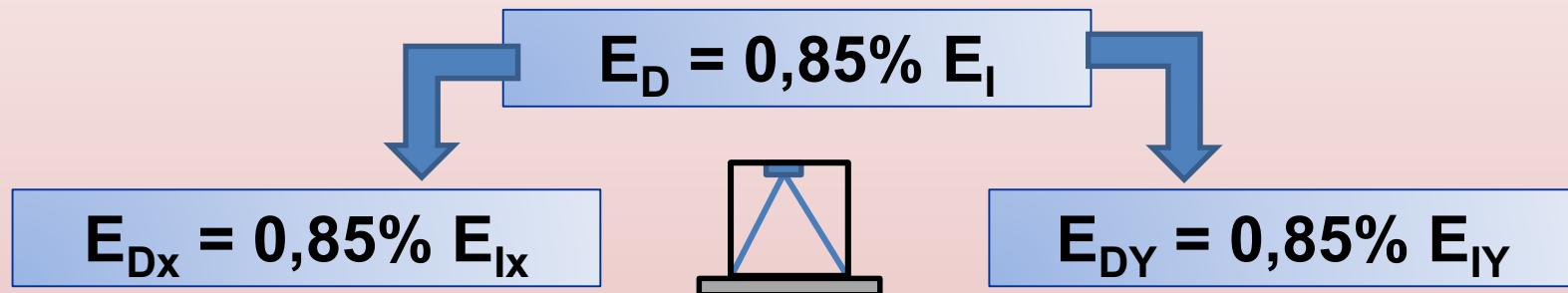
$$\beta_j \bar{E}_{Ij} = \bar{E}_{Dj}$$

Somma delle aree dei cicli dei dispositivi presenti nel piano j-esimo

Metodi energetici di progetto

Dispositivi fluidoviscosi pressurizzati a matrice siliconica (Tipo A)

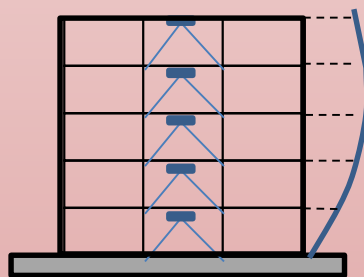
Parametri di progetto: **ENERGIA DISSIPATA**, **coefficiente di dissipazione** e **CORSA MASSIMA DEL DISPOSITIVO**



Struttura pluripiano

$$\sum E_{Dxj} = \alpha_{xj} \cdot E_{Ixj}$$

$$\sum \alpha_{xj} = 0,85$$



$$\sum E_{Dyj} = \alpha_{yj} \cdot E_{Iyj}$$

$$\sum \alpha_{yj} = 0,85$$

I coefficienti α_j vanno definiti sulla base degli spostamenti di piano associati alla deformata obiettivo

Metodi energetici di progetto

Dispositivi fluidoviscosi pressurizzati a matrice siliconica (Tipo A)

Parametri di progetto: **energia dissipata, COEFFICIENTE DI DISSIPAZIONE e corsa massima del dispositivo**

$$E_{Dj} = \int_0^{t_f} c_j |\dot{v}_j|^\alpha \operatorname{sgn}(\dot{v}_j) \dot{v}_j dt$$

$$E_{Ij} = \int_0^{t_f} m_j \ddot{v}_{ij} dv_g$$

$k = 1$

$$\beta_j \bar{E}_{Ij}^0 = \bar{E}_{Dj}^1$$

$$c_j^1 = \frac{\beta_j \int_0^{t_{dmax}} m_j \ddot{v}_{ij}^0 \dot{v}_g dt \cdot \int_0^{t_{dmax}} |\dot{v}_j^0|^\alpha \operatorname{sgn}(\dot{v}_j^0) \dot{v}_j^0 dt}{\left(\int_0^{t_{dmax}} |\dot{v}_j^0|^\alpha \operatorname{sgn}(\dot{v}_j^0) \dot{v}_j^0 dt \right)^2}$$



development of a new seismic analysis by adopting the c_j^1 set of values, and calculation of $\ddot{v}_j^1; \dot{v}_j^1; v_j^1$

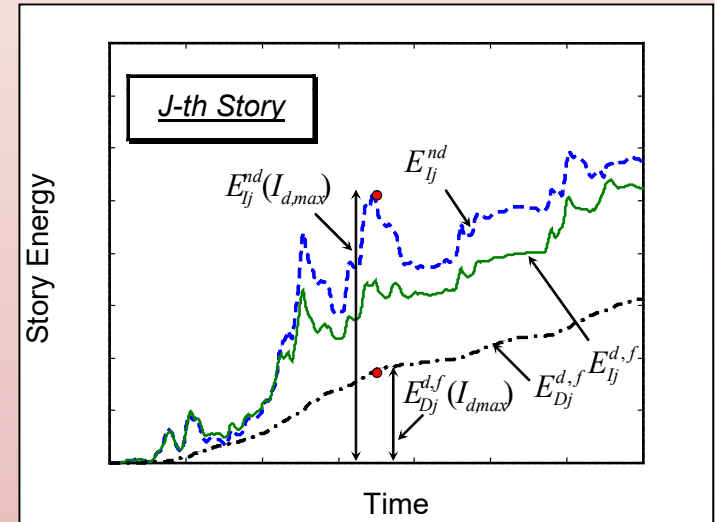


$$\bar{E}_{Dj}^1 = \int_0^{t_{dmax}} c_j^1 |\dot{v}_j^1|^\alpha \operatorname{sgn}(\dot{v}_j^1) \dot{v}_j^1 dt$$

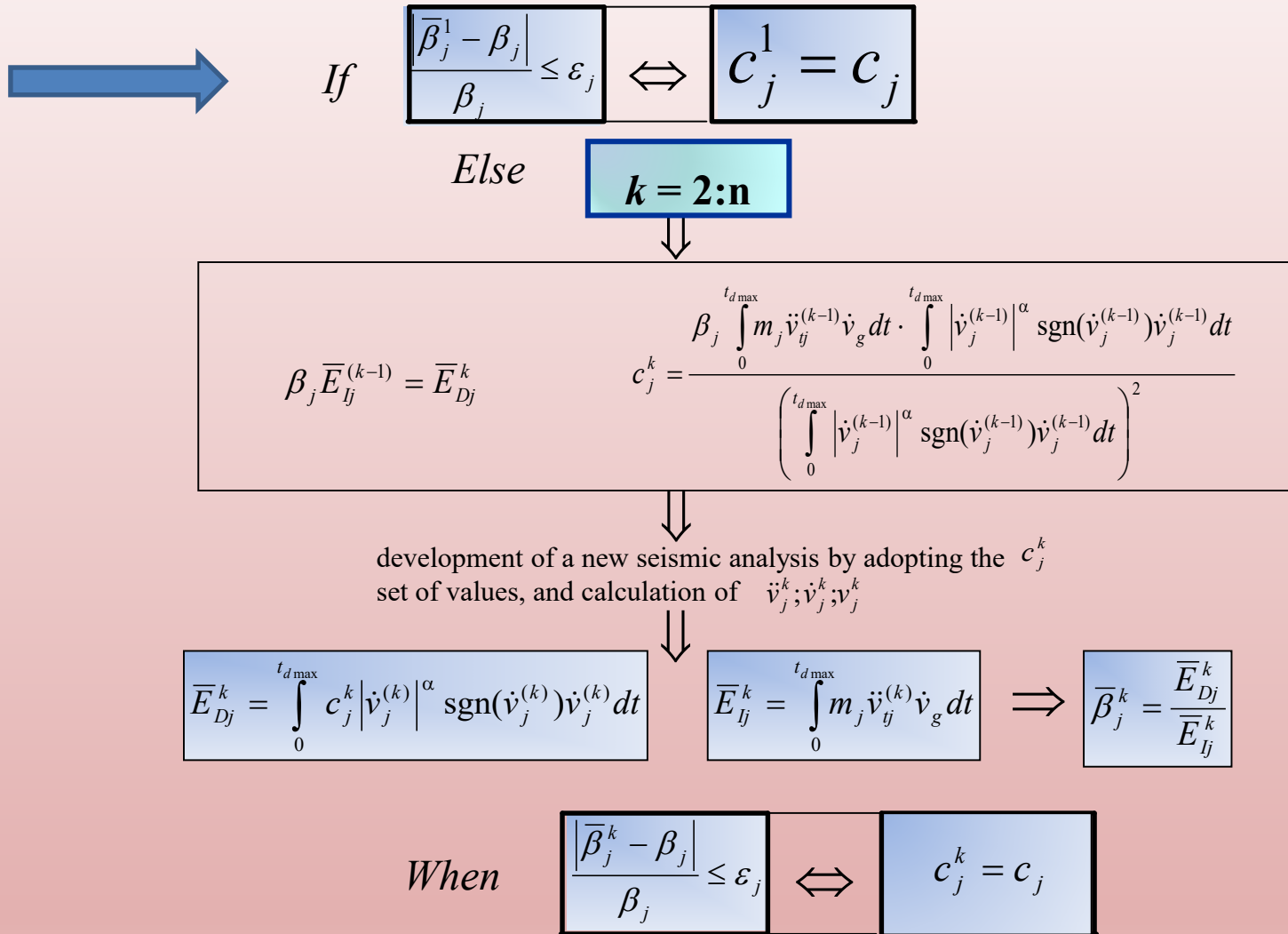
$$\bar{E}_{Ij}^1 = \int_0^{t_{dmax}} m_j \ddot{v}_{ij}^1 dv_g$$

\Rightarrow

$$\bar{\beta}_j^1 = \frac{\bar{E}_{Dj}^1}{\bar{E}_{Ij}^1}$$



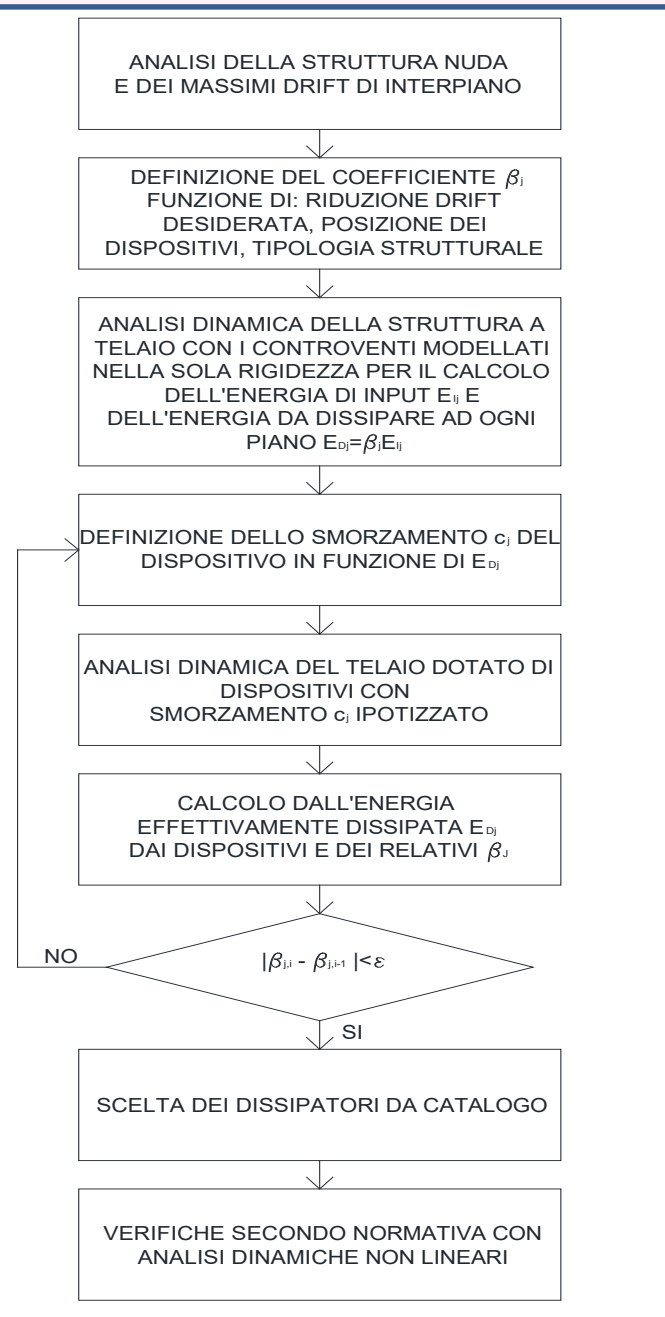
Dispositivi fluidoviscosi pressurizzati a matrice siliconica (Tipo A)



Dispositivi fluidoviscosi pressurizzati a matrice siliconica (Tipo A)

Nuova progettazione ed
adeguamento sismico di
edifici con struttura a telaio
con periodo fondamentale
 $T < 1,5$ s

S. Sorace, G. Terenzi (2008). "Seismic protection of frame structures by fluid viscous damped braces", *Journal of Structural Engineering, ASCE*, 134(1), 2008, 45-55.

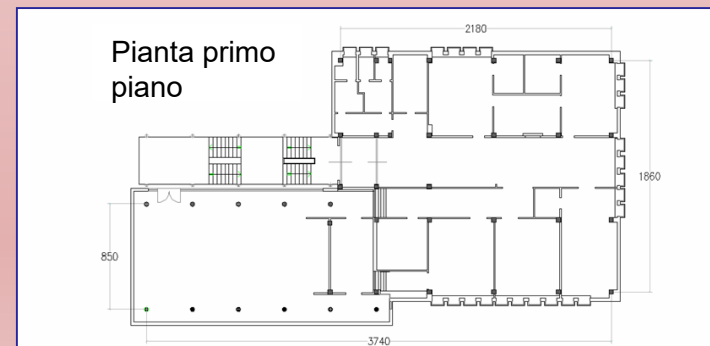
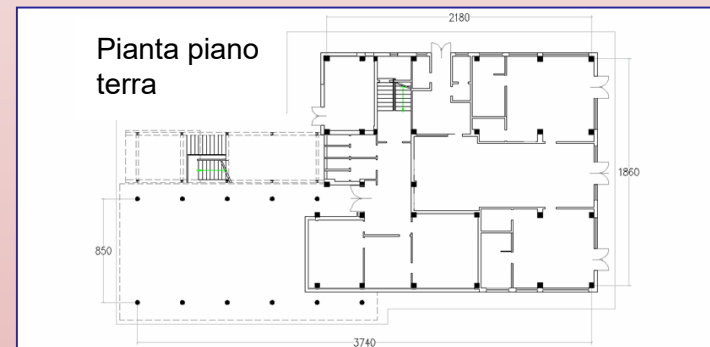


Applicazione del metodo energetico per l'adeguamento dell'edificio «Ex-Pretura» di Borgo San Lorenzo

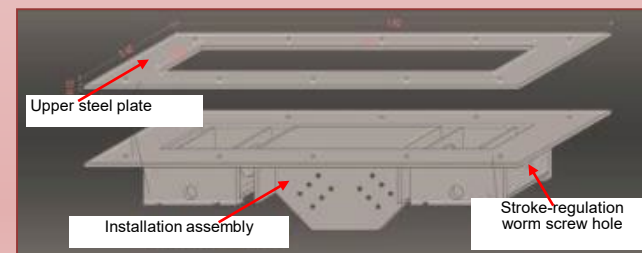
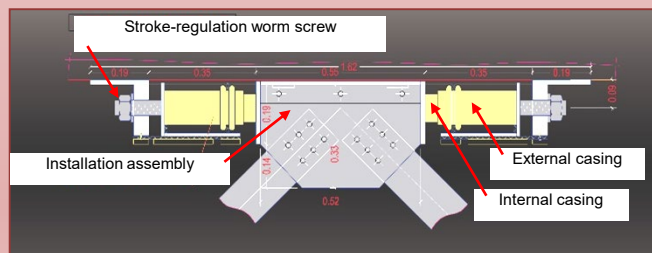
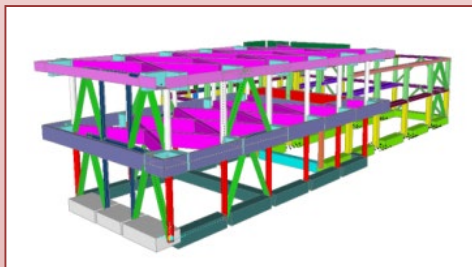
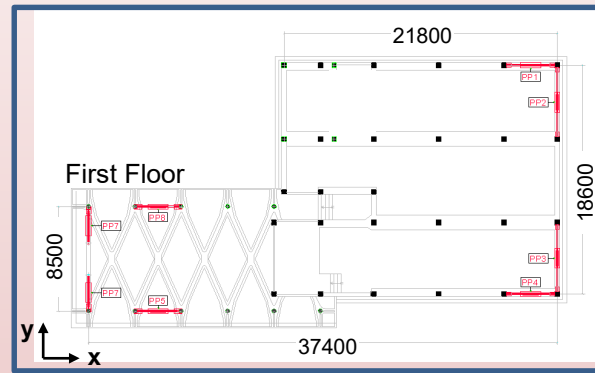
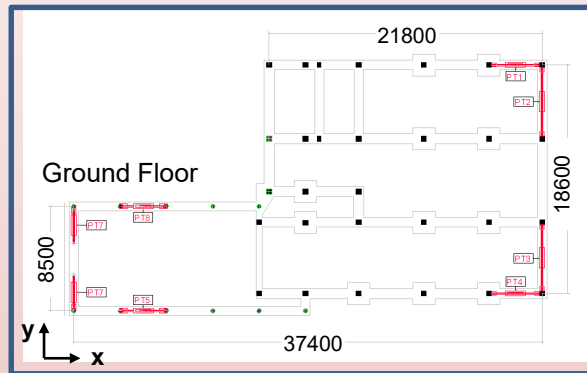
Il progetto dell'edificio è del 1969, e la sua costruzione è terminata nel 1976.

Successivamente alla soppressione della Pretura è divenuto di proprietà dell'Amministrazione comunale, rimanendo a lungo inutilizzato.

Nel 2005, a seguito di alcune opere di modifica interna, vi hanno trovato alloggio una scuola materna e gli uffici di zona della Protezione Civile, al piano terra, e la Scuola Infermieri dell'Università di Firenze, al primo piano.



Applicazione del metodo energetico per l'adeguamento dell'edificio «Ex-Pretura» di Borgo San Lorenzo



Applicazione del metodo energetico per l'adeguamento dell'edificio «Ex-Pretura» di Borgo San Lorenzo

P_{VR} del 10%/ V_R - $a_g = 0,226 g$



Numero di pilastri per i quali le verifiche non sono soddisfatte

STATO ATTUALE DI PROGETTO: 58

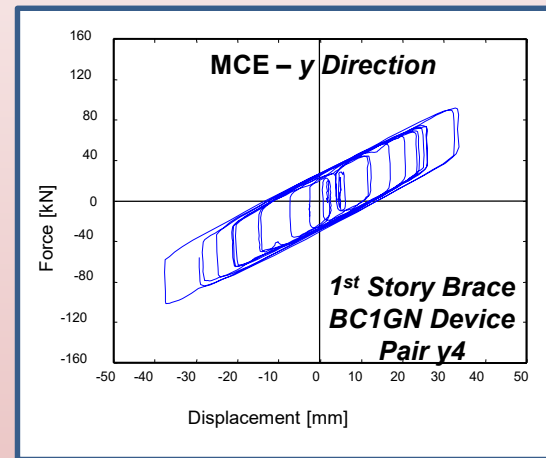
CONDIZIONI PROTETTE: 5

(già insufficienti nei confronti delle combinazioni di carico relative ai soli carichi verticali)

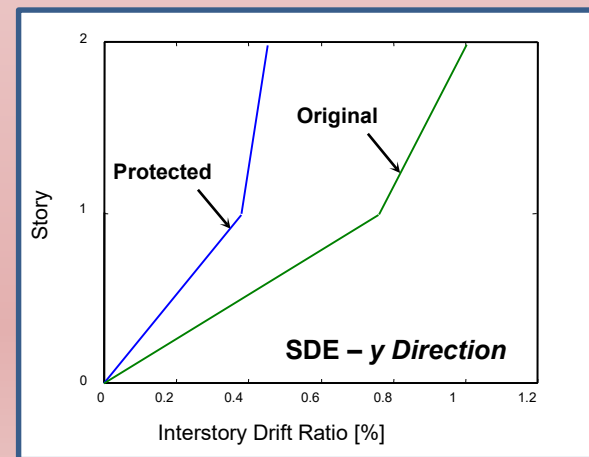
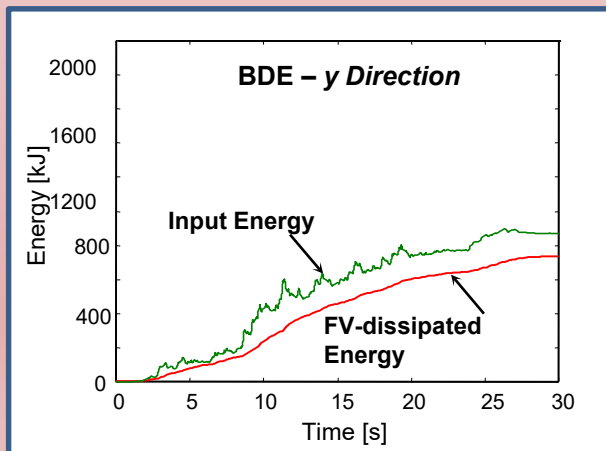
Applicazione del metodo energetico per l'adeguamento dell'edificio «Ex-Pretura» di Borgo San Lorenzo

$$P_{VR} \text{ del } 5\%/V_R - a_g = 0,284 \text{ g}$$

a. Controllo della risposta dei dispositivi



b. Controllo della risposta degli elementi strutturali



Applicazione del metodo energetico per l'adeguamento dell'edificio «Ex-Pretura» di Borgo San Lorenzo

P_{VR} del 5%/ V_R - $a_g = 0,284$ g

STATO DI PROGETTO:

pressoché tutti i pilastri fuori sicurezza,
ed in molti casi in situazione di grave pregiudizio della capacità di risposta anche sotto i soli carichi verticali



CONDIZIONI PROTETTE:

40 pilastri per i quali si registra una limitata uscita dal dominio di resistenza a presso-flessione deviata.

La struttura ne risulterebbe minimamente danneggiata e facilmente riparabile

Metodi energetici di progetto

Estensione del metodo energetico di progetto a dispositivi metallici (Tipo B)

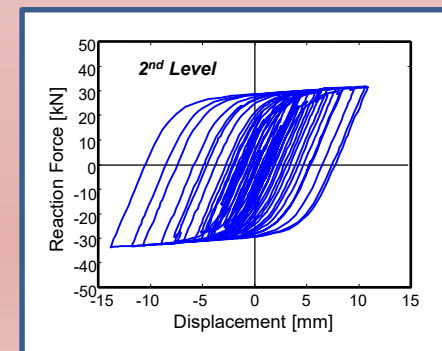
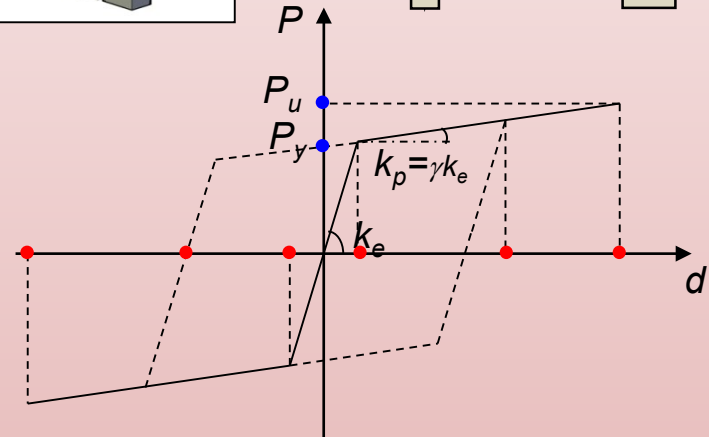
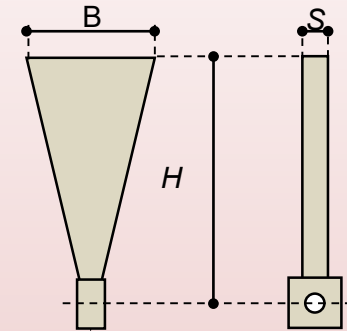
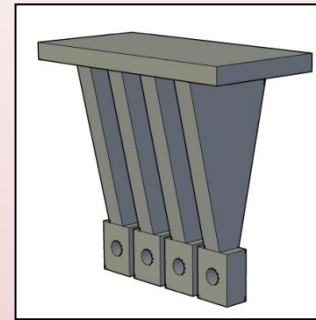
$$P_y = f_y \frac{BS^2}{6H} \quad d_y = \frac{P_y}{k_e} \quad k_e = \frac{E_s BS^3}{6H^3}$$

$$P_u = f_y \frac{BS^2}{4H} \quad d_u = d_y + \frac{P_u - P_y}{k_p} \quad k_p = \gamma k_e$$

$$\beta_j \bar{E}_{Ij} = \bar{E}_{Dj}$$

1. Definizione del ciclo medio di ciascuna piastra;
2. stima della capacità dissipativa massima di ciascuna piastra nel tempo di durata dell'evento sismico;
3. valutazione del numero di piastre che possano soddisfare il requisito richiesto:

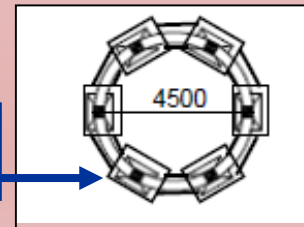
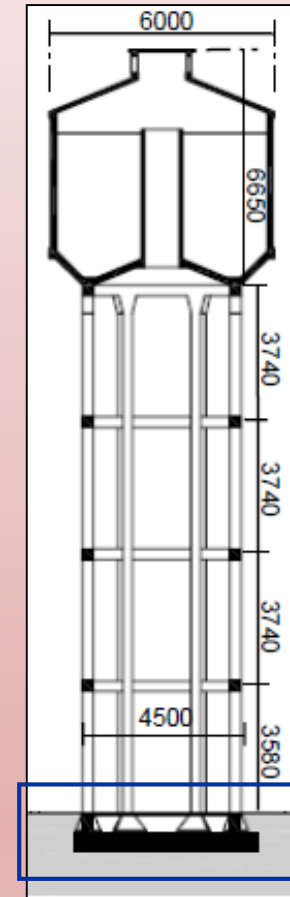
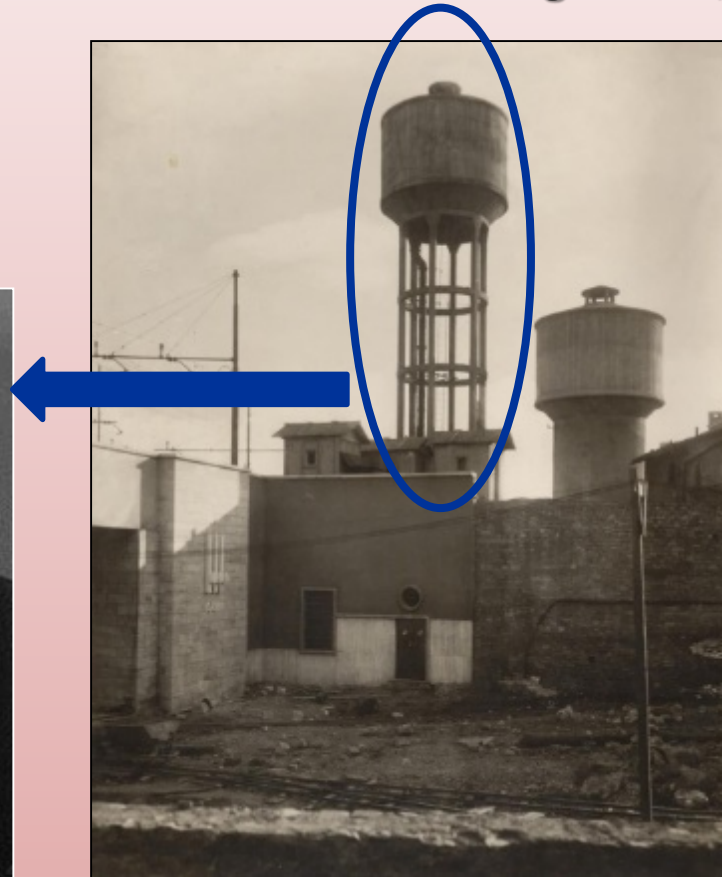
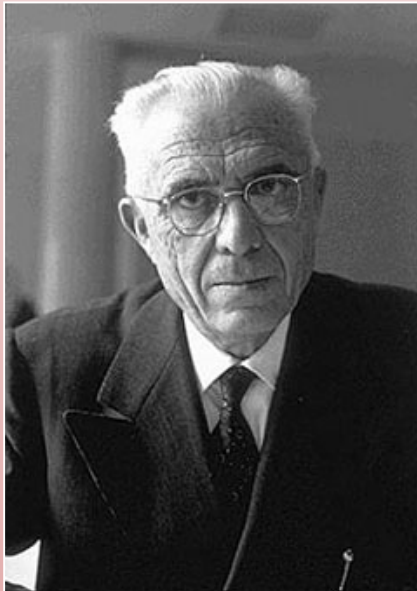
$$N_p^t = E_D^t / E_{D,pl,tot}^t$$



Metodi energetici di progetto

$$0,8 \text{ s} < T < 1,5 \text{ s}$$

Rifornitore idrico della Stazione Ferroviaria S. Maria Novella a Firenze
(Serbatoio alto di Pier Luigi Nervi, 1934)



Pier Luigi Nervi

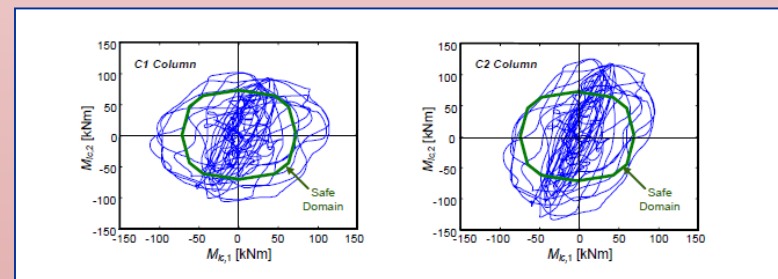
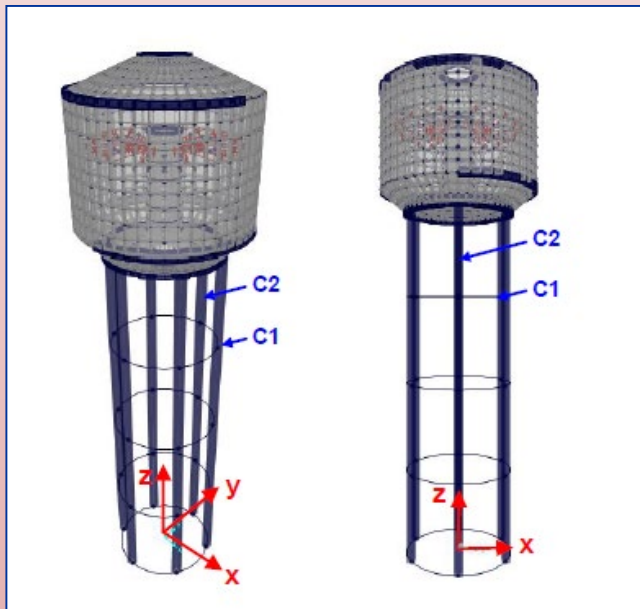
([Sondrio, 21/06/1891](#) – [Roma, 9/01/1979](#))

Metodi energetici di progetto

$$0,8 \text{ s} < T < 1,5 \text{ s}$$

Rifornitore idrico della Stazione Ferroviaria S. Maria Novella a Firenze
(Serbatoio alto di Pier Luigi Nervi, 1934)

Verifica allo stato attuale per azioni di livello LS4



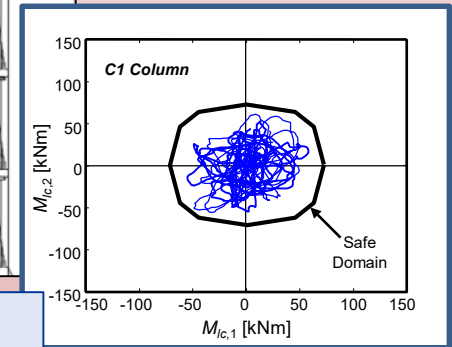
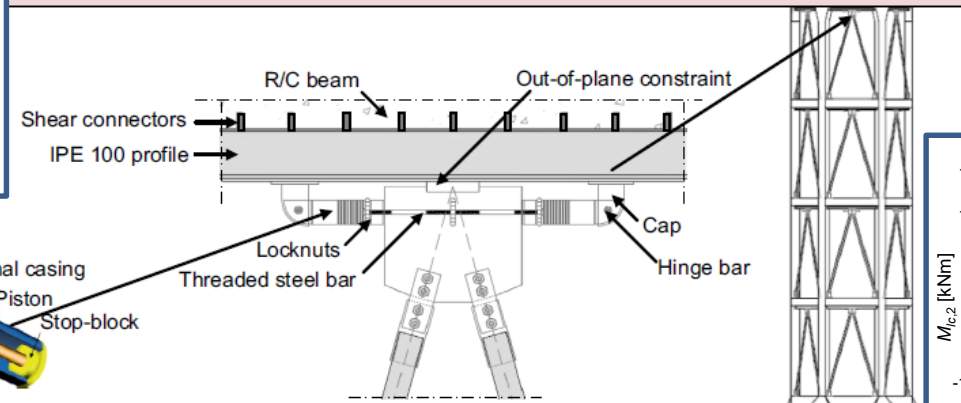
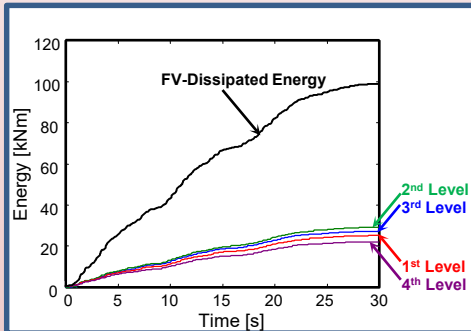
$T_c = 2,58 \text{ s}$ modo associato al moto convettivo
 $T_{i+s} = 1,31 \text{ s}$ a struttura senza controventi

Metodi energetici di progetto

$0,8 \text{ s} < T < 1,5 \text{ s}$

Serbatoio alto del Rifornitore idrico della stazione ferroviaria
S. M. Novella a Firenze

Verifica: impiego di dispositivi del Tipo A



$T_c = 2,58 \text{ s}$ modo associato al moto convettivo
 $T_{i+s} = 1,03 \text{ s}$ a struttura con dispositivi FV

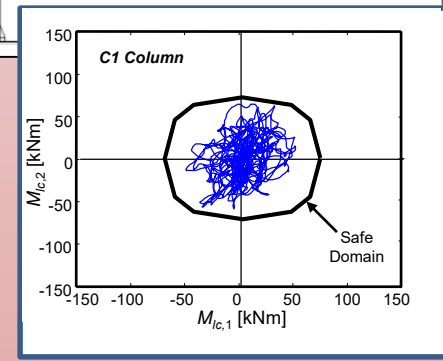
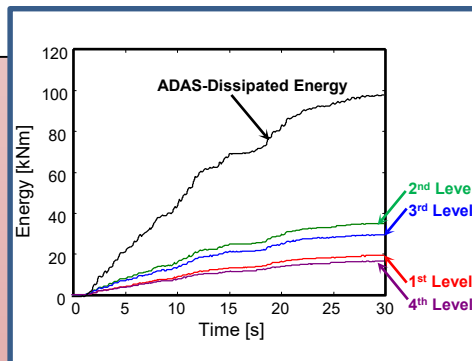
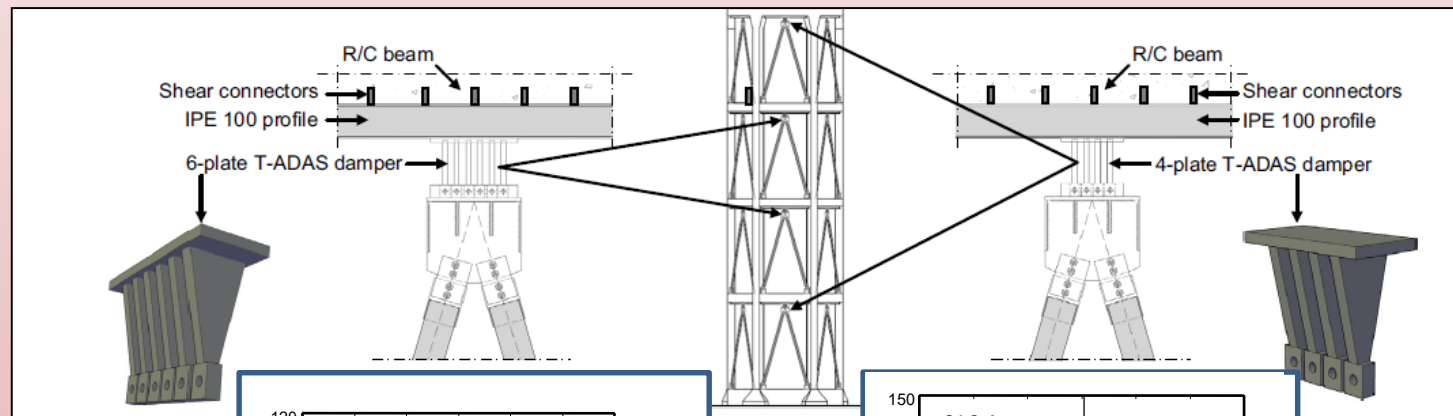
Nel caso di nuova progettazione od adeguamento sismico di edifici e strutture con periodo fondamentale $0,8 \text{ s} < T < 1,5 \text{ s}$ si può ottenere lo stesso beneficio dall'uso di dissipatori di tipo A e B

Metodi energetici di progetto

$0,8 \text{ s} < T < 1,5 \text{ s}$

Serbatoio alto del Rifornitore idrico della stazione ferroviaria
S. M. Novella a Firenze

Verifica: impiego di dispositivi del Tipo B



$T_c = 2,58 \text{ s}$ modo associato al moto convettivo
 $T_{i+s} = 0,95 \text{ s}$ a struttura con dispositivi T-ADAS

Metodi energetici di progetto (T < 1,5 s)

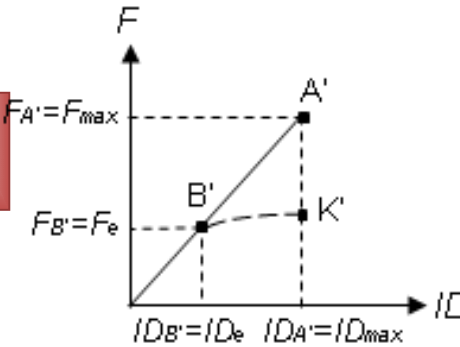
Procedura energetica speditiva per il progetto di dissipatori del Tipo A

Terenzi, G. (2018). Energy-based design criterion of dissipative bracing systems for seismic retrofit of framed structures, *Applied Sciences*, 8, 268; DOI:10.3390/app8020268, www.mdpi.com/journal/applsci

$$\alpha_s = \alpha_{Vj} = \frac{S_A}{S_B} = \frac{V_{j,c}^a}{V_{j,c}^e}$$

$$\alpha_s = \alpha_{Mj} = \frac{S_A}{S_B} = \frac{M_{j,c}^a}{M_{j,c}^e}$$

$$\alpha_F = \frac{F_{A'}}{F_{B'}}$$



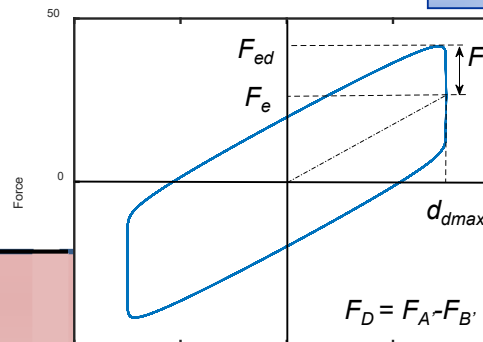
$$\alpha_d = \frac{ID_{A'}}{ID_{B'}} = \frac{ID_{max}}{ID_e}$$

$$\xi_{eq,d} = \frac{4F_D(ID_{A'} - ID_{B'})}{4\pi(F_{ed}ID_e/2)}$$

$$\xi_{eq,d} = \frac{4F_D(ID_{max} - ID_e)}{4\pi(F_D ID_e/2)} = \frac{2}{\pi}(\alpha_d - 1)$$

$$\xi_{eq,F} = \frac{4F_D d_{max}(\alpha_F - 1)}{4\pi F_D \alpha_F d_{max}/2} = \frac{2(\alpha_F - 1)}{\pi \alpha_F}$$

$$E_D = 4\pi E_e \xi_{eq} = 4\pi(F_{ed} d_{dmax}/2)\xi_{eq} = 2\pi \alpha_F F_e \xi_{eq} d_{dmax}$$



$$E_D = 2\pi \xi_{eq} ID_e F_D$$

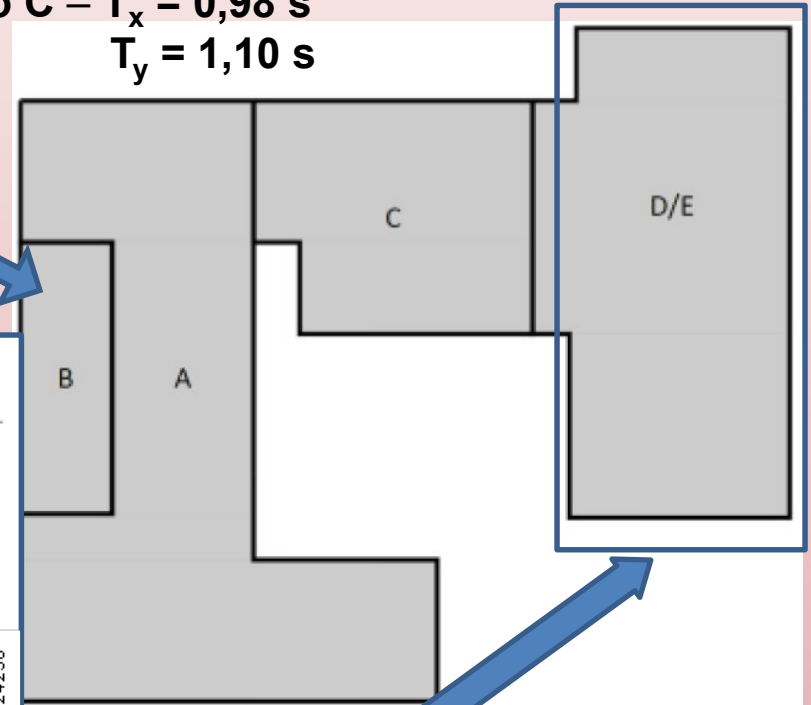
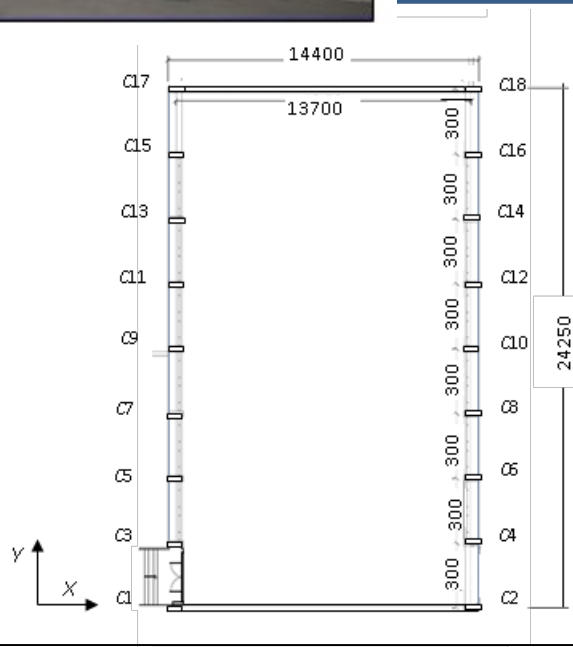
Metodi energetici di progetto ($T < 1,5$ s)

Applicazione della procedura energetica speditiva al caso della palestra

Blocco A – $T_x = 1,37$ s
 $T_y = 2,56$ s

Blocco B – $T_x = 1,79$ s
 $T_y = 0,83$ s

Blocco C – $T_x = 0,98$ s
 $T_y = 1,10$ s



Blocco D/E – $T_x = 0,35$ s
 $T_y = 0,89$ s

Metodi energetici di progetto ($T < 1,5$ s)

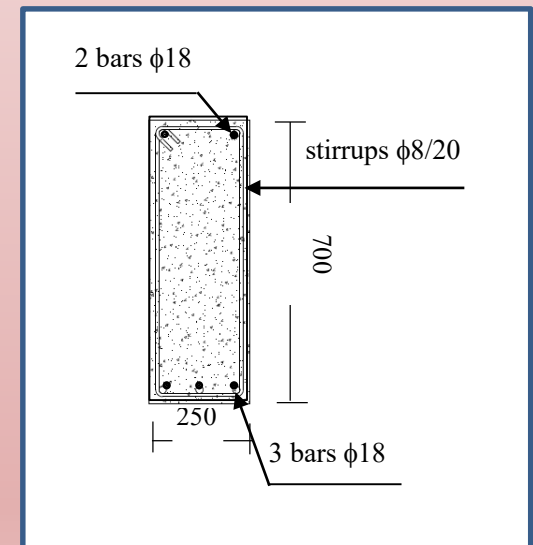
Applicazione della procedura energetica speditiva al caso della palestra



Blocco D/E – $T_x = 0,35$ s
 $T_y = 0,89$ s

In direzione X la struttura presenta problemi di RESISTENZA PER PRESSOFLESSIONE

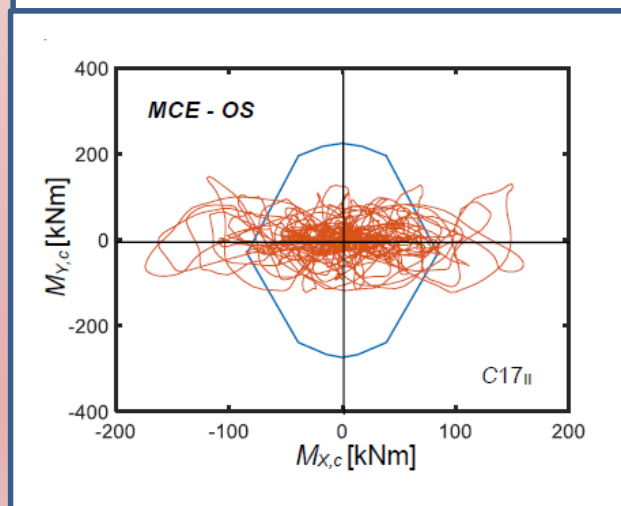
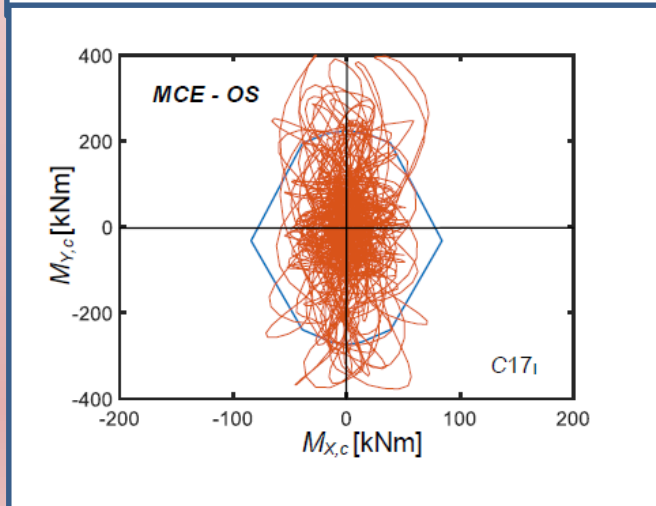
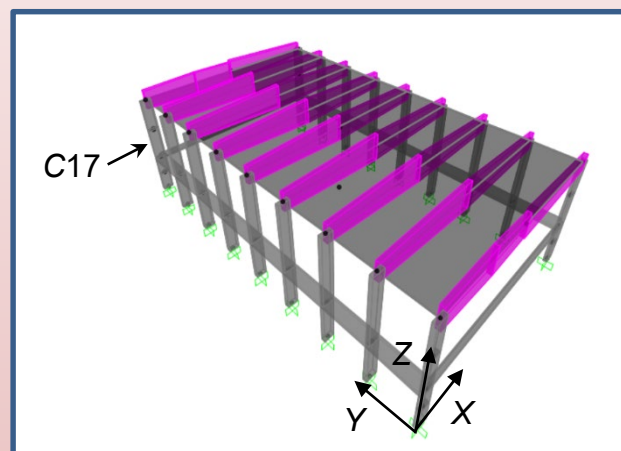
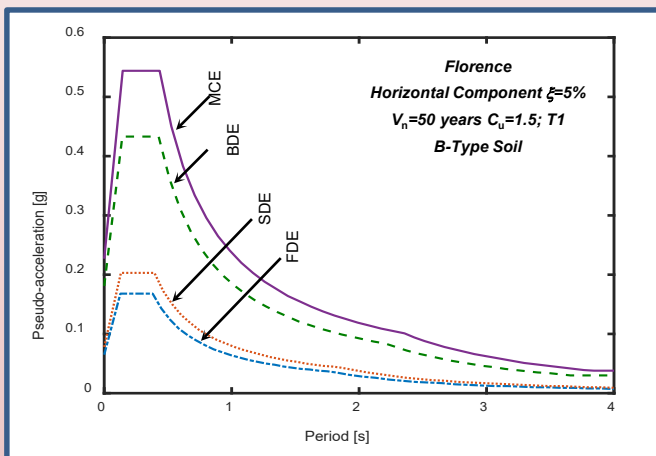
In direzione Y le criticità riguardano sia le SOLLECITAZIONI che gli SPOSTAMENTI



Metodi energetici di progetto ($T < 1,5$ s)

Applicazione della procedura energetica speditiva al caso della palestra

Verifica allo stato attuale per azioni di livello LS4

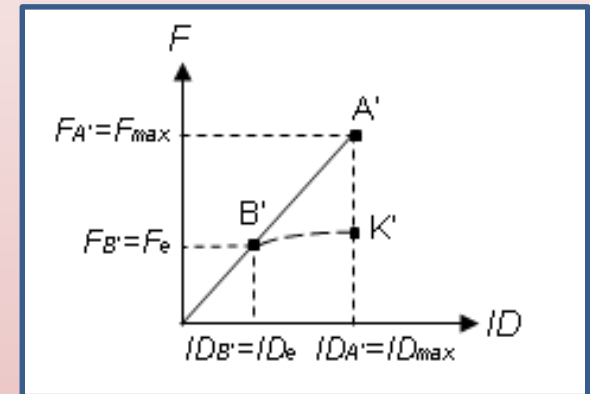


Metodi energetici di progetto ($T < 1,5$ s)

Applicazione della procedura energetica speditiva al caso della palestra

In direzione X le criticità riguardano solo le SOLLECITAZIONI ($\alpha_F = 1,77$)

$$\xi_{eq,\alpha F} = \frac{2(\alpha_F - 1)}{\pi \alpha_F} = 0,277$$



Avendo definito come $F_{e,X}$ il valore del taglio resistente in direzione X, la stima di E_D deve essere condotta come segue:

$$E_{D,\alpha F} = 2\alpha_F F_{e,X} \xi_{eq,\alpha F} I L D_{e,2L,Y} = 65,6 \text{ kJ}$$

Dividendo per il n. di dispositivi da disporre si ha: $E_{D,X,d} = 8,2 \text{ kJ}$

Caratteristiche dei dispositivi da prescegliere:

$E_n = 9 \text{ kJ}$; corsa $s_{max} = \pm 30 \text{ mm}$;
coefficiente di smorzamento $c = 9,9 \text{ kN(s/mm)}^\gamma$ $\gamma = 0.15$;
 $F_0 = 17 \text{ kN}$;
 $k_2 = 1.74 \text{ kN/mm}$.

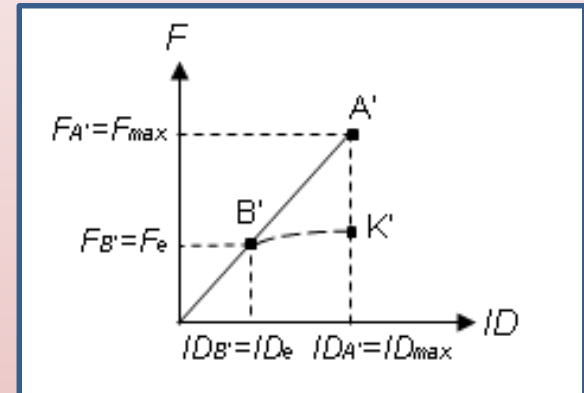
Metodi energetici di progetto ($T < 1,5$ s)

Applicazione della procedura energetica speditiva al caso della palestra

In direzione Y le criticità riguardano sia le sollecitazioni ($\alpha_F = 2,07$)
che gli SPOSTAMENTI ($\alpha_d = 1,98$)

$$\xi_{eq,\alpha_F} = \frac{2(\alpha_F - 1)}{\pi \alpha_F} = 0.33$$

$$\xi_{eq,\alpha_d} = \frac{2}{\pi} (\alpha_d - 1) = 0.624$$



Avendo definito come $F_{e,Y}$ il valore del taglio resistente in direzione Y, la stima di E_D deve essere condotta come segue:

$$E_{D,\alpha_F} = 2\alpha_F F_{e,Y} \xi_{eq,\alpha_F} I L D_{e,2L,Y} = 100.8 \text{ kJ}$$

$$E_{D,\alpha_d} = 2F_{e,Y} \xi_{eq,\alpha_d} I L D_{e,2L,Y} = 92.1 \text{ kJ}$$

Dividendo per il n. di dispositivi da disporre si ha: $E_{D,Y,d} = 12,6 \text{ kJ}$

Caratteristiche dei dispositivi da prescegliere:

$E_n = 14 \text{ kJ}$; corsa $s_{max} = \pm 40 \text{ mm}$;

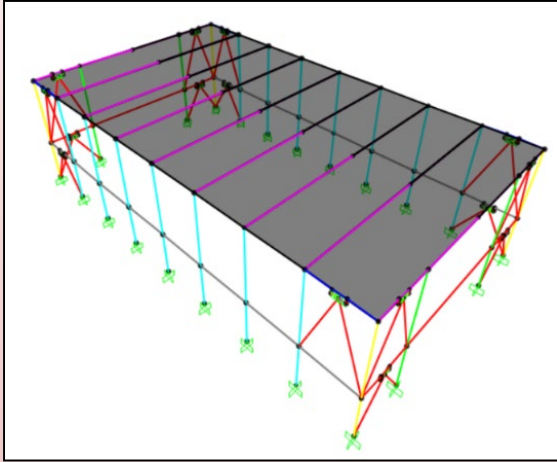
coefficiente di smorzamento $c = 14,16 \text{ kN(s/mm)^Y}$, $\gamma = 0,15$;

$F_0 = 28 \text{ kN}$;

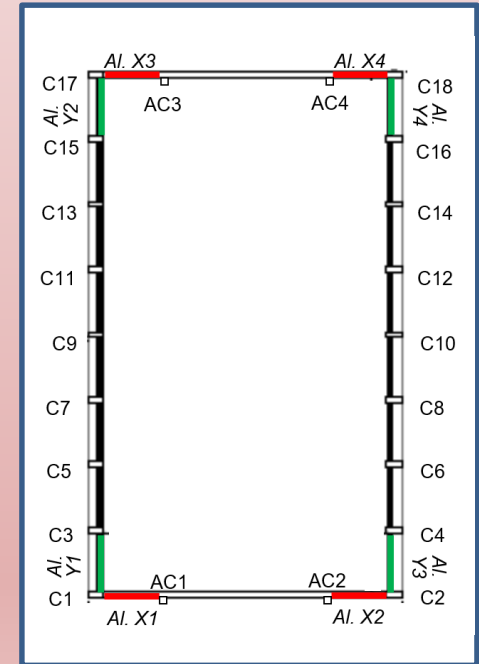
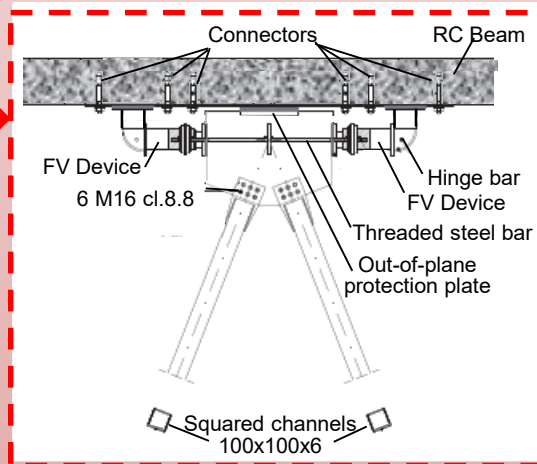
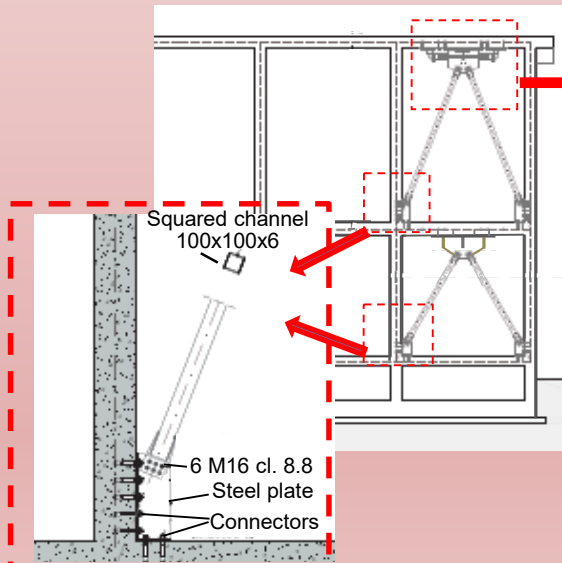
$k_2 = 2,1 \text{ kN/mm}$.

Metodi energetici di progetto ($T < 1,5$ s)

Applicazione della procedura energetica speditiva al caso della palestra



Struttura con controventi dissipativi al secondo livello



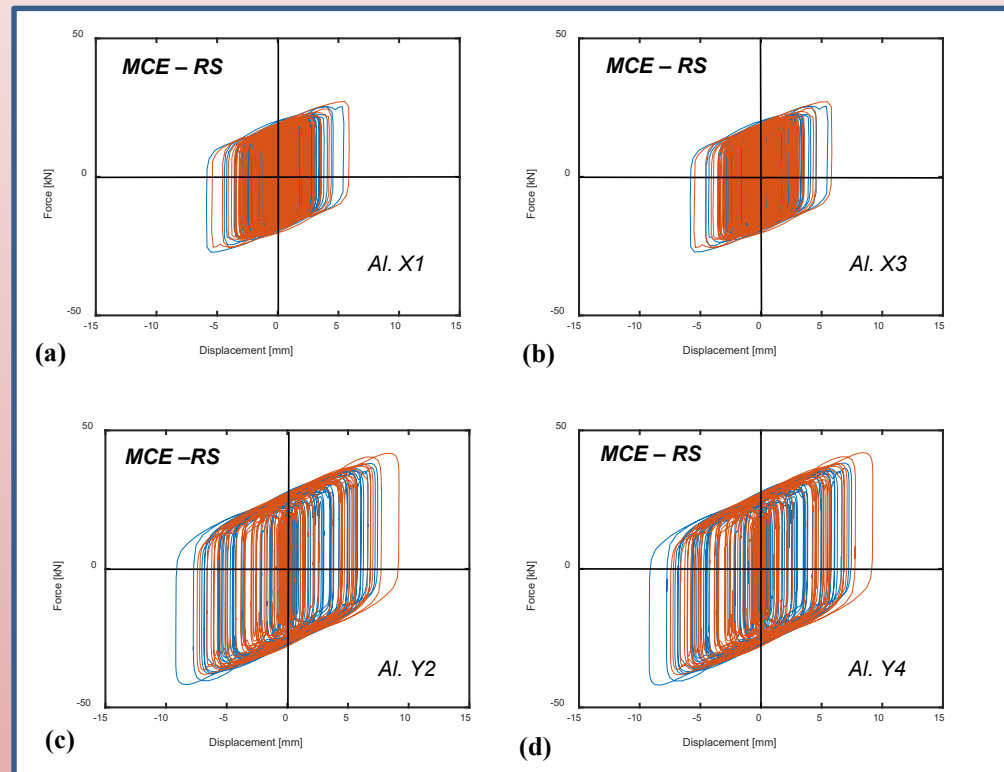
Metodi energetici di progetto ($T < 1,5$ s)

Applicazione della procedura energetica speditiva al caso della palestra

Verifica dell'intervento per azioni di livello LS4

$$T_x = 0,32 \text{ s}$$

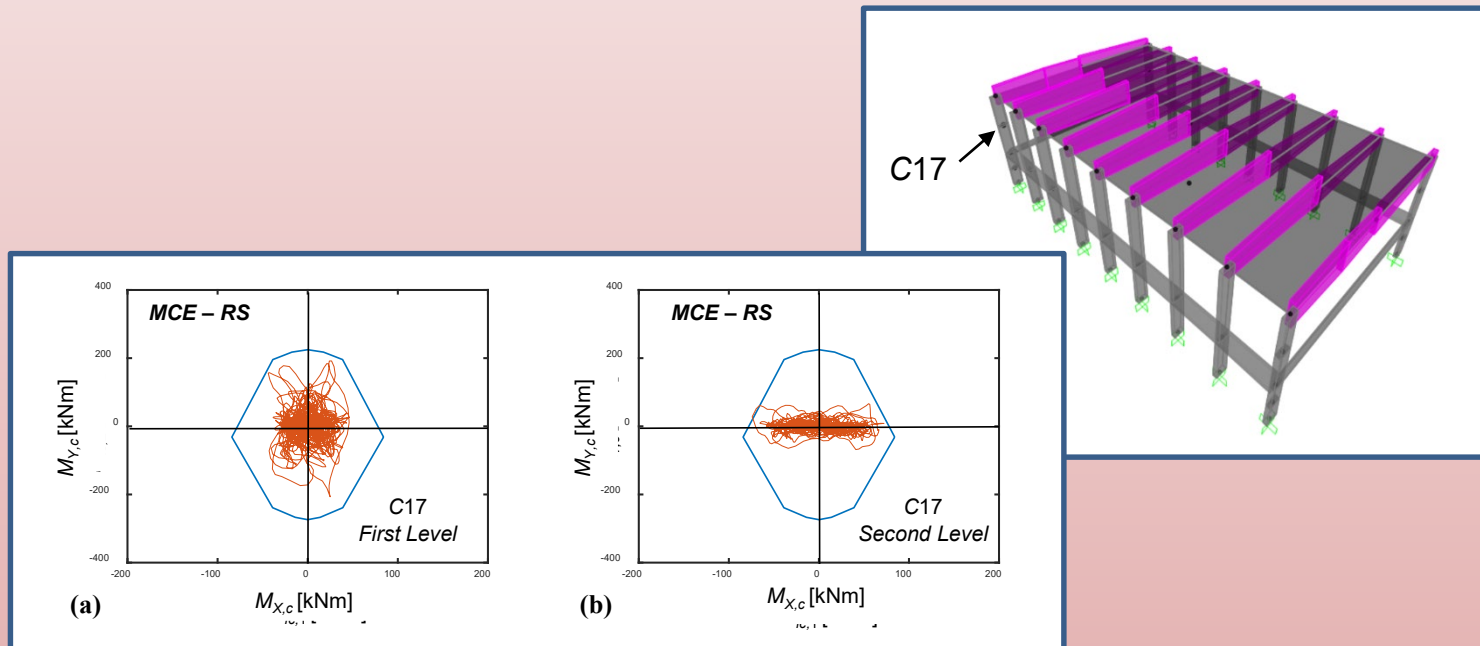
$$T_y = 0,83 \text{ s}$$



Metodi energetici di progetto ($T < 1,5$ s)

Applicazione della procedura energetica speditiva al caso della palestra

Verifica dell'intervento per azioni di livello LS4

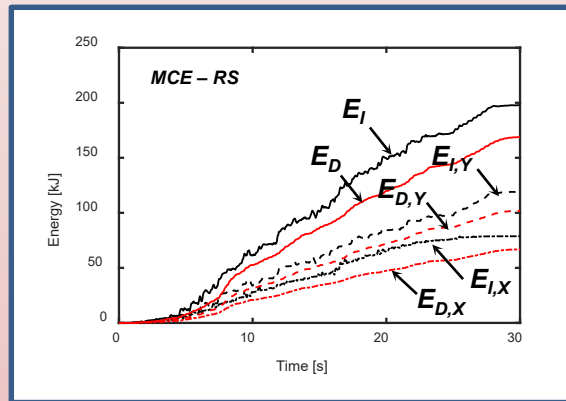


Metodi energetici di progetto ($T < 1,5$ s)

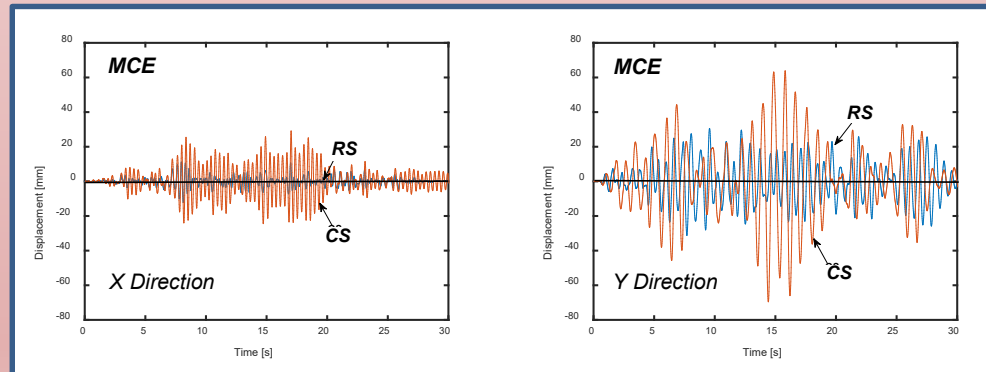
Applicazione della procedura energetica speditiva al caso della palestra

Verifica dell'intervento per azioni di livello LS4

Storie di energia



Storie di spostamento
a confronto



Metodi energetici di progetto ($T < 1,5$ s)

Caso studio della palestra – Blocco D/E

Stato attuale: Indice IS-V(PGA - SLV) = 0,43 Indice IS-V(T - SLV) = 0,41

Inserimento di controventi tradizionali:

Indice IS-V(PGA - SLV) = 0,72 Indice IS-V(T - SLV) = 0,70

Inserimento di controventi dissipativi:

Indice IS-V(PGA - SLV) = 1,21 Indice IS-V(T - SLV) = 1,20

$$IS-V(PGA) = PGA_C / PGA_D$$

$$IS-V(T) = (T_{RC} / T_{RD})^{0.41}$$

T_{RC} = Periodo di ritorno in termini di capacità

T_{RD} = Periodo di ritorno in termini di domanda

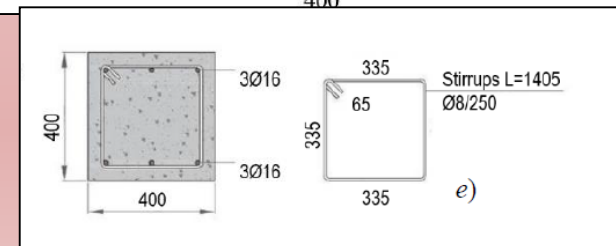
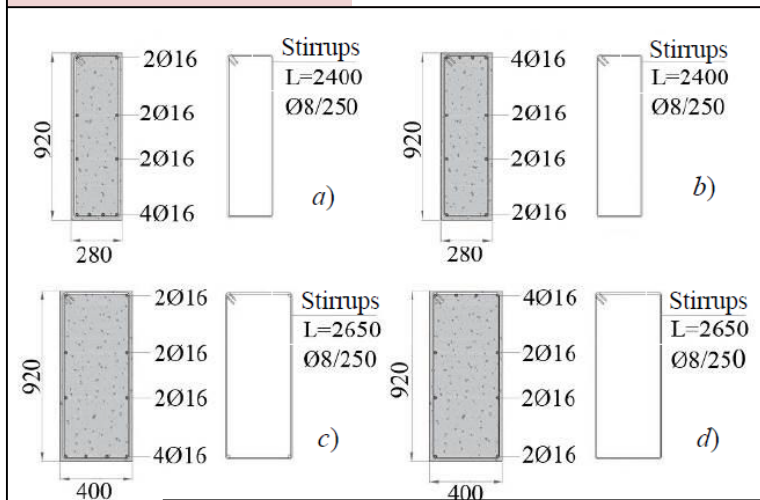
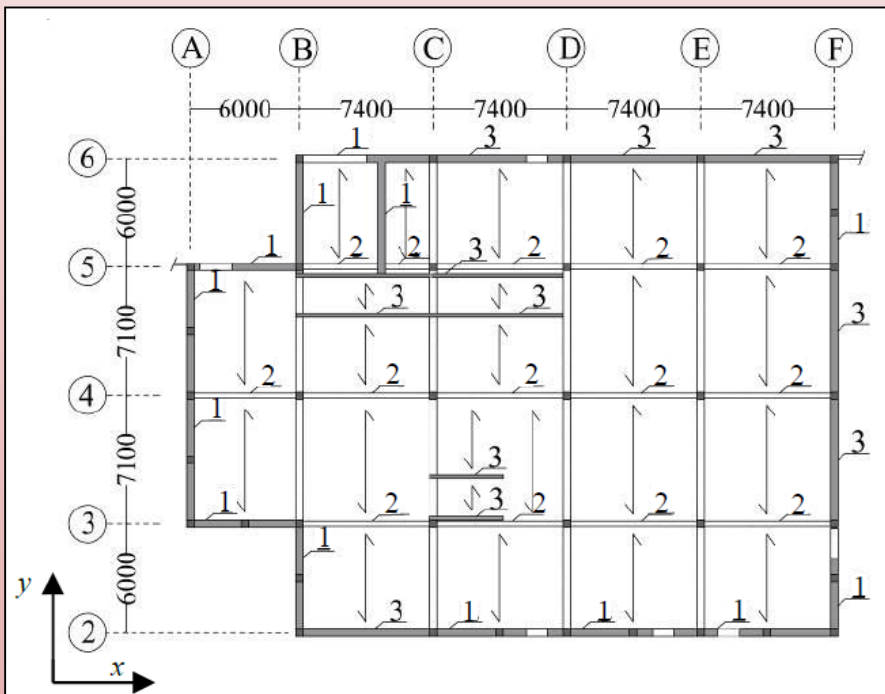
PGA_C = PGA di capacità

PGA_D = PGA di domanda

Metodi energetici di progetto ($T < 1,5$ s)

Applicazione della procedura energetica speditiva al caso di un edificio scolastico con struttura in c.a. ed acciaio

Piano seminterrato

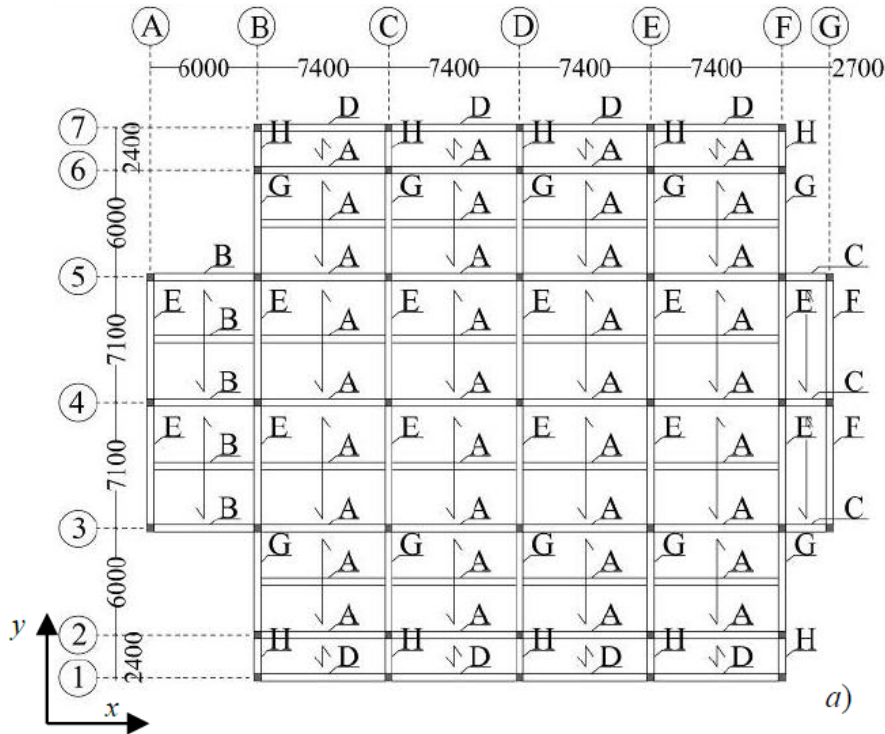


Metodi energetici di progetto ($T < 1,5$ s)

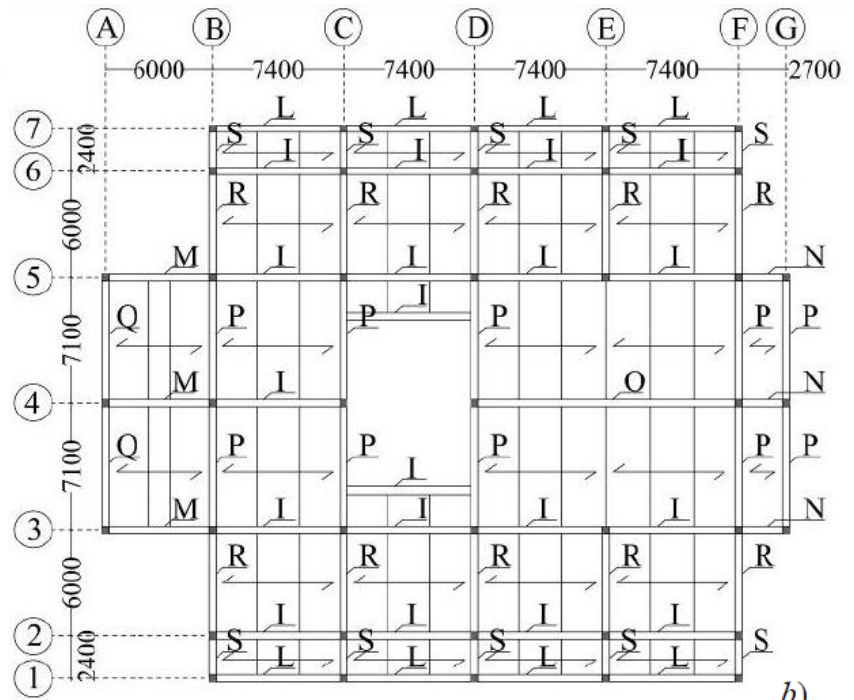
Applicazione della procedura energetica speditiva al caso di un edificio scolastico con struttura in c.a. ed acciaio



Piani in elevazione



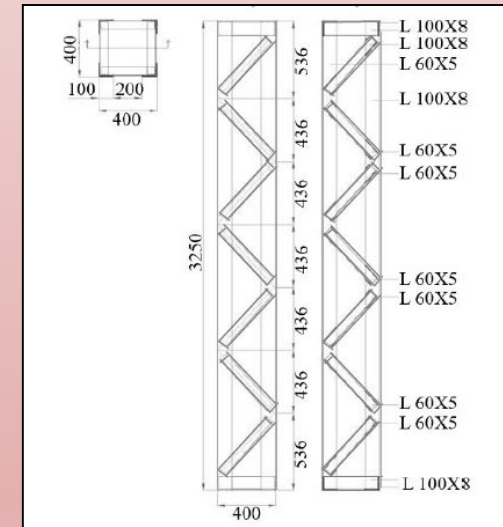
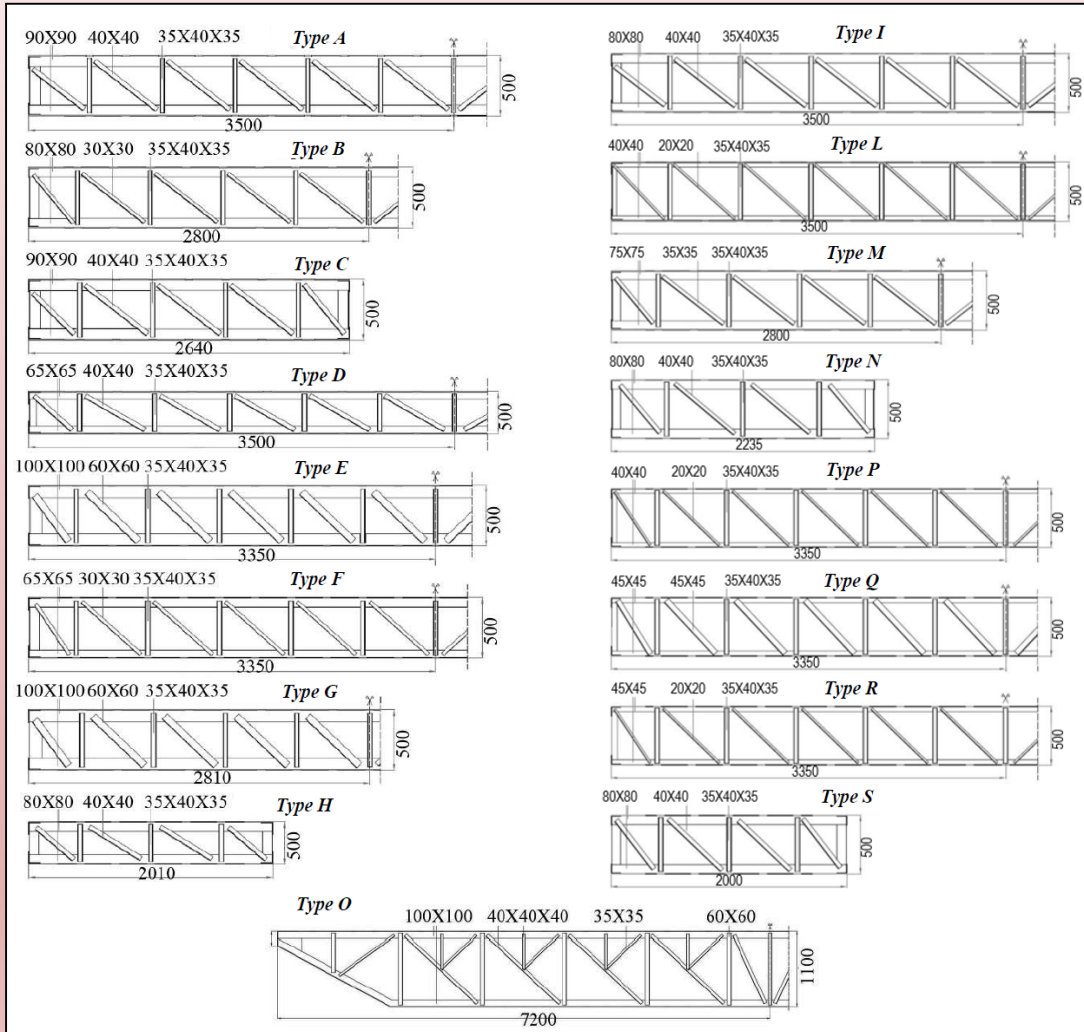
a)



b)

Metodi energetici di progetto ($T < 1,5$ s)

Applicazione della procedura energetica speditiva al caso di un edificio scolastico con struttura in c.a. ed acciaio



Metodi energetici di progetto ($T < 1,5$ s)

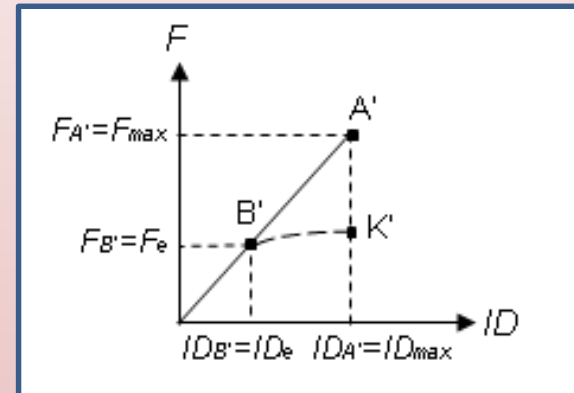
Applicazione della procedura energetica speditiva al caso di un edificio scolastico con struttura in c.a. ed acciaio

In entrambe le direzioni le criticità riguardano GLI SFORZI SULLE ASTE B-1, F-1, B-7, F-7

(Sui due piani: $\alpha_s = \frac{N_{tj}^a}{N_{cr}}$ $\alpha_{s1} = 2,19$; $\alpha_{s2} = 1,5$)

$$\xi_{eq,s1} = \frac{2(\alpha_{s1}-1)}{\pi \cdot \alpha_{s1}} = 0,345$$

$$\xi_{eq,s2} = \frac{2(\alpha_{s2}-1)}{\pi \cdot \alpha_{s2}} = 0,21$$



Avendo definito come F_e il valore del taglio resistente in ciascun piano, e $d_{dJ,max}$ lo spostamento interpiano limite, la stima di E_D deve essere condotta come segue:

$$E_{D1(X,Y)} = 2\alpha_{s1}F_{e1}\xi_{eq,s1}d_{d1,max} = 522,4 \text{ kJ}$$

$$E_{D2(X,Y)} = 2\alpha_{s2}F_{e2}\xi_{eq,s2}d_{d2,max} = 28,9 \text{ kJ}$$

Sommando E_{D1} ed E_{D2} e dividendo per il n. di dispositivi da disporre si ha:

$$E_{D1,d} = 34,45 \text{ kJ}$$

Caratteristiche dei dispositivi da prescegliere (BC5A+BC1GN):

$$E_{n1} = 25 \text{ kJ}; E_{n2} = 14 \text{ kJ};$$

$$\text{corsa } s_{1max} = \pm 50 \text{ mm}; s_{2max} = \pm 40 \text{ mm};$$

$$\text{coefficiente di smorzamento } c_1 = 38 \text{ kN(s/mm)}^\gamma; c_2 = 14,16 \text{ kN(s/mm)}^\gamma; \gamma = 0.15;$$

$$F_{01} = 60 \text{ kN}; F_{02} = 28 \text{ kN};$$

$$k_1 = 1,5 \text{ kN/mm}; k_2 = 2,1 \text{ kN/mm}$$

Metodi energetici di progetto ($T < 1,5$ s)

Caso studio dell'edificio scolastico

Stato attuale: Indice IS-V(PGA - SLV) = 0,52 Indice IS-V(T - SLV) = 0,48

Inserimento di controventi tradizionali:

Indice IS-V(PGA - SLV) = 0,88 Indice IS-V(T - SLV) = 0,86

Inserimento di controventi dissipativi:

Indice IS-V(PGA - SLV) = 1,12 Indice IS-V(T - SLV) = 1,10

$$IS-V(PGA) = PGA_C / PGA_D$$

$$IS-V(T) = (T_{RC} / T_{RD})^{0.41}$$

T_{RC} = Periodo di ritorno in termini di capacità

T_{RD} = Periodo di ritorno in termini di domanda

PGA_C = PGA di capacità

PGA_D = PGA di domanda