



Riabilitazione del Patrimonio LM EA

Riabilitazione Strutturale LM Civ, LM Edi

Costruzioni in C.A. – Interventi con tecniche non convenzionali

Prof. Ing. Laura Ragni

Interventi non convenzionali : generalità

Tecniche non convenzionali – controventi dissipativi

Tecniche non convenzionali – isolamento alla base

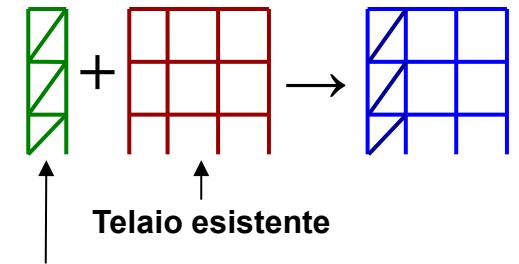
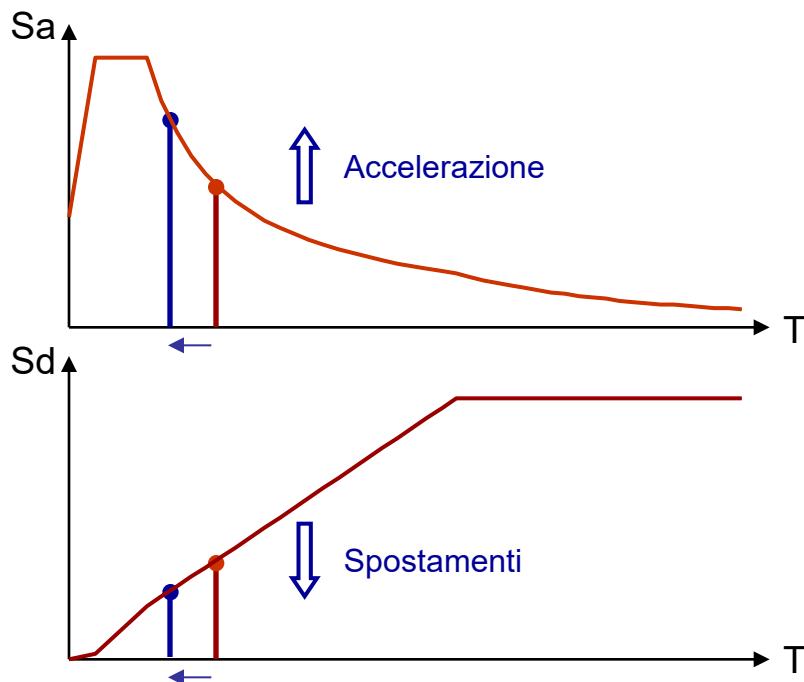
Analisi dinamiche non lineari

Tecniche convenzionali - Interventi globali

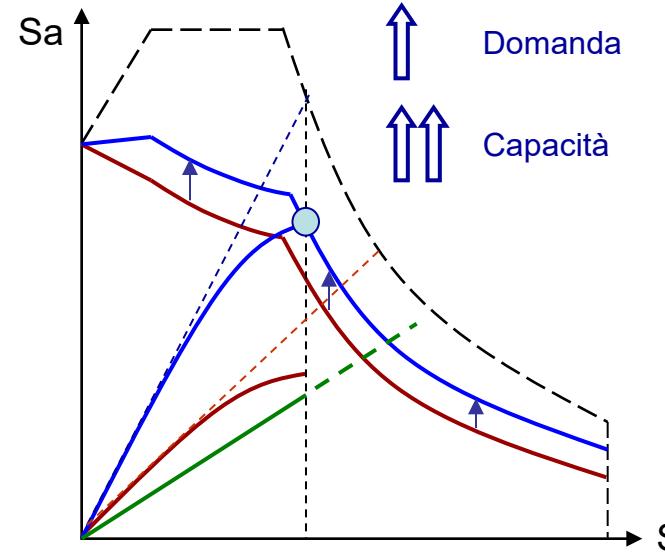
Irrigidimento con pareti e controventi elastici

Obiettivo:  Rigidezza e Resistenza

- riduzione spostamenti e danneggiamento
- ! diminuzione energia dissipata
- !! aumento accelerazione

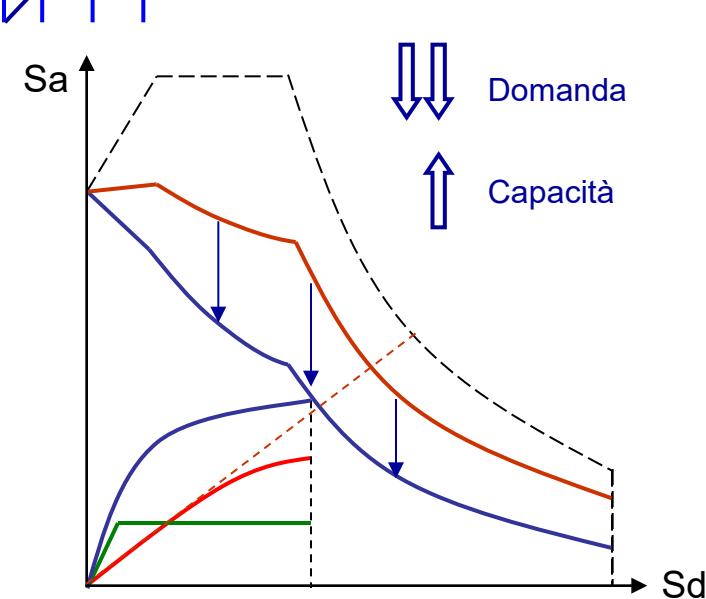
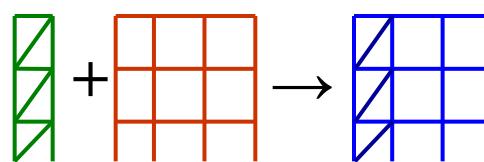
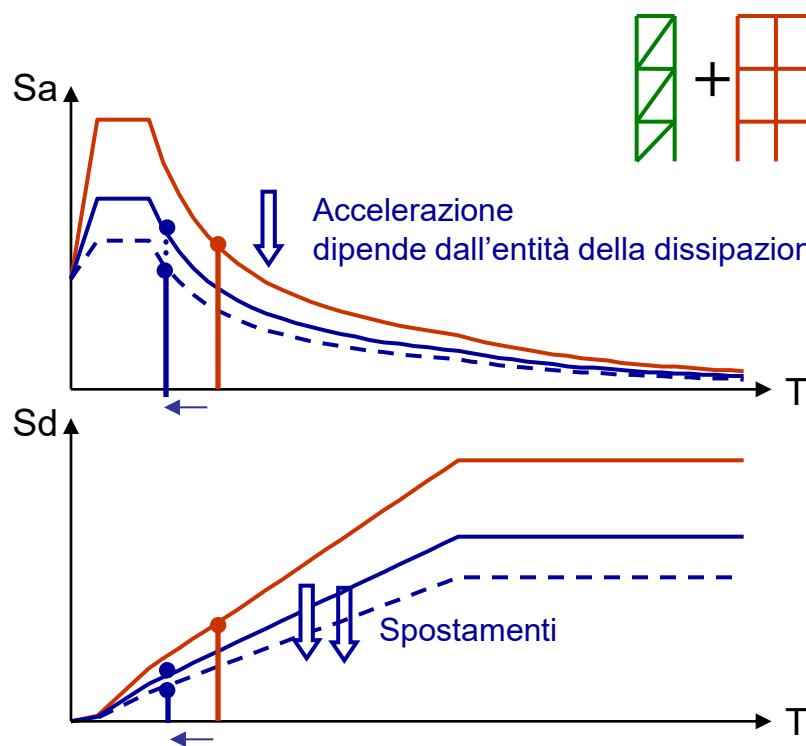


Setto in c.a. o controvento
elastico in acciaio



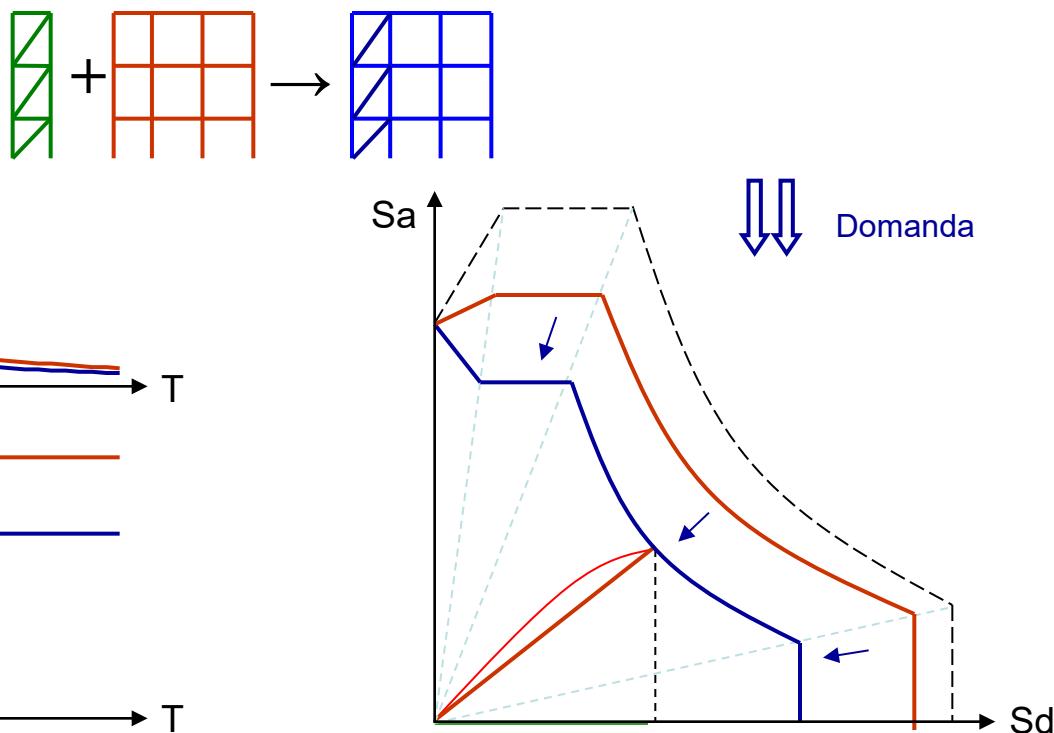
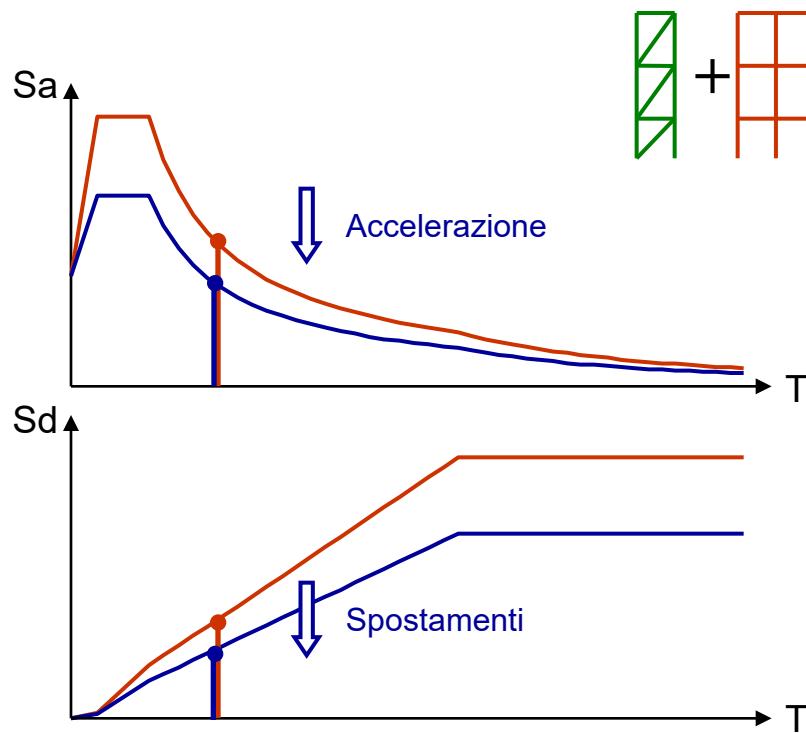
Obiettivo: Rigidezza e Dissipazione

- riduzione spostamenti (SLD) e danneggiamento (SLV)
- incremento energia dissipata
- accelerazioni



Obiettivo: Dissipazione

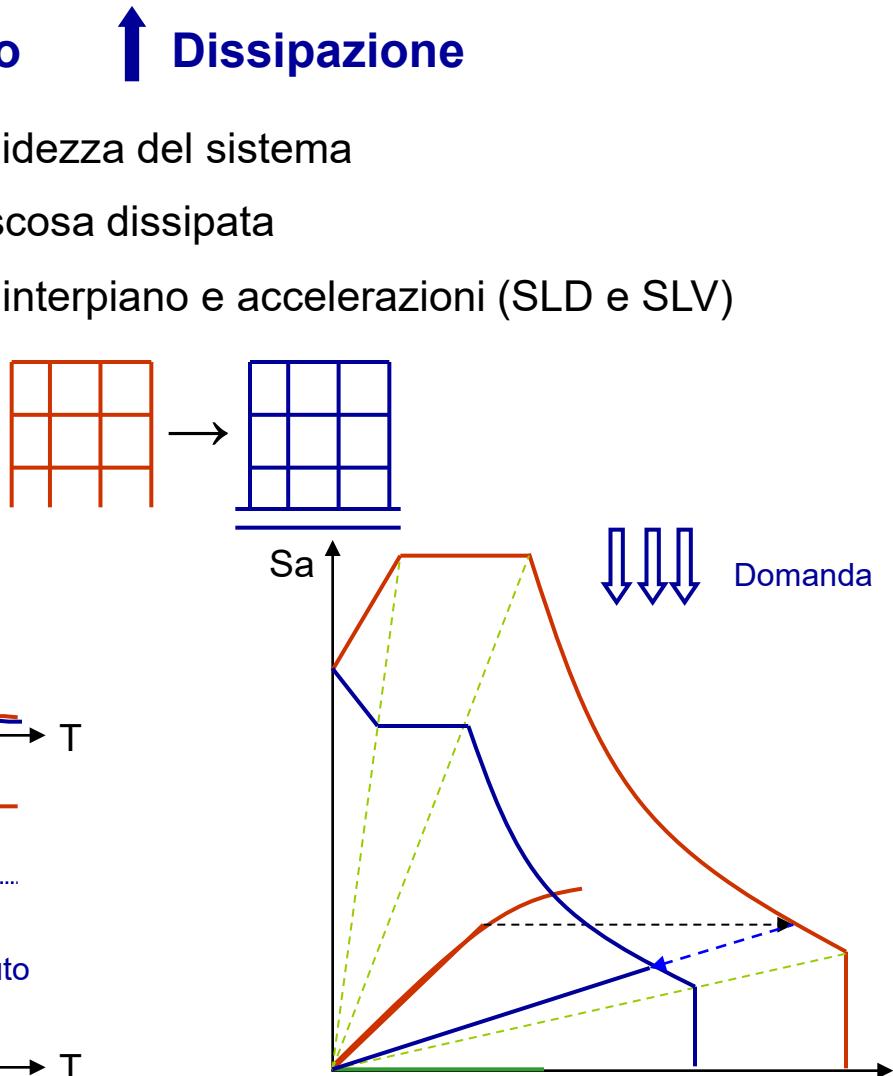
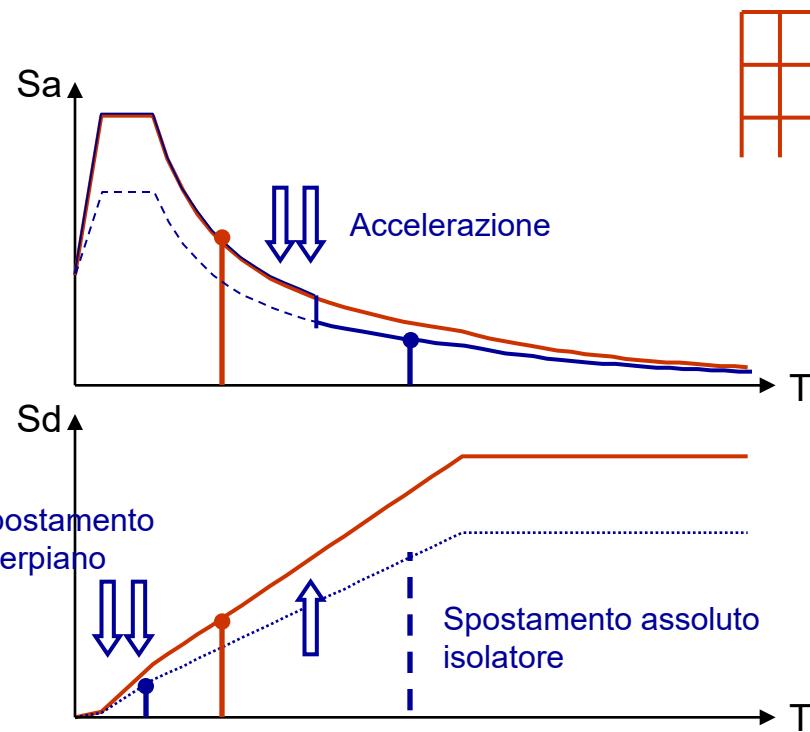
- nessuna variazione di rigidezza
- incremento energia viscosa dissipata
- riduzione spostamenti e accelerazioni (SLD e SLV)



Isolamento alla base

Obiettivo:  Energia in ingresso  Dissipazione

- elevata riduzione di rigidezza del sistema
- incremento energia viscosa dissipata
- riduzione spostamenti interpiano e accelerazioni (SLD e SLV)



Tecniche convenzionali - Interventi globali

Risk Management Series

Design Guide



FEMA

for Improving Hospital Safety
in Earthquakes, Floods, and High Winds

FEMA 577 / June 2007

Olive View Medical Center California, 1970



San Fernando Earthquake
1971 - M 6.6

Irrigidimento con pareti e controventi elastici



Tecniche convenzionali - Interventi globali

Olive View Medical Center
California, 1970

Irrigidimento con pareti e controventi elastici



Archivio reperti medici



Interno di un ufficio



Apparecchiatura radiologica



Controsoffitto in una camera operatoria

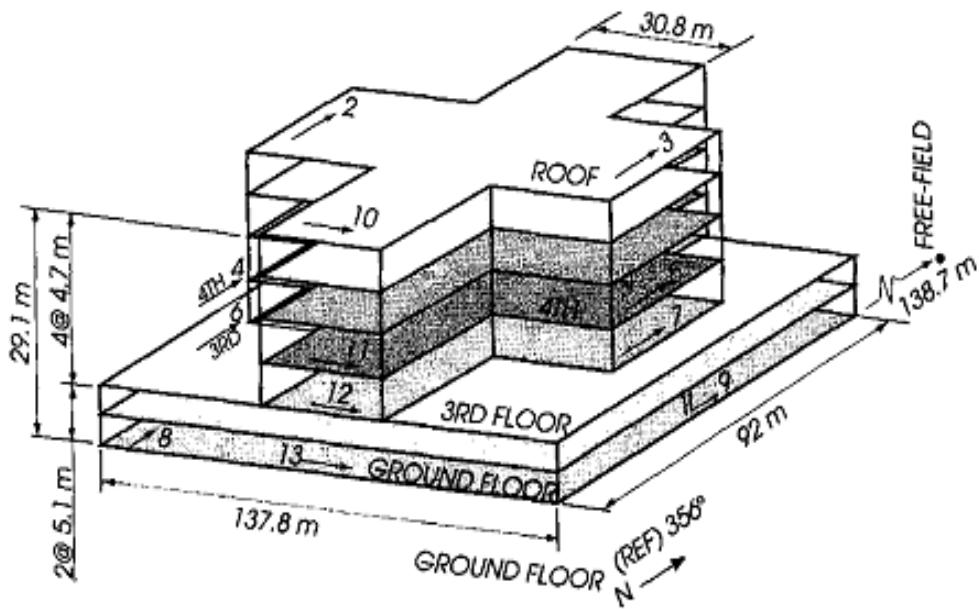
Tecniche convenzionali - Interventi globali

Irrigidimento con pareti e controventi elastici

“New” Olive View Medical Center, 1986

Struttura sismo-resistente:

- setti in c.a. ai primi due livelli
- telai metallici con controventi ai livelli superiori



Schema edificio e sensori sismici

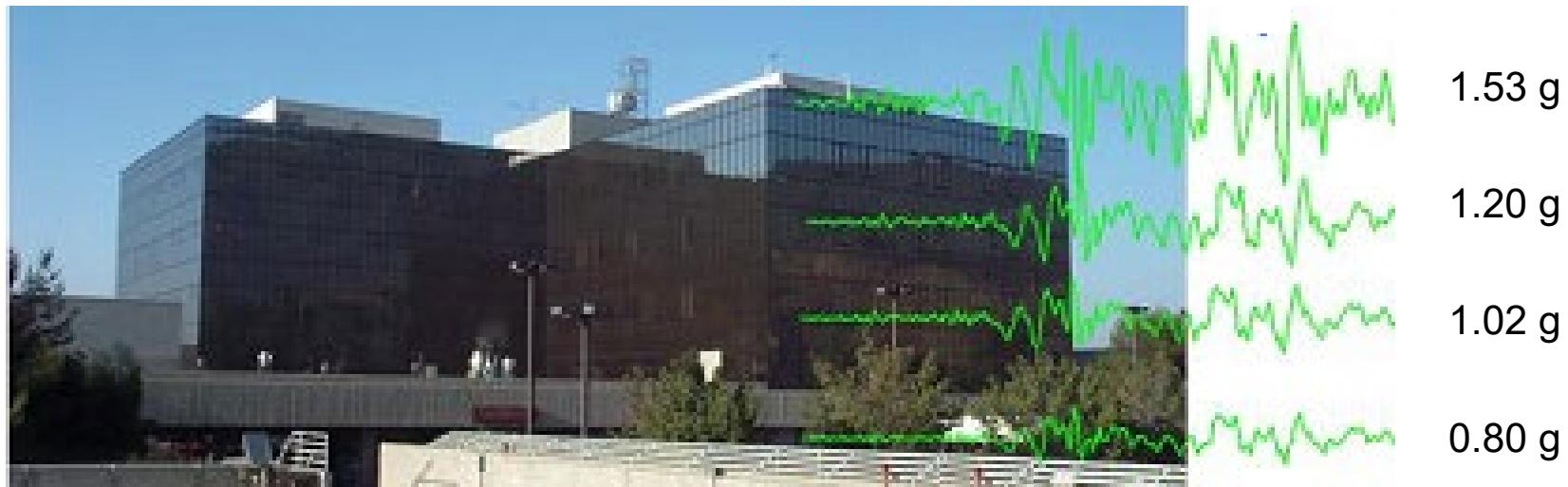


Tecniche convenzionali - Interventi globali

“New” Olive View Medical Center California, 1986

Irrigidimento con pareti e controventi elastici

Northridge earthquake 1994 – M 6.8



Eduardo Miranda - Stanford University

notevole rigidezza della struttura
in elevazione



Valori eccezionalmente elevati
delle accelerazioni

Tecniche convenzionali - Interventi globali

"New" Olive View Medical Center
California, 1986

Northridge earthquake
1994 – M 6.8

Danni elevati su:
- impianti, controsoffitti
- apparecchiature, macchinari

Irrigidimento con pareti e controventi elastici



Danni al contenuto



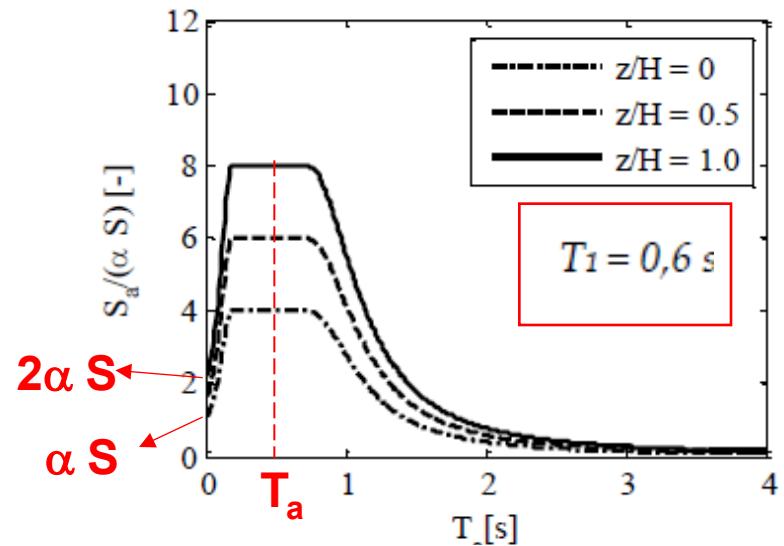
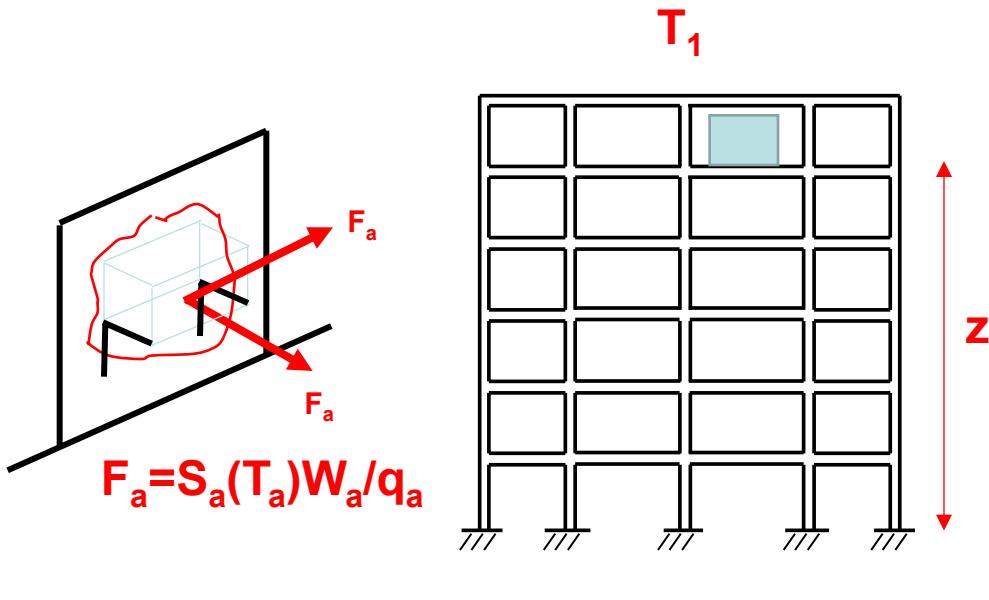
Rottura ancoraggi dei macchinari
in copertura



Rottura sprinkler e
danneggiamento controsoffitto

Tecniche innovative di protezione – perchè?

Edifici di nuova progettazione

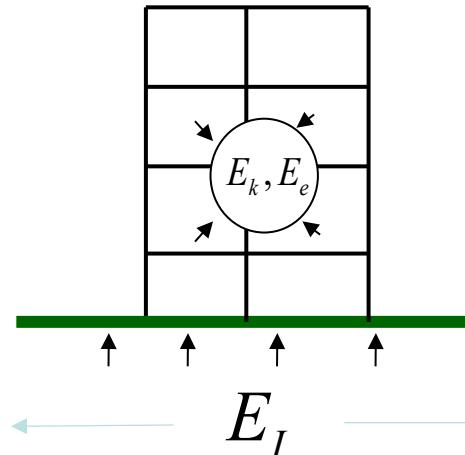


$$S_a(T_a) = \begin{cases} \alpha \cdot S \cdot (1 + z/H) \cdot \left[\frac{a_p}{1 + (a_p - 1) \left(1 - \frac{T_a}{a \cdot T_1} \right)^2} \right] \geq \alpha \cdot S & \text{per } T_a < a \cdot T_1 \\ \alpha \cdot S \cdot (1 + z/H) \cdot a_p & \text{per } a \cdot T_1 < T_a < b \cdot T_1 \quad [\text{C7.2.5}] \\ \alpha \cdot S \cdot (1 + z/H) \cdot \left[\frac{a_p}{1 + (a_p - 1) \left(1 - \frac{T_a}{b \cdot T_1} \right)^2} \right] \geq \alpha \cdot S & \text{per } T_a \geq b \cdot T_1 \end{cases}$$

Tecniche innovative di protezione – perchè?

Strategie di protezione sismica

Come si possono ottenere livelli prestazionali maggiori
(es. l'Operatività o la Completa operatività allo SLV) ?

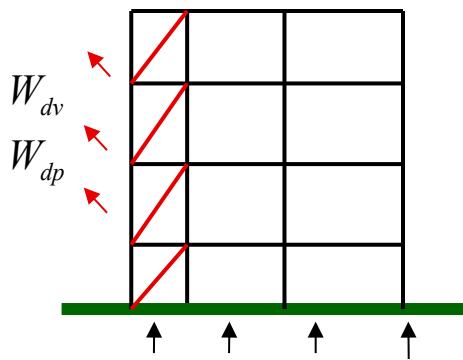


DISSIPAZIONE DI ENERGIA

E_I

ISOLAMENTO ALLA BESE

Inserimento di componenti dissipativi
(diss. isteretica/viscosa)

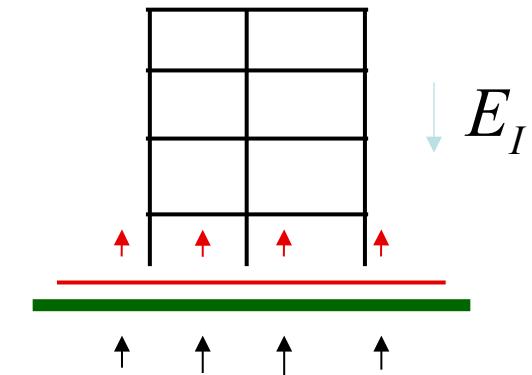


E_I

$E_K + E_E$

$E_{DP} + E_{DV}$

Riduzione dell'energia in ingresso
(isolamento sismico)c



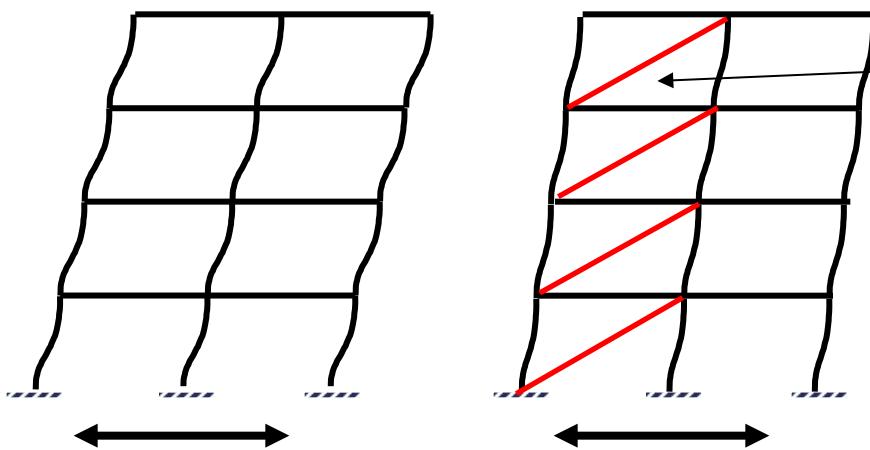
Interventi non convenzionali : generalità

Tecniche non convenzionali – controventi dissipativi

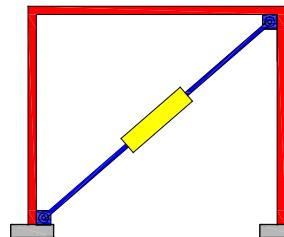
Tecniche non convenzionali – isolamento alla base

Analisi dinamiche non lineari

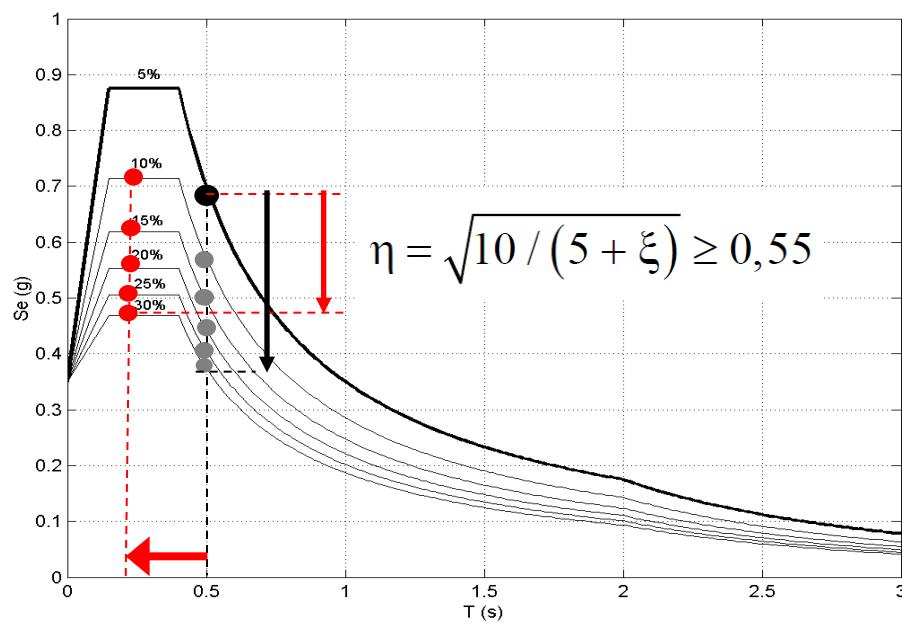
Controventi dissipativi



inserimento all'interno dell'edificio di elementi con elevate capacità dissipative ed eventualmente irrigidenti



- aumento della dissipazione
- eventuale diminuzione del periodo



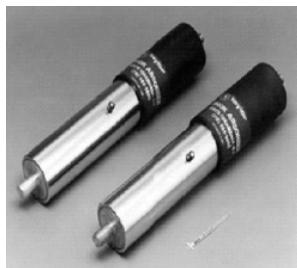
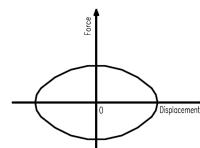
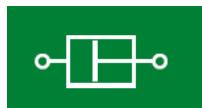
riduzione delle forze e delle accelerazioni agenti sulla struttura che rimane in campo elastico (o comunque è soggetta a plasticizzazioni limitate) e riduzione degli spostamenti



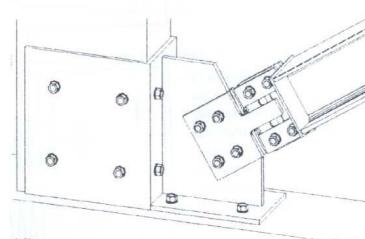
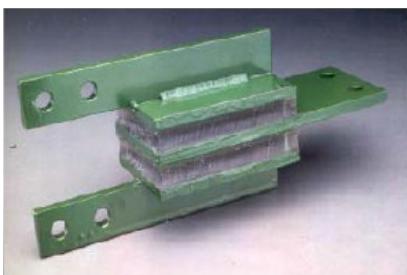
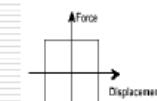
danni limitati agli elementi strutturali e non strutturali anche per sismi elevati

Dissipazione dipendente dalla velocità

Viscosi

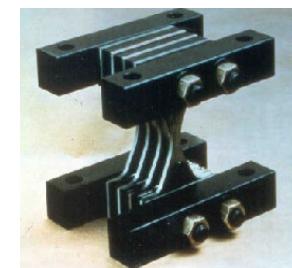
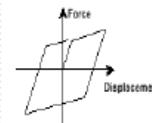
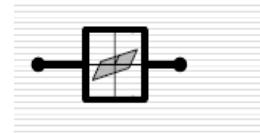


Viscoelastici

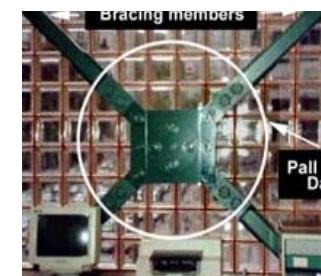
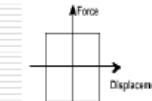


Dissipazione dipendente da spostamento

Elasto-plastici



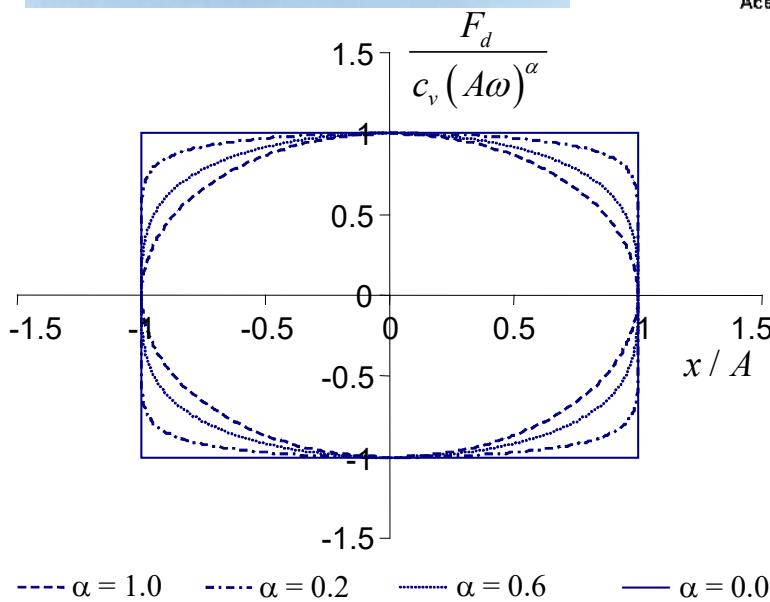
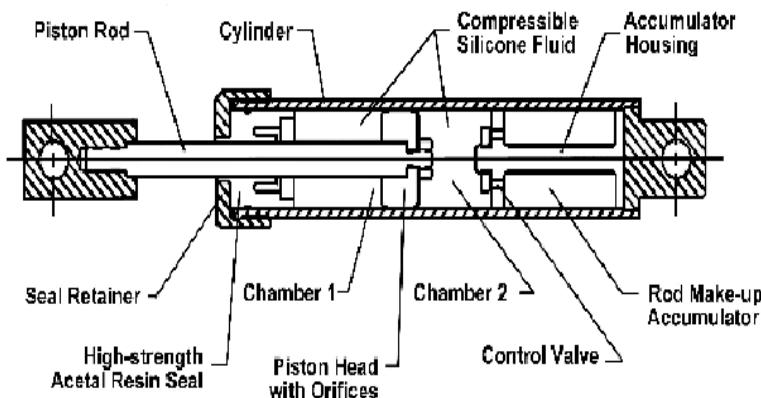
Attritivi



Controventi dissipativi - viscosi

Nei "dispositivi viscosi" la dissipazione avviene per conversione in calore dell'energia meccanica fornita ad un pistone che deforma una sostanza viscosa.

NB: non forniscono rigidezza ma solo dissipazione



$F = c v^\alpha$

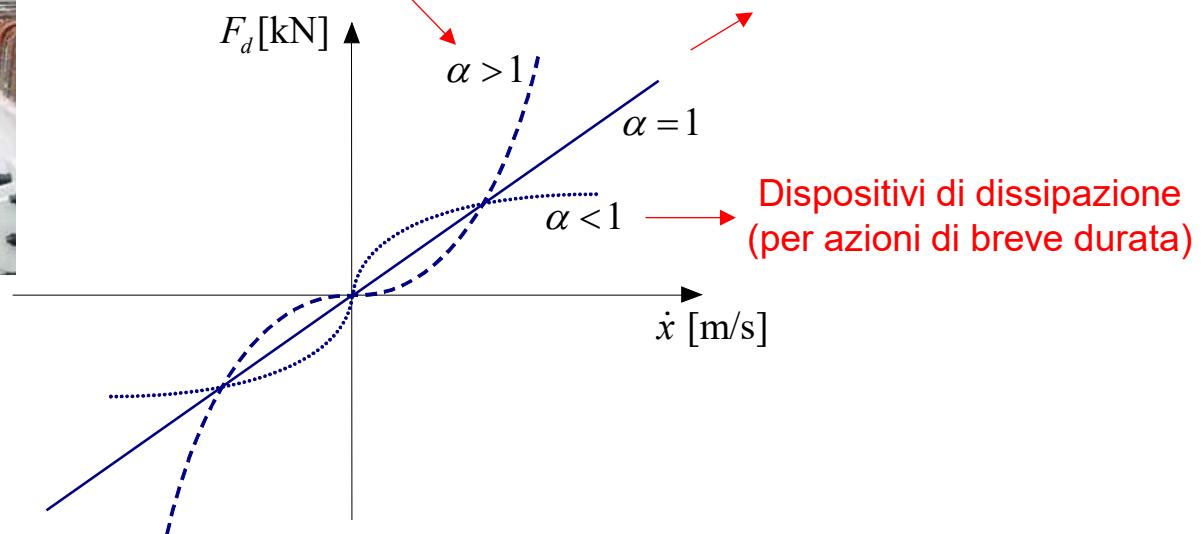
Esponente della velocità
(dettagli costruttivi)

Costante viscosa

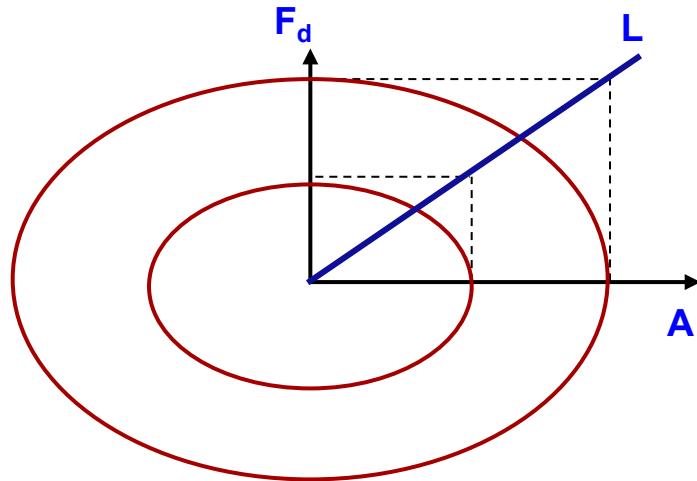
Controventi dissipativi



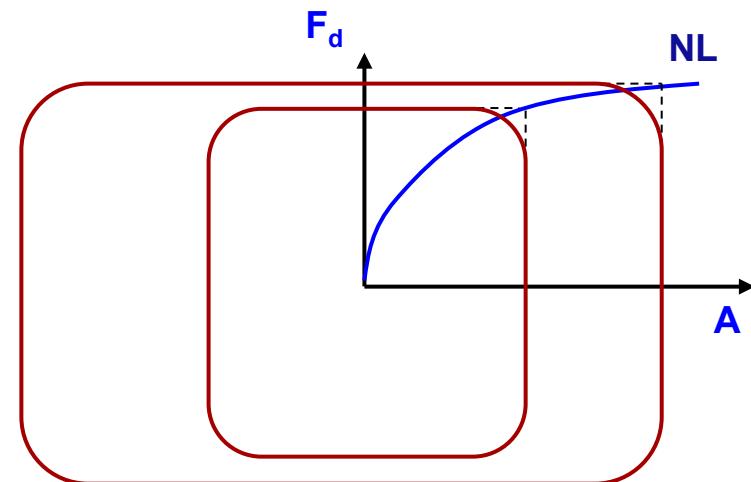
Dispositivi di vincolo temporaneo



Comportamento lineare



Comportamento non lineare

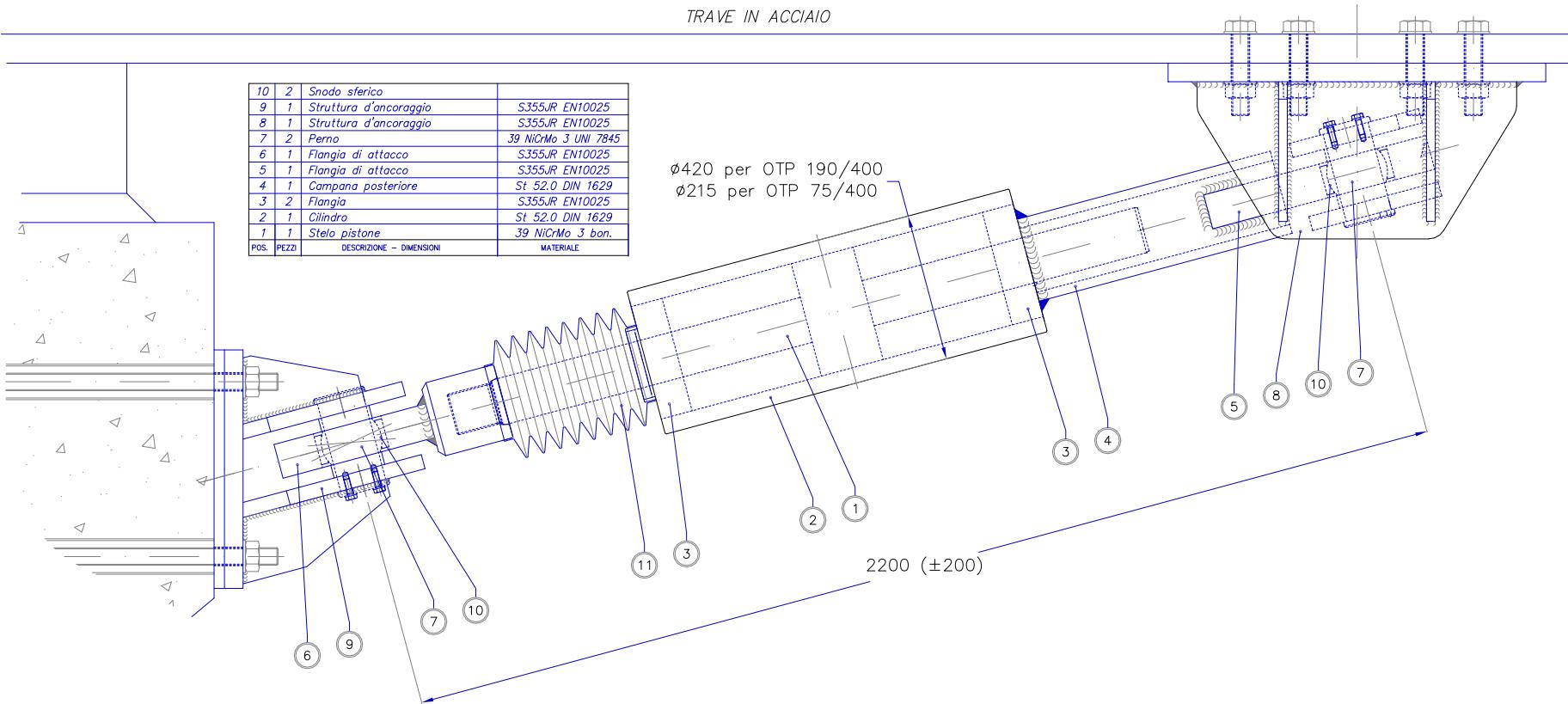


Controventi dissipativi

Per i controventi con dissipatori viscosi occorre dimensionare i dissipatori in modo tale da ottenere il coefficiente di smorzamento totale (controventi + struttura) desiderato. Dimensionare i dissipatori significa **determinare c** e conseguentemente **la forza e lo spostamento di progetto**

$$F_d = 190 \text{ kN} \quad d_{\max} = \pm 200 \text{ mm}$$

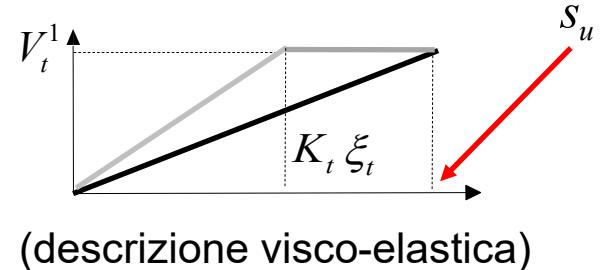
DISSIPATORE VISCOSO TIPO OPT 190/400 e OPT 75/400



STEP1: Valutazione della capacità della struttura esistente
 (sistema 1-GDL equivalente) a partire dal push-over (push-mode)

$$V_t^1, s_u \rightarrow \mu_t = s_u / s_{ty} \rightarrow K_t = \frac{V_t^1}{s_u}$$

$$\xi_t = 0,05 + 0,565 \frac{\mu_t - 1}{\mu_t \pi}$$



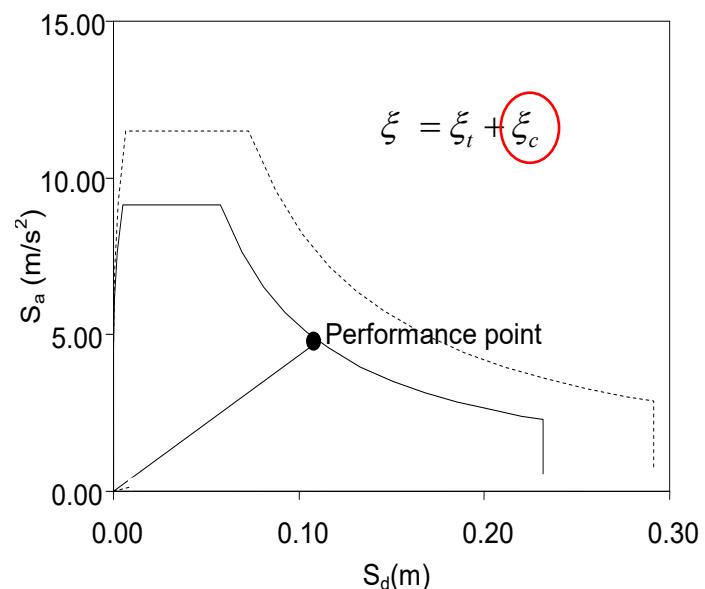
STEP2: Definizione del sistema accoppiato 1-GDL equivalente in accordo con la domanda
 (taglio e rigidezza alla base del controvento)

$$a^* = V^1 / \Gamma m^*$$

$$d^* = s / \Gamma$$

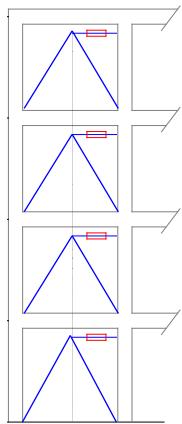
STEP3: Determinazione per via iterativa dello smorzamento dei controventi al fine di uguagliare domanda con capacità

ξ_c = incognita



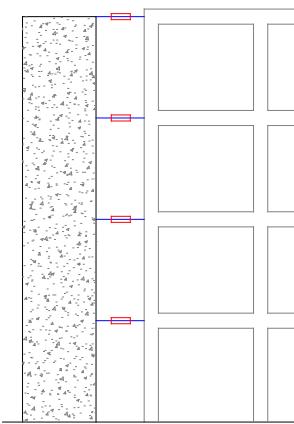
Esistono diverse distribuzioni di dissipatori che producono lo stesso smorzamento. L'ipotesi sulla forma modale diventa sempre più approssimata per distribuzioni di dissipatori non proporzionali alle rigidezze di piano (caso a) o alle masse di piano (caso b)

caso a



**Smorzamento proporzionale
alle rigidezze di piano**

caso b



**Smorzamento proporzionale
alle masse di piano**

**Primo modo normalizzato
rispetto al punto di controllo**

$$\bar{\phi}^i = \phi^i / \phi^n$$

caso a $s_i = s_u (\bar{\phi}^i - \bar{\phi}^{i-1})$

caso b $s_i = s_u \bar{\phi}^i$

Nota: i controventi viscosi non danno nessun contributo in rigidezza

$$K = K_t \quad \omega^2 = \omega_t^2$$

spostamento dei dispositivi

Energia dissipata dai dispositivi: $W_d^1 = \pi \omega \sum_i c_i s_i^2 = \pi \omega c \sum_i s_i^2$

Ipotesi dispositivi viscosi lineari e dissipatori uguali ad ogni piano $c_i=c$

Massima energia elastica del telaio

$$E_{el,t} = \frac{1}{2} k_1 s_u^2 = \frac{1}{2} m_1 \omega^2 s_u^2 = \frac{1}{2} \omega^2 s_u^2 \sum_i m_i (\bar{\phi}^i)^2$$

Coefficiente di smorzamento

$$\xi = \frac{W_t^1 + W_d^1}{4\pi E_{el,t}^1} = \xi_t + \frac{\sum_i c^i s_i^2}{2\omega s_u \sum_i m^i (\bar{\phi}^i)^2}$$

$$\xi = \xi_t + \frac{c \sum_i s_i^2}{2\omega s_u^2 \sum_i m^i (\phi^i)^2} = \xi_{target} \quad \xrightarrow{c}$$

Nota: La forze dei dispositivi può essere **stimata** con $F_i = c \omega s_i$

$$F_{d,i} = c / (n_c) \cdot \omega s_u (\bar{\phi}_i - \bar{\phi}_{i-1}) \quad \text{caso a}$$

$$F_{d,i} = c / (n_c) \cdot \omega s_u \bar{\phi}_i \quad \text{caso b}$$

n_c = numero di controventi in pianta

pseudo-velocità

Dimensionamento controvento inclinato

$$s_{i,d} = \cos \alpha \cdot s_u (\phi^i - \phi^{i-1})$$

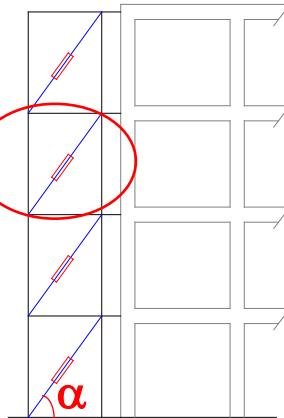
$$F_{d,i} = F_i / \cos \alpha = c \omega s_i / (n_c \cos \alpha)$$



$$F_{d,i} = c \omega s_{i,d} / (n_c \cos^2 \alpha)$$



$$c_d = c / (n_c \cos^2 \alpha)$$



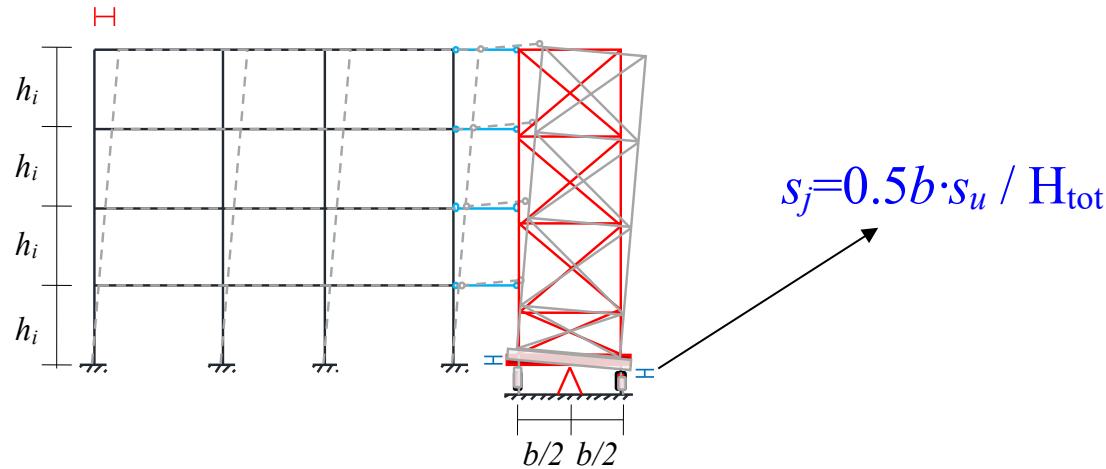
STEP4: Dimensionamento del braccio e dei collegamenti:

$$\gamma_{ov} = (1 + t_d) \cdot (1.5)^\alpha \text{ EN15129}$$

$$N_{b,Rd} > \gamma_{ov} F_{d,i} = \gamma_{ov} c \cdot \omega s_u (\bar{\phi}_i - \bar{\phi}_i) / (n_c \cos \alpha)$$

$$N_{Rd,j} > \gamma_{ov} F_{d,i} = \gamma_{ov} c \cdot \omega s_u (\bar{\phi}_i - \bar{\phi}_i) / (n_c \cos \alpha)$$

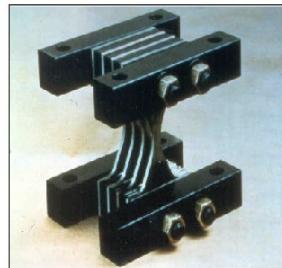
Caso della torre dissipativa



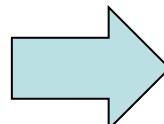
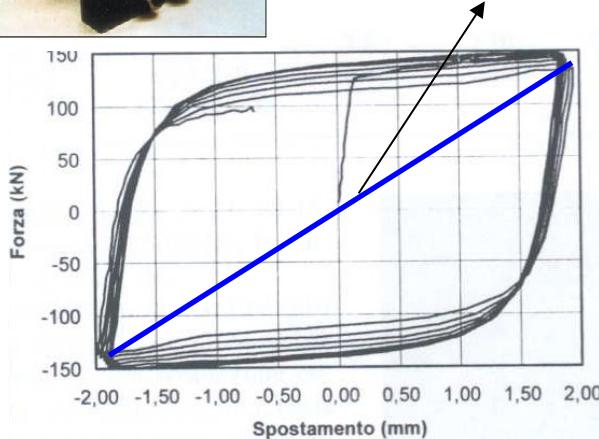
Controventi dissipativi

I "dispositivi elasto-plastici" dissipano energia attraverso le deformazioni inelastiche dei metalli che, superato un prefissato livello di carico, si plasticizzano.

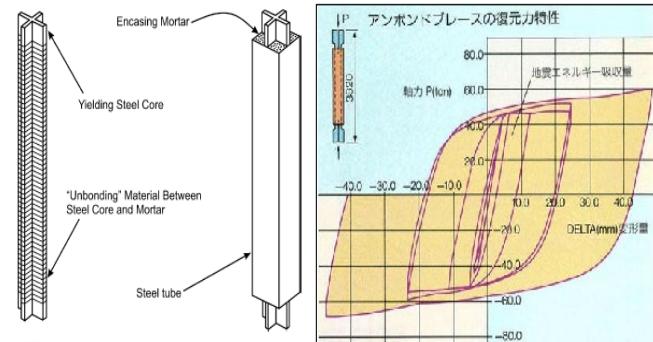
ADAS DEVICE (Added Damping And Stiffness)



forniscono rigidezza e dissipazione



BRB (Buckling Restrained braces) o BRAD (Buckling restrained axial damper)



$\mu = u_u/u_y$ ←
duttilità ciclica garantita
dal fornitore (fino a 20)

$$u_y = F_y/k$$

$$k = E A_{\text{nucleo}} / L_{\text{nucleo}}$$

$$F_y = A_{\text{nucleo}} f_y$$

Parametri di progetto del dissipatore

Progettazione dei controventi dissipativi

San Bernadino Valley College of California



Università Politecnica delle Marche
(Italy)

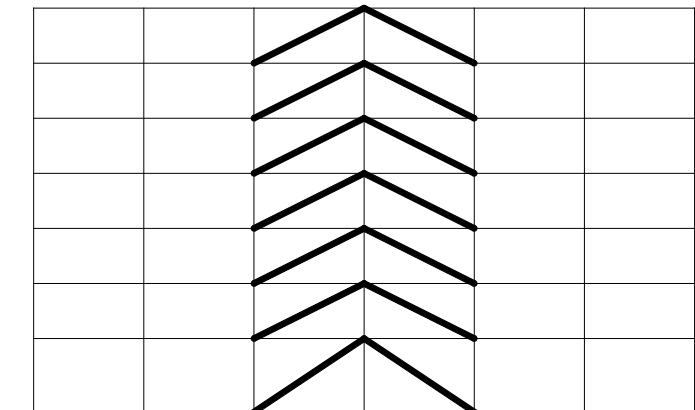
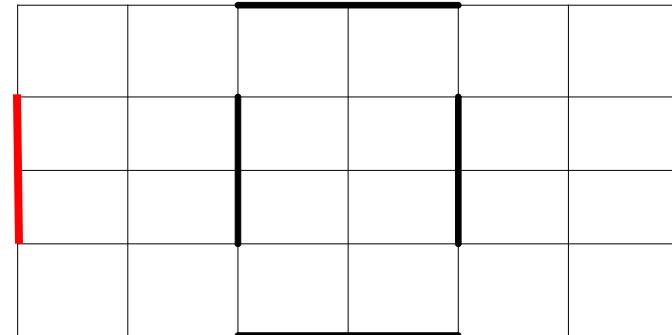


Progettazione dei controventi dissipativi

Per i controventi elastoplastici la progettazione è più complessa in quanto forniscono sia dissipazione che rigidezza che devono essere opportunamente progettate in modo tale da ottenere lo smorzamento ed il periodo desiderato.

Inoltre, in questo ultimo caso:

- la disposizione in pianta dei controventi deve garantire un'adeguata regolarità in pianta e rigidezza a torsione
- la disposizione in elevazione dei controventi deve garantire le proprietà di regolarità in elevazione



In tutti i casi la distribuzione dei controventi (sia in pianta che in elevazione) deve sottostare a vincoli di carattere architettonico.

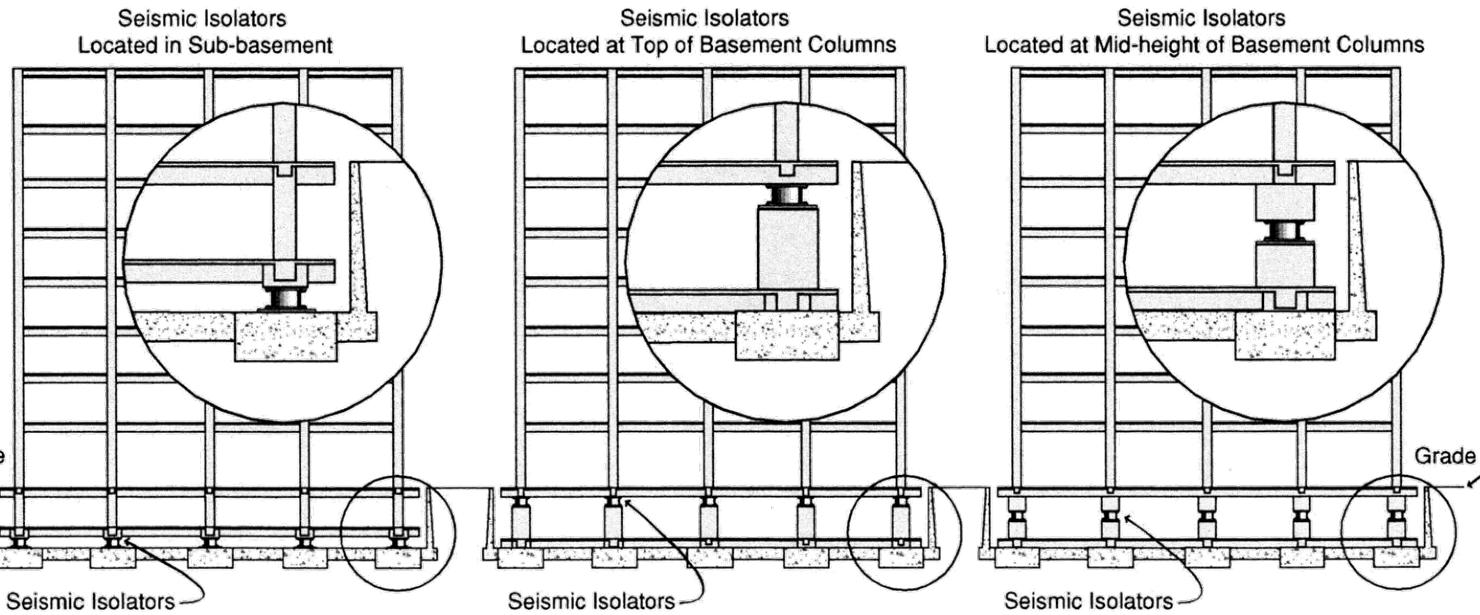
Interventi non convenzionali : generalità

Tecniche non convenzionali – controventi dissipativi

Tecniche non convenzionali – isolamento alla base

Analisi dinamiche non lineari

Isolamento alla base - principio

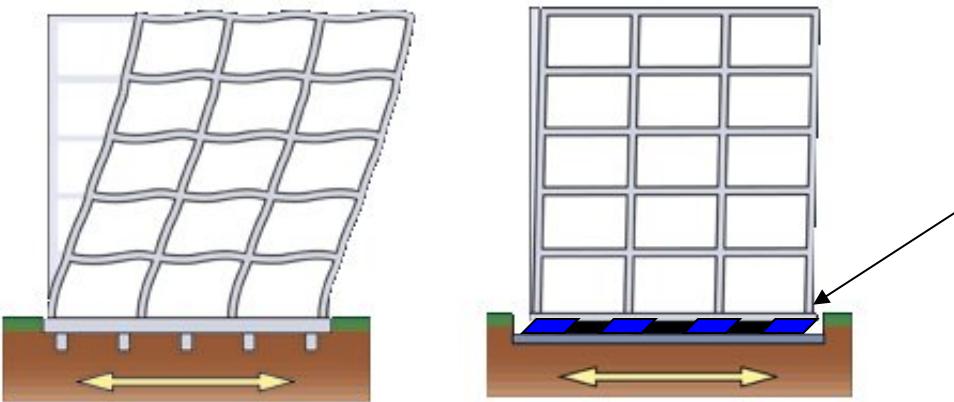


L'isolamento alla base consiste nell'inserimento alla base dell'edificio di elementi caratterizzati da una elevata rigidezza verticale ma un'elevata deformabilità orizzontale associata ad una buona capacità dissipativa. In questo modo si ottiene:

- 1) aumento del periodo
- 2) aumento della dissipazione



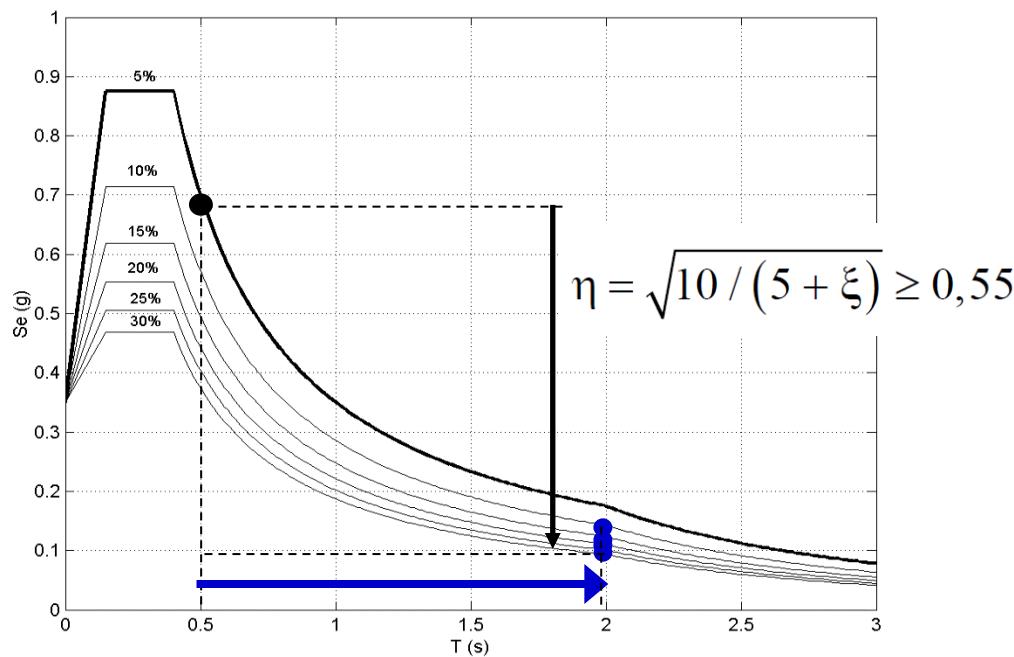
Isolamento alla base - principio



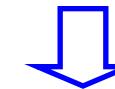
La struttura si comporta circa come un corpo rigido che trasla sopra il piano di isolamento



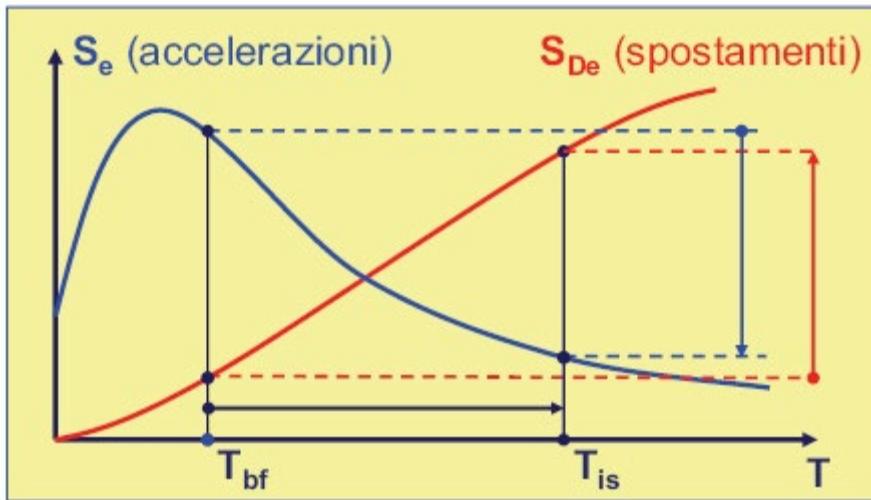
Disaccoppiamento del moto sovrastruttura e sottostruttura
drastica riduzione delle forze e delle accelerazioni trasmesse alla sovrastruttura che rimane circa in campo elastico



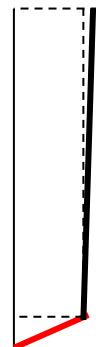
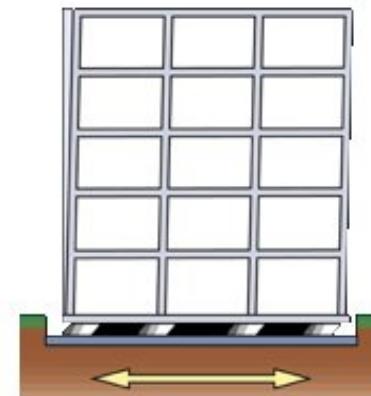
no danni agli elementi strutturali e non strutturali anche per sismi elevati



Isolamento alla base - principio



NB: elevati spostamenti del sistema di isolamento



CARATTERISTICHE DEL SISTEMA DI ISOLAMENTO

Bassa rigidezza orizzontale: al fine di garantire un periodo di isolamento elevato

Buona capacità dissipativa : al fine di abbattere ulteriormente le azioni trasmesse in sovrastruttura e gli spostamenti orizzontali del sistema di isolamento

Funzione di appoggio: deve essere in grado di sopportare i carichi verticali in condizioni di esercizio e in condizioni sismiche (in presenza di elevati spostamenti orizzontali)

+

Adeguata rigidezza nei confronti delle forze orizzontali di piccola entità (vento, bassi sismi)

Ricentraggio: capacità di tornare alla posizione iniziale dopo un evento sismico

Isolamento alla base – caratteristiche isolatori

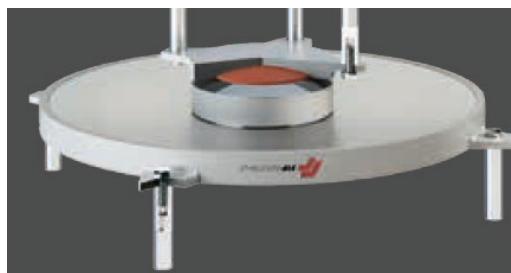
TIPOLOGIE DI ISOLATORI:

- 1) isolatori elastomerici (isolatori in **materiale elastomerico** e acciaio)



Gomma naturale o gomma ad alto smorzamento (con aggiunta di filler di carbone) vulcanizzata alle piastre di acciaio.

- 2) isolatori a pendolo o isolatori a scorrimento



Su una **superficie concava** (ricentraggio) **ad attrito controllato** (dissipazione)

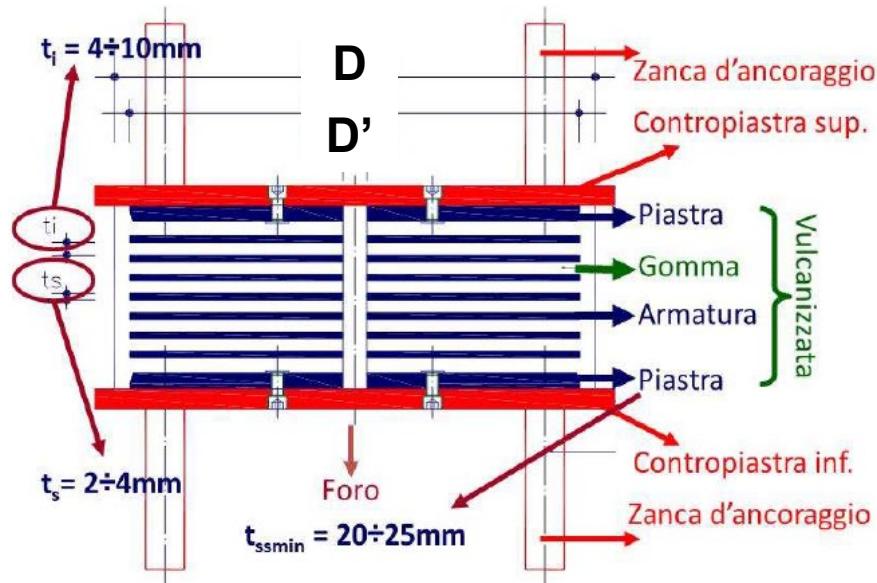
- + **dispositivi ausiliari** per aumentare la dissipazione (dissipatori viscosi) o garantire il ricentraggio (martinetti)



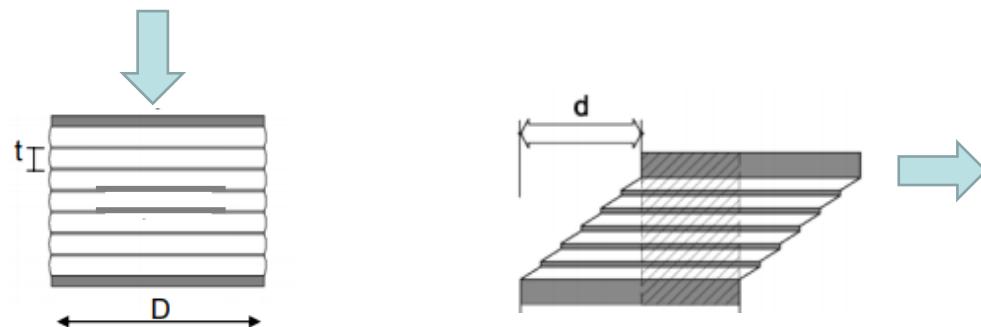
Isolamento alla base – isolatori elastomerici

Gli stati in gomma sono vulcanizzati alle piastre di acciaio intermedie e di estremità, cioè solidarizzati ponendo l'isolatore in forno e sottoponendolo ad una certa pressione e temperatura per un periodo di tempo stabilito in base alla dimensione dell'isolatore.

Uno strato esterno di gomma (ricoprimento) protegge le piastre. Il foro interno è funzionale alla vulcanizzazione e viene solitamente riempito con gomma a posteriori .

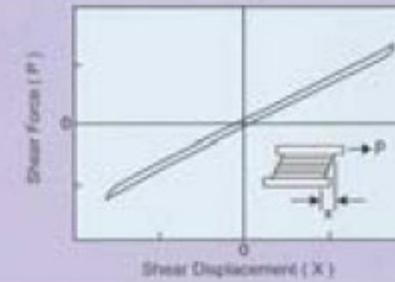
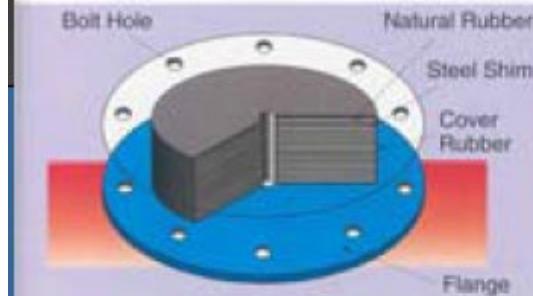


Gli isolatori sono sottoposti a carichi verticali (assiali) e orizzontali (trasversali). Le piastre in acciaio servono per confinare la gomma sotto l'azione dei carichi verticali. Sottoposti a forze orizzontali gli strati di gomma si deformano lavorando a taglio.

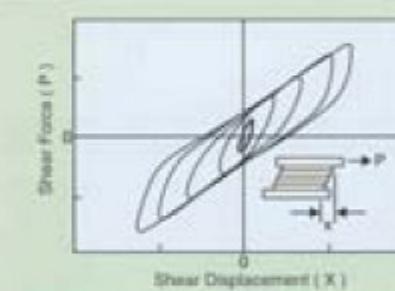
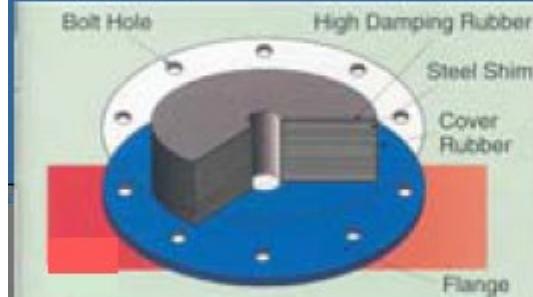


Isolamento alla base – isolatori elastomerici

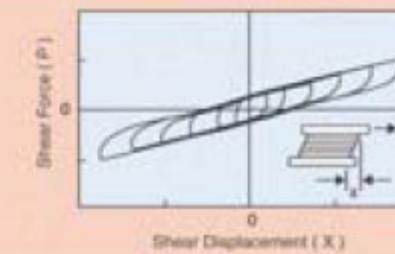
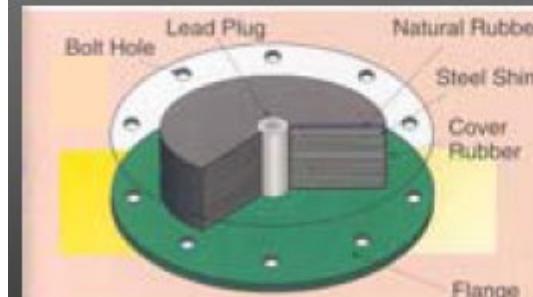
NRB



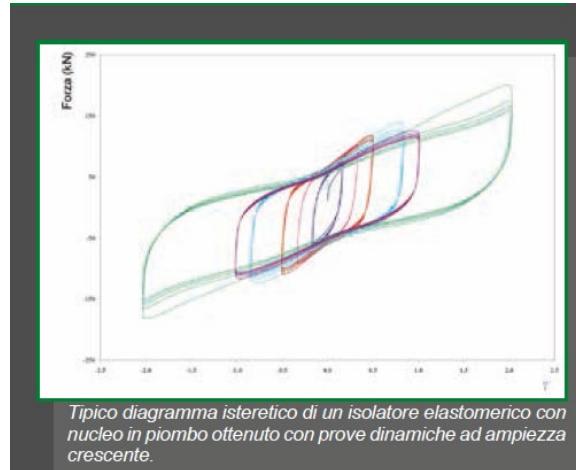
HDRB



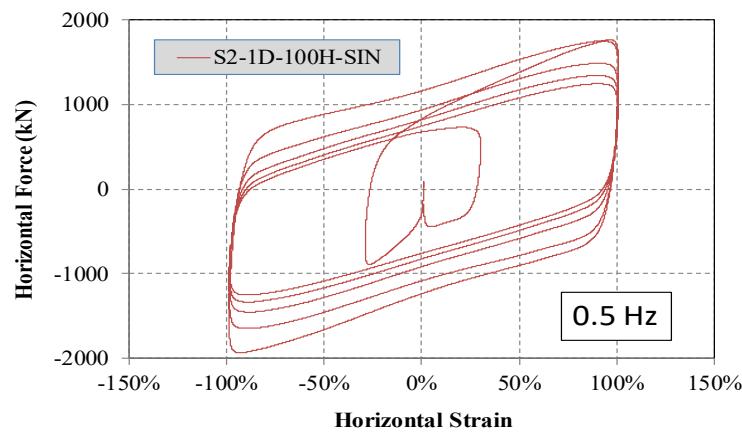
LRB



Isolatori elastomerici in gomma a basso smorzamento con nucleo in piombo

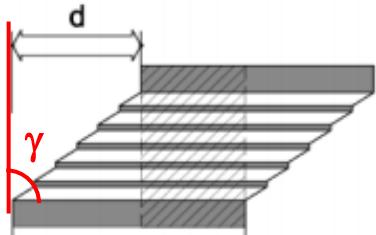


Dispositivi molto dissipativi, molto rigidi per piccole deformazioni e non completamente ricentranti
Ma possono essere sensibili all'incremento di temperatura durante i cicli di carico (molto più elevata degli isolatori in gomma ad alto smorzamento)



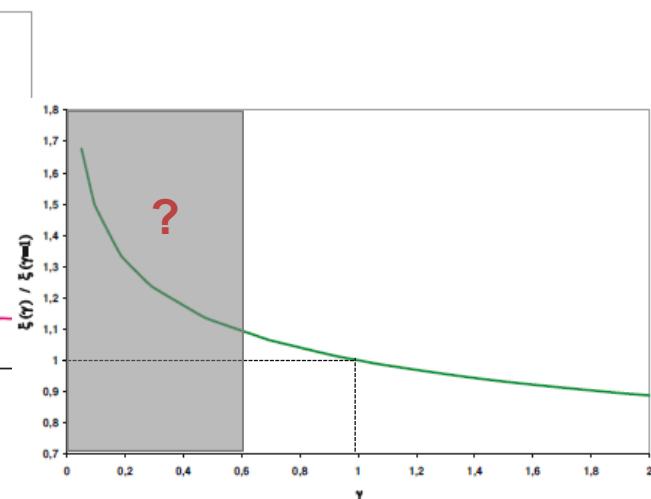
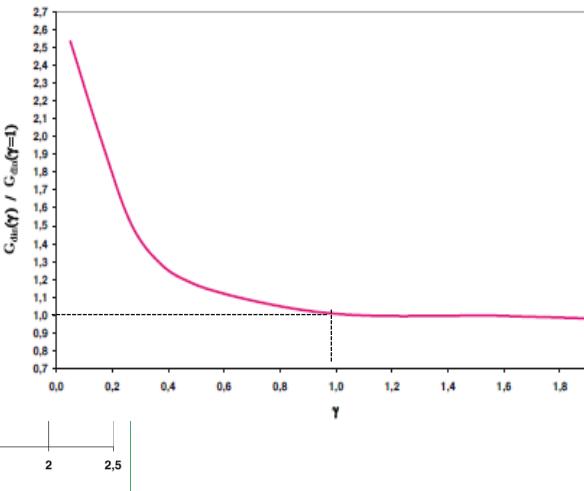
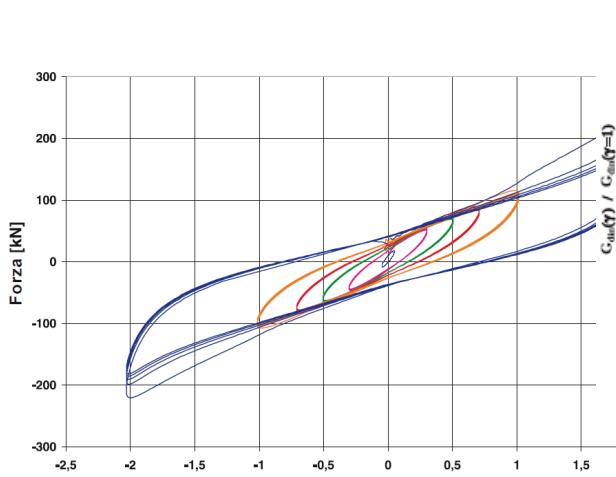
Esistono diverse «mescole» di gomma, i parametri nominali sono calcolati ad una deformazione a taglio convenzionale pari a 1:

Valori nominali a $\gamma=1$



$$\gamma = \frac{d}{h_{is}} = 1 \quad \Rightarrow \quad d = h_{is}$$

$$\tau = G\gamma \quad \Rightarrow \quad F = \tau A_{is} = GA_{is}\gamma = \frac{GA_{is}}{h_{is}} d = k_{is}d \quad \Rightarrow \quad k_{is} = \frac{GA_{is}}{h_{is}}$$



PROPRIETÀ	MESCOLA		
	MORBIDA (SOFT - S)	NORMALE (NORMAL - N)	DURA (HARD - H)
Durezza (Shore A)	40	60	75
Modulo di elasticità tangenziale G_{din} a $\gamma = 1$ (MPa)	0.4	0.8	1.4
Coefficiente di smorzamento viscoso equivalente a $\gamma = 1$ (%)	10 / 15	10 / 15	10 / 15

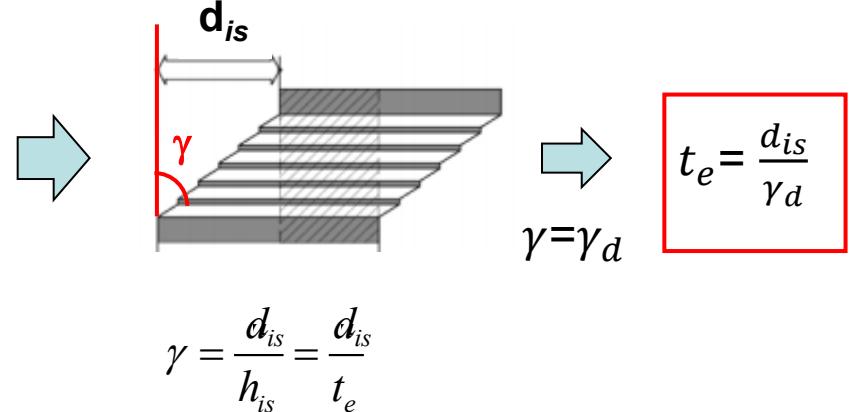
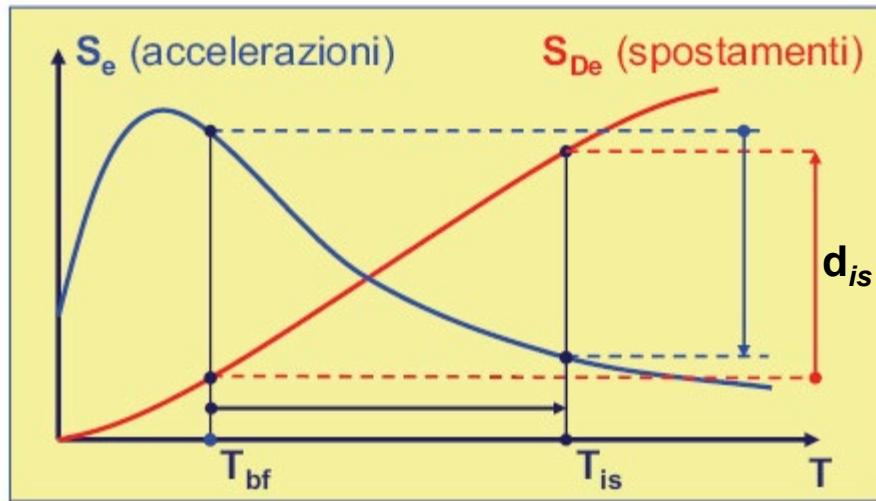
Isolamento alla base – isolatori elastomerici

Si fissa T_{is} = periodo di isolamento obiettivo (deve essere almeno 3 volte il periodo della sovrastruttura a base fissa):

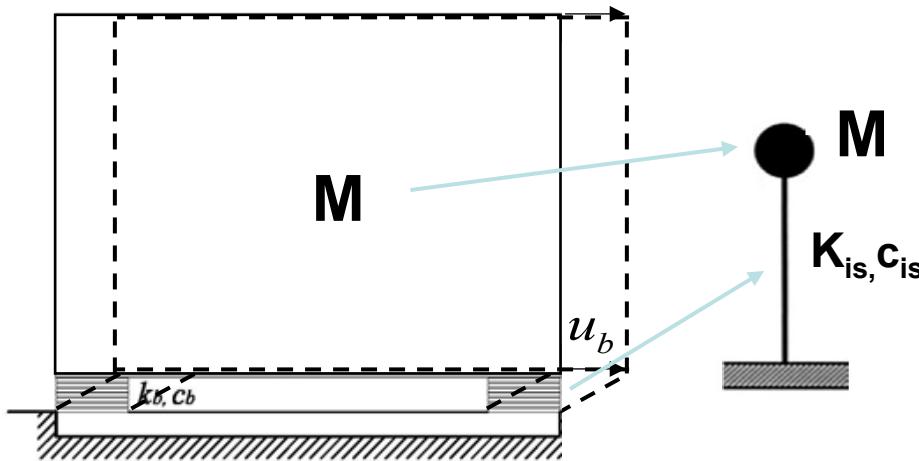
$$RI = T_{is} / T_{ss} > 3$$

Noto il periodo e lo smorzamento (ξ_{is}) del sistema di isolamento è possibile determinare:

- il valore dello spostamento del sistema di isolamento d_{is} (dallo spettro in spostamento)
- il valore dell'accelerazione alla base della sovrastruttura (dallo spettro in accelerazione)



Isolamento alla base – isolatori elastomerici



Nota massa totale M dell'edificio si ottengono le caratteristiche del sistema di isolamento:

$$\omega_{is} = \frac{2\pi}{T_{is}} = \sqrt{\frac{K_{is}}{M}} \quad \Rightarrow \quad T_{is} = 2\pi \sqrt{\frac{M}{K_{is}}} \quad \Rightarrow \quad K_{is} = M \left(\frac{2\pi}{T_{is}} \right)^2$$

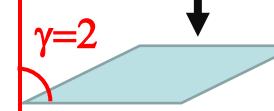
e quindi dei singoli isolatori:

$$k_{is} = \frac{K_{is}}{n_{is}} \quad \Rightarrow \quad k_{is} = \frac{G A_{is}}{h_{is}} \quad \Rightarrow \quad A_{is} = \frac{k_{is} h_{is}}{G_{is}}$$
$$h_{is} = \frac{d_{is}}{\gamma_d}$$

Verifica di stabilità
dell'isolatore per verificare che
il periodo di isolamento
ipotizzato sia fattibile

Spostamento 200 mm

Importante: massimo carico allo spostamento massimo (VERIFICA DI STABILITÀ)

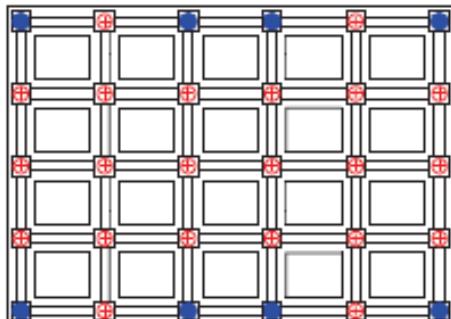


SI-S	V kN	F _{zd} kN	K _e kN/mm	K _v kN/mm	D _g mm	t _e mm	h mm	H mm	Z mm	W kg
SI-S 300/100	105	960	0.28	304	300	100	188	238	350	100
SI-S 350/100	250	1500	0.39	389	350	100	178	228	400	128
SI-S 400/100	590	2650	0.50	623	400	100	178	228	450	166
SI-S 450/102	940	3570	0.62	725	450	102	190	240	500	220
SI-S 500/102	1420	5550	0.77	1038	500	102	190	240	550	270
SI-S 550/105	1830	6890	0.91	1148	550	105	187	237	600	316
SI-S 600/104	2230	8750	1.09	1313	600	104	180	230	650	362
SI-S 650/108	2760	10430	1.23	1424	650	108	181	231	700	418

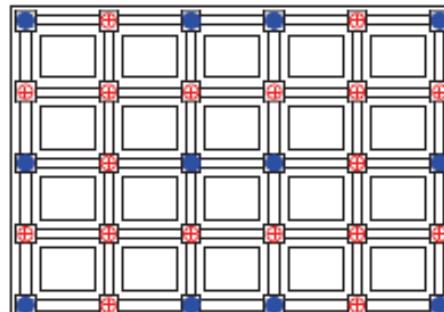
Per non avere isolatori troppo piccoli è possibile ridurre il loro numero e inserire nei restanti pilastri delle slitte (sistema misto). Gli isolatori vanno disposti in modo da ottimizzare il comportamento dinamico dell'edificio:

- comportamento torsionalmente disaccoppiato (distribuzione simmetrica)
- minimizzazione degli effetti torsionali (distribuiti lungo il perimetro dell'edificio)

8 HDRB +
22 SLIDERS



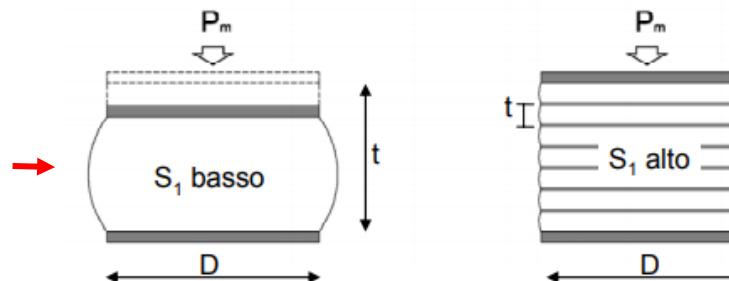
12 HDRB +
18 SLIDERS



Isolamento alla base – isolatori elastomerici

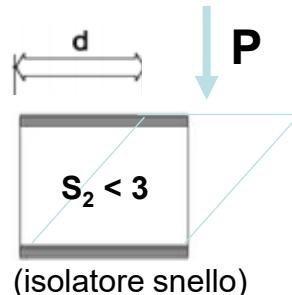
Fattore di forma primario S_1 solitamente compreso tra 20-30 al fine di garantire un'adeguata rigidezza verticale:

$$S_1 = \frac{A_{compressa}}{A_{laterale}} = \frac{\pi \left(D'/2 \right)^2}{D' \pi t_i} = \frac{D'}{4t_i}$$

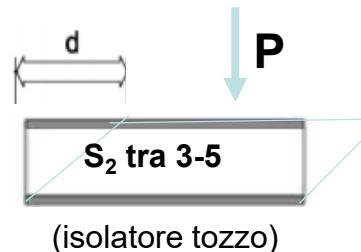


Fattore di forma secondario S_2 solitamente compreso tra 3-5 al fine di garantire un'adeguata stabilità nei confronti dei carichi verticali in configurazione deformata:

$$S_2 = \frac{D'}{t_e} \quad t_e = \sum t_i$$



(isolatore snello)



(isolatore tozzo)

Se l'isolatore è tozzo e non avrà problemi di stabilità, se invece è snello e, se sottoposto per lo stesso spostamento, avrà problemi di stabilità.

Carico critico (C11 - NTC 2018):

$$V_{cr} = G_{din} A_r S_1 S_2$$



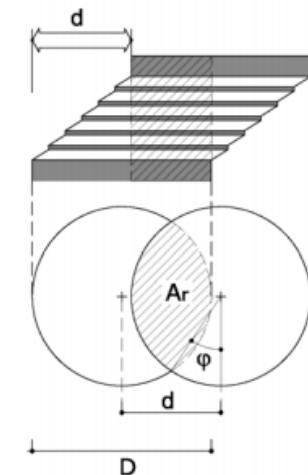
$$N < N_{cr} = \frac{V_{cr}}{2}$$

$$A_r = \frac{(\varphi - \sin \varphi) D'^2}{4}$$

area di sovrapposizione

$$\varphi = 2 \arccos \frac{d_2}{D'} = 2 \arccos \frac{\gamma}{S_2}$$

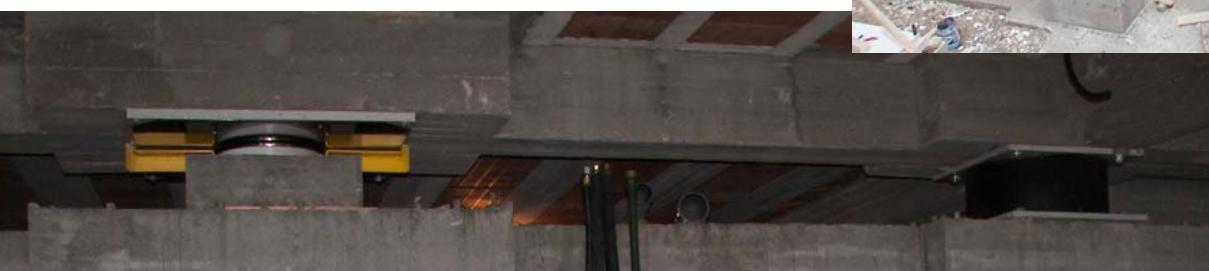
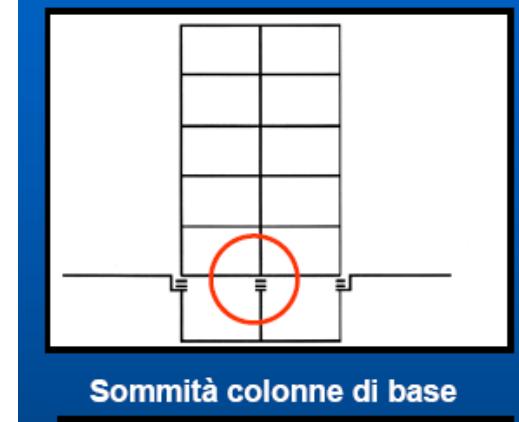
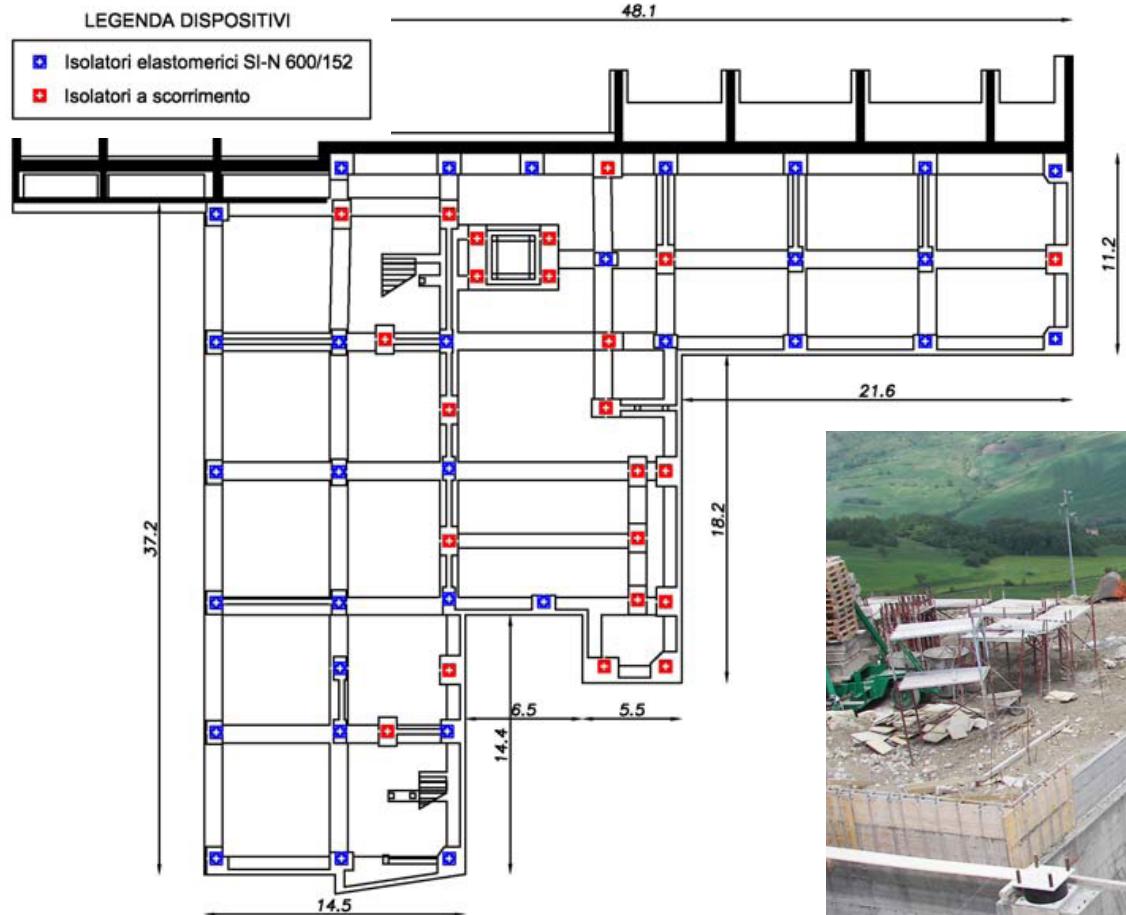
d_2 =spostamento allo SLC



Isolamento alla base – isolatori elastomerici

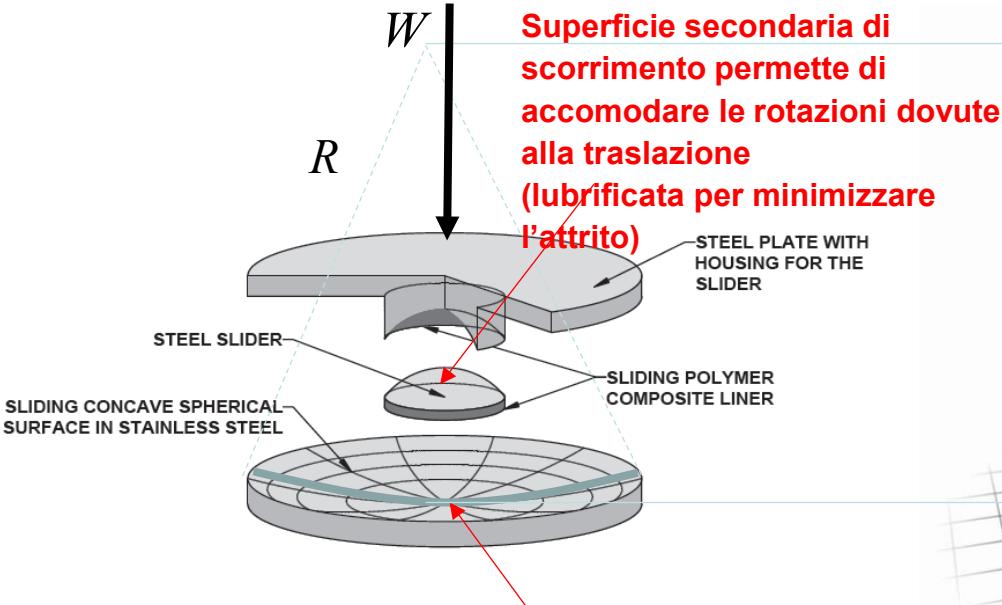


Isolamento alla base – isolatori elastomerici

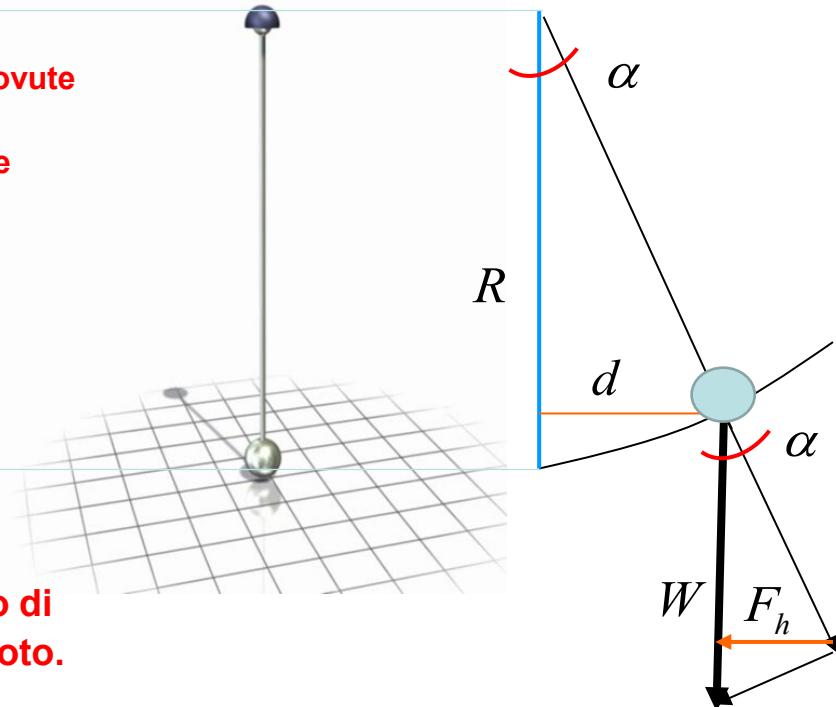


Isolamento alla base – isolatori a scorrimento

Comportamento senza attrito



La superficie primaria di scorrimento con raggio di curvatura R e rivestita da materiale con attrito noto.



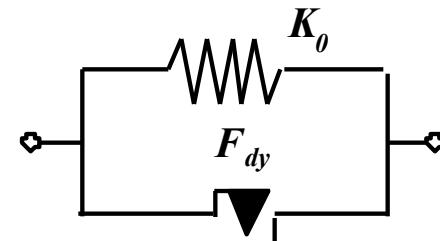
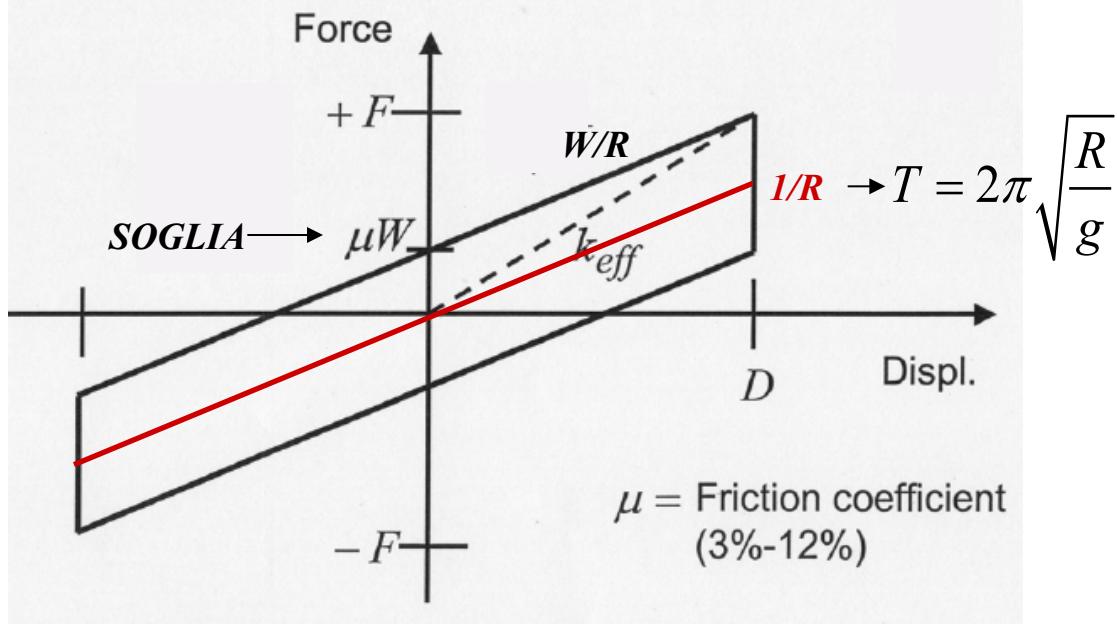
$$F_h = W \tan \alpha = W \frac{d}{R} \rightarrow K = \frac{F_h}{d} = \frac{W}{R} = \frac{Mg}{R} \rightarrow \omega^2 = \frac{K}{M} = \frac{g}{R} = \frac{2\pi}{T} \rightarrow$$

$$T_{is} = 2\pi \sqrt{\frac{R}{g}}$$

La superficie curva garantisce il comportamento ricentrante in quanto consente al dispositivo di tornare in posizione quando cessa l'azione esterna sotto l'azione del carico verticale

Isolamento alla base – isolatori a scorrimento

Comportamento con attrito



$$F_h = W \frac{d}{R} + \mu W$$

$$K = W \left(\frac{1}{R} + \mu \frac{1}{d} \right)$$

$$\omega^2 = \frac{K}{M} = g \left(\frac{1}{R} + \frac{\mu}{d} \right)$$

Periodo indipendente dalla struttura ma dipendente dallo spostamento:

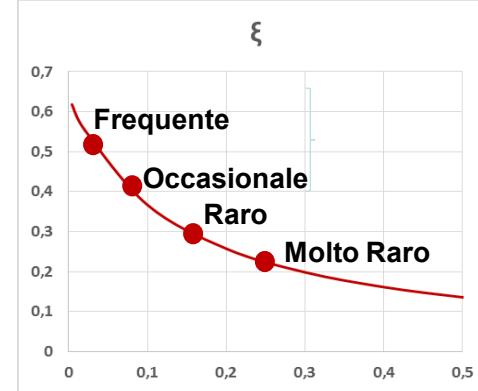
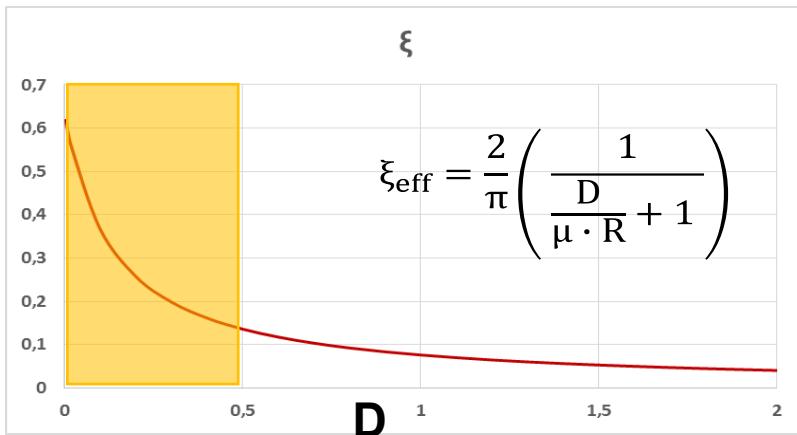
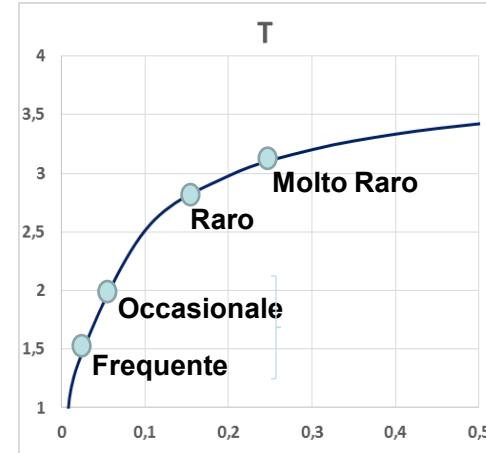
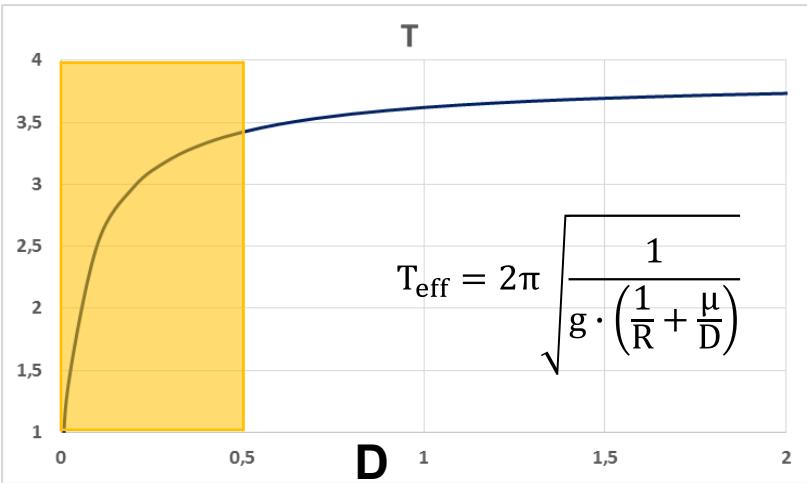
$$T_{is} = 2\pi \sqrt{\frac{1}{g \left(\frac{1}{R} + \frac{\mu}{d} \right)}}$$

$$\xi_{is} = \frac{2}{\pi} \frac{1}{\frac{d}{\mu R} + 1}$$

La **funzione dissipativa** è garantita dalla superficie non lubrificata quindi ad attrito non azzerato

La **funzione ricentrante** è garantita sempre dalla superficie curva, ma per raggi modesti o attriti elevati sono parzialmente ricentranti (martinetti di ricentraggio)

Isolamento alla base – isolatori a scorrimento



$$R=3,7m$$

$$\mu=0,035$$

Rigidezza e smorzamento variabili con gli spostamenti (eccessivi per SLE)

Possibili problemi con attrito elevato (sotto la soglia di scorrimento comportamento a base fissa)

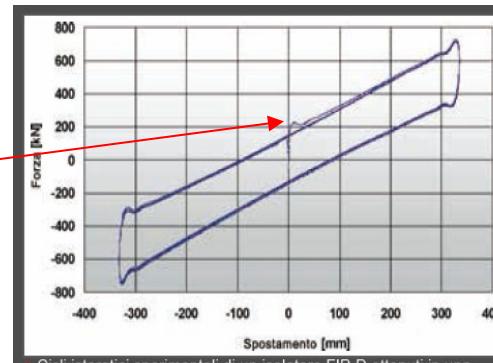
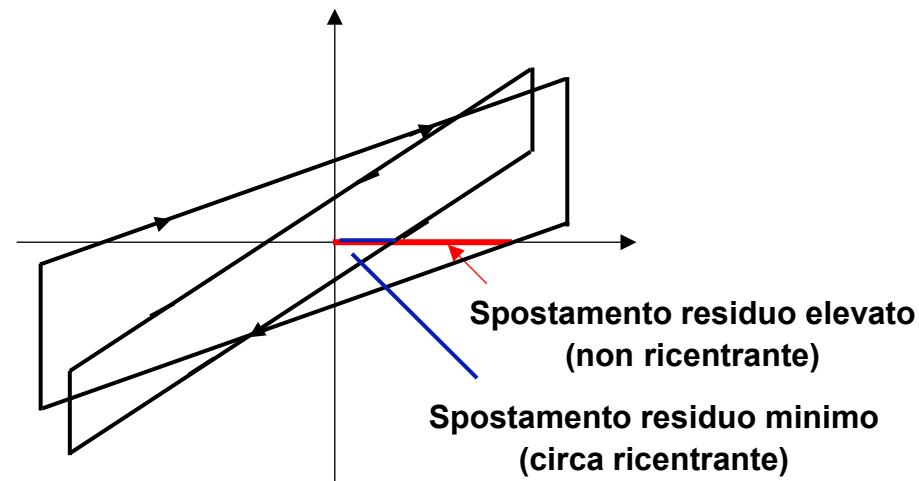
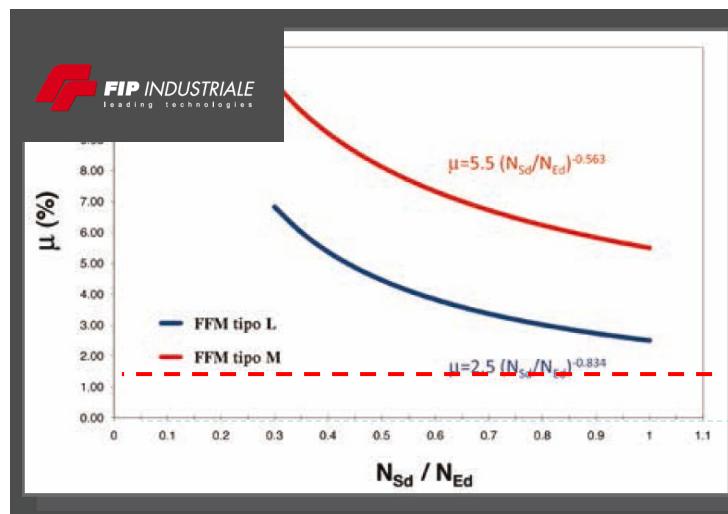
Isolamento alla base – isolatori a scorrimento

Materiale: **polietilene ad altissimo peso molecolare NON LUBRIFICATO** caratterizzato da elevata durabilità, stabilità, resistenza e capacità di carico e attrito:

Serie L (basso attrito): coefficiente di attrito minimo 2.5%

Serie M (medio attrito): coefficiente di attrito minimo 5.5%

L'attrito nominale dichiarato è da intendersi a massimo carico, per carichi minori aumenta:

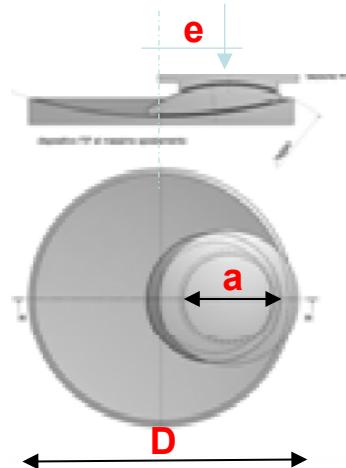
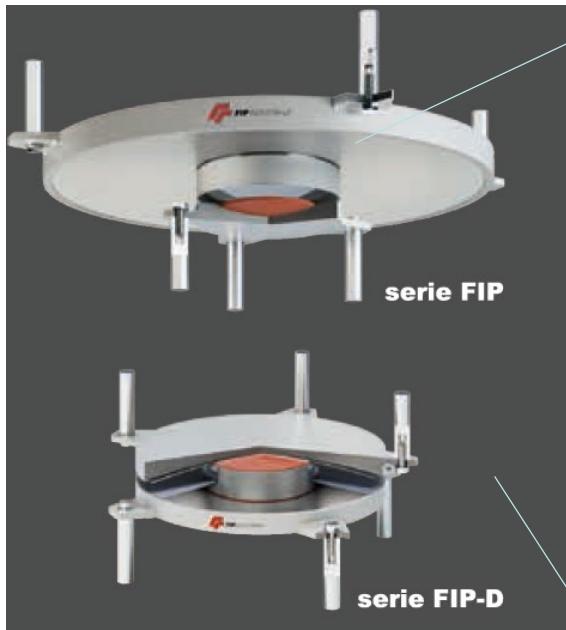


Altre fonti di variabilità dell'attrito:

- Attrito di primo distacco
- Velocità di deformazione
- Temperatura
- Stato di conservazione della superficie

Isolamento alla base – isolatori a scorrimento

Singola superficie di scorrimento



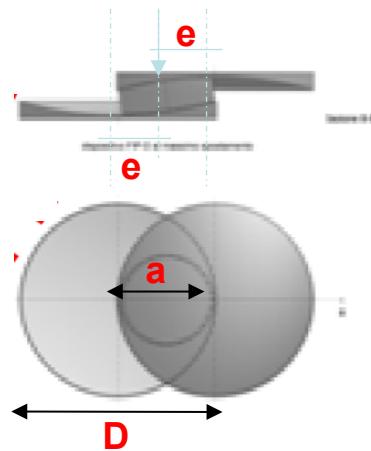
Ingombro in pianta:

$$D=2d_2+a$$

Eccentricità circa nulla su un lato e massima sull'altro

Possono essere messi anche capovolti (es. ponti)

Doppia superficie di scorrimento



Minore ingombro in pianta:

$$D=d_2+a/2$$

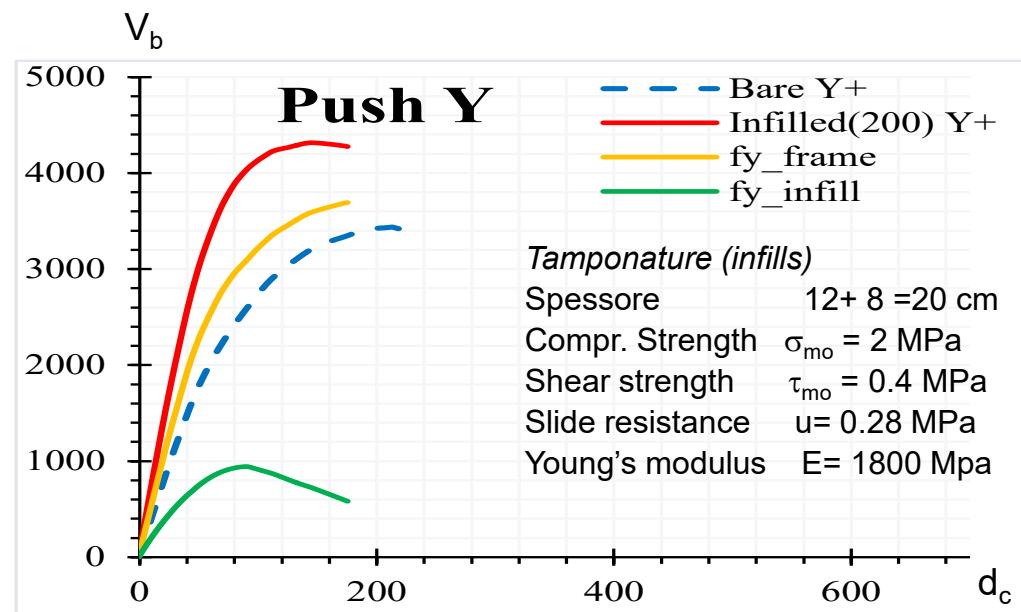
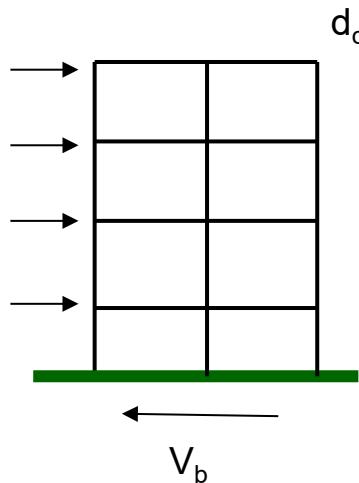
Eccentricità dimezzata ma su entrambi i lati

Isolamento alla base – edifici esistenti

Individuazione del limite elastico V_e della sovrastruttura tramite **analisi statica non lineare** dell'edificio a base fissa. (Analisi vulnerabilità edificio esistente)

La capacità V_e si definisce al raggiungimento della capacità del primo meccanismo attivato (prima cerniera plastica)

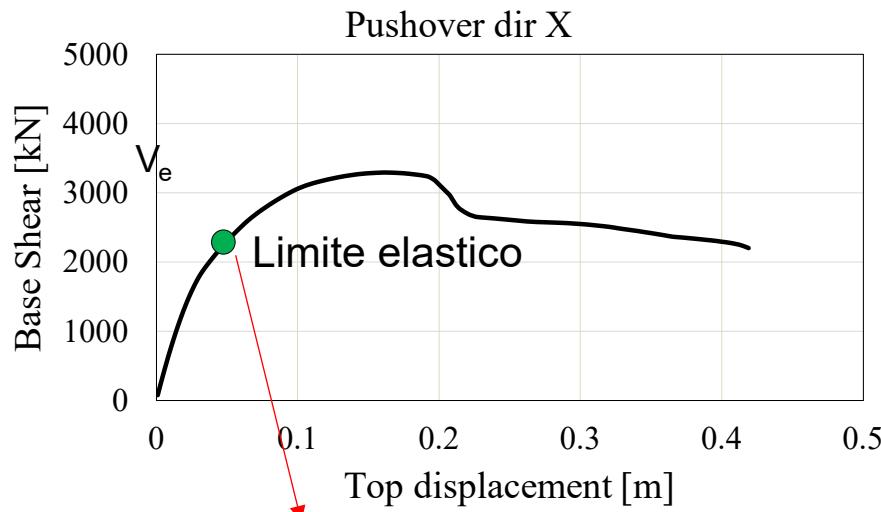
ATTENZIONE: Contributo tamponature non trascurabile



contributi relativi al **TELAI** e **TAMPOATURE** sulla risposta **GLOBALE**

Isolamento alla base – edifici esistenti

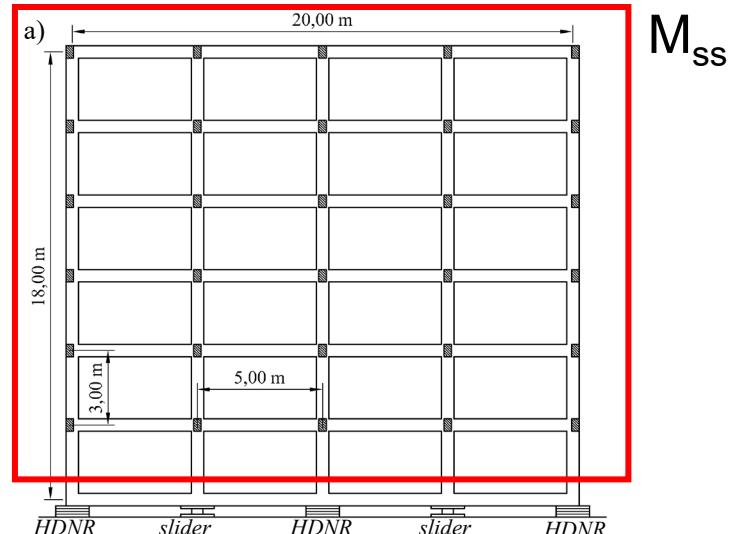
Determinazione della domanda sismica minima S_a



$$S_a(T, \xi) = V_e / M_{ss}$$

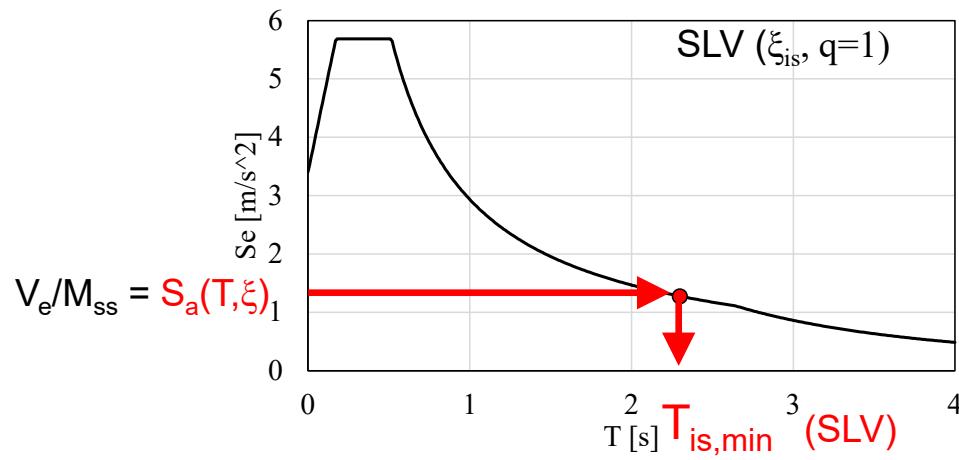
M_{ss} = massa della sola sovrastruttura
(no grigliato di base)

IPOTESI
Passaggio da sistema MDOF a sistema SDOF
della sola sovrastruttura approssimato,
considerando una massa partecipante del 100%
al primo modo e sovrastruttura infinitamente
rigida



Isolamento alla base – edifici esistenti

Individuazione del periodo minimo di isolamento in grado di garantire un taglio alla base in sovrastruttura minore del suo limite elastico



Dimensionamento e verifica del isolamento SLC
con le stesse modalità degli edifici di nuova realizzazione



Verifiche sovrastruttura con analisi lineare (verifiche di resistenza, resistenze medie, FC, $q=1.5$) oppure verifica del periodo di isolamento maggiore del minimo richiesto su modello completo in SLV



ATTENZIONE: opzione è valida solo nel caso in cui il sistema di isolamento è modellabile come lineare equivalente (7.10.5.2 NTC)

Esempio di analisi non lineare edificio isolato

Esecuzione taglio pilastri – residenza per anziani Camerano



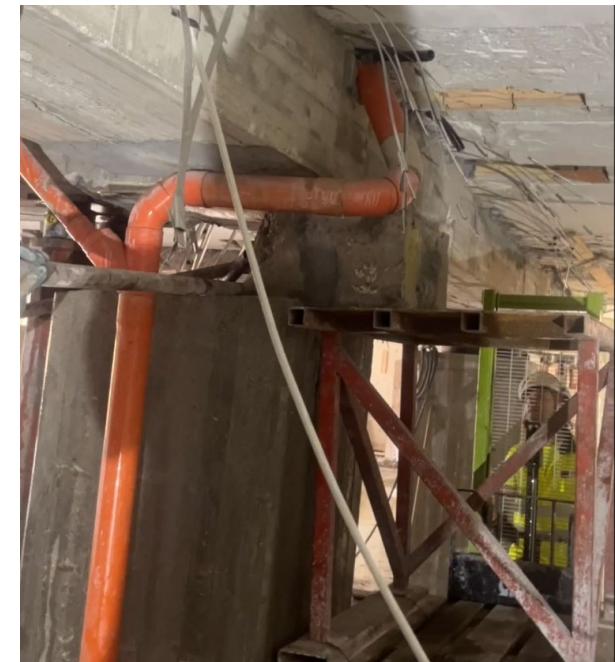
Esempio di analisi non lineare edificio isolato

Esecuzione taglio pilastri – condominio Falconara



Esempio di analisi non lineare edificio isolato

Esecuzione taglio pilastri – condominio Falconara

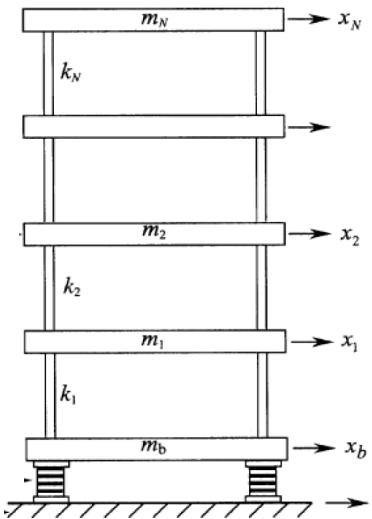


Interventi non convenzionali : generalità

Tecniche non convenzionali – controventi dissipativi

Tecniche non convenzionali – isolamento alla base

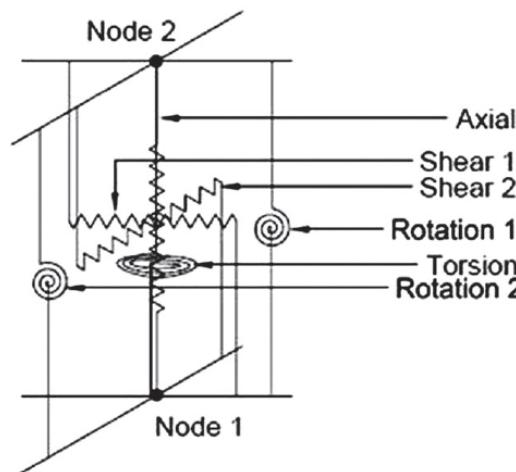
Analisi dinamiche non lineari



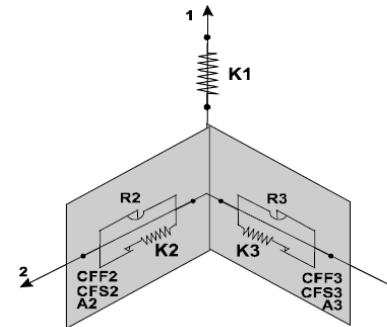
Dopo la progettazione preliminare, per la verifica del Sistema di isolamento sono necessarie **ANALISI DINAMICHE LINEARE O NON LINEARI** (struttura lineare - modelli degli isolatori lineari o nonlinearî)

Il comportamento degli isolatori può essere descritto mediante **two-node links** con comportamento non lineare. Alcuni elementi sono in grado di descrivere l'accoppiamento della risposta nelle varie direzioni.

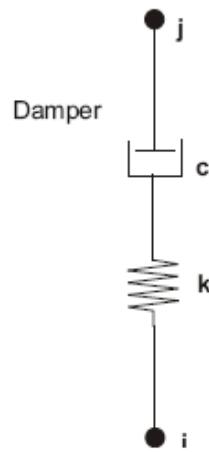
Rubber isolator (Sap 2000)



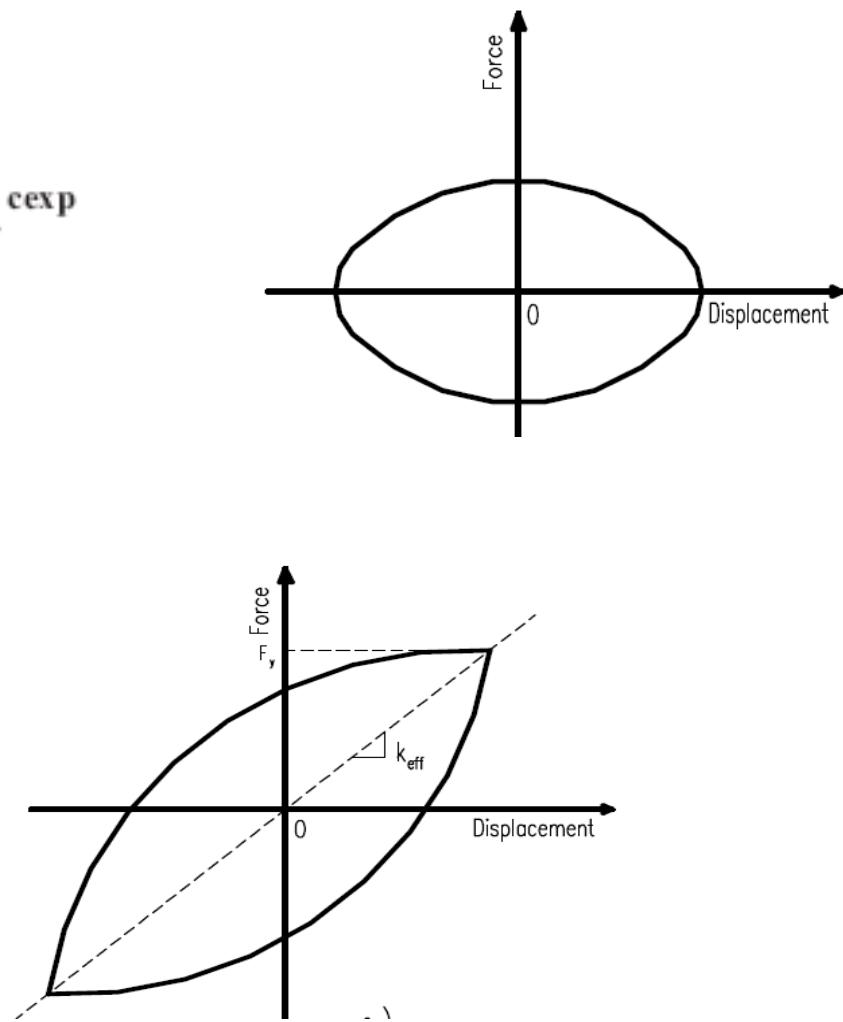
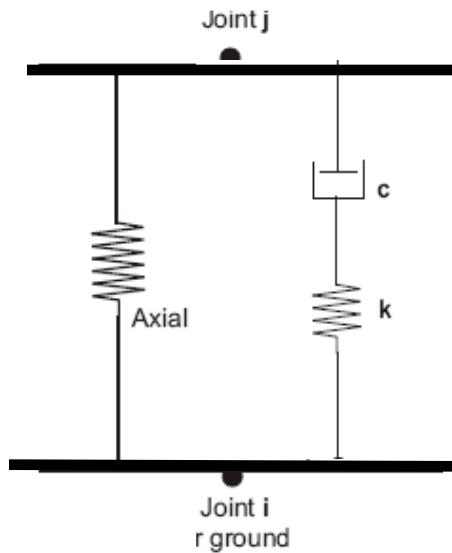
Friction pendulum (SAP2000)



Modelli per link (lineari e non lineari)



$$f = k d_k = c \dot{d}_c^{\text{cexp}}$$

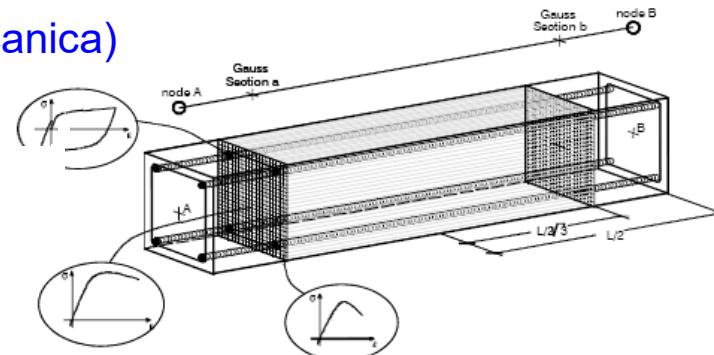


Modello strutturale non lineare (non linearità meccanica)

Modellazione a plasticità diffusa

- Modellazione a fibre della sezione
- Legami non lineari dei materiali

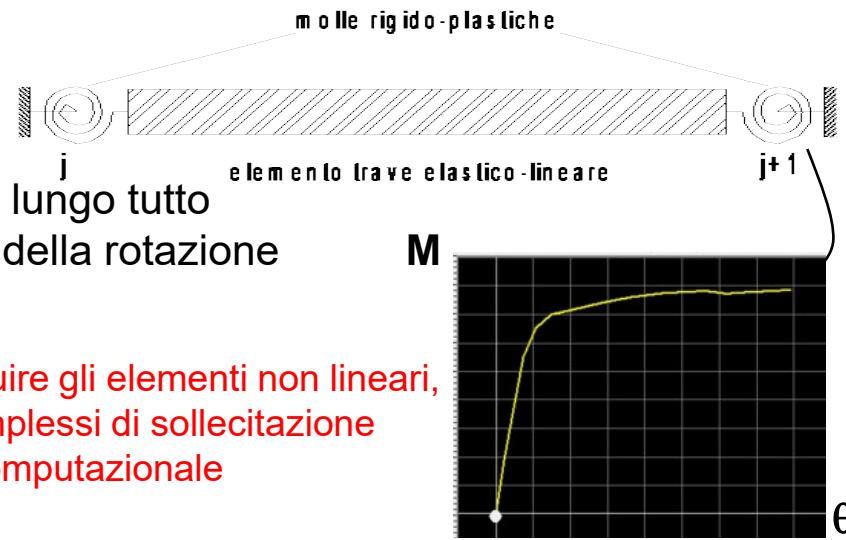
Descrizione accurata della diffusione
della plasticizzazione all'interno della sezione
e lungo lo sviluppo dell'elemento in presenza di qualsiasi stato di sollecitazione
(flessione semplice/composta e deviata con N variabile). Elevato onere computazionale



Modellazione a plasticità concentrata

- Legame momento-curvatura della sezione
- Legame globale non lineare della cerniera plastica (che deve descrivere quello che succede lungo tutto il tratto plasticizzato tramite la grandezza globale della rotazione alla corda introdotta dalla normativa))

Richiede esperienza dell'operatore per stabilire dove distribuire gli elementi non lineari, e le curve caratteristiche ($M-\theta_c$). Difficile descrivere stati complessi di sollecitazione (pressoflessione deviata o con N variabile). Minore onere computazionale

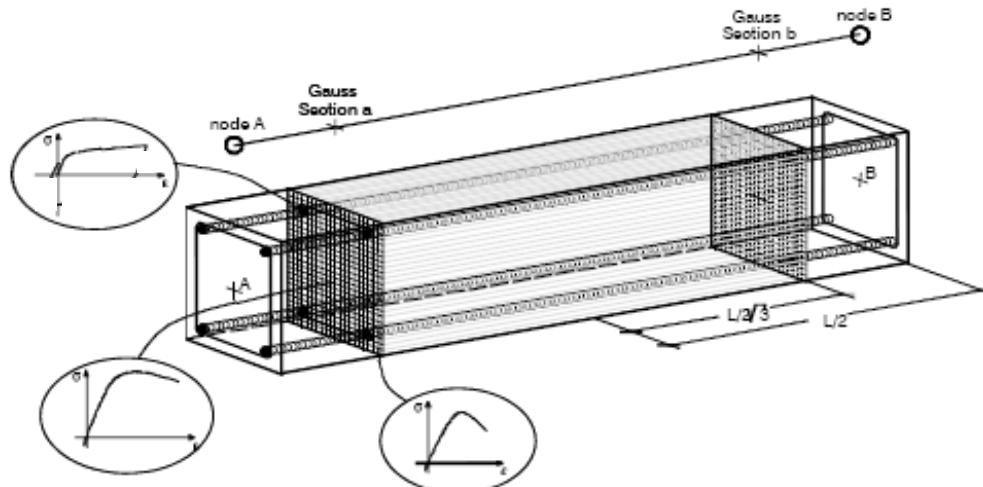
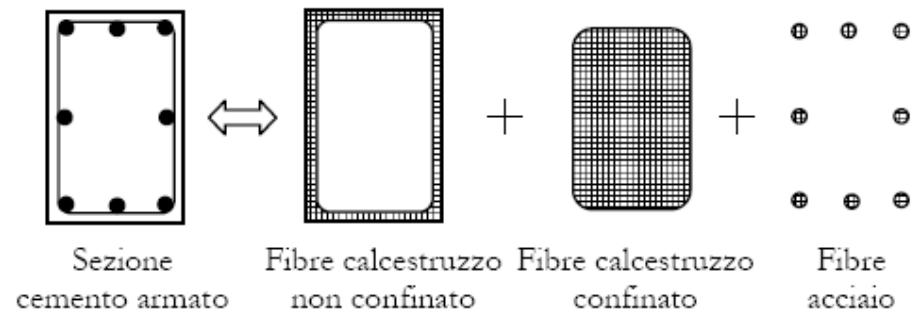


NB: per le analisi statiche bastano legami non lineari monotoni dei materiali (plasticità diffusa) o della sezione (plasticità concentrata), mentre per le analisi dinamiche non lineari servono legami non lineari ciclici

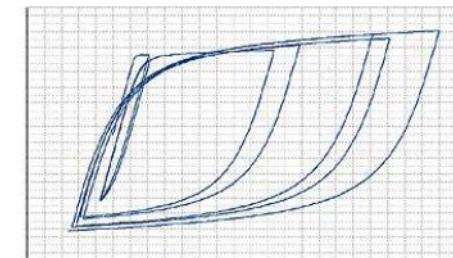
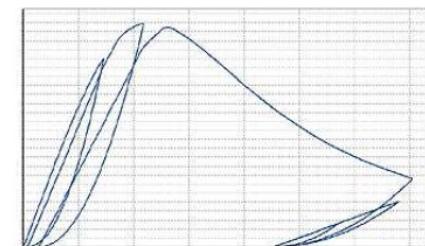
Modellazione a plasticità diffusa (a fibre)

L'intero elemento trave/colonna è suddiviso in elementi FIBRE: elementi monodimensionali con legame costitutivo non lineare.

Lo stato di sforzo-deformazione di una sezione è ottenuto tramite integrazione della risposta tensione-deformazione non lineare di ciascuna fibra.



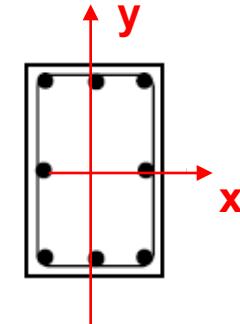
legami non lineari monotoni per le analisi statiche non lineari



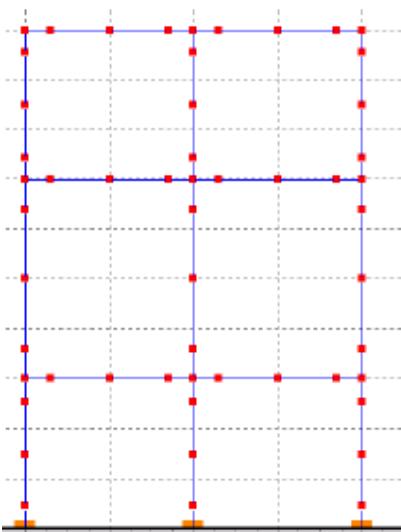
legami non lineari ciclici per le analisi dinamiche non lineari

Il calcolo delle sollecitazioni viene effettuato mediante integrazione numerica:

$$\begin{aligned} \varepsilon, \phi_x, \phi_y &\longrightarrow \left\{ \begin{array}{l} N = \sum_{i=1}^{nc} \sigma_{ci}(y_{ci}) \cdot A_{ci}(y_{ci}) + \sum_{i=1}^{ns} \sigma_{si}(y_{si}) \cdot A_{si} \\ M_x = \sum_{i=1}^{nc} \sigma_{ci}(y_{ci}) \cdot A_{ci}(y_{ci}) \cdot y_{ci} + \sum_{i=1}^{ns} \sigma_{si}(y_{si}) \cdot A_{si} \cdot y_{ci} \\ M_y = \sum_{i=1}^{nc} \sigma_{ci}(x_{ci}) \cdot A_{ci}(x_{ci}) \cdot x_{ci} + \sum_{i=1}^{ns} \sigma_{si}(x_{si}) \cdot A_{si} \cdot x_{ci} \end{array} \right. \end{aligned}$$



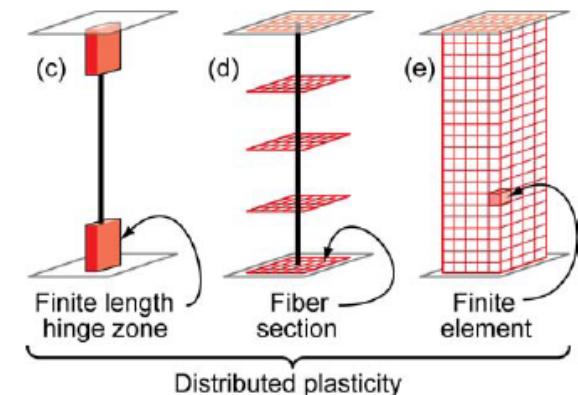
Suddividendo opportunamente ciascun elemento strutturale si ottiene una descrizione accurata di formazione e diffusione di cerniera plastica nell'elemento **in presenza di qualsiasi sollecitazione** (flessione semplice composta e deviata)



L'eventuale raffittimanto delle sezioni di integrazione nella zona potenzialmente interessata e comportamento lineare al di fuori rappresenta un'ottimizzazione della modellazione con riduzione dell'onere computazionale

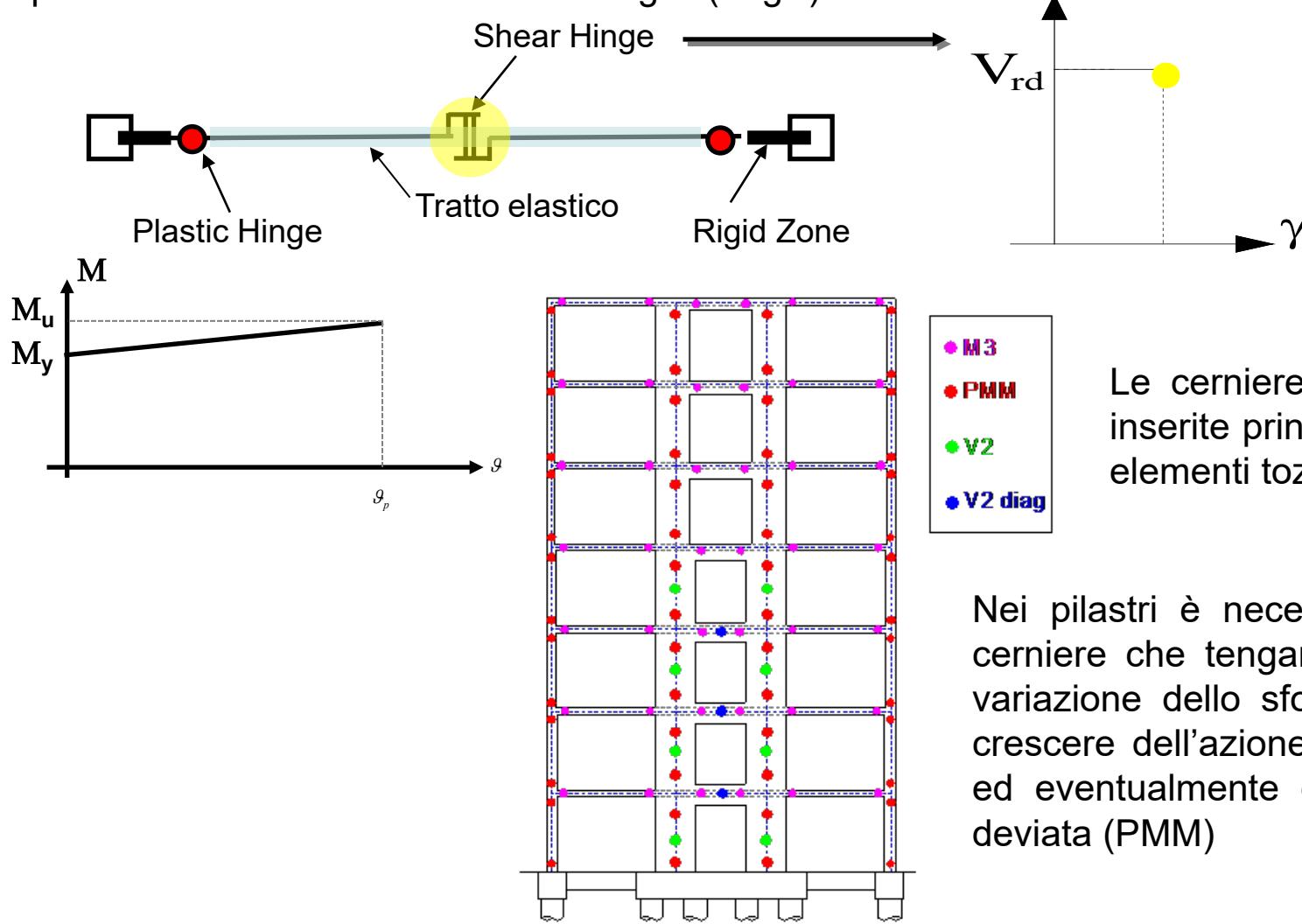
Integrazione lungo l'elemento

L'integrazione lungo l'elemento permette di ottenere le sollecitazioni nodali e applicare le equazioni di equilibrio

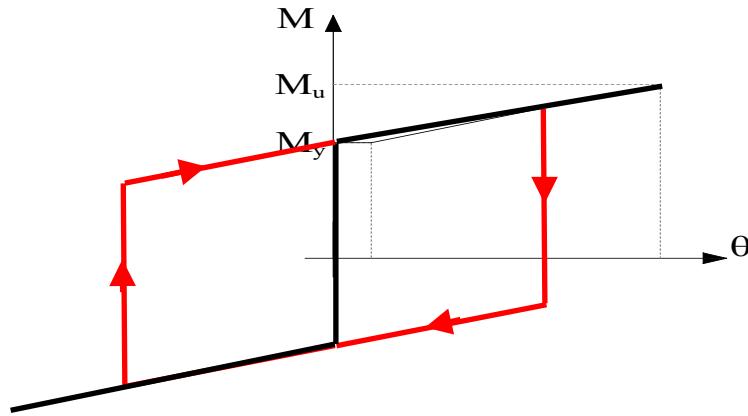


Modelli a plasticità concentrata (cerniere plastiche)

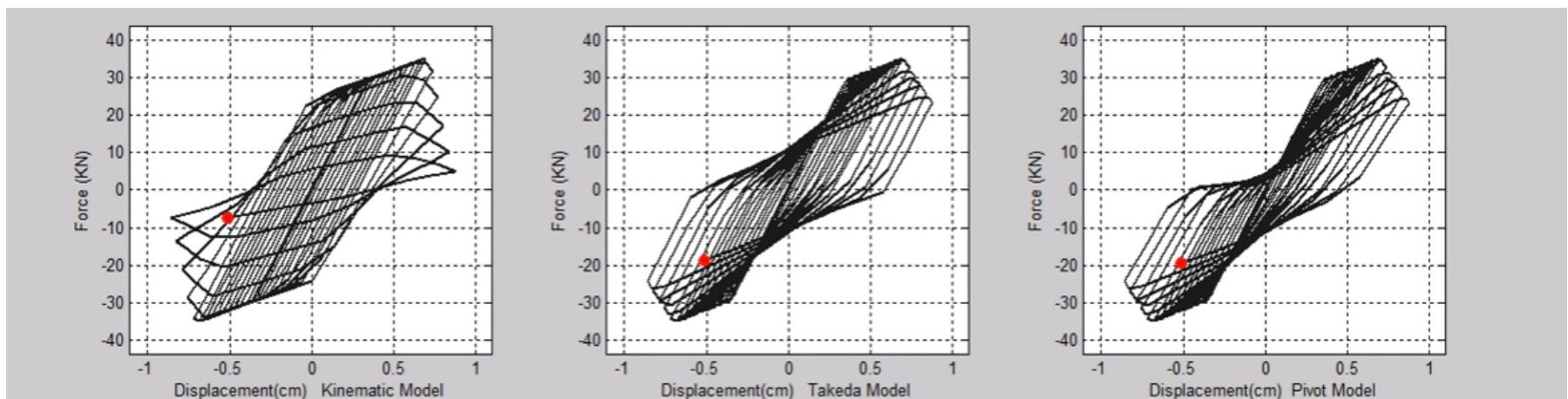
Le cerniere plastiche rappresentano le zone degli elementi strutturali dove viene concentrato il comportamento anelastico; al di fuori di tali zone gli elementi rimangono in campo elastico. E' possibile inserire anche cerniere a taglio (fragili)



Per le analisi dinamiche non lineari occorre definire il comportamento non lineare ciclico (con eventuale degrado).



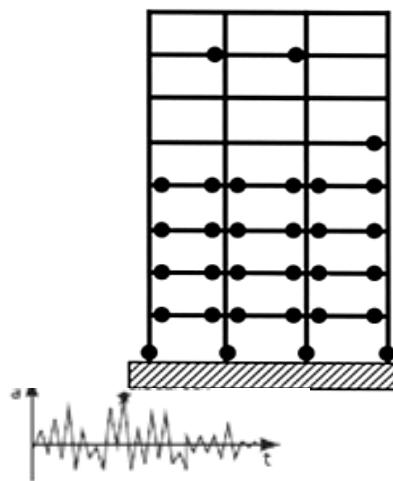
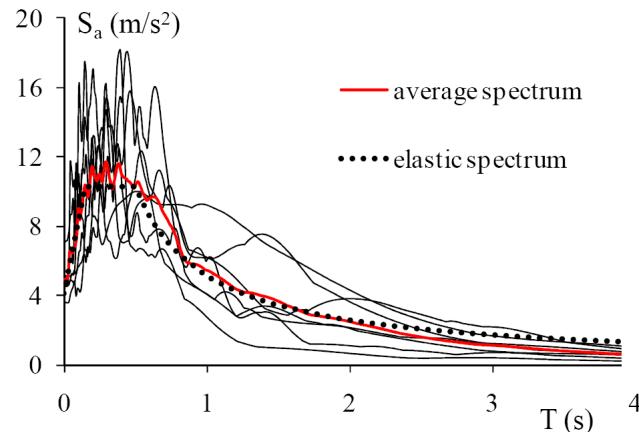
Cerniera rigido-plastica senza degrado



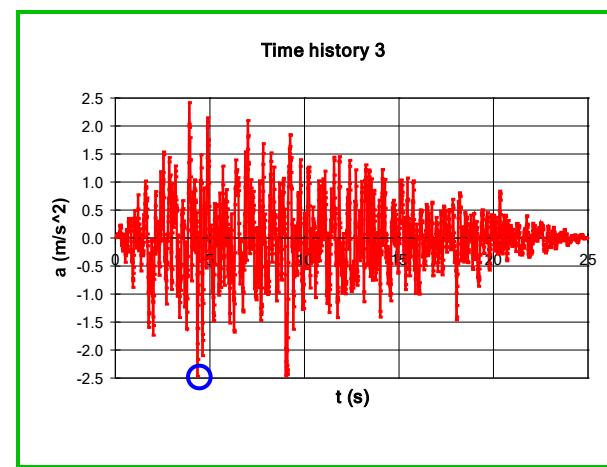
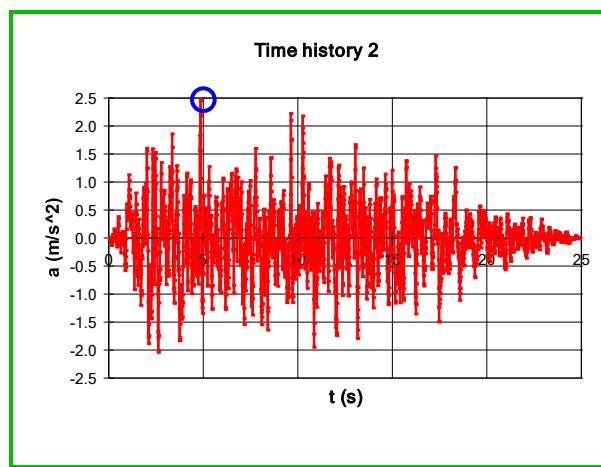
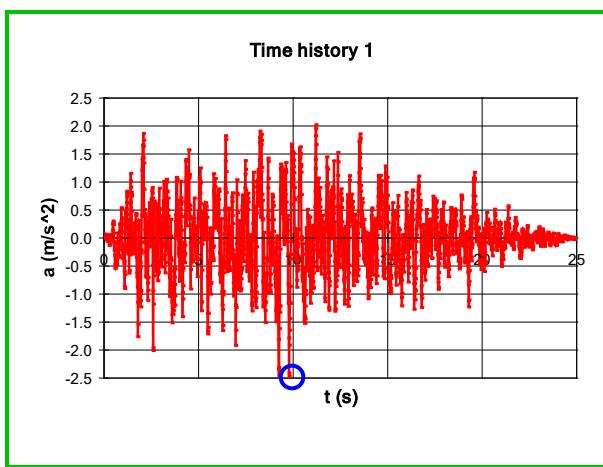
Cerniere plastiche con diverse leggi di degrado

L'analisi non lineare dinamica consiste nel calcolo della risposta sismica della struttura mediante integrazione delle equazioni del moto, utilizzando un modello non lineare della struttura e le storie temporali del moto del terreno definite al § 3.2.3.6. Essa ha lo scopo di valutare il comportamento dinamico della struttura in campo non lineare, consentendo il confronto tra duttilità richiesta e duttilità disponibile allo SLC e le relative verifiche, nonché di verificare l'integrità degli elementi strutturali nei confronti di possibili comportamenti fragili.

Gli stati limite, ultimi e di esercizio, possono essere verificati mediante l'uso di accelerogrammi, o **artificiali** o **simulati** o **naturali** (obbligatorio per strutture con periodi fondamentali superiori a 4 sec). Ciascun accelerogramma descrive una componente, orizzontale o verticale, dell'azione sismica; l'insieme delle tre componenti (due orizzontali, tra loro ortogonali ed una verticale) costituisce un gruppo di accelerogrammi. **Gli accelerogrammi devono essere in numero adeguato e commisurati alla pericolosità sismica del sito.**

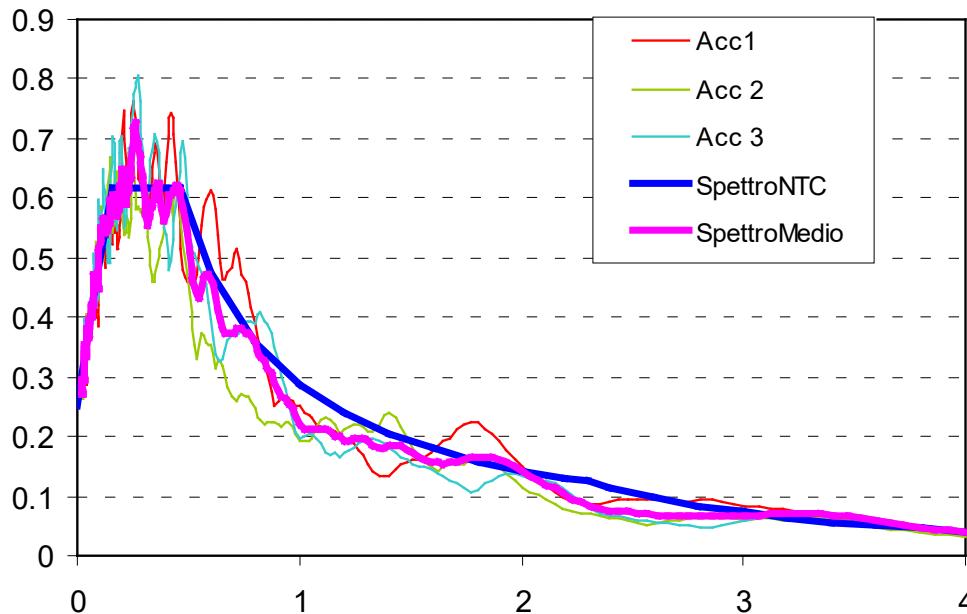


Analisi dinamica non lineare



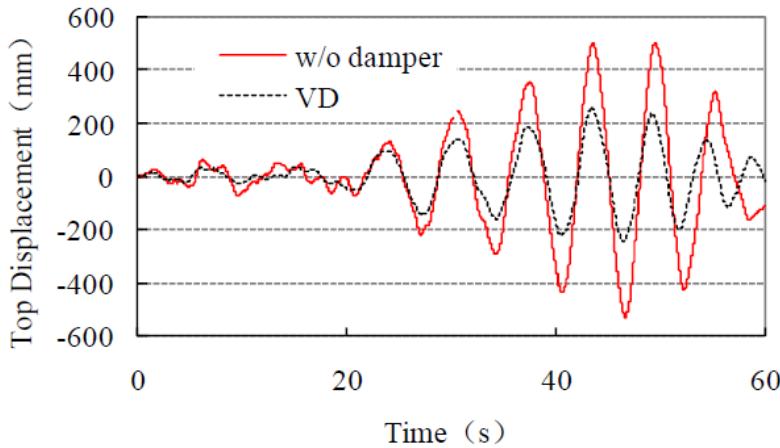
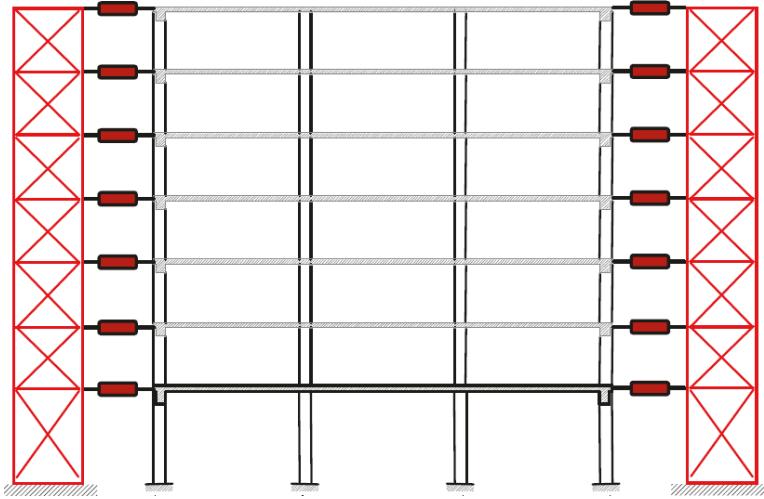
○ Punto di massima accelerazione di picco al suolo

$$a_{g\max} = 0.251 \cdot g = 2.46 \text{ m/s}^2$$



Esempio di analisi di edificio con controventi dissipativi

Dopo la progettazione preliminare, per la verifica del Sistema struttura-dissipatori sono necessarie **ANALISI DINAMICHE NON LINEARI** con modelli dei dissipatori appropriati



Maxwell model (SAP2000)

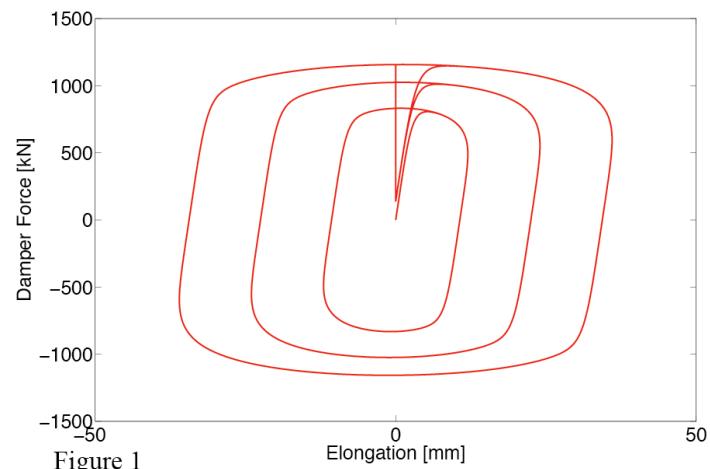
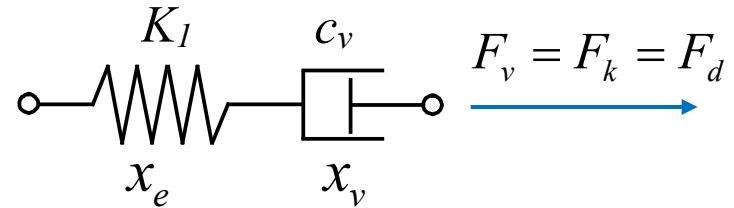
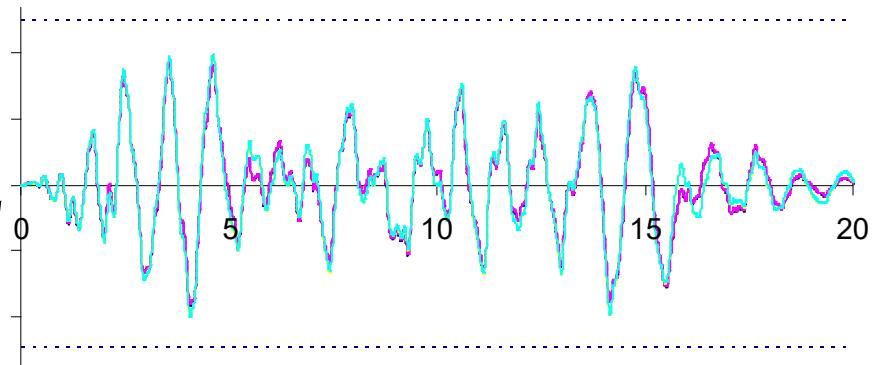
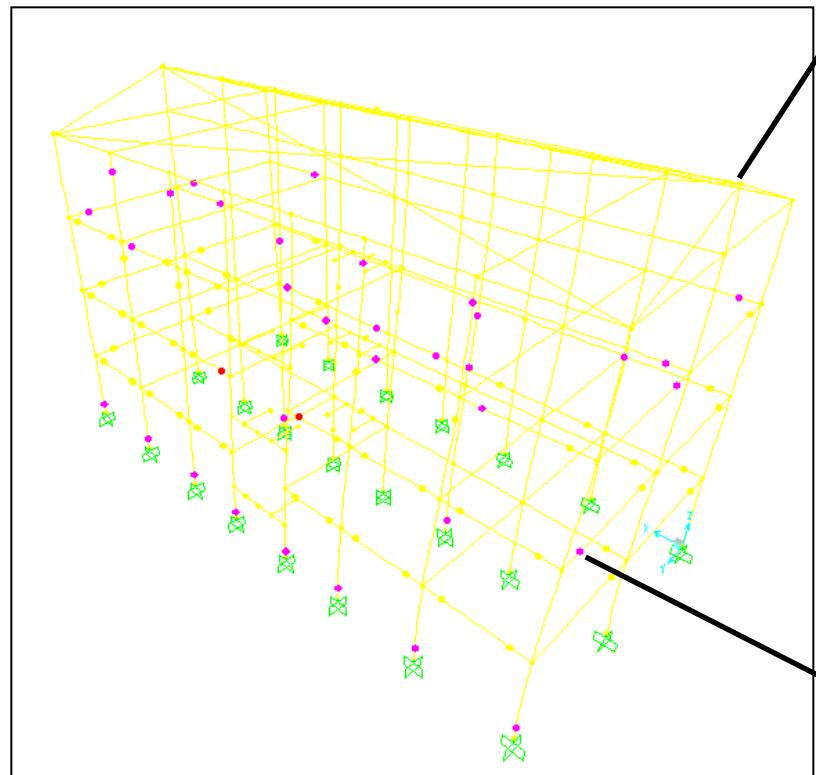
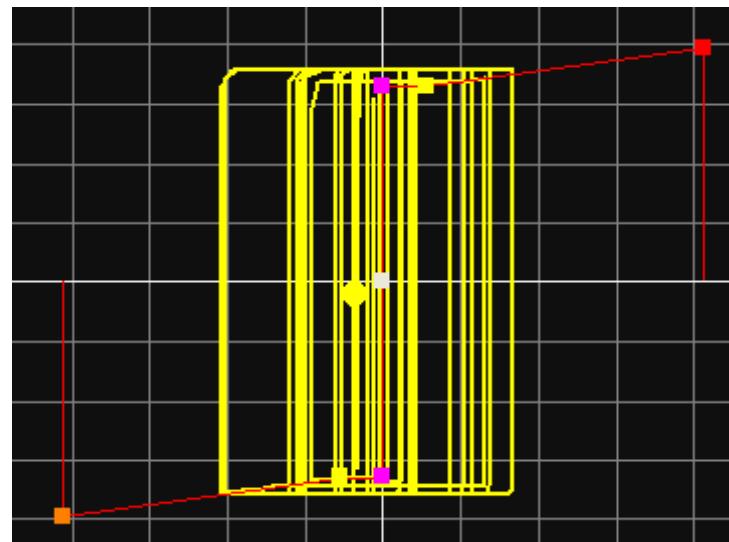


Figure 1

Output (storie di spostamenti e sollecitazioni) e verifiche



Spostamento minore dello spostamento massimo



Rotazione minore della rotazione ultima a rottura

Vantaggi

Analisi possibile per tutte le tipologie di strutture (anche di edifici irregolari o con dispositivi dipendenti dalla velocità)

Nel caso delle costruzioni con isolamento alla base l'analisi dinamica non lineare è obbligatoria quando il sistema d'isolamento non può essere rappresentato da un modello lineare equivalente, come stabilito nel § 7.10.5.2.

Attenzione:

- 1) nell'analisi non lineare sono impiegate procedure di tipo incrementale iterativo gran parte dei codici di calcolo permette di svolgere analisi non lineari senza dover compiere alcuna scelta in termini di parametri o di metodi è comunque molto importante conoscere l'importanza assunta dai diversi parametri sulla approssimazione e il grado di confidenza della soluzione è importante anche conoscere lo strumento di calcolo ed eventualmente il modo per modificare i parametri impostati
- 2) rimane comunque il fatto che analisi sofisticate come quella dinamica non lineare è legata all'utilizzo di campioni di storie accelerometriche che sono ben lungi dal rappresentare l'azione sismica che per sua natura si presenta altamente aleatoria

L'analisi dinamica non lineare deve essere confrontata con una analisi modale con spettro di risposta di progetto, al fine di controllare le differenze in termini di sollecitazioni globali alla base delle strutture.