



*Seminario di aggiornamento professionale  
Prato, 4 giugno 2018*

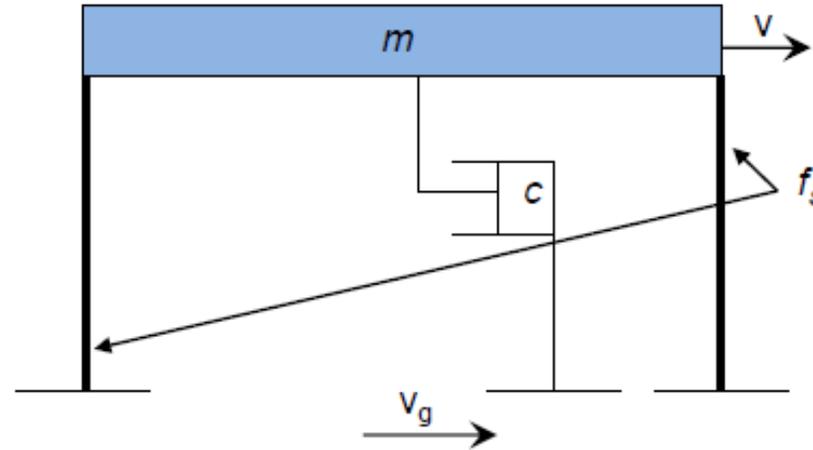
## **Strutture nuove in zona sismica / Tecniche innovative di protezione sismica**

**Prof.ssa Ing. Gloria Terenzi**  
Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale - DICEA  
Università di Firenze

## Approccio per duttilità

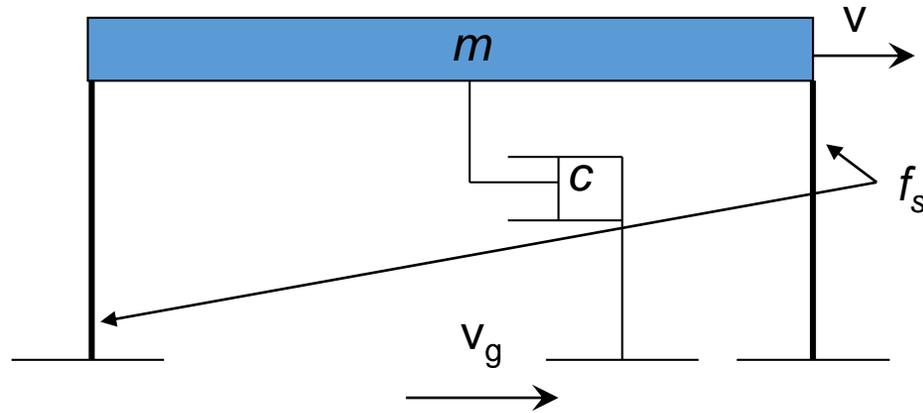
$$m\ddot{v}_t + c\dot{v} + f_s = 0$$
$$\ddot{v}_t = \ddot{v} + \ddot{v}_g$$

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



**Obiettivo progettuale per azioni con  $P_{VR}$  del 10%/ $V_R$ :**  
si ammette il danno strutturale, conferendo alla struttura una  
**prestabilita capacità di duttilità**  
(passando per l'applicazione del criterio della gerarchia delle  
resistenze e dei dettagli costruttivi, la duttilità viene controllata  
ad ogni livello di definizione)

## Approccio energetico



Uang, C.M. and Bertero, V.V. (1988). *Use of energy as a design criterion in earthquake-resistant design*, Report UCB- EERC 88/18. Berkeley: University of California at Berkeley.

$$m\ddot{v}_t + c\dot{v} + f_s = 0 \quad \longrightarrow \quad \ddot{v}_t = \ddot{v} + \ddot{v}_g$$

$$\int m\ddot{v}_t dv + \int c\dot{v} dv + \int f_s dv = 0$$

➤ *Progettazione tradizionale*

Approccio energetico

$$\int m\ddot{v}_t dv + \int c\dot{v}dv + \int f_s dv = 0 \longrightarrow \boxed{E_k + E_\xi + E_s + E_h = E_i}$$

$$E_k = \frac{m(\dot{v}_t)^2}{2} \rightarrow \text{Energia cinetica}$$

$$E_i = \int m\ddot{v}_t dv_g \rightarrow \text{Energia in ingresso}$$

$$E_\xi = \int c\dot{v}dv = \int c\dot{v}^2 dt \rightarrow \text{Energia di dissipazione viscosa}$$

$$E_a = \int f_s dv = E_s + E_h = \frac{(f_s)^2}{2k} + E_h \rightarrow \text{Energia potenziale elastica ed energia dissipata per isteresi}$$

# Bilancio energetico della risposta sotto l'azione sismica

## (a) Struttura progettata tradizionalmente

(per duttilità, allo SLV, usufruendo del fattore di comportamento  $q$ )

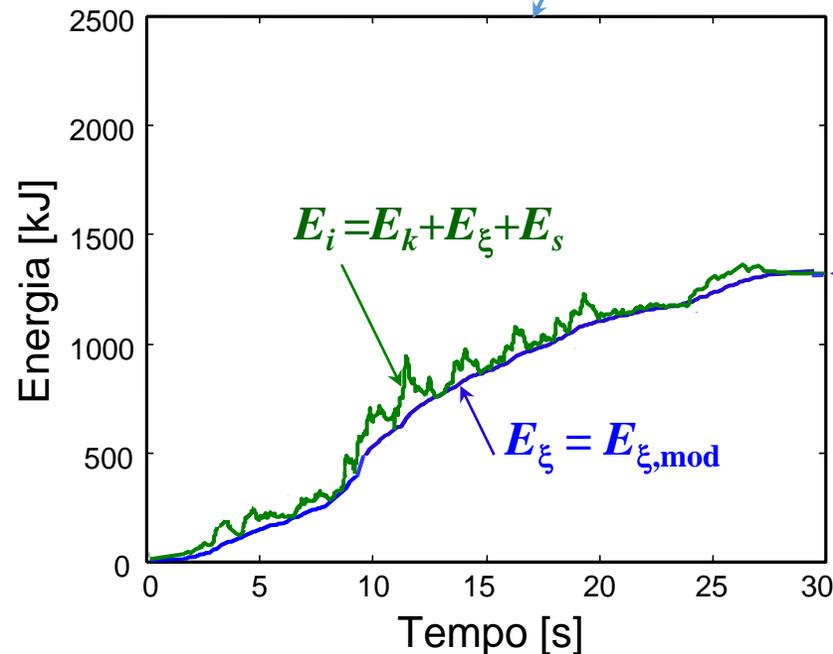
Azioni con  $P_{VR}$   
dell'81%/ $V_R$  e del  
63%/ $V_R$

Livello di prestazione  
atteso: SLO – SLD

Risposta elastica,  
con controllo degli  
spostamenti relativi massimi  
di piano ai fini del  
nullo o limitato  
danneggiamento degli  
elementi non strutturali

$$E_k + E_\xi + E_s = E_i$$

Esempio di risposta all'azione scalata all'intensità  
corrispondente allo svolgimento delle verifiche allo SLD



# Bilancio energetico della risposta sotto l'azione sismica

## (a) Struttura progettata tradizionalmente

(per duttilità, allo SLV, usufruendo del fattore di comportamento  $q$ )

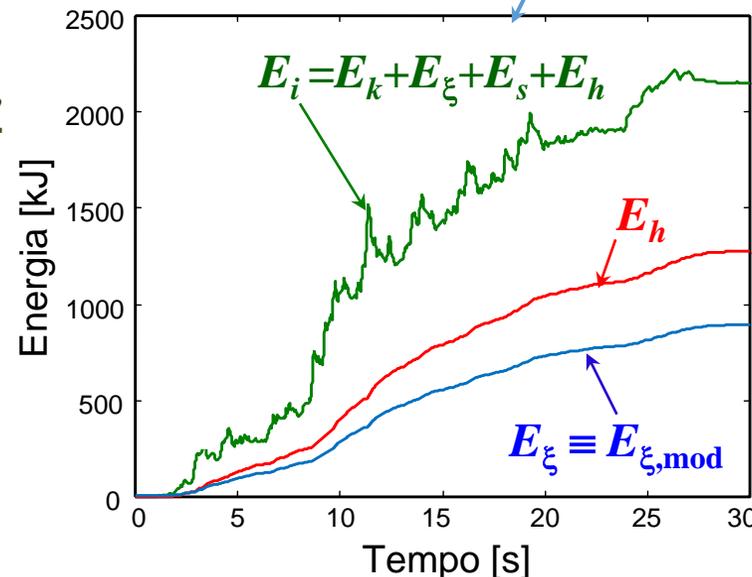
Azioni con  $P_{VR}$  del  
 $10\%/V_R$

Livello di prestazione  
atteso: SLV

Risposta non lineare, con  
ampia attività plastica,  
e conseguente sensibile  
danneggiamento,  
degli elementi strutturali

$$E_k + E_\xi + E_s + E_h = E_i$$

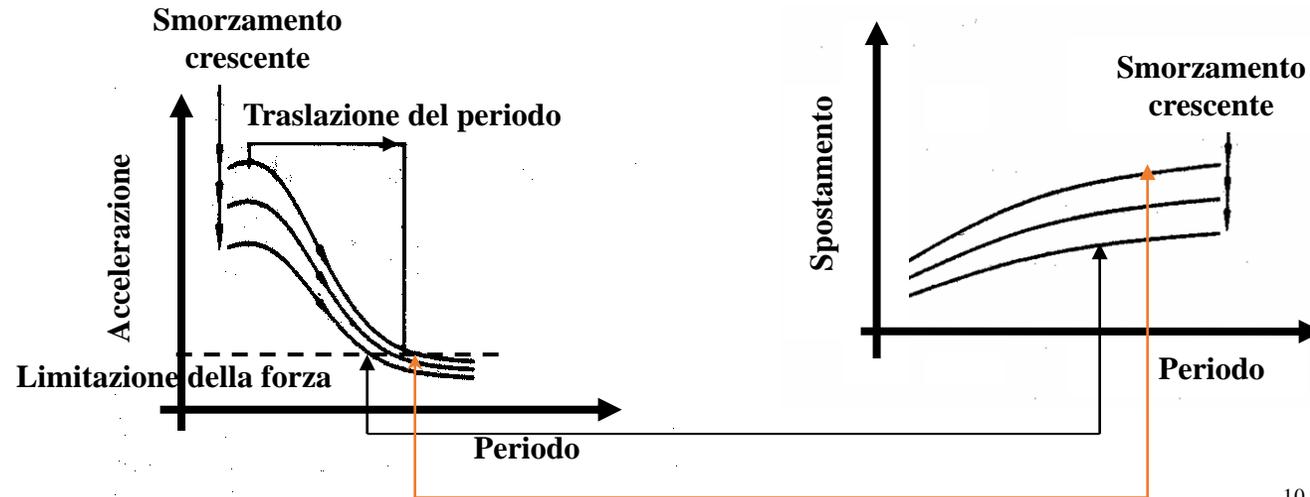
Esempio di risposta all'azione scalata all'intensità  
corrispondente allo svolgimento delle verifiche allo SLV



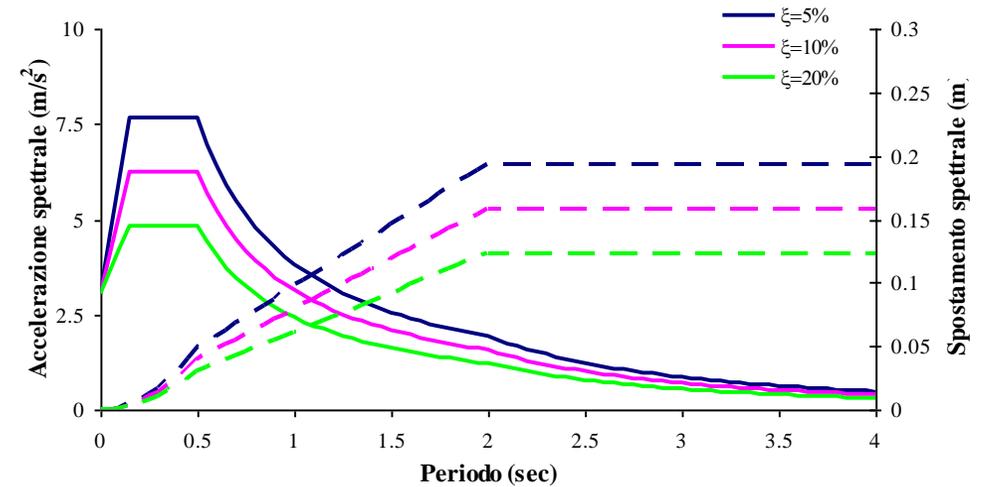
$$E_i^f = E_{\xi,mod}^f + E_h^f$$

Forte danneggiamento  
della struttura

## ➤ **Tecnologie avanzate di protezione sismica delle strutture: strategie progettuali**



- 1) **Isolamento alla base e dissipazione di energia**
- 2) **Dissipazione supplementare di energia**



## ➤ Tecnologie avanzate di protezione sismica delle strutture: controventi dissipativi

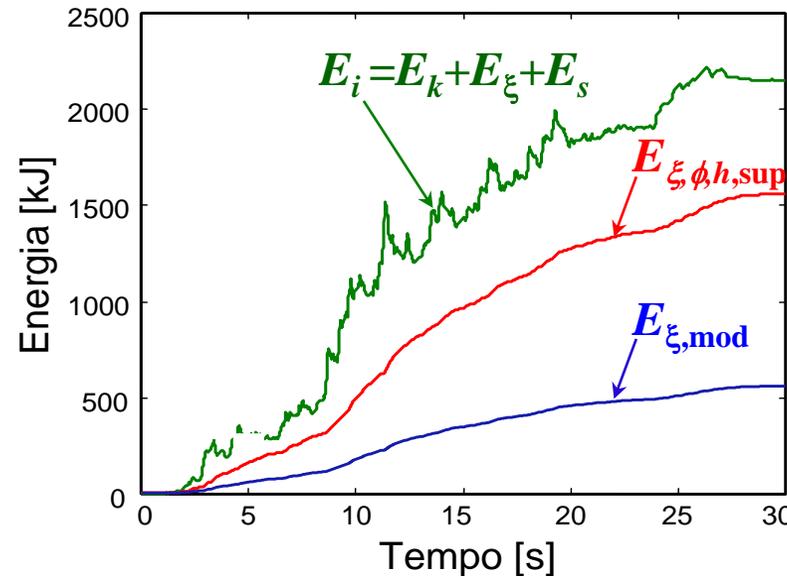
### Approccio energetico

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

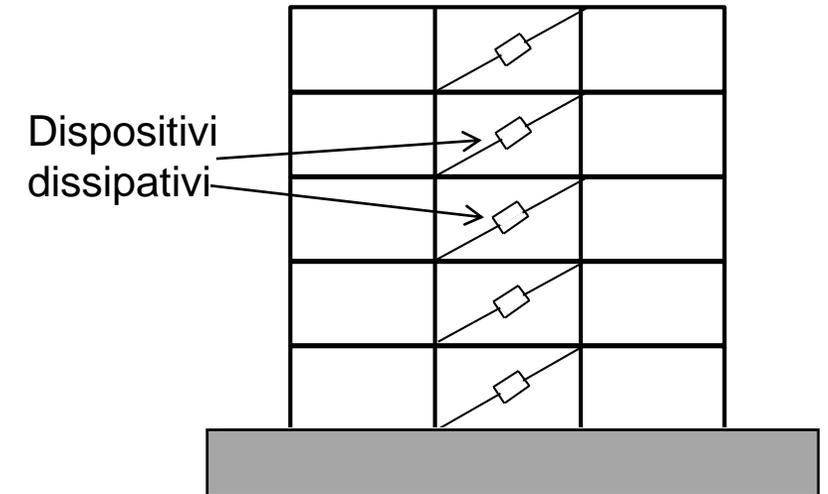
Obiettivo progettuale per azioni con  $P_{VR}$  del 10%/ $V_R$ :

evitare il danno strutturale e non, attribuendo ad altri elementi la capacità dissipativa necessaria a bilanciare l'energia in ingresso.

Le membrature principali devono rimanere allo SLO/SLD



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



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

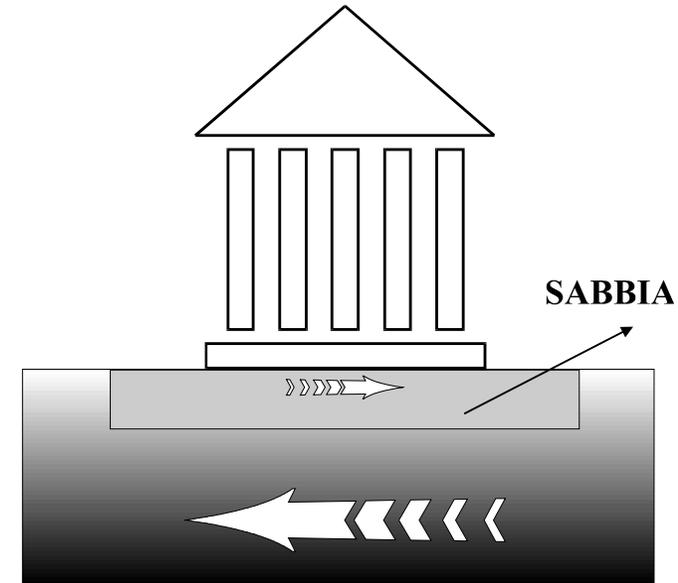
## ➤ **Tecnologie avanzate di protezione sismica delle strutture: isolamento alla base**

**NON È UN CONCETTO NUOVO!**

Gaius Plinius Secundus, Naturalis Historia:

*“Graecae magnificentiae vera admiratio extat templum Ephesiae Dianae  
CXX annis factum a tota Asia.*

*In solo id palustri fecere, ne terrae motus sentiret aut hiatus timeret,  
rursus ne in lubrico atque instabili fundamenta tantae molis locarentur,  
calcatis ea substravere carbonibus, dein velleribus lanae”.*



**Antichi templi greci, monasteri, templi e ponti cinesi, costruzioni degli Incas e templi italiani appaiono protetti da rudimentali sistemi d'isolamento sismico**

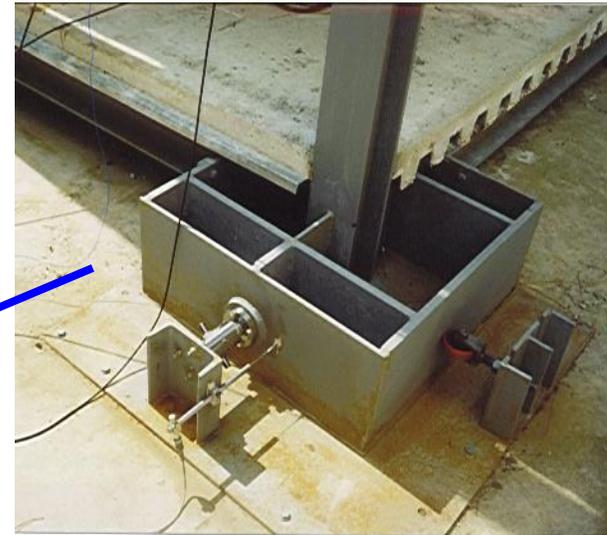
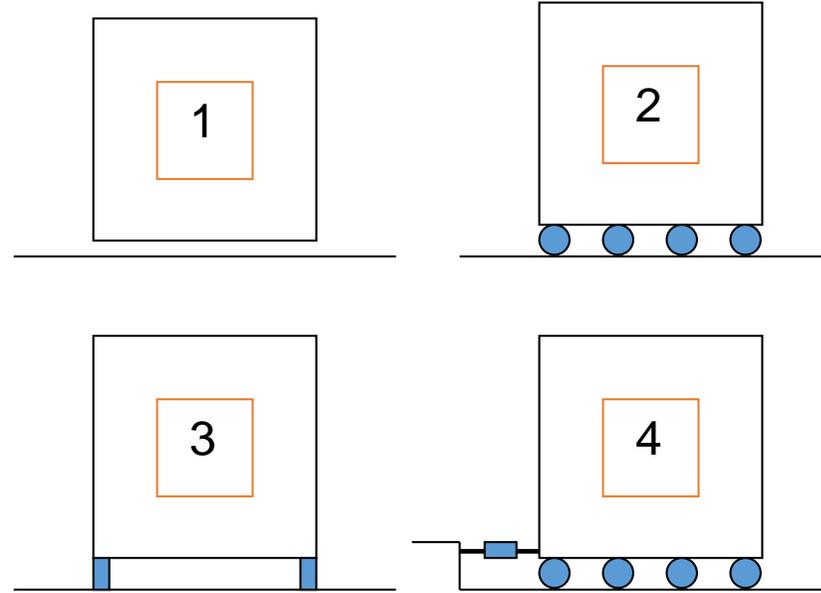
➤ **Tecnologie avanzate di protezione sismica delle strutture: isolamento alla base**

La [tomba di Ciro il Grande](#) a [Pasargadae](#) è la più antica struttura al mondo [isolata alla base](#) ([Persia](#) – [VI secolo a.C.](#))



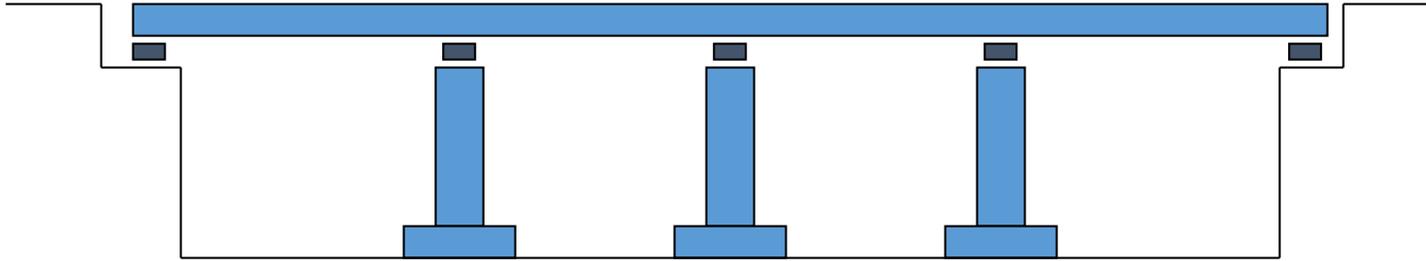
## ➤ **Tecnologie avanzate di protezione sismica delle strutture: isolamento alla base**

A. Chiarugi, G. Terenzi: "Sperimentazione dinamica di una struttura in acciaio isolata mediante dispositivi siliconici", Atti del 9° Convegno Nazionale ANIDIS (CD-ROM), Torino, 20-23 settembre 1999



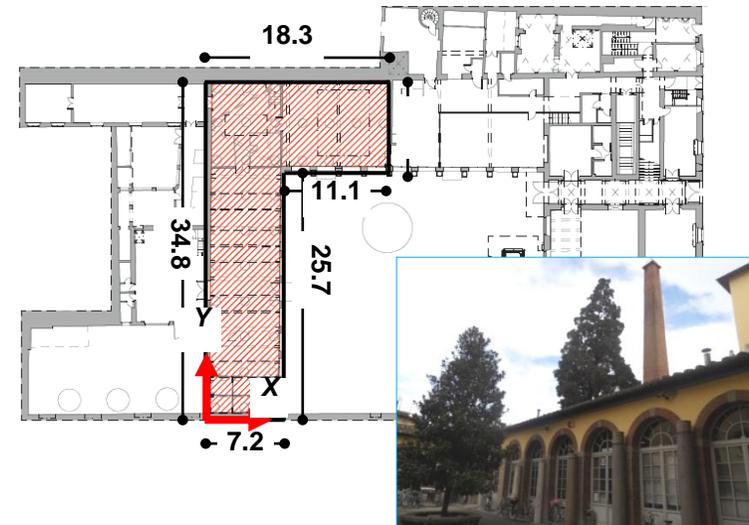
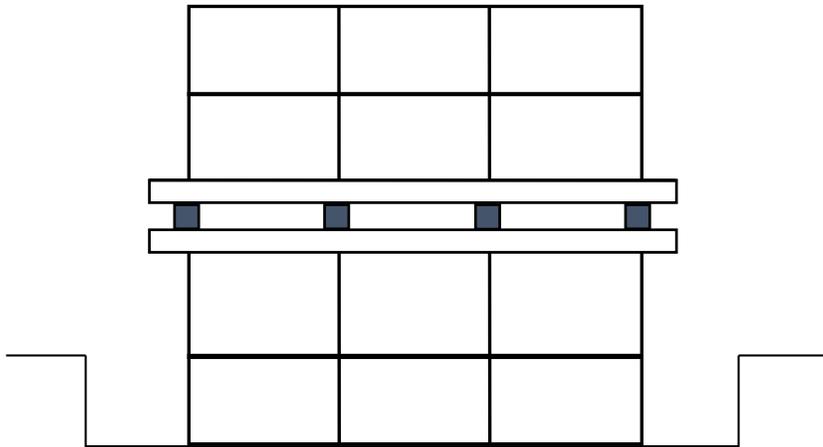
➤ **Tecnologie avanzate di protezione sismica delle strutture: isolamento parziale**

*Impalcati da ponte*



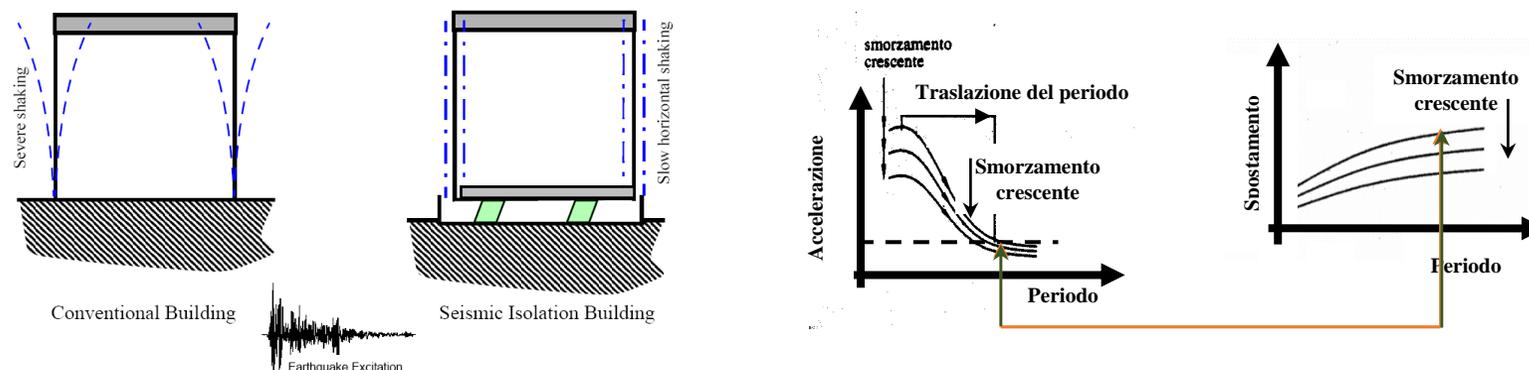
*Impalcati di allestimenti museali*

*Porzioni di edifici di particolare pregio*



## *Bilancio energetico della risposta sotto l'azione sismica*

### (b) Struttura dotata di un sistema d'isolamento sismico



**S'introducono due nuovi gradi di libertà,  
uno per ciascuna delle due direzioni principali in pianta,  
che determinano nuovi modi fondamentali di vibrazione, sempre per ciascuna direzione,  
cui viene associato quasi il 100% della massa "sismica" della sovrastruttura  
(ciò determina una grande riduzione di spostamenti e sollecitazioni su quest'ultima  
rispetto ad una struttura progettata tradizionalmente)**

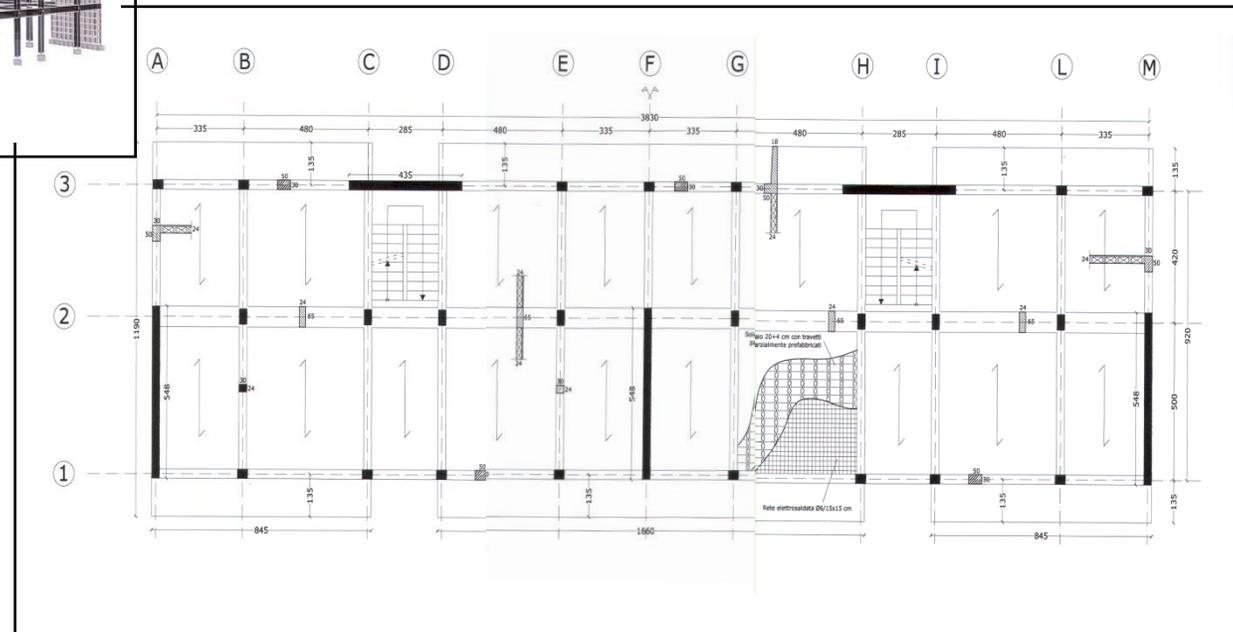
**Il sistema deve possedere anche una certa capacità dissipativa ( $\xi_{sup-is}$ ),  
al fine di mantenere gli spostamenti del piano d'isolamento  
entro limiti tecnicamente accettabili  
(soprattutto per quanto riguarda i giunti dell'impiantistica che attraversa tale piano)**

❖ Perché prescegliere l'applicazione dell'isolamento alla base rispetto alla progettazione tradizionale?

✓ Convenienza economica per riduzione di setti e nuclei



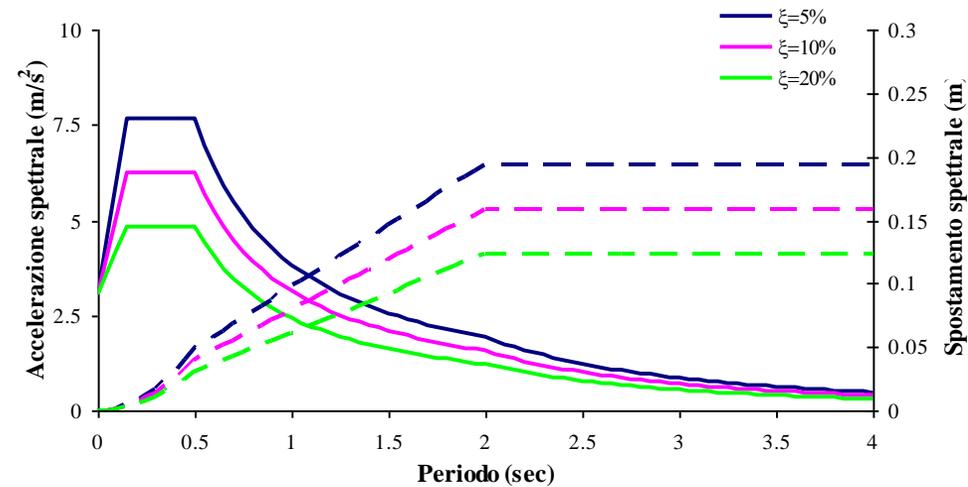
*Soluzione progettuale tradizionale*





## ❖ Perché prescegliere l'applicazione dell'isolamento alla base rispetto alla progettazione tradizionale?

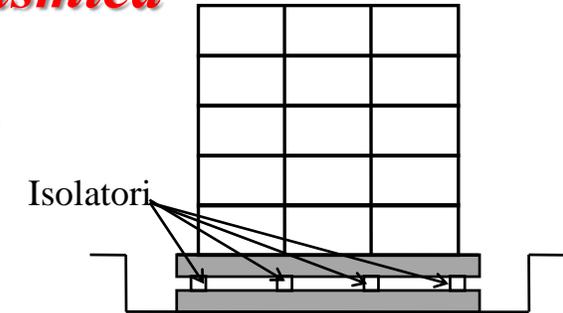
- ✓ **Innalzamento delle capacità di prestazione**
- ✓ **Riduzione delle azioni sulla sovrastruttura per ciascuno degli stati limite di riferimento**



**Obiettivo principale deve essere quello di avere una struttura con comportamento elastico anche per azioni con  $P_{VR}$  del  $5\%/V_R$**

# Bilancio energetico della risposta sotto l'azione sismica

## (b) Struttura dotata di un sistema d'isolamento sismico

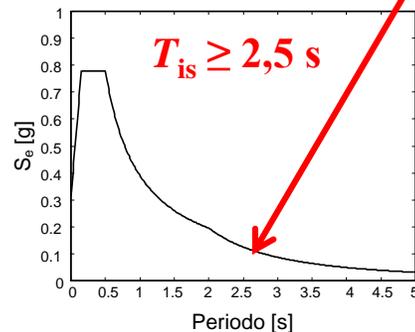


azioni con  $P_{VR}$   
del  $10\%/V_R$

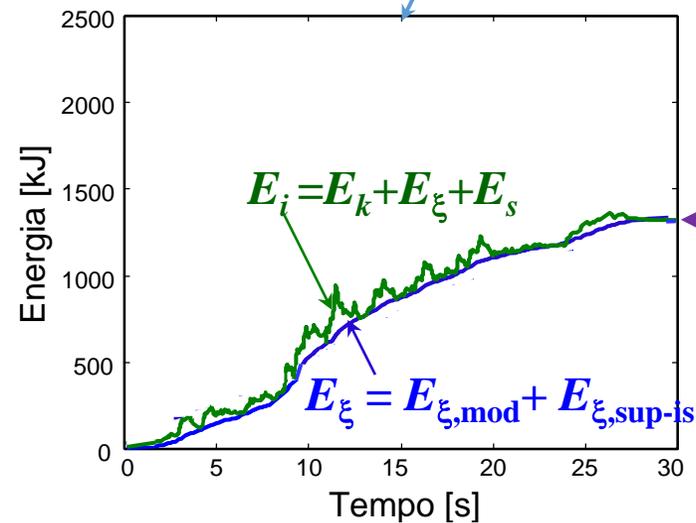
Risposta elastica

(con eventuale  
piccolo beneficio di  
un fattore  $1 \leq q < 1,5$ )

$$E_k + E_\xi + E_s = E_i$$



Esempio di risposta all'azione scalata all'intensità  
corrispondente ad un evento con  $P_{VR}$  del  $10\%/V_R$



$$E_i^f = E_{\xi, \text{mod}}^f + E_{\xi, \text{sup-is}}^f$$

# Valutazione dell'azione sismica

**NTC 2008**

**Tabella 2.4.I – Vita nominale  $V_N$  per diversi tipi di opere**

TIPI DI COSTRUZIONE		Vita Nominale $V_N$ (in anni)
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva <sup>1</sup>	$\leq 10$
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	$\geq 50$
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	$\geq 100$

Non tipologia di opere ma livelli di prestazione

**NTC 2018**

**Tab. 2.4.I – Valori minimi della Vita nominale  $V_N$  di progetto per i diversi tipi di costruzioni**

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di $V_N$ (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

I valori vengono indicati come minimi e niente vieta al progettista di maggiorarli

# Valutazione dell'azione sismica

**NTC 2018**

Tab. 3.2.I – Probabilità di superamento  $P_{V_R}$  in funzione dello stato limite considerato

Stati Limite	$P_{V_R}$ : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_R$	
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Qualora la protezione nei confronti degli stati limite di esercizio sia di prioritaria importanza, i valori di  $P_{V_R}$  forniti in tabella devono essere ridotti in funzione del grado di protezione che si vuole raggiungere.

Per ciascuno stato limite e relativa probabilità di eccedenza  $P_{V_R}$  nel periodo di riferimento  $V_R$  si ricava il periodo di ritorno  $T_R$  del sisma utilizzando la relazione:

$$T_R = - V_R / \ln (1- P_{V_R}) = - C_U V_N / \ln (1- P_{V_R}) \quad [3.2.0]$$

## Tecnologie avanzate di protezione sismica: isolamento alla base e dissipazione supplementare di energia

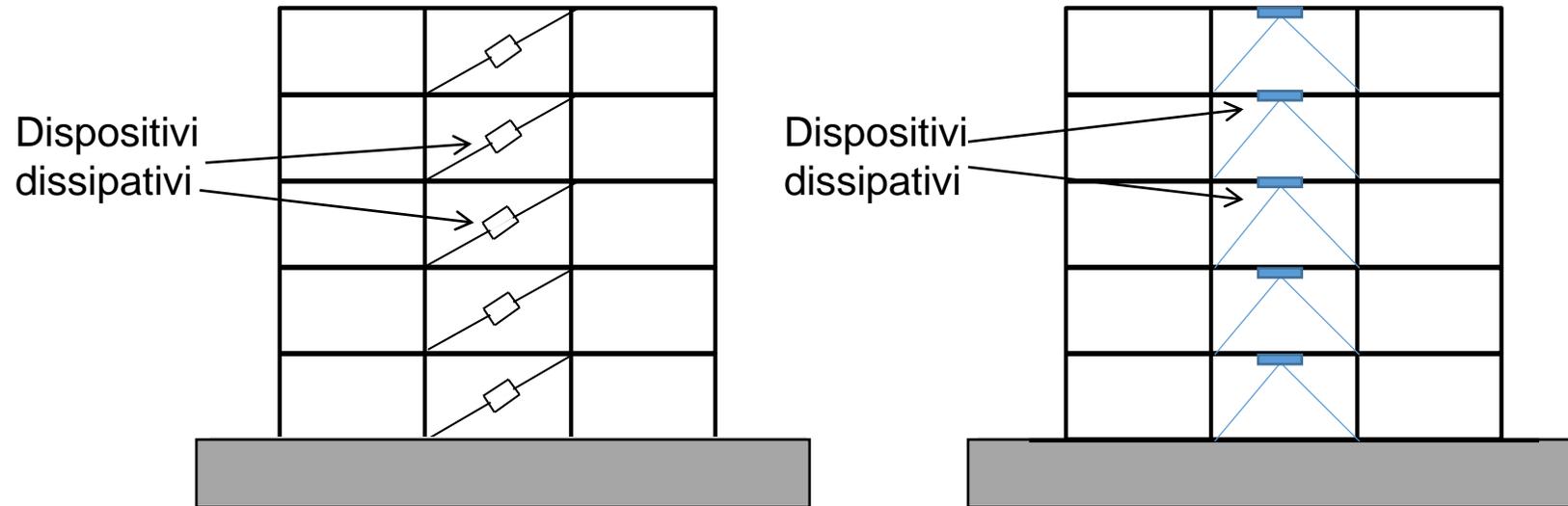
### **NTC 2018**

Le NTC-2018 si riferiscono sia al progetto di nuove costruzioni che all'adeguamento di quelle esistenti, nelle quali "un sistema d'isolamento sismico sia posto al di sotto della costruzione medesima, o sotto una sua porzione rilevante, allo scopo di migliorarne la risposta nei confronti delle azioni sismiche orizzontali".

Al tema sono dedicati il capitolo 7.10, per quel che riguarda gli aspetti di progettazione e esecuzione, nel quale in realtà non si riscontrano molte differenze rispetto alle norme precedenti, e il capitolo 11.9 relativo ai dispositivi,

➤ *Applicazione di tecnologie avanzate di protezione sismica per dissipazione supplementare di energia: controventi dissipativi*

❖ **Dove si collocano rispetto alla pianta ed all'alzato?**



❖ **Di che tipo sono?**

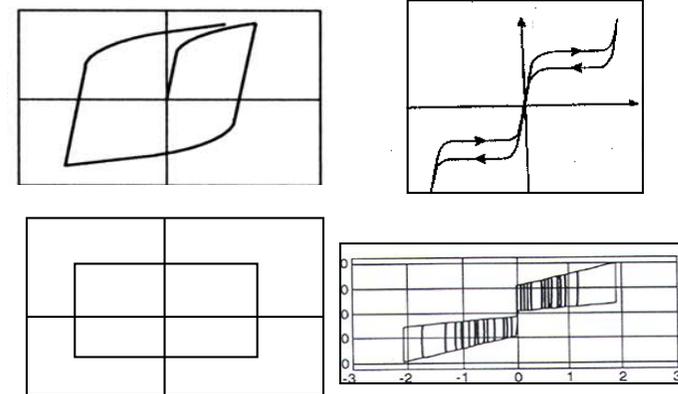
$$m\ddot{v}(t) + c\dot{v}(t) + kv(t) + \underbrace{f_{ed}(t)} = -m\ddot{v}_g(t)$$

Contributo elastico-dissipativo

## ❖ Di che tipo sono i dispositivi di dissipazione supplementare di energia?

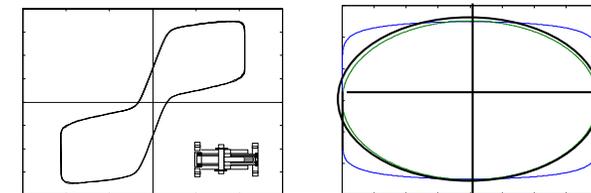
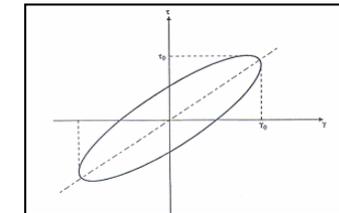
### Comportamento dipendente dallo spostamento (rate independent)

1. **Metallic dampers (Dispositivi metallici)**
2. **Friction dampers (Dispositivi ad attrito)**



### Comportamento dipendente dalla velocità (rate dependent)

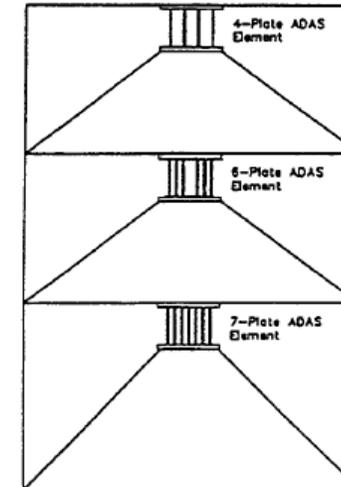
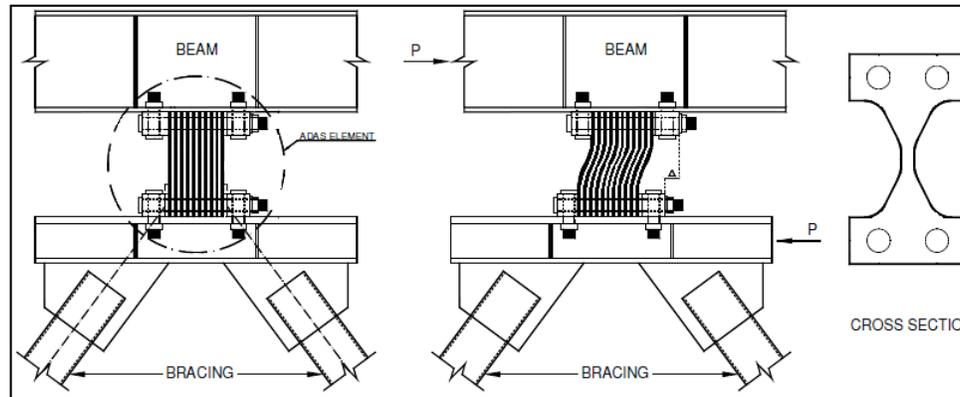
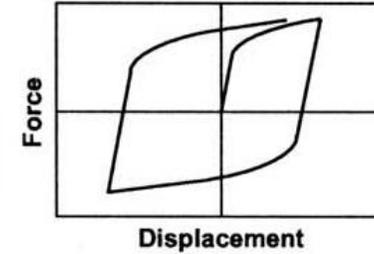
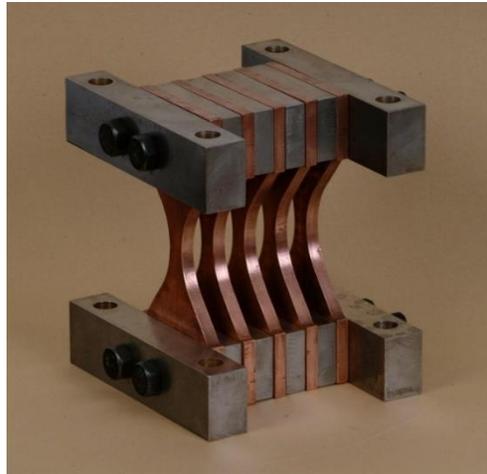
3. **Viscoelastic dampers (Dispositivi visco-elastici)**
4. **Viscous fluid dampers (Dispositivi fluido-viscosi)**



Soong, T.T., and Dargush, G. F. (1997). *Passive energy dissipation systems in structural engineering*, J. Wiley & Sons Eds., New York

# ❖ Di che tipo sono i dispositivi di dissipazione supplementare di energia?

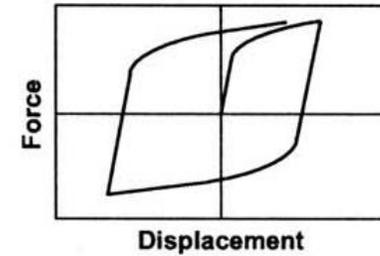
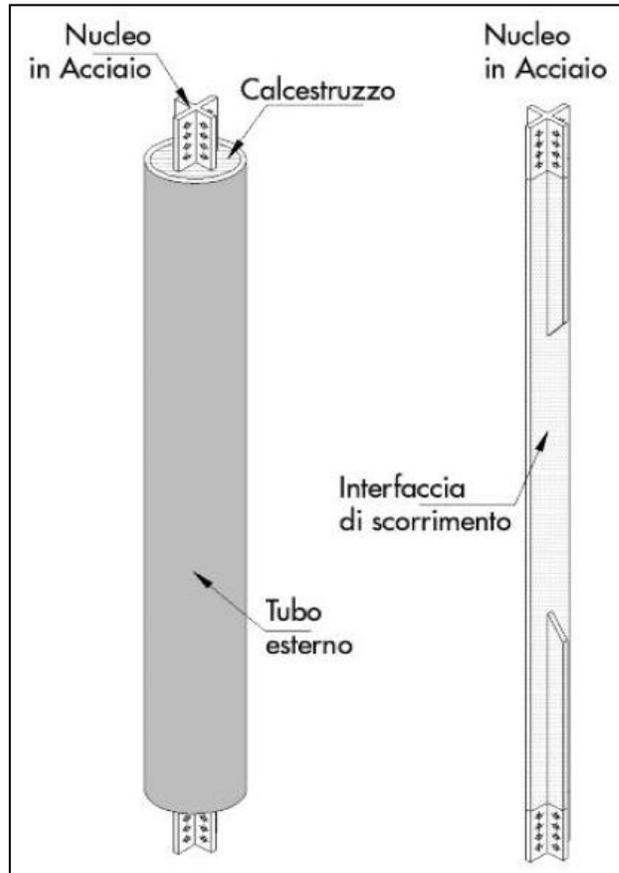
## 1. Dispositivi metallici - "ADAS"



# ❖ Di che tipo sono i dispositivi di dissipazione supplementare di energia?

## 1. *Dispositivi metallici*

### *Controventi ad instabilità impedita*

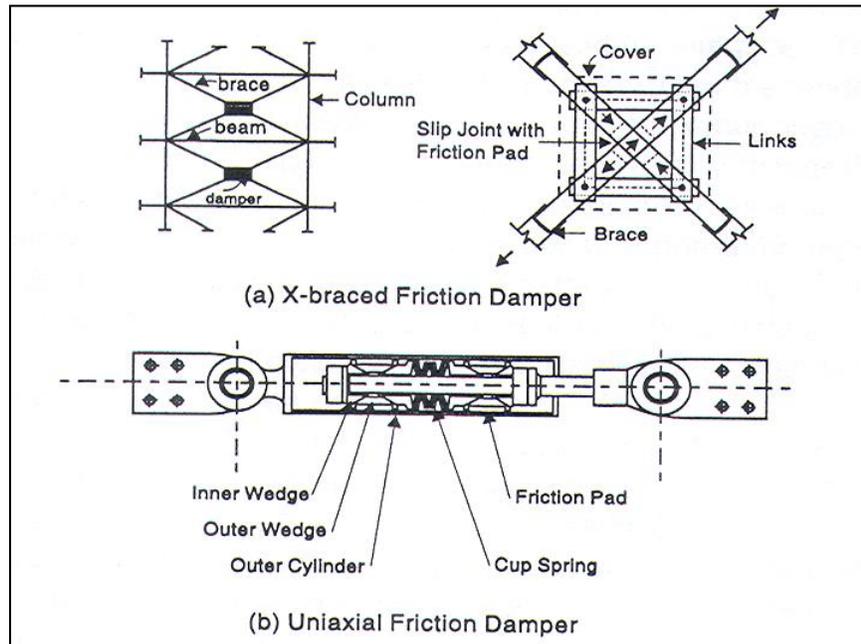


*Università delle Marche – Ancona*



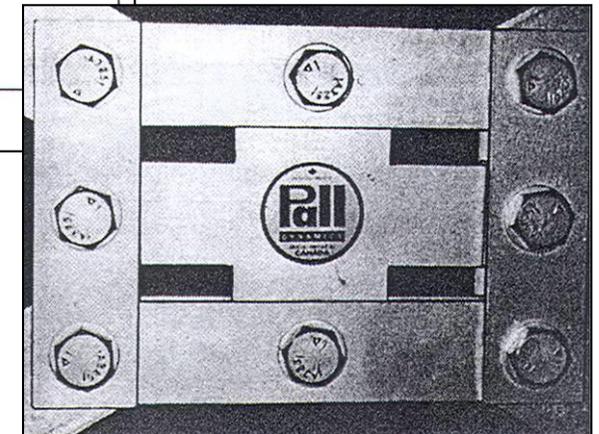
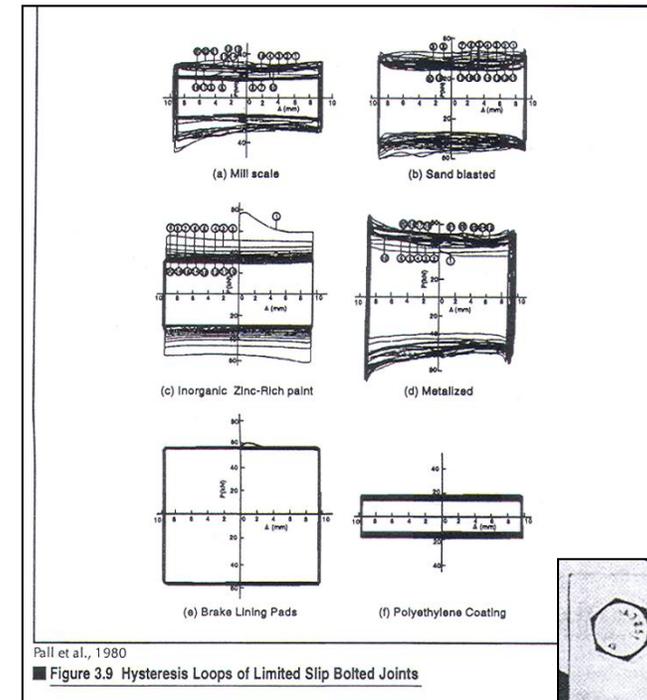
# ❖ Di che tipo sono i dispositivi di dissipazione supplementare di energia?

## 2. Dispositivi ad attrito



$$F_t = \mu F_n$$

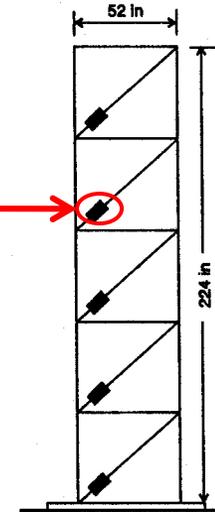
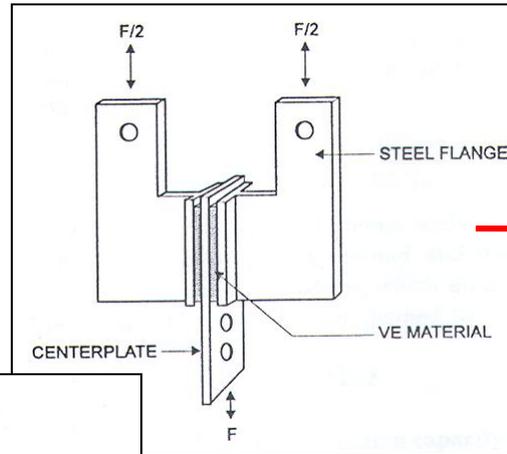
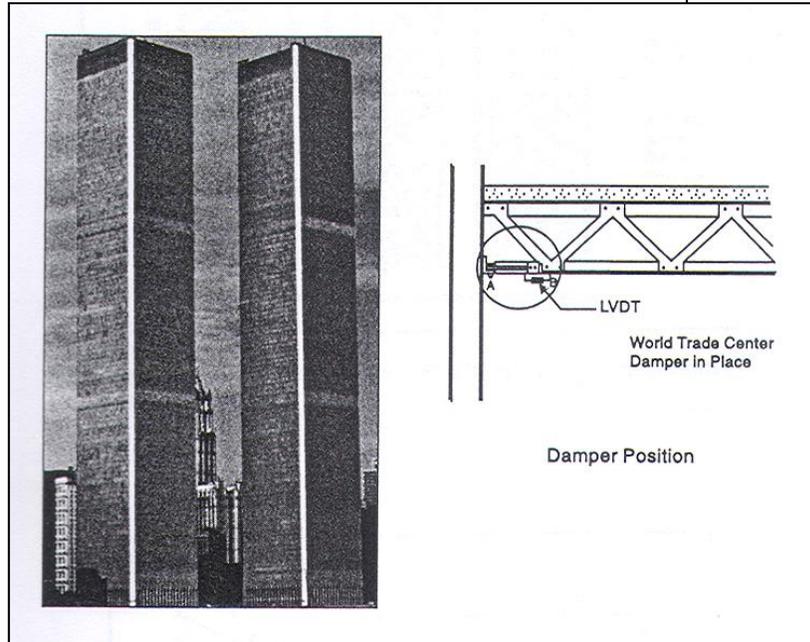
$$\mu_s > \mu_c$$



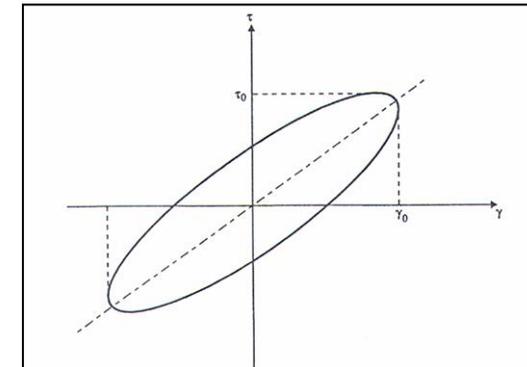
- a) Pall, A.S. and Marsch, C. (1982). Response of friction damped braced frames, *Journal of the Structural Division, ASCE*, Vol. 108, No. ST6, 1313-1323.
- b) Aiken, I.D. and Kelly, J. (1990). Earthquake simulator testing and analytical studies of two energy-absorbing systems for multistory structures, Technical report UCB/EERC-90/03, University of California, Berkeley, CA.

# ❖ Di che tipo sono i dispositivi di dissipazione supplementare di energia?

## 3. Dispositivi visco-elastici



Zhang, R.H., Soong, T.T. and Mahmoodi, P. (1989). *Seismic response of steel frame structures with added viscoelastic dampers*, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 18, 389-396.



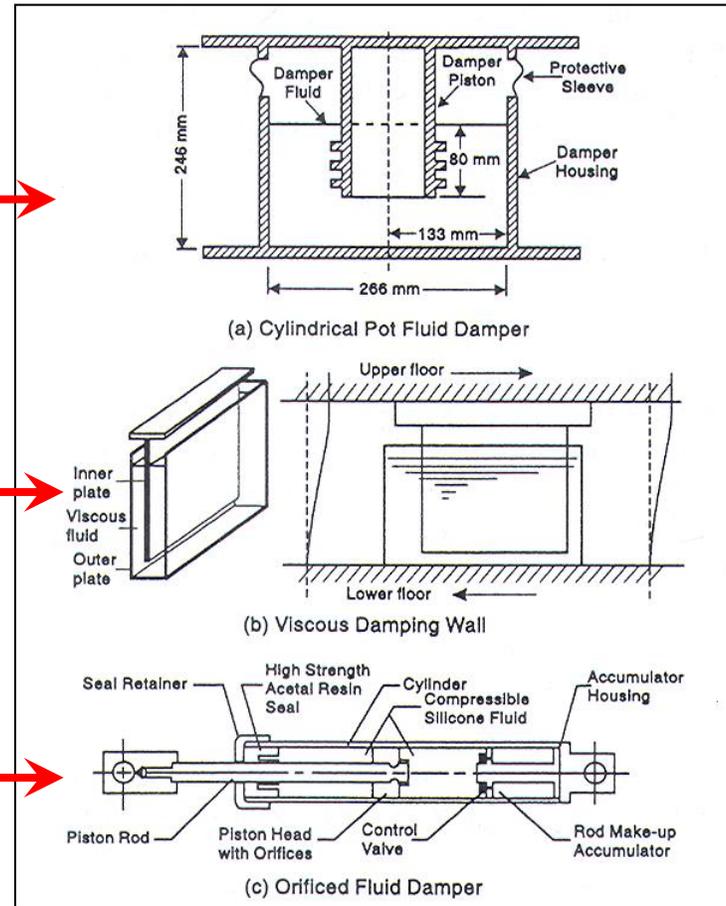
# ❖ Di che tipo sono i dispositivi di dissipazione supplementare di energia?

## 4. Dispositivi fluido-viscosi

Makris, N. and Constantinou, M.C. (1991). *Fractional derivative Maxwell model for viscous dampers*, Journal of Structural Engineering ASCE, 117(9), 2708-2724.

Miyazaki, M. and Mitsusaka, Y. (1992). *Design of a building with 20% or greater damping*, Tenth World Conference on Earthquake Engineering, Madrid, Spain, 4143-4148.

Constantinou, M.C., Symans, M.D., Tsopeles, P. and Taylor D.P. (1993). *Fluid viscous dampers in applications of seismic energy dissipation and seismic isolations*, Proceedings of ATC 17-1 on Seismic isolation, energy dissipation and active control, San Francisco CA, Vol. 2, 581-591.





# Tecnologie avanzate di protezione sismica: isolamento alla base e dissipazione supplementare di energia

**NTC 2018**

## **11.9. DISPOSITIVI ANTISISMICI E DI CONTROLLO DI VIBRAZIONI**

Per dispositivi antisismici e di controllo delle vibrazioni si intendono gli elementi che contribuiscono a modificare la risposta sismica, o in generale dinamica, di una struttura, ad esempio incrementandone il periodo fondamentale, modificando la forma dei modi di vibrare fondamentali, incrementando la dissipazione di energia, limitando la forza trasmessa alla struttura e/o introducendo vincoli permanenti o temporanei che migliorano la risposta sismica o dinamica.

Tutti i dispositivi devono avere una vita di servizio maggiore di 10 anni nel campo di temperatura di riferimento indicato nelle specifiche tecniche applicabili a ciascun dispositivo. In assenza di indicazioni riportate nelle suddette specifiche tecniche il campo di temperatura di riferimento deve essere almeno compreso fra  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $+45\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Per opere particolari, per le quali le temperature prevedibili non rientrano nel suddetto intervallo, potrà farsi riferimento a campi di temperatura diversi da quello sopra citato; per dispositivi operanti in luoghi protetti, si può assumere un campo di temperatura ridotto in relazione ai valori estremi di temperatura ambientale.

Devono essere previsti piani di manutenzione e di sostituzione allo scadere della vita di servizio, senza significativi effetti sull'uso delle strutture in cui sono installati.

# Tecnologie avanzate di protezione sismica: isolamento alla base e dissipazione supplementare di energia

**NTC 2018**

## **11.9.1. TIPOLOGIE DI DISPOSITIVI**

In generale, ai fini della presente norma, si possono individuare le seguenti tipologie di dispositivi:

**DISPOSITIVI DI VINCOLO TEMPORANEO:** questi dispositivi sono utilizzati per obbligare i movimenti in uno o più direzioni secondo modalità differenziate a seconda del tipo e dell'entità dell'azione. Si distinguono in :

*Dispositivi di vincolo del tipo "a fusibile":* caratterizzati dall'impedire i movimenti relativi fra le parti collegate sino al raggiungimento di una soglia di forza oltre la quale, al superamento della stessa, consentono tutti i movimenti. Abitualmente sono utilizzati per escludere il sistema di protezione sismica nelle condizioni di servizio, consentendone il libero funzionamento durante il terremoto di progetto, senza modificarne il comportamento.

*Dispositivi (dinamici) di vincolo provvisorio:* caratterizzati dalla capacità di solidarizzare gli elementi che collegano, in presenza di movimenti relativi rapidi, quali quelli sismici, e di lasciarli liberi, o quasi, in presenza di movimenti relativi lenti imposti o dovuti ad effetti termici.

# Tecnologie avanzate di protezione sismica: isolamento alla base e dissipazione supplementare di energia

**NTC 2018**

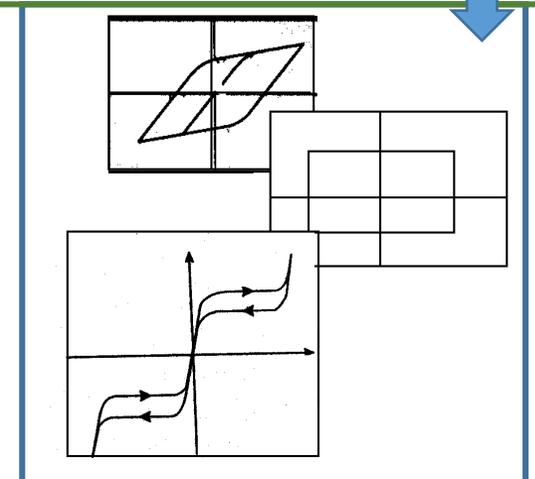
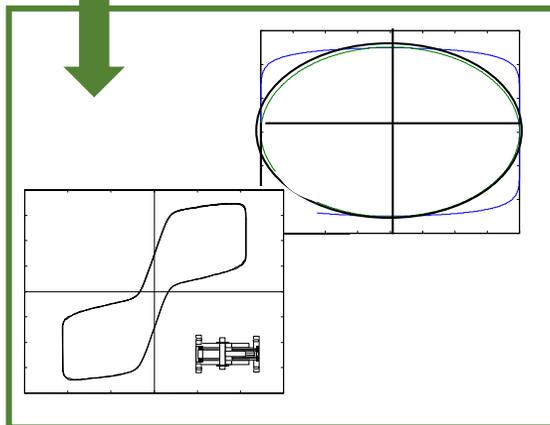
## 11.9.1. TIPOLOGIE DI DISPOSITIVI

DISPOSITIVI DIPENDENTI DALLO SPOSTAMENTO, a loro volta suddivisi in:

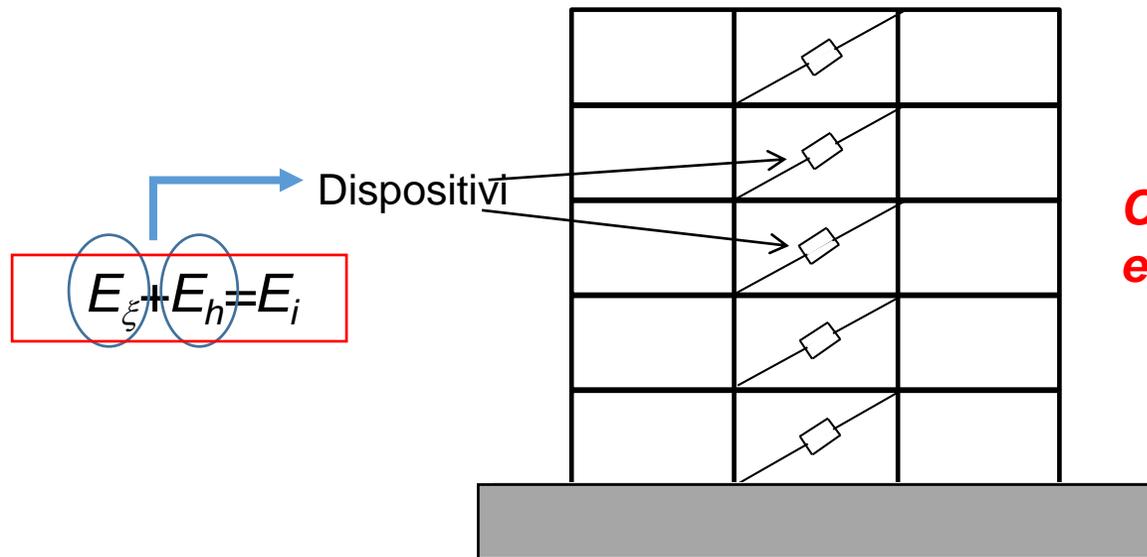
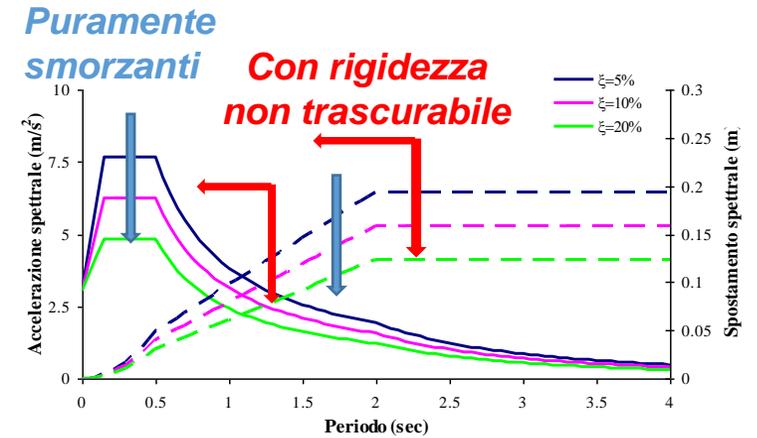
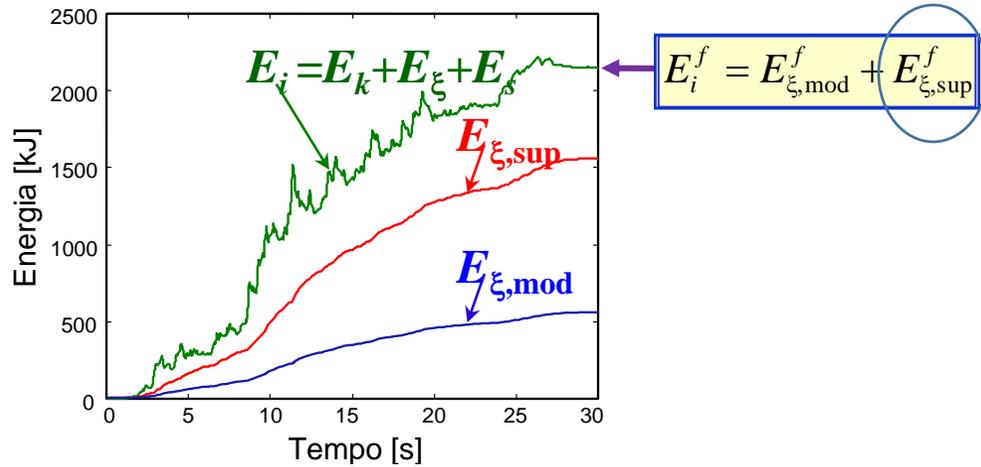
*Dispositivi a comportamento lineare o "Lineari":* caratterizzati da un legame forza-spostamento sostanzialmente lineare, fino ad un dato livello di spostamento, con comportamento stabile per il numero di cicli richiesti e sostanzialmente indipendente dalla velocità; nella fase di scarico non devono mostrare spostamenti residui significativi.

*Dispositivi a comportamento non lineare o "Non Lineari":* caratterizzati da un legame forza-spostamento non lineare, con comportamento stabile per il numero di cicli richiesti e sostanzialmente indipendente dalla velocità.

DISPOSITIVI DIPENDENTI DALLA VELOCITÀ detti anche *Dispositivi a comportamento viscoso o "Viscosi":* caratterizzati dalla dipendenza della forza soltanto dalla velocità o da velocità e spostamento contemporaneamente; il loro funzionamento è basato sulle forze di reazione causate dal flusso di un fluido viscoso attraverso orifizi o sistemi di valvole.



➤ **Applicazione di tecnologie avanzate di protezione sismica per dissipazione supplementare di energia: controventi dissipativi**



**Puramente smorzanti** →  $T \leq 0.8 \text{ s}$

**Congiuntamente elastico-dissipativi** →  $T > 0.8 \text{ s}$

$$T_1 = C_t H^{3/4} = 0,71 \text{ s} \div 0,8 \text{ s}$$

$$H = 20 \text{ m};$$

$$C_t = 0,075 \text{ (str acciaio)}$$

$$C_t = 0,085 \text{ (str in c.a.)}$$

# Tecnologie avanzate di protezione sismica: isolamento alla base e dissipazione supplementare di energia

**NTC 2018**

## **11.9.1. TIPOLOGIE DI DISPOSITIVI**

DISPOSITIVI DI ISOLAMENTO o “*Isolatori*”: svolgono fundamentalmente la funzione di sostegno dei carichi verticali, con elevata rigidità in direzione verticale e bassa rigidità o resistenza in direzione orizzontale, permettendo notevoli spostamenti orizzontali. A tale funzione possono essere associate o no quelle di dissipazione di energia, di ricentraggio del sistema, di vincolo laterale sotto carichi orizzontali di servizio (non sismici). Essendo fundamentalmente degli apparecchi di appoggio, essi debbono rispettare le relative norme per garantire la loro piena funzionalità rispetto alle azioni di servizio.

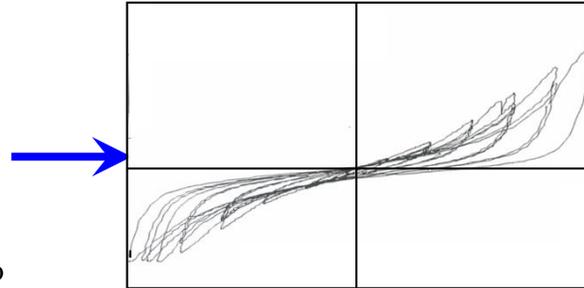
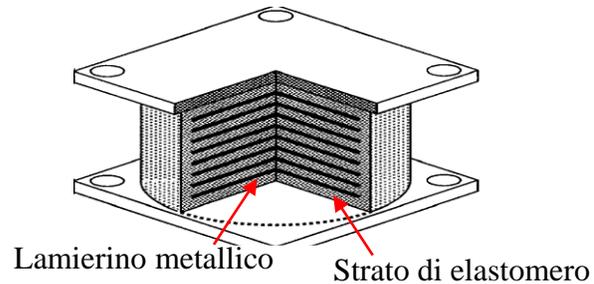
In generale, ai fini della presente norma, si possono individuare le seguenti tipologie di isolatori:

*Isolatori elastomerici*: costituiti da strati alternati di materiale elastomerico (gomma naturale o materiali artificiali idonei) e di acciaio, quest’ultimo con funzione di confinamento dell’elastomero, risultano fortemente deformabili per carichi paralleli alla giacitura degli strati (carichi orizzontali).

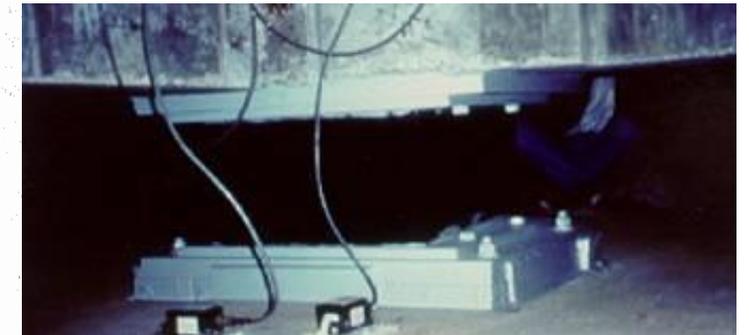
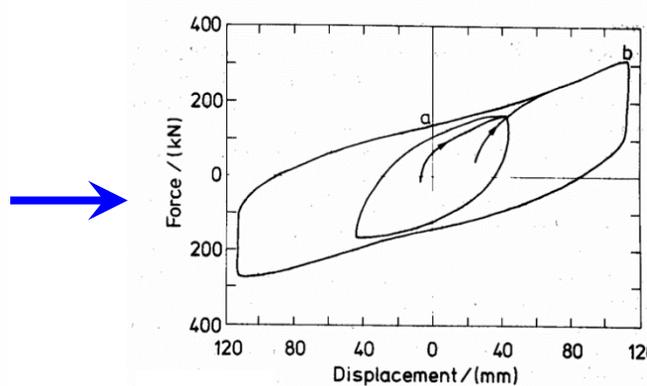
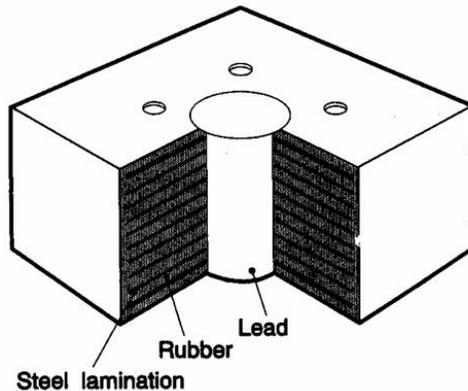
*Isolatori a scorrimento*: costituiti da appoggi a scorrimento, con superficie piana o curva, caratterizzati da bassi valori delle resistenze per attrito.

DISPOSITIVI costituiti da una COMBINAZIONE DELLE PRECEDENTI CATEGORIE.

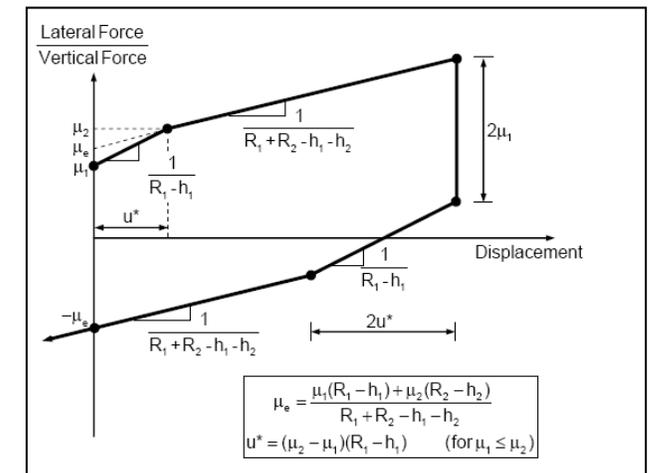
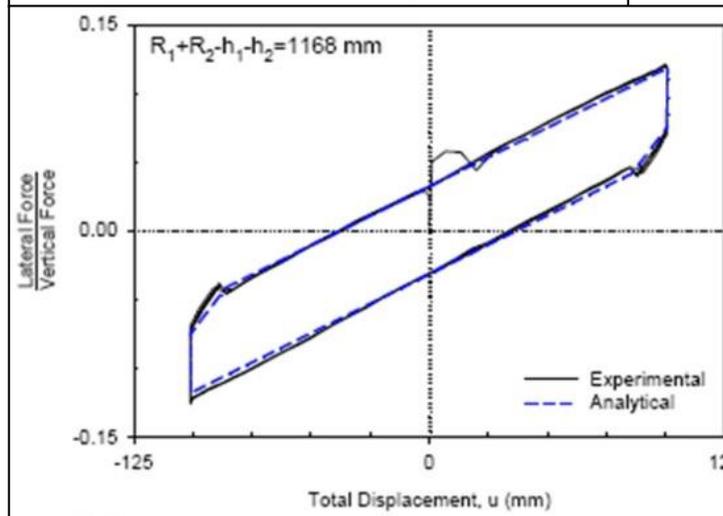
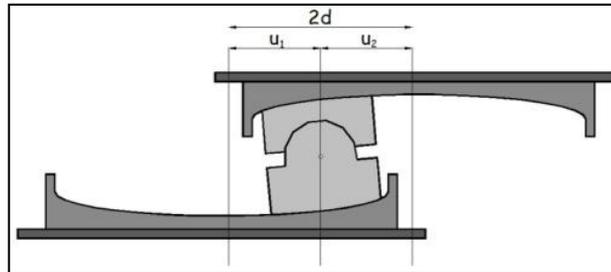
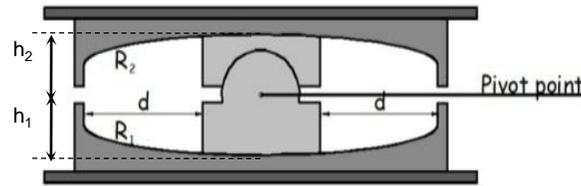
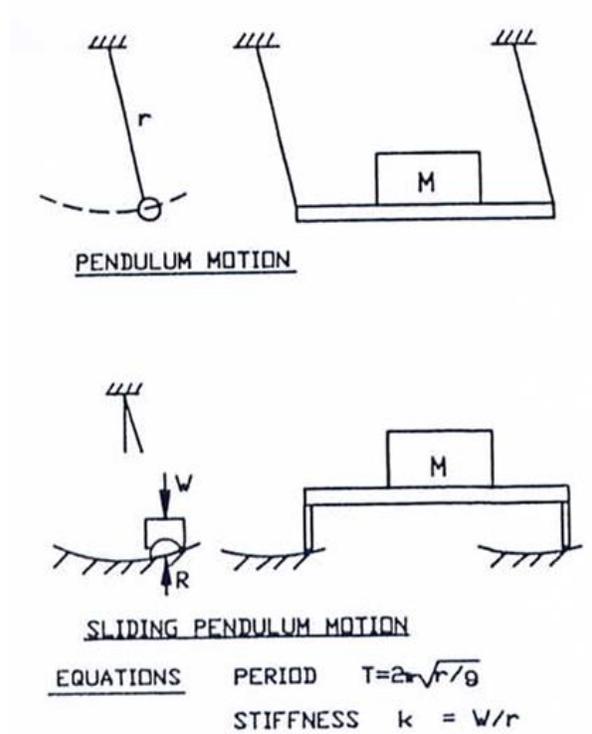
➤ *Isolatori elastomerici armati (High Damping Rubber Bearings – HDRB)*



➤ *Isolatori elastomerici con nucleo in piombo (Lead Rubber Bearings – LRB)*



➤ *Isolatori a scorrimento di tipo pendolare (DCSS)*

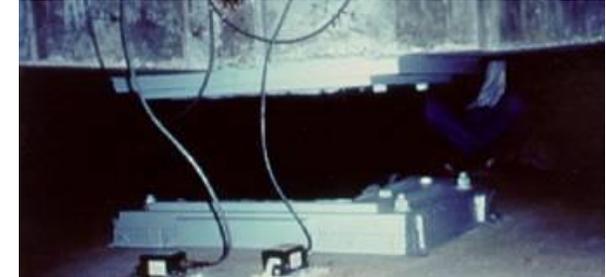


**Caratteristiche:**  
 soddisfacente ricentraggio;  
 dimensioni contenute;  
 la doppia superficie di scorrimento impedisce l'eccitazione verticale

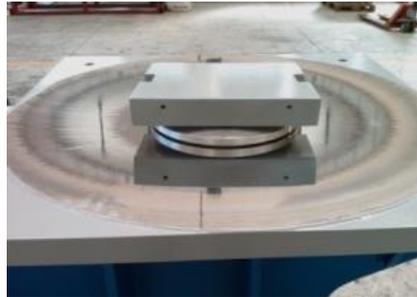
➤ *Applicazione di tecnologie avanzate di protezione sismica: isolamento alla base*

*I sistemi d'isolamento sismico maggiormente applicati in Italia*

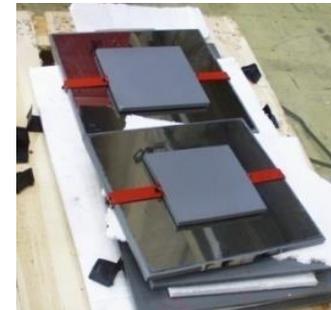
- a. **Isolatori elastomerici HDRB (“High Damping Rubber Bearings”); LRB (“Lead Rubber Bearings”) – edifici regolari**
- b. **HDRB o LRB + Appoggi scorrevoli di più tipi (generalmente in acciaio-PTFE)**



- c. **FPI (“Friction Pendulum Isolators”)**



- d. **Appoggi scorrevoli + Dissipatori di vari tipi (ponti ed edifici)**



# Tecnologie avanzate di protezione sismica: isolamento alla base e dissipazione supplementare di energia

**NTC 2018**

## 11.9.4. DISPOSITIVI A COMPORTAMENTO LINEARE Indicazioni progettuali

Il comportamento dei dispositivi a comportamento lineare è definito tramite la rigidità equivalente  $K_e$  e il coefficiente di smorzamento viscoso equivalente  $\xi_e$ , che devono rispettare le limitazioni

$$\xi_e < 15\% \quad [11.9.1]$$

$$|K_e - K_{in}| / K_{in} < 20\% \quad [11.9.2]$$

essendo  $K_{in}$  la rigidità iniziale valutata come rigidità secante tra i valori corrispondenti al 10% ed il 20% della forza di progetto.

Per assicurare un comportamento ciclico stabile, le variazioni in una serie di cicli di carico riferiti allo stesso spostamento massimo devono essere limitate nel modo seguente:

$$|K_{e,(i)} - K_{e,(3)}| / K_{e,(3)} \leq 10\% \quad [11.9.3]$$

$$|\xi_{e,(i)} - \xi_{e,(3)}| / \xi_{e,(3)} \leq 10\% \quad [11.9.4]$$

dove il pedice "(3)" si riferisce a quantità determinate nel terzo ciclo di carico ed il pedice "(i)" si riferisce a quantità relative all' $i$ -esimo ciclo, escluso il primo ( $i \geq 2$ ).

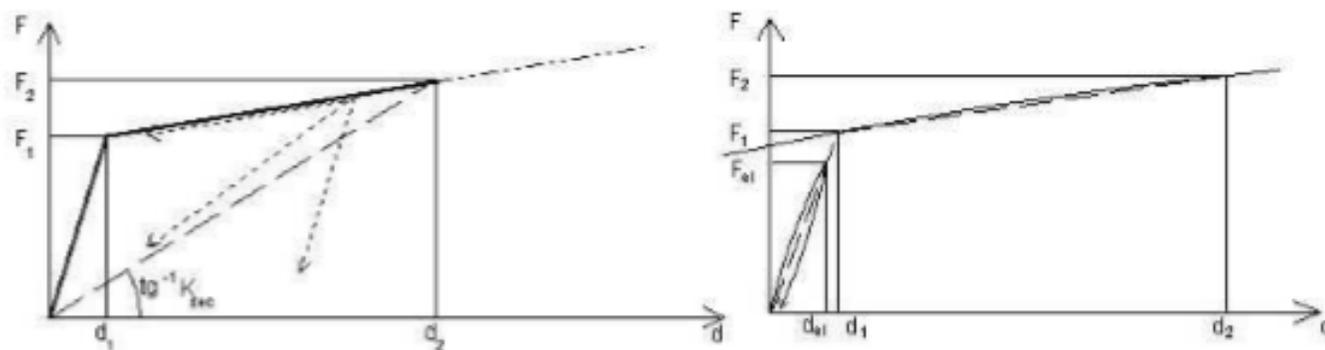
# Tecnologie avanzate di protezione sismica: isolamento alla base e dissipazione supplementare di energia

## 11.9.5. DISPOSITIVI A COMPORTAMENTO NON LINEARE → Indicazioni progettuali

I dispositivi a comportamento non lineare possono realizzare comportamenti meccanici diversi, ad elevata o bassa dissipazione di energia, con riduzione o incremento della rigidità al crescere dello spostamento, con o senza spostamenti residui all'azzeramento della forza. Nel seguito si tratteranno dispositivi caratterizzati da una riduzione della rigidità, ma con forza sempre crescente, al crescere dello spostamento, i cui diagrammi forza-spostamento sono sostanzialmente indipendenti dalla velocità di percorrenza e possono essere schematizzati come nella Fig. 11.9.1.

I dispositivi a comportamento non lineare sono costituiti da elementi base che ne determinano le caratteristiche meccaniche fondamentali ai fini della loro utilizzazione

Il loro comportamento è individuato dalla curva caratteristica che lega la forza trasmessa dal dispositivo al corrispondente spostamento; tali curve caratteristiche sono, in generale, schematizzabili con delle relazioni bilineari definite imponendo il passaggio per il punto di coordinate  $(F_1, d_1)$ , corrispondente al limite teorico del comportamento elastico lineare del dispositivo, e per il punto di coordinate  $(F_2, d_2)$ , corrispondente alla condizione di progetto allo SLC.



**NTC 2018**

Fig. 11.9.1 - Diagrammi forza – spostamento per dispositivi non lineari

# Tecnologie avanzate di protezione sismica: isolamento alla base e dissipazione supplementare di energia

NTC 2018

## 11.9.6. DISPOSITIVI A COMPORTAMENTO VISCOSO



## Indicazioni progettuali

I dispositivi a comportamento viscoso trasmettono, in generale, soltanto azioni orizzontali ed hanno rigidezza trascurabile nei confronti delle azioni verticali. Essi sono caratterizzati da un valore della forza proporzionale a  $v^\alpha$ , e pertanto non contribuiscono significativamente alla rigidezza del sistema. La relazione forza spostamento di un dispositivo viscoso, per una legge sinusoidale dello spostamento, è riportata in Fig. 11.9.2. La forma del ciclo è ellittica per  $\alpha=1$ .

Il loro comportamento è caratterizzato dalla massima forza sviluppata  $F_{\max}$  e dall'energia dissipata  $E_d$  in un ciclo, per una prefissata ampiezza e frequenza, ossia dalle costanti  $C$  e  $\alpha$ .

Per assicurare un comportamento ciclico stabile, le variazioni dell'energia dissipata  $E_d$  in una serie di cicli di carico riferiti a stessa velocità e spostamento massimi devono essere limitate nel modo seguente:

$$\left| E_{d(i)} - E_{d(3)} \right| / E_{d(3)} \leq 10\% \quad [11.9.7]$$

dove il pedice "(3)" si riferisce a quantità determinate nel terzo ciclo di carico ed il pedice "(i)" si riferisce a quantità relative all'i-esimo ciclo, escluso il primo ( $i \geq 2$ ).

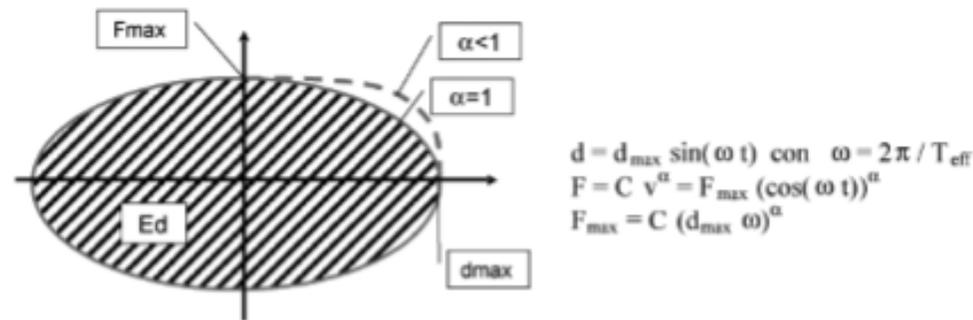


Fig. 11.9.2 – Dispositivi a comportamento viscoso

# Tecnologie avanzate di protezione sismica: isolamento alla base e dissipazione supplementare di energia

## I CONCETTI ESSENZIALI E LE MODIFICHE INTRODOTTE DALLE NTC-2018

Nel progettare un sistema di isolamento sismico va tenuto conto che i dispositivi esplicano innanzitutto la funzione di sostegno dei carichi verticali; devono poi avere una bassa rigidezza in direzione orizzontale, garantire la dissipazione di energia, il ricentraggio del sistema e un vincolo laterale, con adeguata rigidezza, sotto carichi orizzontali di servizio (non sismici).

La sovrastruttura e la sottostruttura si devono mantenere in campo sostanzialmente elastico, garantendo l'assenza di danni significativi in occasione del terremoto di progetto. Per questo la

struttura può essere progettata con riferimento ai particolari costruttivi richiesti per le costruzioni in "zone a sismicità molto bassa", con deroga, per le strutture in c.a., a quanto previsto per le strutture a comportamento dissipativo (§ 7.4.6) e per le strutture da ponte (§ 7.9.6). Secondo le NTC-2018 sono tali quelle zone caratterizzate, allo L3, da  $a_g S \leq 0.075g$ . In precedenza le norme facevano riferimento alla zona 4, caratterizzata da  $a_g \leq 0.05g$ , quindi definita sulla base della sola pericolosità di base riferita al suolo rigido, senza tener conto dell'amplificazione sismica locale.

Si ribadisce che al sistema d'isolamento, per il ruolo critico che esso svolge, è richiesta un'affidabilità superiore. Tale affidabilità si ritiene conseguita se il sistema d'isolamento è progettato e verificato sperimentalmente secondo quanto stabilito nel § 11.9.

**NTC 2018**

**NTC 2008**

# Tecnologie avanzate di protezione sismica: isolamento alla base e dissipazione supplementare di energia

NTC 2018

## 11.9.7. ISOLATORI ELASTOMERICI

### Indicazioni progettuali

Gli isolatori debbono avere pianta con due assi di simmetria ortogonali, così da presentare un comportamento il più possibile indipendente dalla direzione dell'azione orizzontale agente. Ai fini della determinazione degli effetti di azioni perpendicolari agli strati, le loro dimensioni utili debbono essere riferite alle dimensioni delle piastre in acciaio, depurate di eventuali fori, mentre per gli effetti delle azioni parallele alla giacitura degli strati si considererà la sezione intera dello strato di gomma.

Le piastre di acciaio devono essere conformi a quanto previsto nelle norme per gli apparecchi di appoggio, con un allungamento minimo a rottura del 18% e spessore minimo pari a 2 mm per le piastre interne e a 20 mm per le piastre esterne.

Si definiscono due fattori di forma:

$S_1$  fattore di forma primario, rapporto tra la superficie  $A'$  comune al singolo strato di elastomero ed alla singola piastra d'acciaio, depurata degli eventuali fori (se non riempiti successivamente), e la superficie laterale libera  $L$  del singolo strato di elastomero, maggiorata della superficie laterale degli eventuali fori (se non riempiti successivamente) ossia  $S_1 = A'/L$ ;

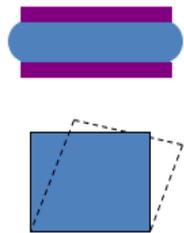
$S_2$  fattore di forma secondario, rapporto tra la dimensione in pianta  $D$  della singola piastra in acciaio, parallelamente all'azione orizzontale agente, e lo spessore totale  $t_e$  degli strati di elastomero ossia  $S_2 = D/t_e$ .

Gli isolatori in materiale elastomerico ed acciaio sono individuati attraverso le loro curve caratteristiche forza -spostamento, generalmente non lineari, tramite i due parametri sintetici: la rigidezza equivalente  $K_e$ , il coefficiente di smorzamento viscoso equivalente  $\xi_e$ .

La rigidezza equivalente  $K_e$ , relativa ad un ciclo di carico, è definita come rapporto tra la forza  $F$  corrispondente allo spostamento massimo  $d$  raggiunto in quel ciclo e lo stesso spostamento ( $K_e = F/d$ ) e si valuta come prodotto del modulo dinamico equivalente a taglio  $G_{din}$  per  $A/t_e$ .

Il coefficiente di smorzamento viscoso equivalente  $\xi_e$  si definisce come rapporto tra l'energia dissipata in un ciclo completo di carico  $E_d$  e  $2\pi Fd$ , ossia  $\xi_e = E_d/(2\pi Fd)$ .

La rigidezza verticale  $K_v$  è definita come rapporto tra la forza verticale di progetto  $F_v$  e lo spostamento verticale  $d_v$  ( $K_v = F_v/d_v$ ).



# Tecnologie avanzate di protezione sismica: isolamento alla base e dissipazione supplementare di energia

**NTC 2018**

## **11.9.8. ISOLATORI A SCORRIMENTO**



## **Indicazioni progettuali**

Gli isolatori a scorrimento devono essere in grado di sopportare, sotto spostamento massimo impresso pari a  $d_2$ , almeno 5 cicli di carico e scarico. I cicli si riterranno favorevolmente sopportati se il coefficiente d'attrito ( $f$ ), nei cicli successivi al primo, non varierà di più del 25% rispetto alle caratteristiche riscontrate durante il terzo ciclo, ossia

$$|f_{(i)} - f_{(3)}| / f_{(3)} \leq 0,25, \quad [11.9.9]$$

avendo contrassegnato con il pedice "(i)" le caratteristiche valutate all'i-esimo ciclo e con il pedice "(3)" le caratteristiche valutate al terzo ciclo. Detto  $d_{dc}$  lo spostamento massimo di progetto del centro di rigidità del sistema d'isolamento, corrispondente allo SLC, qualora l'incremento della forza nel sistema di isolamento per spostamenti tra  $0,5 d_{dc}$  e  $d_{dc}$  sia inferiore all' 1,25% del peso totale della sovrastruttura, gli isolatori a scorrimento debbono essere in grado di garantire la loro funzione di appoggio fino a spostamenti pari ad  $1,25 d_2$ .

### **11.9.8.1 PROVE DI ACCETTAZIONE SUI DISPOSITIVI**

Le prove di accettazione, devono essere effettuate su almeno il 20% dei dispositivi, comunque non meno di 4 e non più del numero di dispositivi da mettere in opera.

# Tecnologie avanzate di protezione sismica: isolamento alla base e dissipazione supplementare di energia

## **NTC 2018**

### **11.9.2. PROCEDURA DI QUALIFICAZIONE**

I dispositivi antisismici, per i quali si applica quanto specificato al punto A) del § 11.1, devono essere conformi alla norma europea armonizzata UNI EN 15129 e recare la Marcatura CE. Si applica il sistema di valutazione e verifica della costanza della prestazione previsto nella suddetta norma europea armonizzata per le applicazioni critiche.

Nel caso di dispositivi antisismici non ricadenti, o non completamente ricadenti, nel campo di applicazione della norma europea armonizzata UNI EN 15129, si applica il caso C) del §11.1.

In aggiunta a quanto previsto ai punti A) o C) del § 11.1, ogni fornitura deve essere accompagnata da un manuale contenente le specifiche tecniche per la posa in opera e la manutenzione.

Le procedure di qualificazione hanno lo scopo di dimostrare che il dispositivo è in grado di mantenere la propria funzionalità nelle condizioni d'uso previste durante tutta la vita di progetto.

# Tecnologie avanzate di protezione sismica: isolamento alla base e dissipazione supplementare di energia

## ***NTC 2018***

### **11.9.3. PROCEDURA DI ACCETTAZIONE**

I controlli di accettazione in cantiere sono obbligatori per tutte le tipologie di dispositivi e sono demandati al Direttore dei Lavori il quale, prima della messa in opera, è tenuto ad accertare e a verificare la prescritta documentazione di qualificazione, e a rifiutare le eventuali forniture non conformi. Il Direttore dei Lavori dovrà inoltre effettuare la verifica geometrica e delle tolleranze dimensionali, nonché le prove di accettazione di seguito specificate.

Le prove di accettazione devono essere eseguite e certificate da un laboratorio di cui all'articolo 59 del DPR 380/2001, dotato di adeguata competenza, attrezzatura ed organizzazione.

Per i dispositivi rientranti nel campo di applicazione della norma europea armonizzata UNI EN 15129, le metodologie per le prove di accettazione ed i relativi criteri di valutazione, ove non diversamente specificato nel seguito, sono quelli indicati, per ciascun tipo di dispositivo, nella suddetta norma europea armonizzata con riferimento alle prove di Controllo di Produzione in Fabbrica (*Factory Production Control tests*). Il numero dei dispositivi da sottoporre a prove di accettazione è di seguito specificato per ciascun tipo di dispositivo.

# Tecnologie avanzate di protezione sismica: isolamento alla base e dissipazione supplementare di energia

## **NTC 2018**

### **Modellazione e analisi strutturale (§ 7.10.5)**

Uno degli aspetti più importanti riguarda la variabilità nel tempo delle caratteristiche meccaniche dei dispositivi di isolamento. Le NTC-2018 prescrivono di adottare, nelle analisi di progetto, quelle più sfavorevoli che si possono verificare durante il periodo di riferimento  $V_R$  considerato, mentre le precedenti norme facevano riferimento alla vita utile. Si devono, pertanto, eseguire più analisi per ciascuno stato limite da verificare, attribuendo ai parametri del modello i valori estremi più sfavorevoli ai fini della valutazione delle grandezze da verificare e coerenti con l'entità delle deformazioni subite dai dispositivi. Nel caso in cui i valori estremi (massimo oppure minimo) differiscano di non più del 20% dal valor medio, si potranno adottare i valori medi delle proprietà meccaniche del sistema di isolamento. Le norme precedenti limitavano tale possibilità alle costruzioni di classe d'uso I e II.

# Tecnologie avanzate di protezione sismica: isolamento alla base e dissipazione supplementare di energia

## ***NTC 2018***

### **Modellazione e analisi strutturale (§ 7.10.5)**

Per quanto riguarda la modellazione, le NTC-2018 ribadiscono che la sovrastruttura e la sottostruttura devono essere modellate come sistemi a comportamento elastico lineare aventi rigidità corrispondente al comportamento strutturale non dissipativo. Il sistema di isolamento può essere modellato, in relazione alle sue caratteristiche meccaniche, come avente comportamento visco-elastico lineare oppure con legame costitutivo non lineare. La deformabilità verticale degli isolatori dovrà essere messa in conto quando il rapporto tra la rigidità verticale del sistema di isolamento  $K_v$  e la rigidità equivalente orizzontale  $K_{esi}$  è inferiore a 800. Inoltre, se ritenuta rilevante ai fini della risposta sismica della struttura isolata, è opportuno tenere in conto l'eventuale interazione terreno-struttura (§ 7.9.3.1).

# Tecnologie avanzate di protezione sismica: isolamento alla base e dissipazione supplementare di energia

## ***NTC 2018***

### **Modellazione e analisi strutturale (§ 7.10.5)**

Le tipologie di analisi previste sono quelle dell'analisi lineare statica, l'analisi lineare dinamica e l'analisi non lineare dinamica; non può essere usata l'analisi statica non lineare. Per l'analisi dinamica, qualora il sistema di isolamento non sia immediatamente al di sopra delle fondazioni, il modello deve comprendere sia la sovrastruttura sia la sottostruttura, a meno che (e questa è una specificazione aggiuntiva delle NTC-2018) la sottostruttura non sia assimilabile ad una struttura scatolare rigida, ossia abbia rigidezza rispetto alle azioni orizzontali significativamente maggiore di quella della struttura ad essa soprastante (§ 7.2.1).

# Tecnologie avanzate di protezione sismica: isolamento alla base e dissipazione supplementare di energia

## Verifiche (§ 7.10.6)

Secondo le nuove NTC-2018, per i dispositivi di isolamento e/o dissipazione, nelle costruzioni particolarmente esposte all'azione del vento e per i ponti in generale, vanno condotte anche le verifiche statiche allo SLU con riferimento alle combinazioni inerenti le azioni variabili orizzontali.

Con riferimento alle verifiche della sottostruttura allo L3, nell'ipotesi che questa possa essere considerata infinitamente rigida (ossia con periodo proprio  $< 0.05$  s), le forze d'inerzia direttamente applicate ad essa possono essere assunte pari al prodotto delle masse della sottostruttura per l'accelerazione del terreno  $a_g S$ , ossia portando in conto anche l'amplificazione locale, non considerata nelle precedenti norme. Le azioni sismiche vanno combinate secondo le solite regole:  $E_x + 0.3 \cdot E_y + 0.3 \cdot E_z$  e simili.

Per la valutazione della domanda allo L3 sugli elementi strutturali della sovrastruttura e della sottostruttura e sul terreno si ammette, nel caso di analisi lineare, un fattore di comportamento  $q \leq 1.5$  nel caso degli edifici e  $q = 1$  nel caso dei ponti e si adottano le regole di combinazione descritte al § 2.5.3. Le norme precedenti, invece, esprimevano diversamente tale possibilità, consentendo per la sola sovrastruttura di ridurre gli effetti dell'azione sismica del fattore  $q = 1.5$ , indipendentemente dal tipo di analisi.

# Tecnologie avanzate di protezione sismica: isolamento alla base e dissipazione supplementare di energia

## Verifiche (§ 7.10.6)

Le NTC-2018 ribadiscono che nelle condizioni di massima sollecitazione le parti dei dispositivi non impegnate nella funzione dissipativa devono rimanere in campo elastico con un coefficiente di sicurezza  $\geq 1.5$  e che, nelle costruzioni di classe d'uso IV, le eventuali connessioni, strutturali e non, particolarmente quelle degli impianti, fra la struttura isolata e il terreno o le parti di strutture non isolate devono assorbire gli spostamenti relativi previsti dal calcolo, senza danni.

Inoltre, al fine di evitare il martellamento tra diverse parti tra loro contigue, vale quanto riportato in generale al § 7.2.1, nella sezione "Distanza tra costruzioni contigue", e per i ponti al § 7.9.5.2, dove si fa riferimento agli spostamenti allo L3, a vantaggio di sicurezza, tenuto conto anche della gravità delle conseguenze di un eventuale martellamento, si potrebbe far riferimento agli spostamenti allo L4.

I dispositivi del sistema d'isolamento devono essere in grado di sostenere, senza rotture, gli spostamenti  $d_2$ , valutati per un terremoto riferito allo L4. Disposizioni aggiuntive vengono fornite per gli appoggi mobili (§§ 7.9.5.3.2 e 7.2.1), e per i dispositivi di fine corsa (§ 7.9.5.3.3).

# Costruzioni esistenti – Cap. 8 NTC2018

## 8.4. CLASSIFICAZIONE DEGLI INTERVENTI

Si individuano le seguenti categorie di intervento:

- *interventi di riparazione o locali*: interventi che interessino singoli elementi strutturali e che, comunque, non riducano le condizioni di sicurezza preesistenti;
- *interventi di miglioramento*: interventi atti ad aumentare la sicurezza strutturale preesistente, senza necessariamente raggiungere i livelli di sicurezza fissati al § 8.4.3;
- *interventi di adeguamento*: interventi atti ad aumentare la sicurezza strutturale preesistente, conseguendo i livelli di sicurezza fissati al § 8.4.3.

Solo gli interventi di miglioramento ed adeguamento sono sottoposti a collaudo statico.

Per gli interventi di miglioramento e di adeguamento l'esclusione di provvedimenti in fondazione dovrà essere in tutti i casi motivata esplicitamente dal progettista, attraverso una verifica di idoneità del sistema di fondazione in base ai criteri indicati nel §8.3.

Qualora l'intervento preveda l'inserimento di nuovi elementi che richiedano apposite fondazioni, queste ultime dovranno essere verificate con i criteri generali di cui ai precedenti Capitoli 6 e 7, così come richiesto per le nuove costruzioni.

Per i beni di interesse culturale ricadenti in zone dichiarate a rischio sismico, ai sensi del comma 4 dell'art. 29 del DLgs 22 gennaio 2004, n. 42 "Codice dei beni culturali e del paesaggio", è in ogni caso possibile limitarsi ad interventi di miglioramento effettuando la relativa valutazione della sicurezza.

# Costruzioni esistenti – Cap. 8 NTC2018

## 8.4.2. INTERVENTO DI MIGLIORAMENTO

La valutazione della sicurezza e il progetto di intervento dovranno essere estesi a tutte le parti della struttura potenzialmente interessate da modifiche di comportamento, nonché alla struttura nel suo insieme.

Per la combinazione sismica delle azioni, il valore di  $\zeta_E$  può essere minore dell'unità. A meno di specifiche situazioni relative ai beni culturali, per le costruzioni di classe III ad uso scolastico e di classe IV il valore di  $\zeta_E$ , a seguito degli interventi di miglioramento, deve essere comunque non minore di 0,6, mentre per le rimanenti costruzioni di classe III e per quelle di classe II il valore di  $\zeta_E$ , sempre a seguito degli interventi di miglioramento, deve essere incrementato di un valore comunque non minore di 0,1.

Nel caso di interventi che prevedano l'impiego di sistemi di isolamento, per la verifica del sistema di isolamento, si deve avere almeno  $\zeta_E = 1,0$ .

Costruzioni ad uso scolastico:  $\zeta_E \geq 0,6$   
Costruzioni di classe II e III:  $\Delta\zeta_E \geq 0,1$

Costruzioni con isolamento:  $\zeta_E = 1,0$

# Costruzioni esistenti – Cap. 8 NTC2018

## 8.7.4. Criteri e tipi d'intervento

### 8.7.4. CRITERI E TIPI D'INTERVENTO

Per tutte le tipologie di costruzioni esistenti gli interventi vanno progettati ed eseguiti, per quanto possibile, in modo regolare ed uniforme. L'esecuzione di interventi su porzioni limitate dell'edificio va opportunamente valutata e giustificata, considerando la variazione nella distribuzione delle rigidezze e delle resistenze e la conseguente eventuale interazione con le parti restanti della struttura. Particolare attenzione deve essere posta alla fase esecutiva degli interventi, in quanto una cattiva esecuzione può peggiorare il comportamento globale della costruzione.

La scelta del tipo, della tecnica, dell'entità e dell'urgenza dell'intervento dipende dai risultati della precedente fase di valutazione, dovendo mirare prioritariamente a contrastare lo sviluppo di meccanismi locali e/o di meccanismi fragili e, quindi, a migliorare il comportamento globale della costruzione.

In generale dovranno essere valutati e curati gli aspetti seguenti:

- riparazione di eventuali danni presenti;
- riduzione delle carenze dovute ad errori grossolani;
- miglioramento della capacità deformativa ("duttilità") di singoli elementi;
- riduzione delle condizioni, anche legate alla presenza di elementi non strutturali, che determinano situazioni di forte irregolarità, sia planimetrica sia altimetrica, degli edifici, in termini di massa, resistenza e/o rigidezza;
- riduzione delle masse, anche mediante demolizione parziale o variazione di destinazione d'uso;
- riduzione dell'impegno degli elementi strutturali originari mediante l'introduzione di sistemi d'isolamento o di dissipazione di energia;
- riduzione dell'eccessiva deformabilità degli orizzontamenti, sia nel loro piano che ortogonalmente ad esso,
- miglioramento dei collegamenti degli elementi non strutturali, alla struttura e tra loro;
- incremento della resistenza degli elementi verticali resistenti, tenendo eventualmente conto di una possibile riduzione della duttilità globale per effetto di rinforzi locali;
- realizzazione, ampliamento, eliminazione di giunti sismici o interposizione di materiali atti ad attenuare gli eventuali urti;
- miglioramento del sistema di fondazione, ove necessario.

# Costruzioni esistenti – Cap. 8 NTC2018

## 8.7.4. Criteri e tipi d'intervento

.....

Interventi su parti non strutturali ed impianti sono necessari quando, in aggiunta a motivi di funzionalità, la loro risposta sismica possa mettere a rischio la vita degli occupanti o produrre danni ai beni contenuti nella costruzione. Per il progetto di interventi atti ad assicurare l'integrità di tali parti valgono le prescrizioni fornite nei §§ 7.2.3 e 7.2.4.

Per le strutture in muratura, inoltre, dovranno essere valutati e curati gli aspetti seguenti:

- miglioramento dei collegamenti tra orizzontamenti e pareti, tra copertura e pareti, tra pareti confluenti in martelli murari o angolate;
- riduzione ed eliminazione delle spinte non contrastate di coperture, archi e volte;
- rafforzamento delle pareti intorno alle aperture.

Per le strutture in c.a. ed in acciaio si prenderanno in considerazione, valutandone l'eventuale necessità e l'efficacia, anche le tipologie di intervento di seguito esposte o loro combinazioni:

- rinforzo di tutti o parte degli elementi;
- aggiunta di nuovi elementi resistenti, quali pareti in c.a., controventi in acciaio, etc.;
- eliminazione di eventuali meccanismi "di piano";
- introduzione di un sistema strutturale aggiuntivo in grado di resistere per intero all'azione sismica di progetto;
- eventuale trasformazione di elementi non strutturali in elementi strutturali, come nel caso di incamiciatura in c.a. di pareti in laterizio.

Infine, per le strutture in acciaio, potranno essere valutati e curati gli aspetti seguenti:

- miglioramento della stabilità degli elementi e della struttura;
- incremento della resistenza e/o della rigidezza dei collegamenti;
- miglioramento dei dettagli costruttivi nelle zone dissipative;
- introduzione di indebolimenti locali controllati, finalizzati ad un miglioramento del meccanismo di collasso.

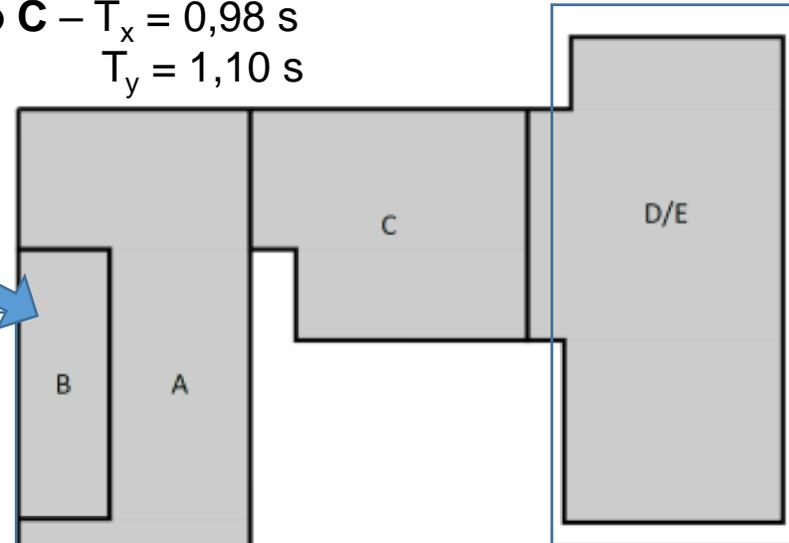
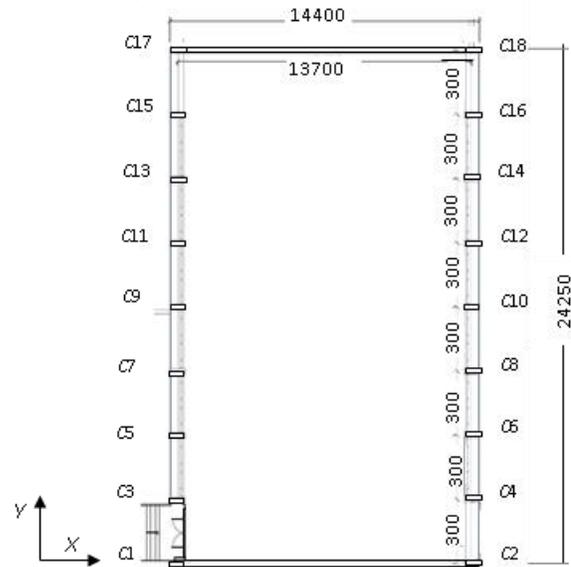
# Scuola S1



**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

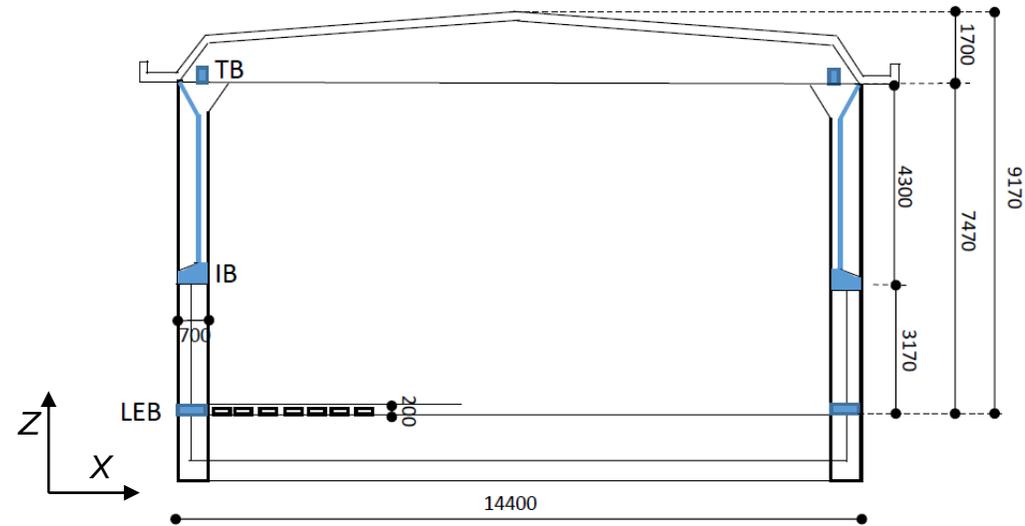


**Blocco D/E** –  $T_x = 0,35$  s  
 $T_y = 0,89$  s

## Scuola S1 – Blocco D/E

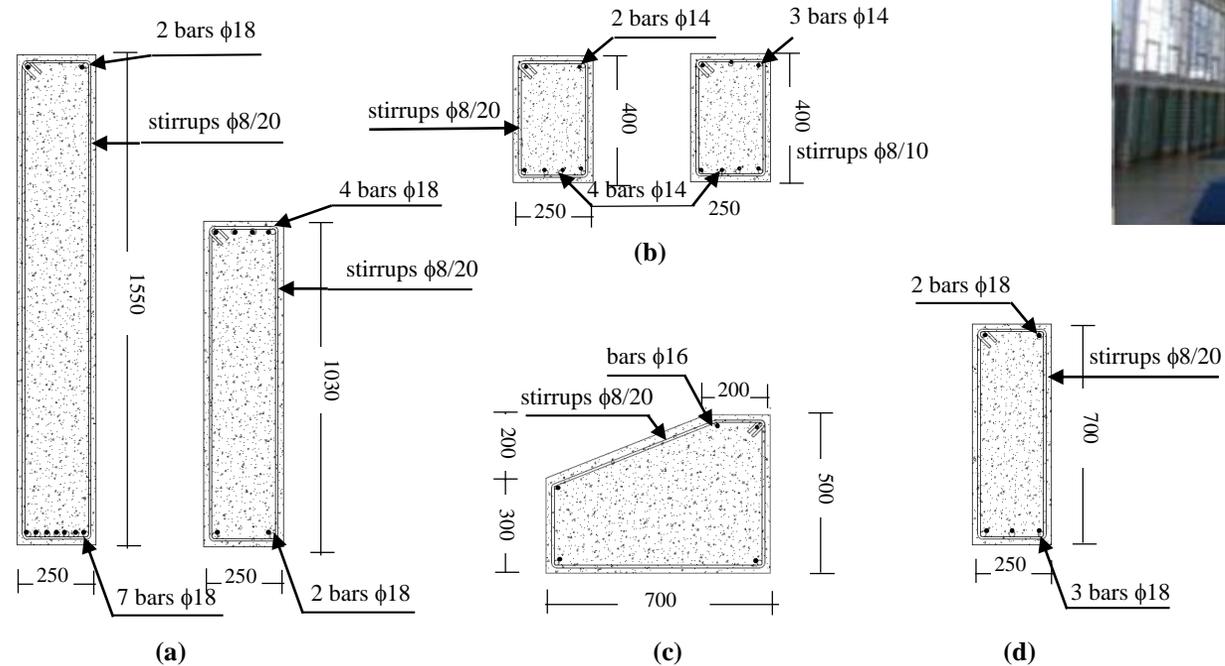


Viste laterali, frontali ed interna della costruzione



Sezione trasversale di un telaio della palestra

## Scuola S1



Sezioni trasversali degli elementi: (a) trave di copertura – sezioni di mezzeria ed agli appoggi; (b) trave TB – sezioni di mezzeria ed agli appoggi; (c) trave intermedia IB, e colonne (d).



Non soddisfacente resistenza per pressoflessione

➤ *Applicazione di tecnologie avanzate di protezione sismica per dissipazione supplementare di energia: controventi dissipativi applicati ad edifici esistenti*

**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)**



**NO!**

- *Applicazione di tecnologie avanzate di protezione sismica per dissipazione supplementare di energia: controventi dissipativi applicati ad edifici esistenti*

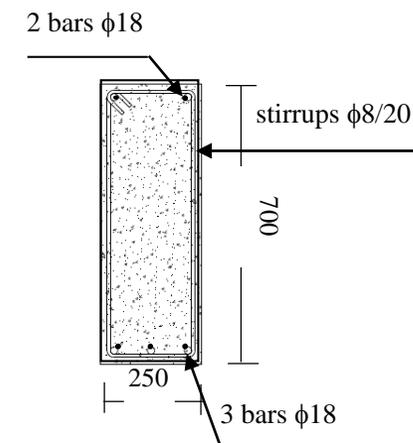
**Applicazione di controventi dissipativi preminentemente smorzanti al caso della palestra**



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

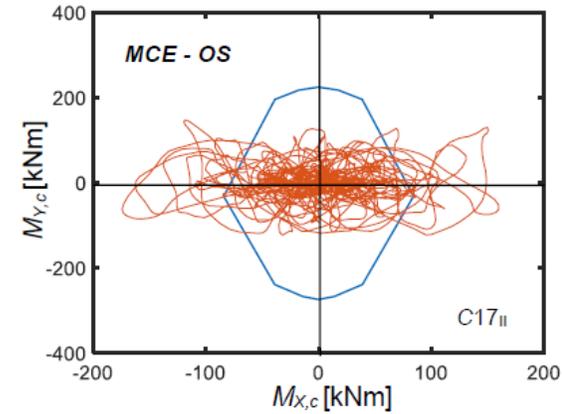
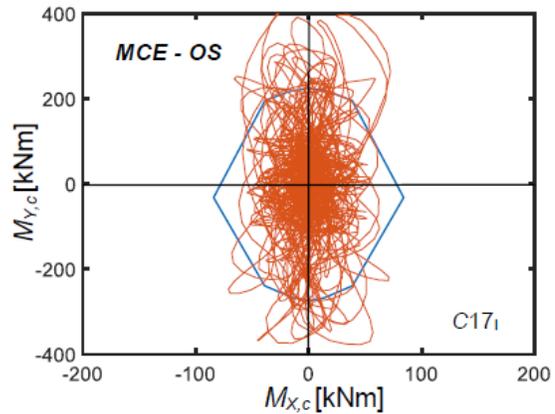
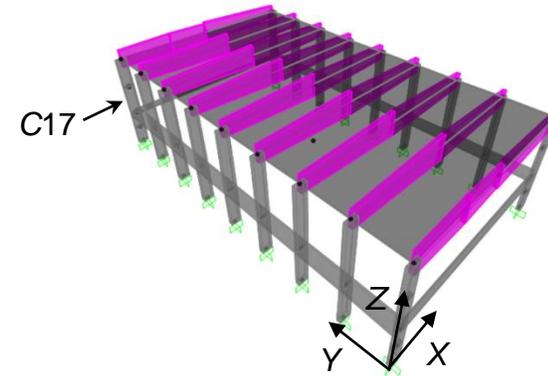
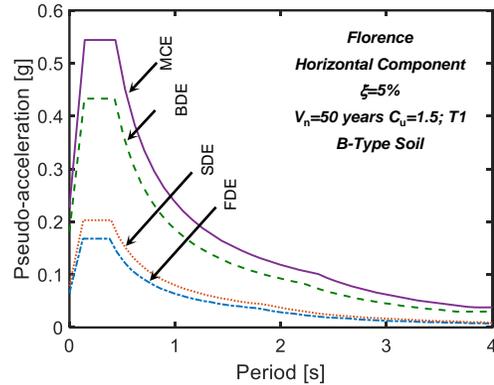
In direzione X la struttura presenta problemi di **resistenza per pressoflessione**

In direzione Y le criticità riguardano sia le **sollecitazioni** che gli **spostamenti**



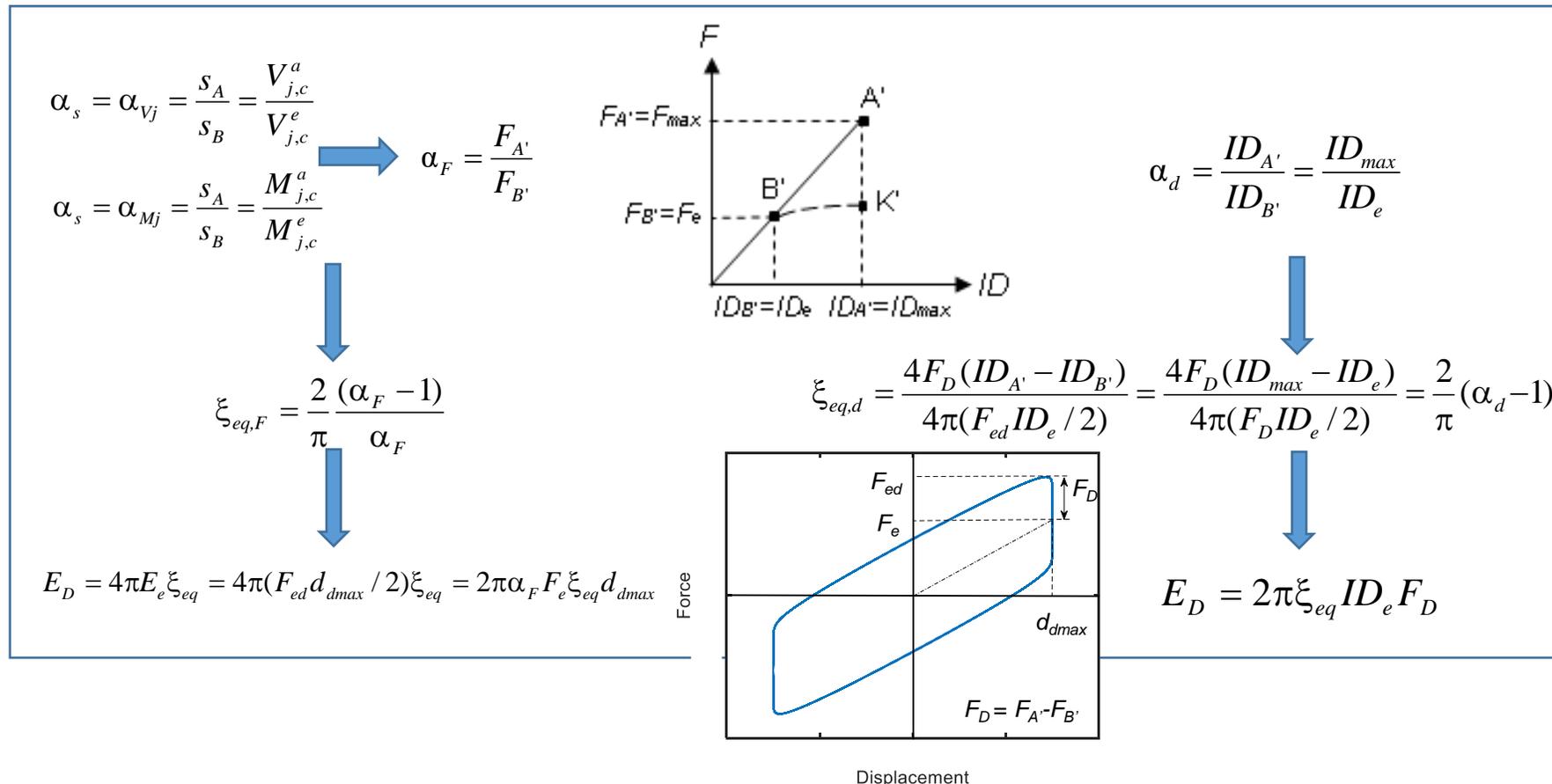
# Applicazione di controventi dissipativi al caso della palestra

*Stato attuale: analisi dinamica per azioni con  $P_{VR} 5\%/V_R$*



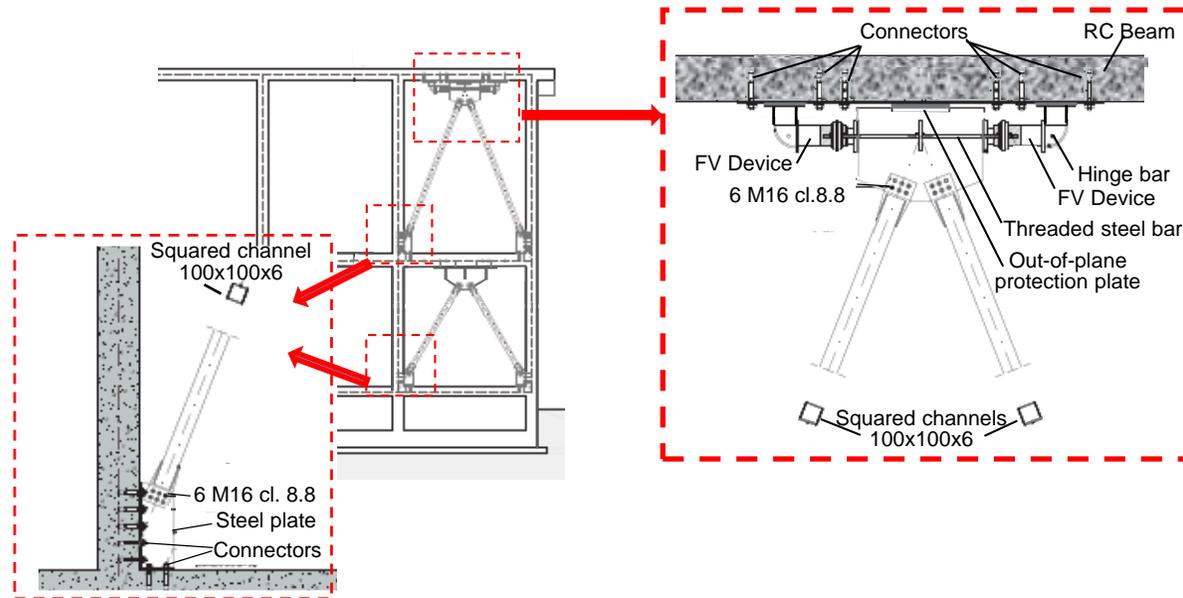
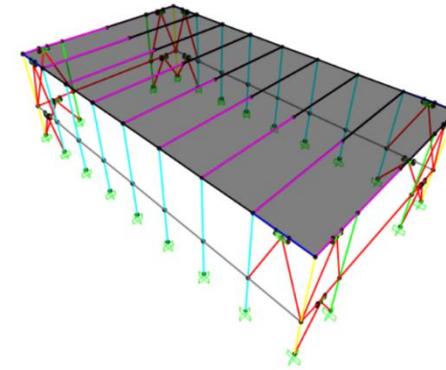
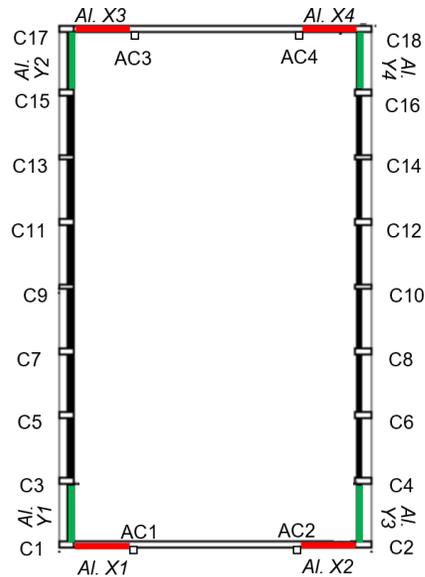
## Procedura speditiva di progetto di dispositivi di controventamento dissipativo preminentemente smorzanti

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



# Applicazione della procedura al caso della palestra

## Struttura con controventi dissipativi al secondo livello

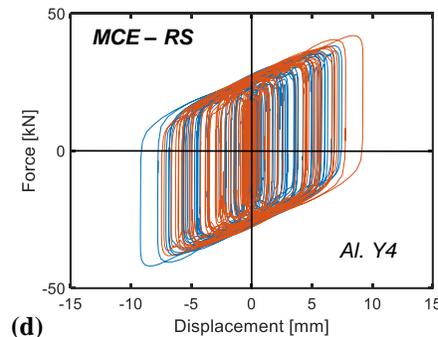
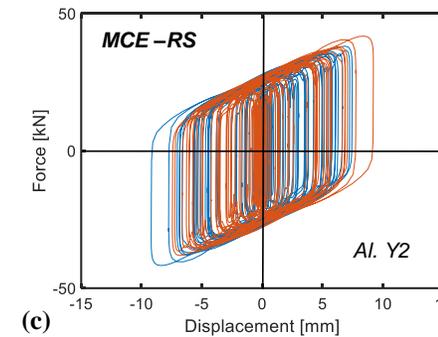
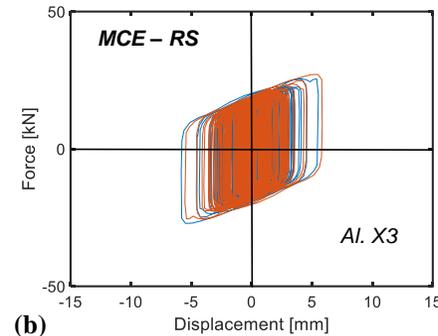
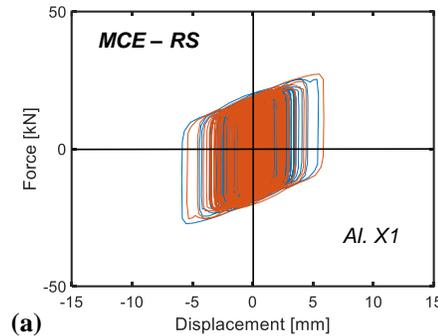


## Applicazione della procedura al caso della palestra

**Riverifica della risposta strutturale nel caso di intervento:  
analisi dinamica per azioni con  $P_{VR} 5\%/V_R$**

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

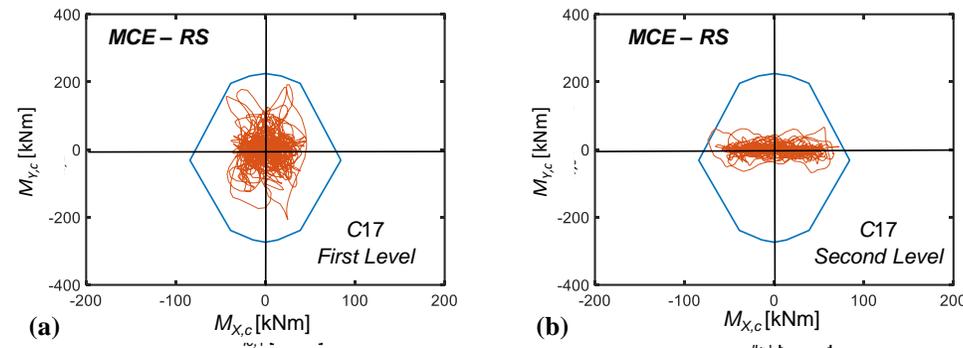
$$T_y = 0,83 \text{ s}$$



Retrofitted structure (RS). Response cycles of the spring-damper pairs installed in Al. X1 (a), Al. X3 (b), Al. Y2 (c) and Al. Y4 (d) vertical alignments obtained from the most demanding MCE-scaled group of accelerograms.

## Applicazione della procedura al caso della palestra

*Riverifica della risposta strutturale nel caso di intervento:  
analisi dinamica per azioni con  $P_{VR} 5\%/V_R$*



Retrofitted structure (RS).  $M_{X,c}$ - $M_{Y,c}$  biaxial moment interaction curves at the base section of column C17 on first level (a) and second level (b) obtained from the most demanding MCE-scaled group of accelerograms.

## Scuola S1 – Blocco D/E (Palestra)

**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

$$\text{IS-V(PGA)} = \text{PGA}_C / \text{PGA}_D$$

$$\text{IS-V(T)} = (\text{T}_{RC} / \text{T}_{RD})^{0.41}$$

$\text{T}_{RC}$  = Periodo di ritorno in termini di capacità

$\text{T}_{RD}$  = Periodo di ritorno in termini di domanda

$\text{PGA}_C$  = PGA di capacità

$\text{PGA}_D$  = PGA di domanda



***Coordinatrice Nazionale: Prof.ssa Ing. Gloria Terenzi***

Le attività della Commissione Sismica-GLIS sono finalizzate alla divulgazione delle tecniche di protezione sismica fra i tecnici professionisti e dipendenti di enti locali.

Per maggiori informazioni anche riguardo all'iscrizione rivolgersi a: [sismicaglis@antelitalia.it](mailto:sismicaglis@antelitalia.it)