

Università di Trieste
Dipartimento di Ingegneria e Architettura

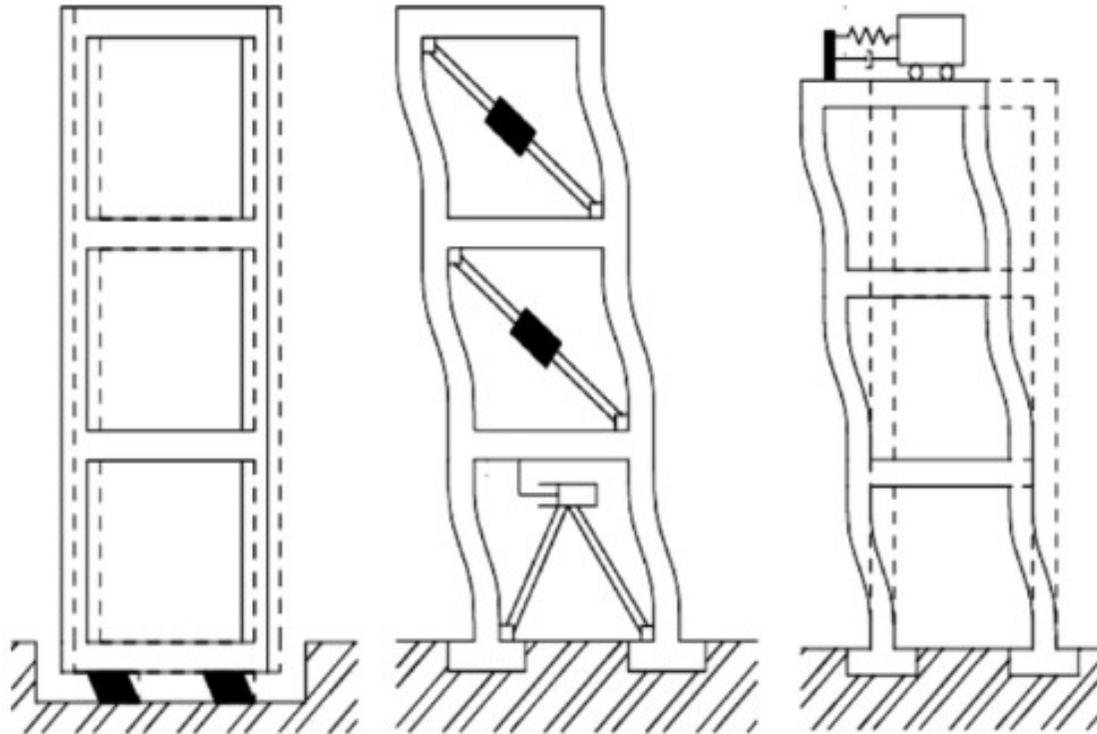
Corso di
Progettazione e riabilitazione
Sismica delle Strutture

Modulo 1: Progettazione strutturale in zona sismica

COSTRUZIONI CON ISOLATORI O DISSIPATORI

Prof. Ing. Natalino Gattesco

STRATEGIE MODERNE DI PROTEZIONE SISMICA



**Isolamento
alla base**

**Uso di
dissipatori
energetici**

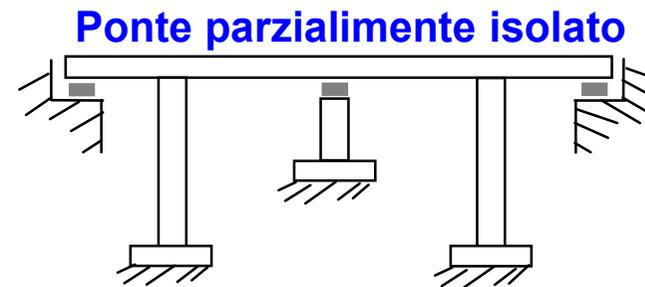
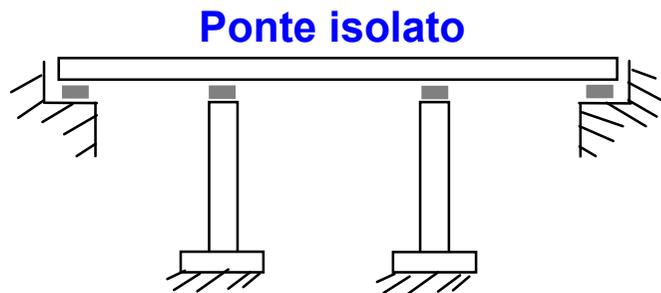
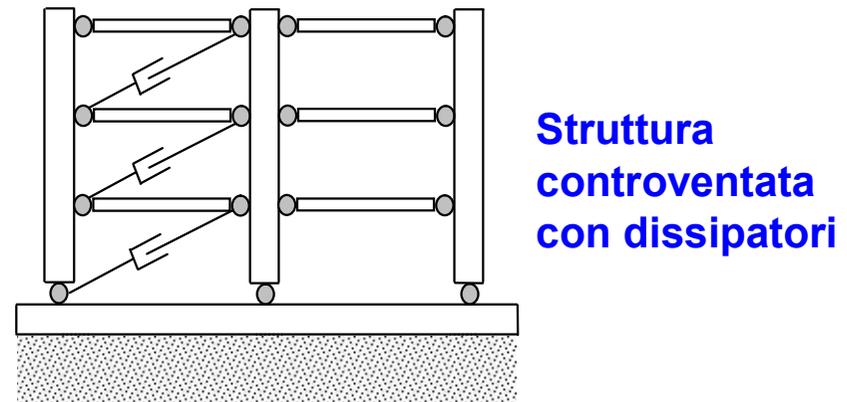
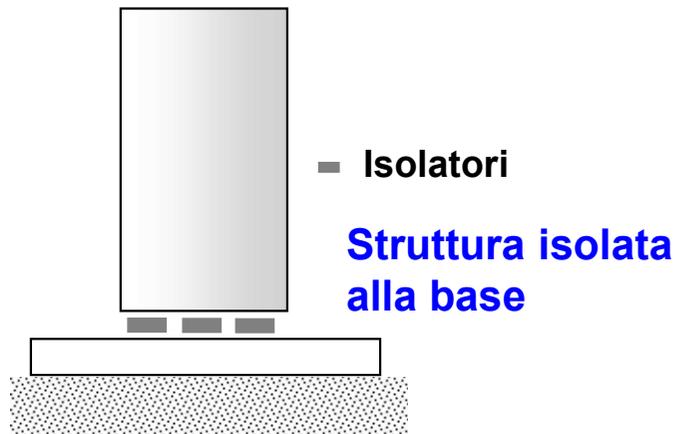
**Smorzamento
con masse
accordate**

Edifici alti

STRATEGIE MODERNE DI PROTEZIONE SISMICA

Le strategie moderne per migliorare le prestazioni sismiche delle costruzioni consistono nell'impiego di:

- Isolatori alla base
- Dissipatori distribuiti all'interno della struttura



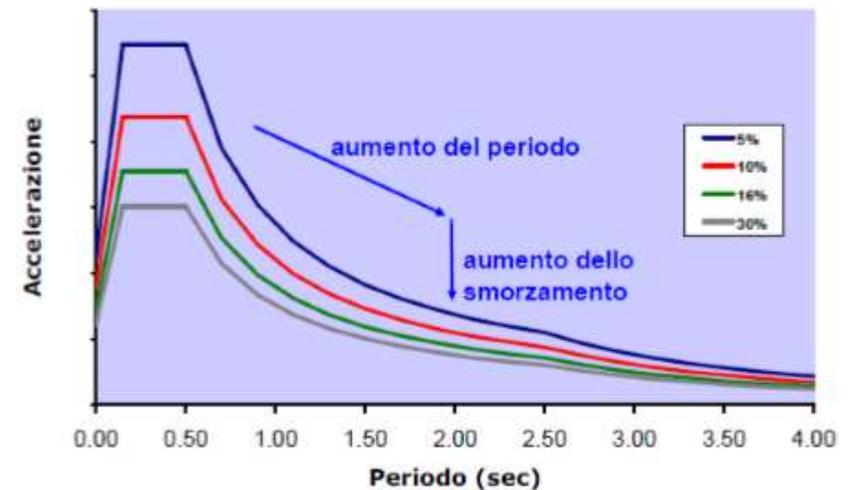
SISTEMI DI ISOLAMENTO

Per migliorare le prestazioni sismiche delle costruzioni, si possono utilizzare opportuni dispositivi:

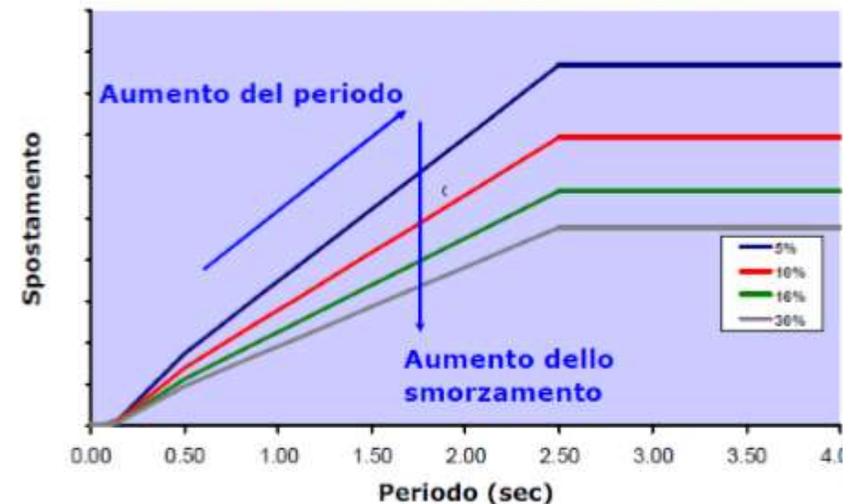
Isolatori sismici

- *Isolatori in gomma naturale armata*
- *Isolatori a pendolo scorrevole*

Spettro d'accelerazione di progetto



Spettro dello spostamento di progetto

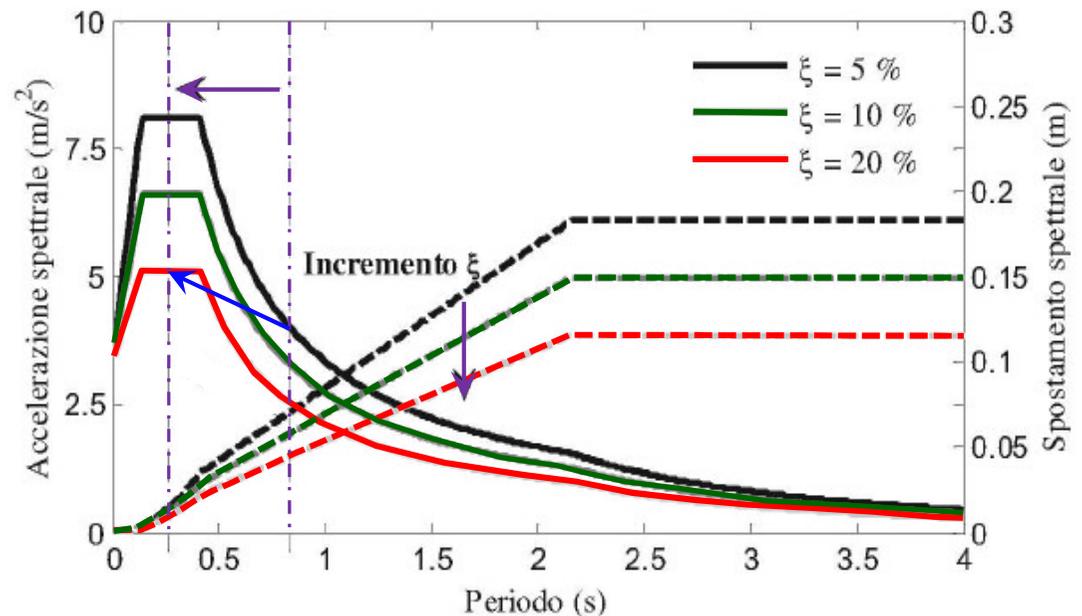
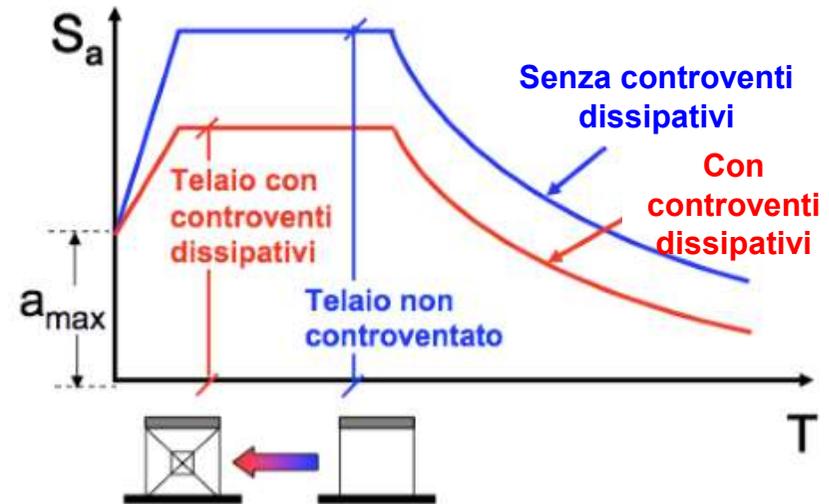


SISTEMI DI DISSIPAZIONE

Per migliorare le prestazioni sismiche delle costruzioni, si possono utilizzare opportuni dispositivi:

Dissipatori energetici

- *Ad attrito*
- *Viscoelastici*
- *Ricentranti*



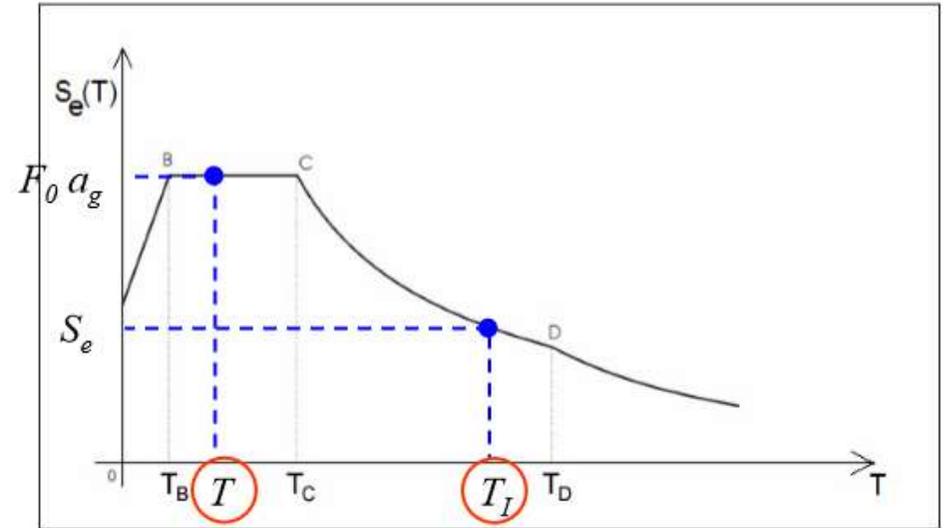
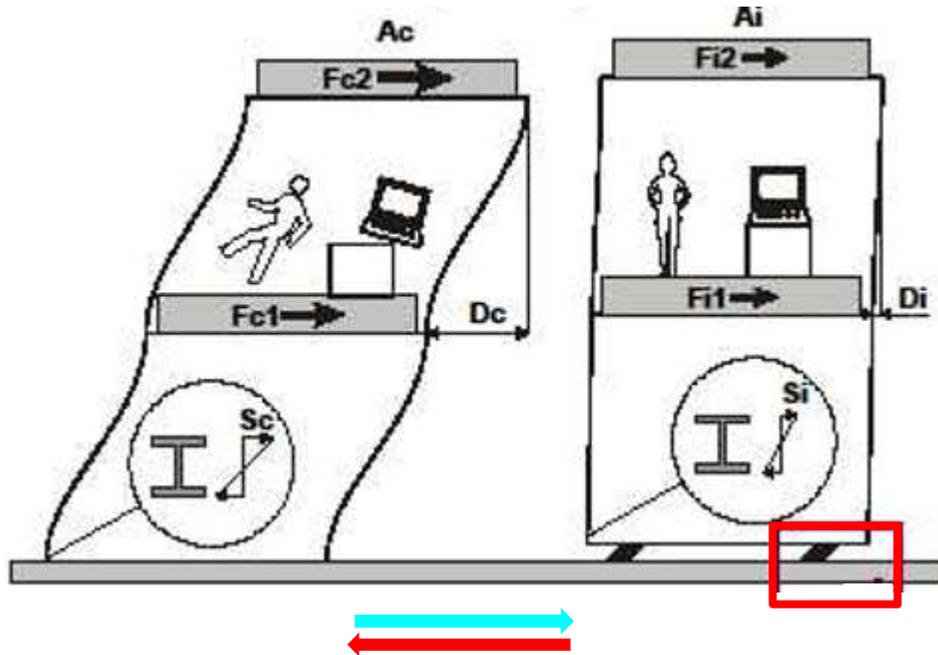
ISOLATORI IN GOMMA ARMATA

Edificio
convenzionale

$$F_{c2} \gg F_{c1}$$

Edificio
isolato

$$F_{i2} \cong F_{i1}$$



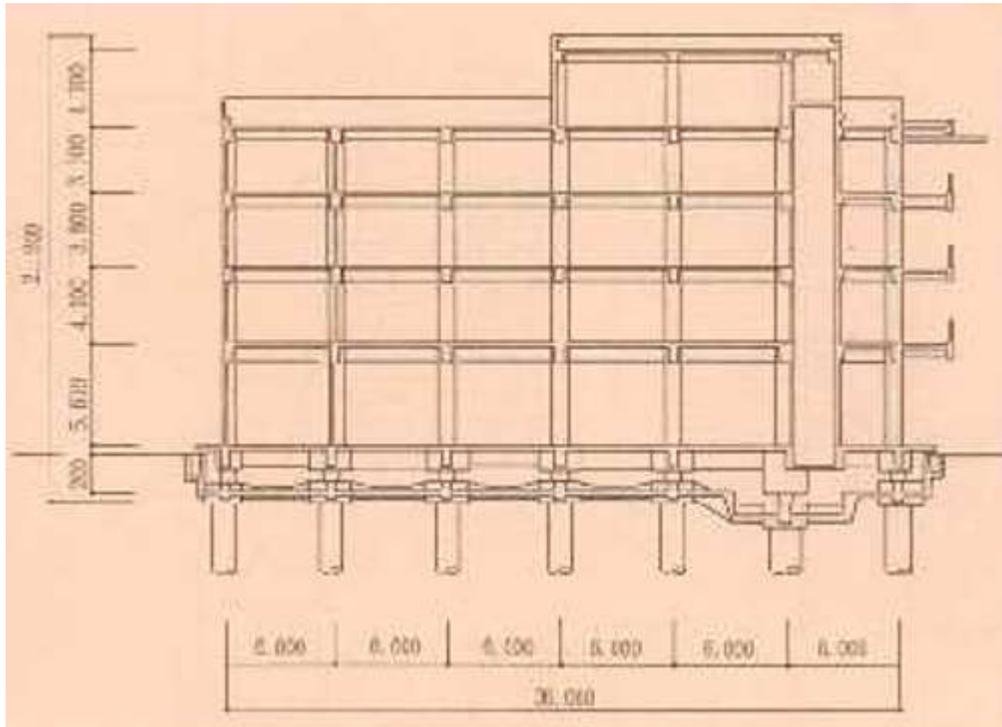
$$S_{a,c} \gg S_{a,i} \quad S_{d,c} \ll S_{d,i}$$

$$F_c \gg F_i \quad D_c \gg D_i$$



ISOLATORI IN GOMMA ARMATA

Isolamento edificio della Oiles GRP, Fujisawa, Giappone.



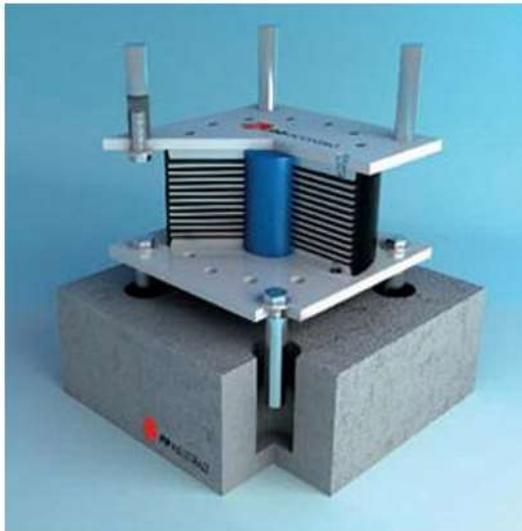
Devono essere facilitate:

- *Ispezionabilità, manutenzione, protezione, sostituzione*

ISOLATORI IN GOMMA ARMATA



Isolatore in gomma
HDRB (High Damping Rubber Bearings)



Isolatore in gomma e piombo
LRB (Lead core Rubber Bearings)



ISOLATORI IN GOMMA ARMATA

	LRB Lead core Rubber Bearings	HDRB High Damping Rubber Bearings	MLRB Multi layer Low damping Rubber Bearings
			
Coeff. di smorzamento viscoso equivalente	25 – 30%	10 – 16%	4%
Rigidezza orizzontale	Alta	Medio – Bassa	Medio - Bassa
Carico verticale	Alta	Alta	Alta
Oscillazione orizzontale	Medio - Alta	Alta	Media
Capacità di ricentraggio	Media	Alta	Alta

INTERVENTI CON ISOLATORI IN GOMMA

Scuola “Jovine” San Giuliano di Puglia



Crollo durante il sisma del 31 ottobre 2012

INTERVENTI CON ISOLATORI IN GOMMA

Nuova scuola "Jovine" San Giuliano di Puglia



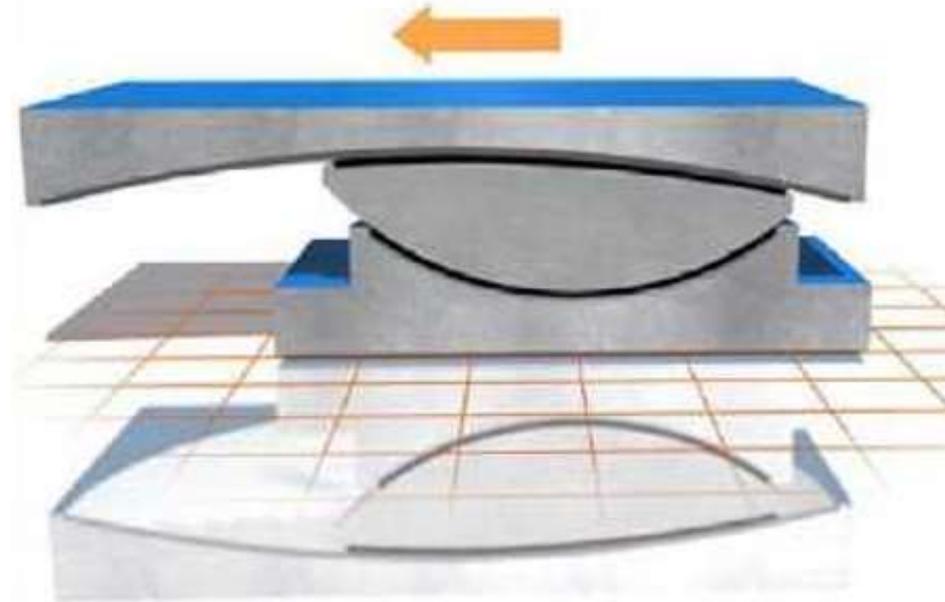
**Nuova scuola ricostruita con
isolamento alla base.**

**Utilizzati 61 HDRB (diametri 600-700
mm)**

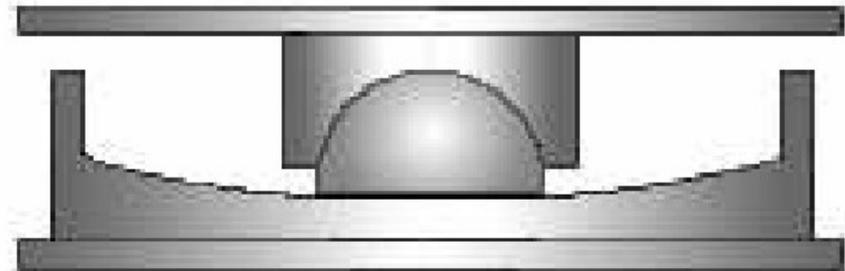


ISOLATORI A PENDOLO SCORREVOLE

L'attrito si oppone allo scorrimento e la gravità favorisce il ricentraggio, oltre a contribuire a contrastare lo slittamento.

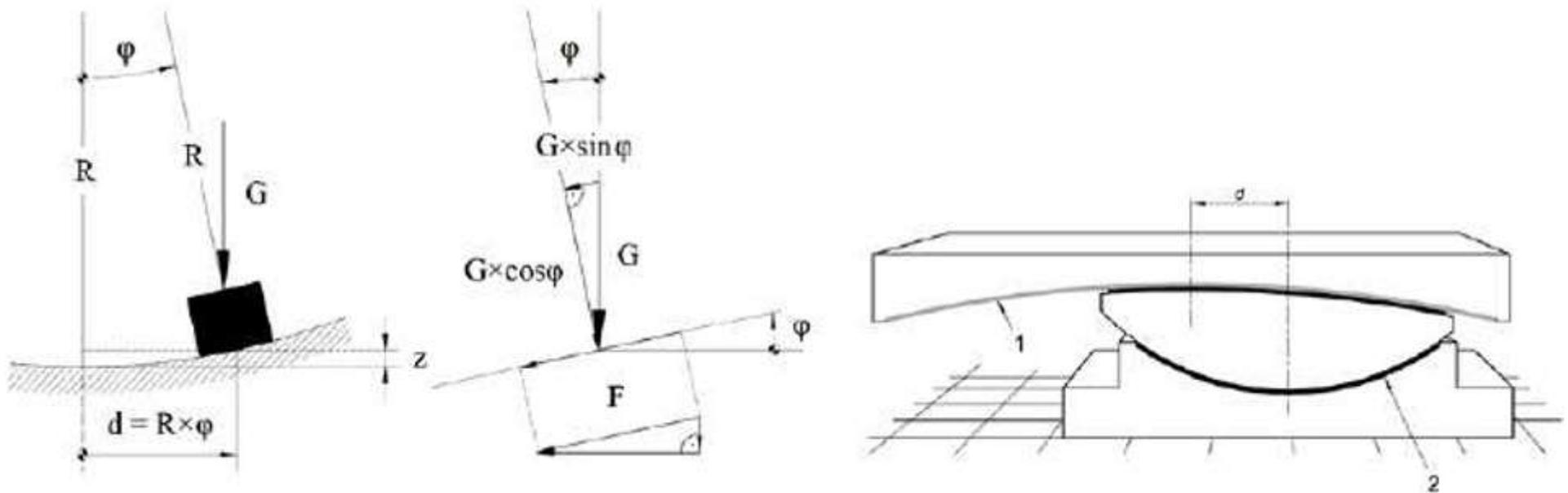


Isolatore a curvatura semplice



ISOLATORI A PENDOLO SCORREVOLE

Per slittare è necessario il sollevamento dell'edificio. La forza di richiamo dipende dall'angolo di rotazione φ .



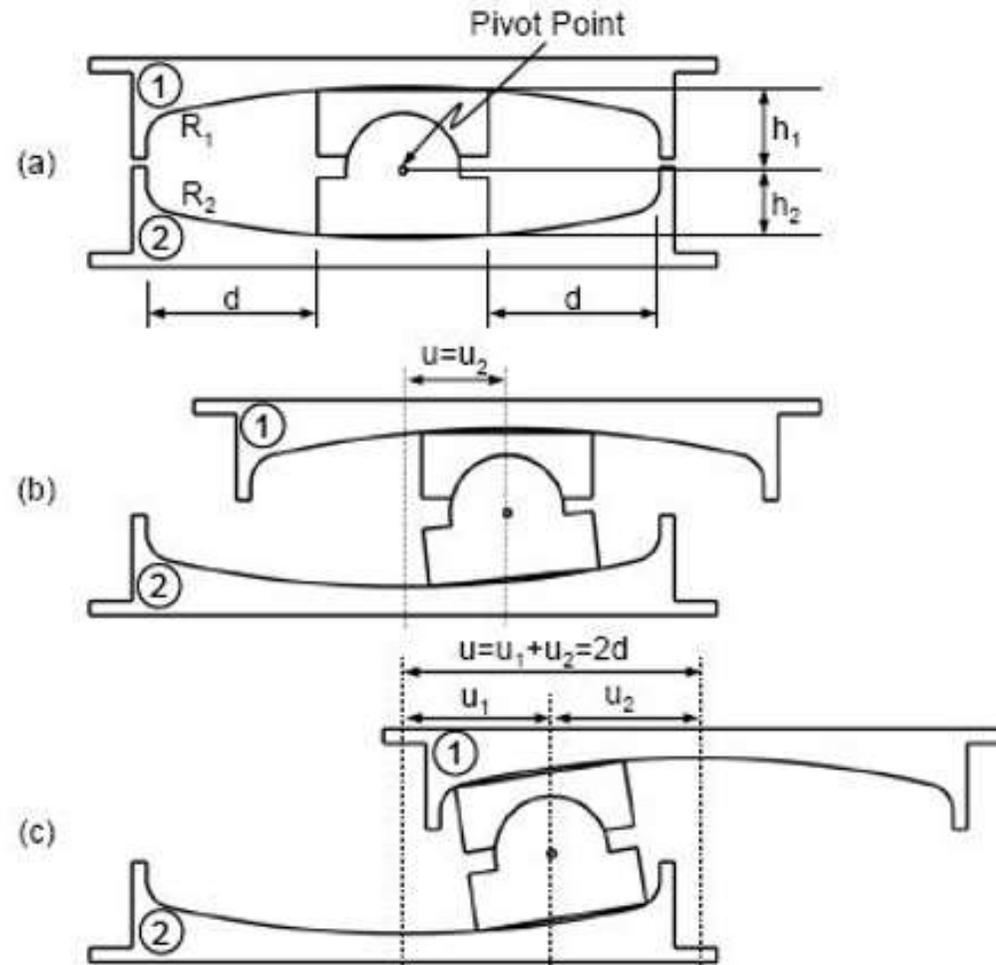
$$T = 2\pi \sqrt{\frac{R}{g}}$$

Periodo di vibrazione edificio isolato

ISOLATORI A PENDOLO SCORREVOLE



ISOLATORI A PENDOLO SCORREVOLE

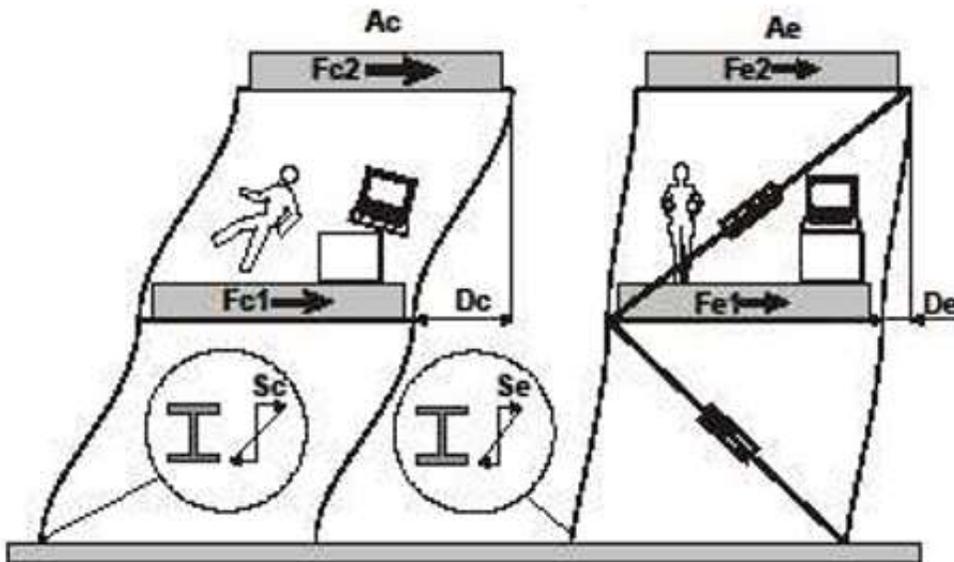


Isolatore a doppia curvatura

DISSIPAZIONE DI ENERGIA

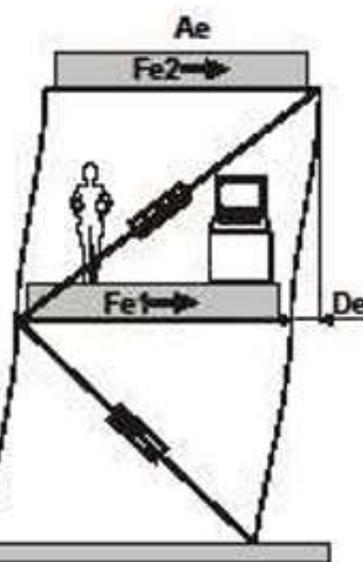
Edificio
convenzionale

$$F_{c2} \gg F_{c1}$$

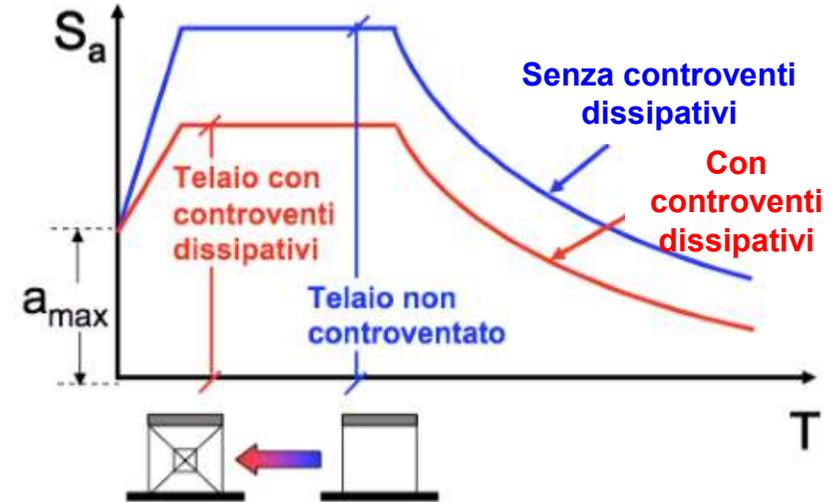


Edificio con
dissipatori

$$F_{e2} > F_{e1}$$

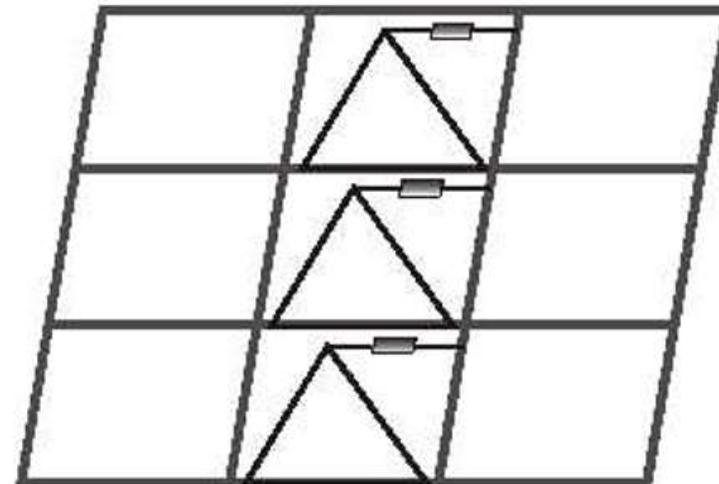
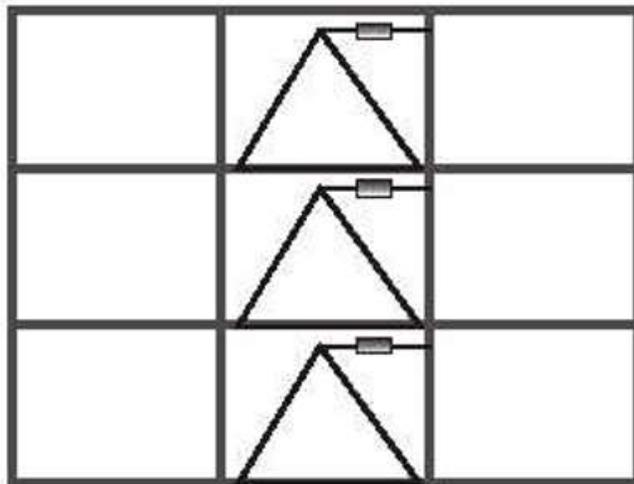
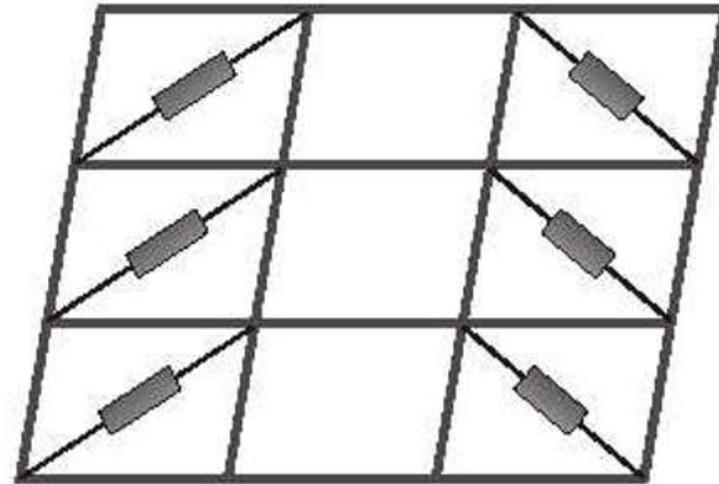
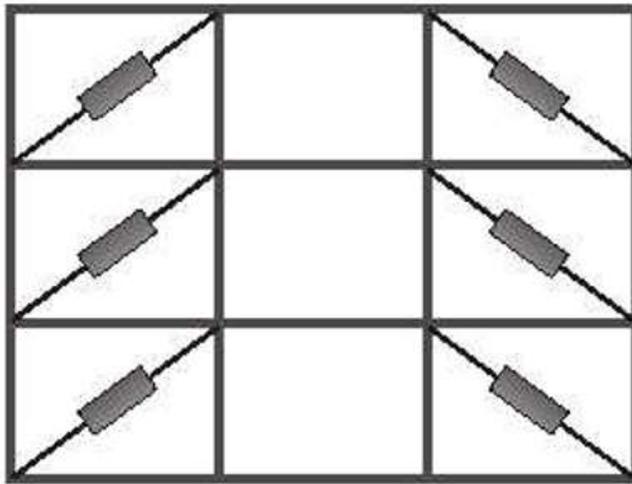


$S_{a,c} > S_{a,e}$	$S_{d,c} > S_{d,e}$
$F_c > F_e$	$D_c > D_e$



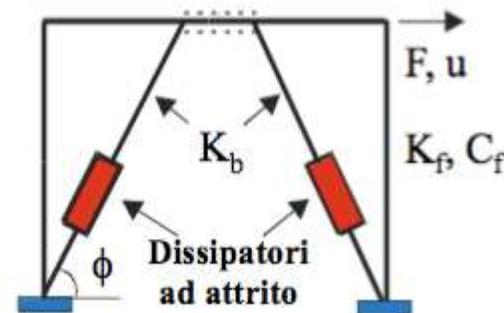
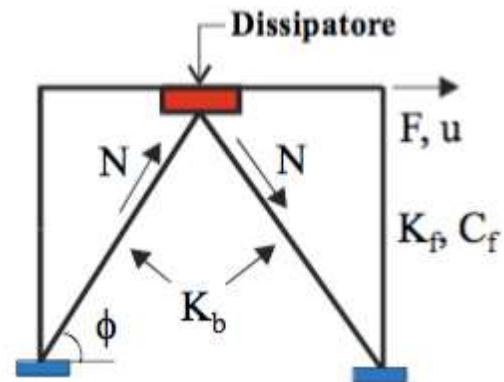
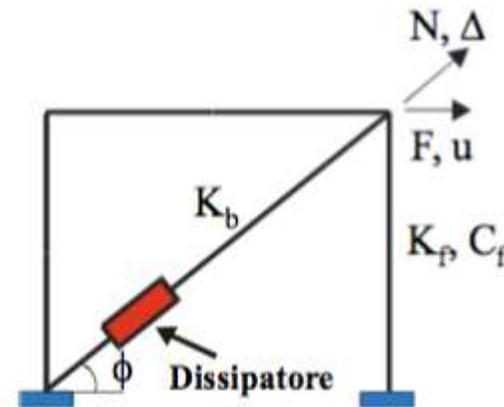
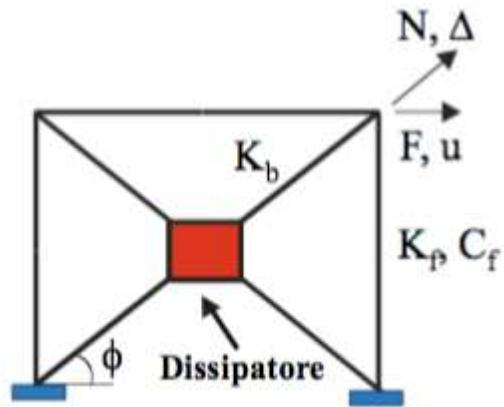
INTERVENTO CON DISSIPATORI

Dissipatori ad attrito, viscoelastici, ricentranti, ecc.



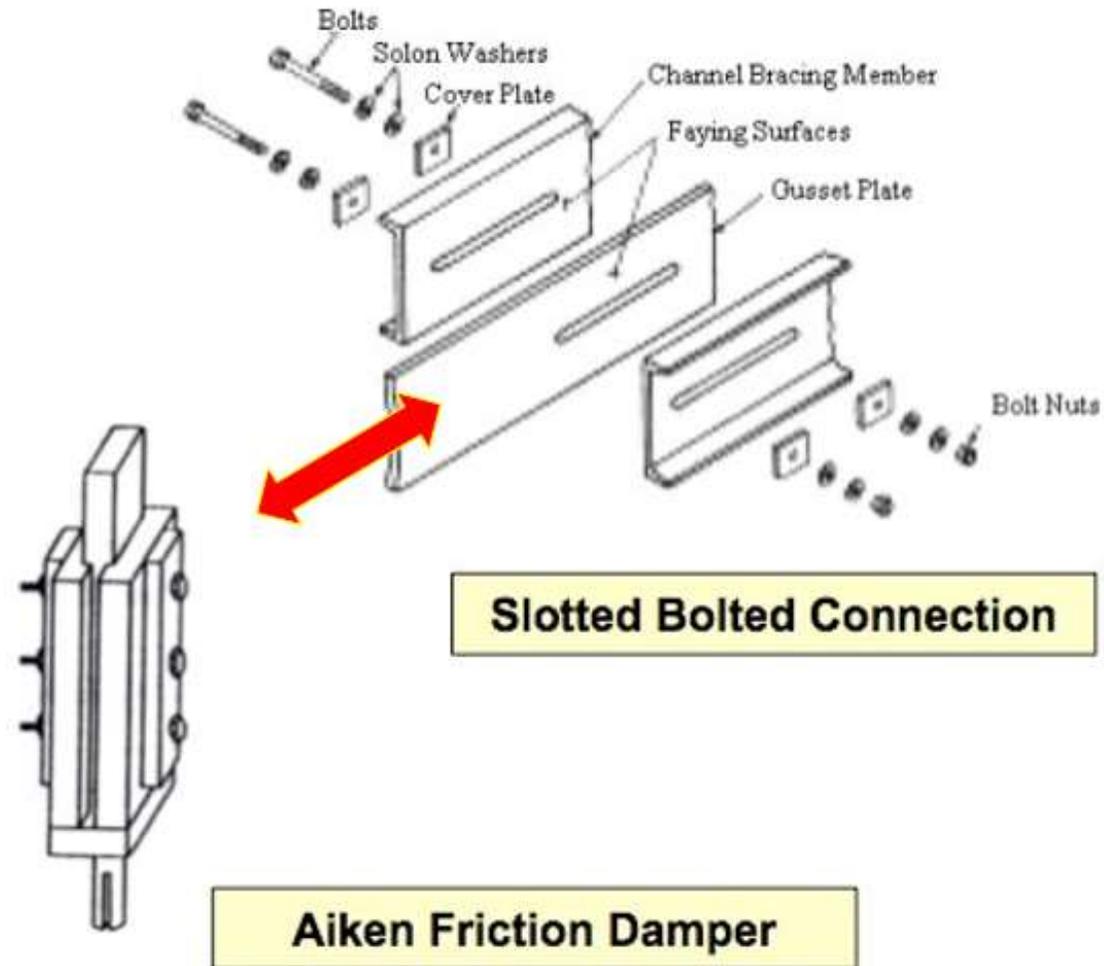
INTERVENTO CON DISSIPATORI

Dissipatori ad attrito, viscoelastici, ricentranti, ecc.



INTERVENTO CON DISSIPATORI

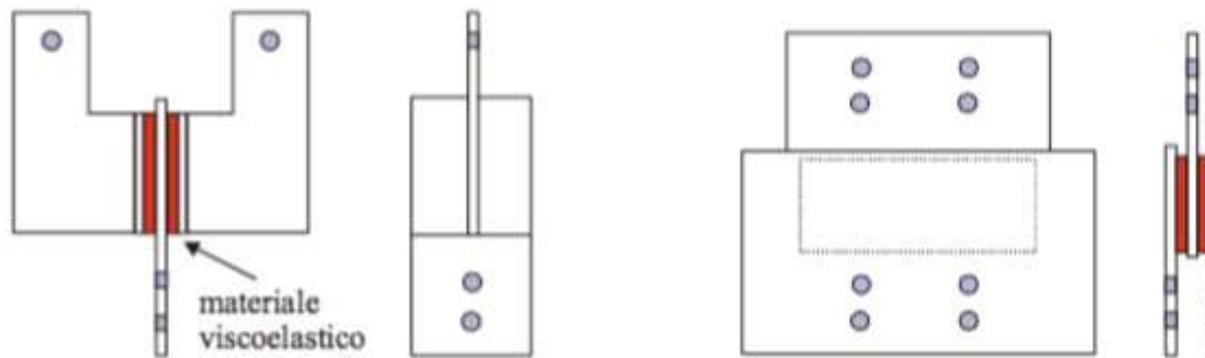
Dissipatori ad attrito



INTERVENTO CON DISSIPATORI

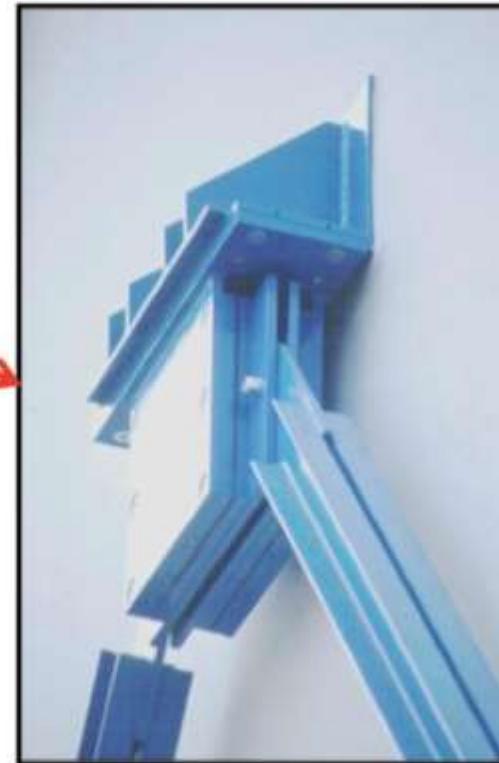
Dissipatori viscoelastici

- Dissipazione di energia per effetto della deformazione subita dagli strati di materiale viscoelastico



INTERVENTO CON DISSIPATORI

Scuola “Gentile Fermi” a Fabriano. Adeguamento con dissipatori.



INTERVENTO CON DISSIPATORI

Dissipatori elasto-plastici.



SCOPO ISOLAMENTO/DISSIPAZIONE

Nel seguito si presentano criteri e regole per il progetto di costruzioni nuove e per l'adeguamento di quelle esistenti, nelle quali sia utilizzato un sistema d'isolamento sismico allo scopo di migliorarne la risposta sismica.

La riduzione della risposta sismica orizzontale, qualunque siano la tipologia e i materiali strutturali della costruzione, può essere ottenuta mediante una delle seguenti strategie d'isolamento, o mediante una loro appropriata combinazione:

- a. incrementando il periodo fondamentale della costruzione per portarlo nel campo delle minori accelerazioni di risposta;
- b. limitando la massima forza orizzontale trasmessa.

In entrambe le strategie le prestazioni dell'isolamento possono essere migliorate attraverso la dissipazione nel sistema di isolamento di una consistente aliquota dell'energia meccanica trasmessa dal terreno alla costruzione.

SCOPO ISOLAMENTO/DISSIPAZIONE

L'isolamento sismico rientra tra le strategie di protezione denominate «controllo passivo delle vibrazioni». L'**isolamento sismico** e la **dissipazione di energia** sono quelle più utilizzate.

Entrambe le tecniche sono usate per la protezione sismica delle costruzioni (nuove ed esistenti) e **sono efficaci** in ragione del **modo di modifica del comportamento dinamico**.

La prima limita essenzialmente l'energia in ingresso, mediante isolatori disposti tra la struttura da proteggere e il basamento, **la seconda consente di dissipare parte dell'energia in ingresso** attraverso dispositivi di dissipazione controllata collocati all'interno dell'edificio.

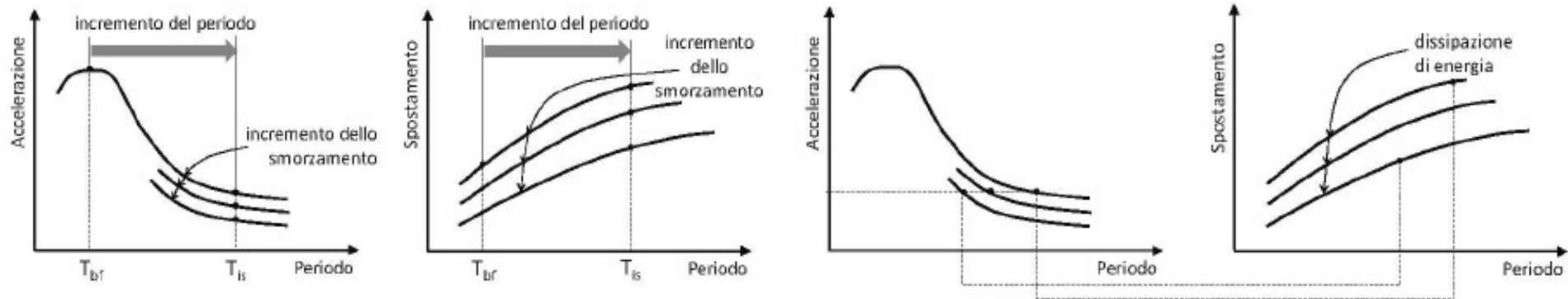
Per isolare una struttura bisogna che i **dispositivi applicati** (isolatori) **permettano ampi spostamenti orizzontali** relativi tra *sovruttura* e *sottostruttura* e siano caratterizzati da **basse rigidzze nei confronti degli spostamenti orizzontali ed elevate nei confronti di quelli verticali**.

Molti degli isolatori in commercio garantiscono rapporti di smorzamento del sistema di isolamento superiori al 5%.

SCOPO ISOLAMENTO/DISSIPAZIONE

L'isolamento alla base deve produrre uno dei seguenti effetti:

- L'incremento del periodo grazie all'adozione di dispositivi a comportamento approssimativamente lineare. Maggiore è l'incremento di periodo ($T_{IS} \geq 3T_{bf}$) maggiore è la riduzione delle accelerazioni sulla sovrastruttura e l'incremento degli spostamenti, che si concentrano nel sistema di isolamento (gen. $T_{IS} > 2,0$ s)
- La limitazione della forza trasmessa alla sottostruttura, grazie all'adozione di dispositivi con comportamento non lineare, caratterizzato da basso incrudimento (incrementi trascurabili della forza per grandi spostamenti). In questo modo si limitano le forze d'inerzia, quindi l'accelerazione, sulla sovrastruttura, a scapito di incrementi di spostamento nel sistema isolato.



(a) Incremento del periodo (e dissipazione)

(b) Limitazione della forza (e dissipazione)

SCOPO ISOLAMENTO/DISSIPAZIONE

Nel caso di impiego di dissipatori distribuiti a vari livelli all'interno della sovrastruttura, la progettazione non richiede regole aggiuntive rispetto a quelle già descritte per le strutture ordinarie, una volta che il comportamento dei dispositivi antisismici sia tenuto correttamente in conto.

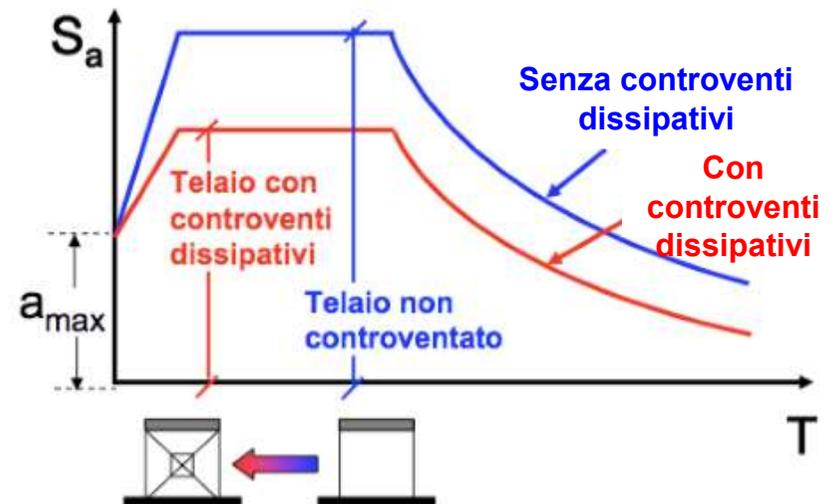
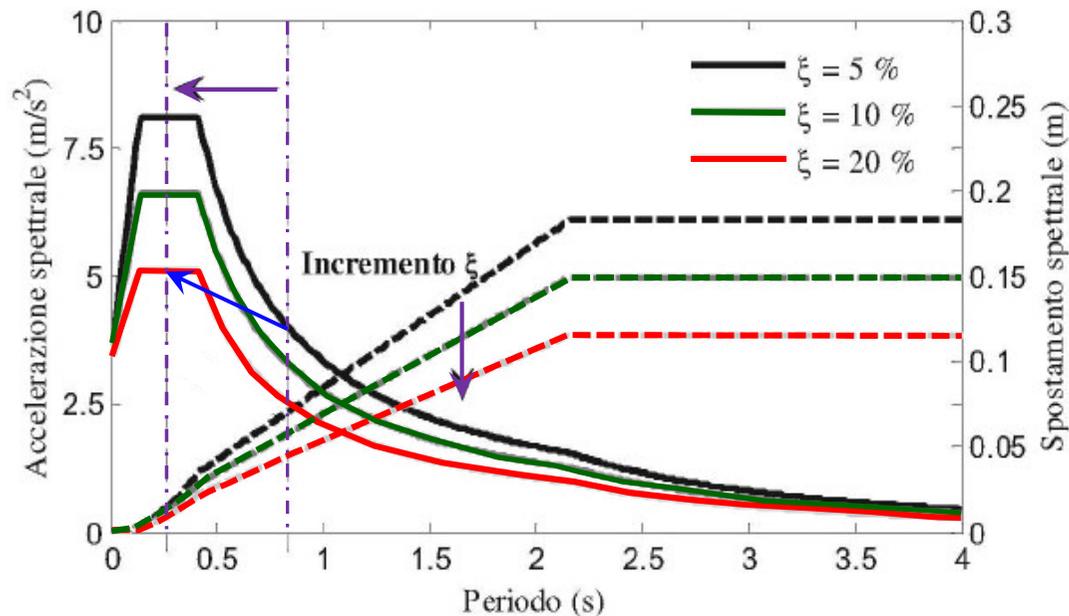
E' necessario che nelle prove di qualificazione dei dispositivi il numero di cicli da effettuare dovrà essere commisurato con quello prevedibile per il terremoto di progetto allo SLC.

In questi schemi applicativi, lo spostamento di interpiano prodotto dal sisma attiva i meccanismi di dissipazione di energia prima che gli spostamenti relativi possano produrre danni significativi sugli elementi strutturali. In questo modo, la maggior parte dell'energia in entrata viene immagazzinata e dissipata nei dispositivi, mentre il sostegno dei carichi verticali è affidato alla struttura convenzionale.

SCOPO ISOLAMENTO/DISSIPAZIONE

Il comportamento di una struttura dotata di dispositivi dissipativi, assimilata ad un oscillatore, mostra che si ha un **incremento di smorzamento** e, se il sistema determina un irrigidimento della struttura, si ha una **riduzione del periodo**, con conseguente **riduzione degli spostamenti** (riduzione danni agli elementi strutturali e non)

Se la struttura **non isolata ha un periodo alto**, si può avere un **aumento delle forze orizzontali**.



REQUISITI GENERALI

Il sistema d'isolamento è composto dai dispositivi d'isolamento e, eventualmente, di dissipazione, ciascuno dei quali espleta una o più delle seguenti funzioni:

- sostegno dei carichi verticali con elevata rigidezza in direzione verticale e bassa rigidezza o resistenza in direzione orizzontale, permettendo notevoli spostamenti orizzontali;
- dissipazione di energia con meccanismi isteretici e/o viscosi;
- ricentraggio del sistema;
- vincolo laterale, con adeguata rigidezza sotto carichi orizzontali di servizio (non sismici).

La sovrastruttura e la sottostruttura si devono mantenere in campo sostanzialmente elastico. Per questo la struttura può essere progettata con riferimento ai particolari costruttivi richiesti per le costruzioni caratterizzate, allo SLV, da $a_g S < 0,075g$, con deroga, per le strutture in c.a., a quanto previsto al § 7.4.6 e al § 7.9.6.

DISPOSITIVI ANTISISMICI

DISPOSITIVI DI VINCOLO TEMPORANEO: questi dispositivi sono utilizzati per obbligare i movimenti in una 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 (detti anche «shock transmitters»):** 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.

DISPOSITIVI ANTISISMICI

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.

DISPOSITIVI ANTISISMICI

DISPOSITIVI DI ISOLAMENTO detti:

- “**Isolatori**”: svolgono fundamentalmente la funzione di sostegno dei carichi verticali, con **elevata rigidezza in direzione verticale e bassa rigidezza 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)**.

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 ANTISISMICI

DISPOSITIVI A COMPORTAMENTO LINEARE

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

$$\xi_e < 15\%$$

$$|K_e - K_{in}| / K_{in} < 20\%$$

K_{in} è la rigidezza iniziale secante tra 10% e 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:

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

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

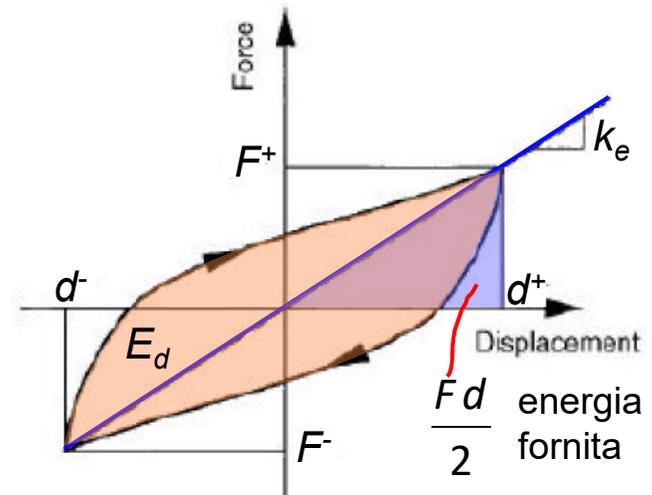
Il pedice (3) si riferisce a quantità determinate nel terzo ciclo di carico, il pedice (i) si riferisce a quantità relative all'i-esimo ciclo escluso il primo ($i \geq 2$)

DISPOSITIVI ANTISISMICI

COEFFICIENTE DI SMORZAMENTO VISCOSO EQUIVALENTE

Per la valutazione del coefficiente di smorzamento viscoso equivalente, in un singolo ciclo di carico di un dispositivo, si fa riferimento alla seguente formulazione (Chopra):

$$\xi_e = \frac{E_d}{2\pi F d} = \frac{E_d}{2\pi K_e d^2}$$



d è lo spostamento massimo raggiunto dal dispositivo in un ciclo di carico

F è la forza massima raggiunta dal dispositivo in un ciclo di carico

E_d è l'energia dissipata da un dispositivo in un ciclo completo di carico, ossia l'area racchiusa dal ciclo di carico in un diagramma forza-spostamento

DISPOSITIVI ANTISISMICI

DISPOSITIVI A COMPORTAMENTO LINEARE

Le massime differenze tra le caratteristiche meccaniche ottenute nelle prove di qualificazione ed i valori di progetto o le normali condizioni d'uso devono essere contenute entro limiti riportati in Tab. 11.9.I

Tab. 11.9.I

	Fornitura	Invecchiamento	Temperatura	Frequenza di prova
K_e	±15%	±20%	±40%	±10%
ξ_e	±15%	±15%	±15%	±10%

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.

Su almeno un dispositivo verrà anche condotta una prova “quasi statica”, imponendo almeno 5 cicli completi di deformazioni alternate, con ampiezza massima pari a $\pm d_2$.

DISPOSITIVI ANTISISMICI

DISPOSITIVI A COMPORTAMENTO LINEARE

Le massime differenze tra le caratteristiche meccaniche ottenute nelle prove di qualificazione ed i valori di progetto o le normali condizioni d'uso devono essere contenute entro limiti riportati in Tab. 11.9.I

Tab. 11.9.I

	Fornitura	Invecchiamento	Temperatura	Frequenza di prova
K_e	±15%	±20%	±40%	±10%
ξ_e	±15%	±15%	±15%	±10%

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.

Su **almeno un dispositivo** verrà anche condotta una **prova “quasi statica”**, imponendo **almeno 5 cicli completi di deformazioni alternate**, con ampiezza massima pari a $\pm d_2$.

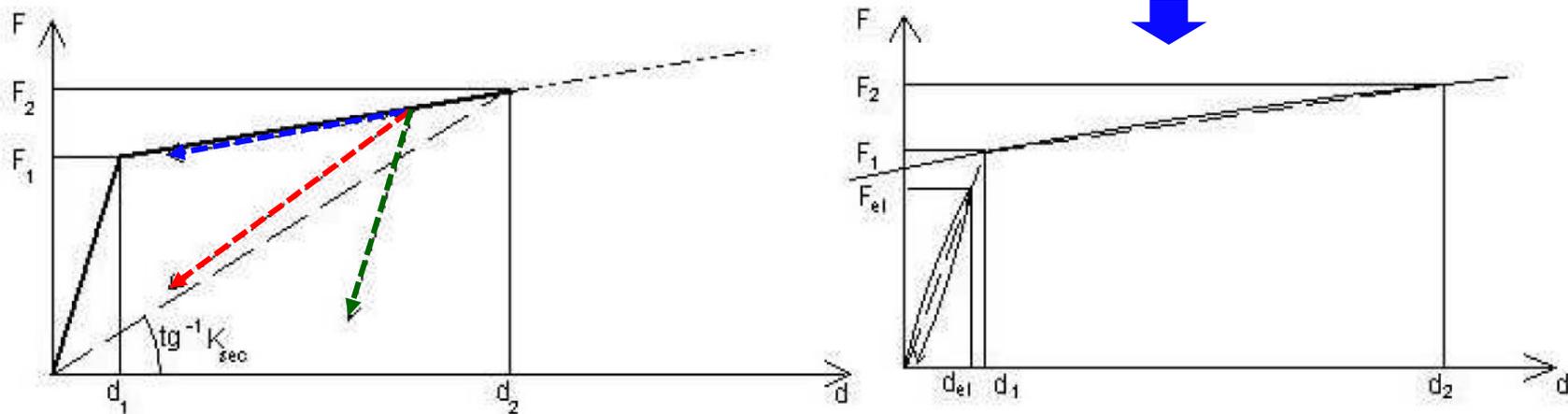
d_2 limite corrispondente allo SLC

DISPOSITIVI ANTISISMICI

DISPOSITIVI A COMPORTAMENTO NON LINEARE

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 figura.

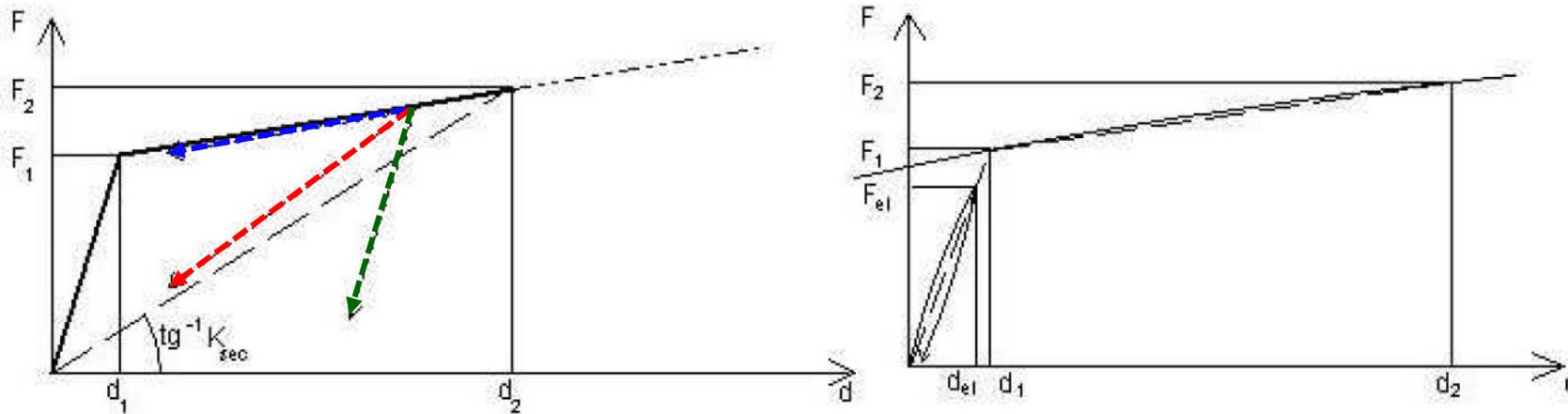


- (F_1, d_1) limite teorico del comportamento elastico del dispositivo
- (F_2, d_2) limite corrispondente allo SLC

DISPOSITIVI ANTISISMICI

DISPOSITIVI A COMPORTAMENTO NON LINEARE

Le **rigidezze elastica e post-elastica**, rispettivamente del primo ramo e del secondo ramo, vengono definite come: $K_1 = F_1/d_1$; $K_2 = (F_2-F_1)/(d_2-d_1)$, mentre la rigidezza secante è data da $K_{sec} = F_2/d_2$ e lo smorzamento equivalente è $\xi_e = E_d/(2\pi F_2 d_2)$ essendo E_d l'area del ciclo d'isteresi.



d_{el} spostamento nel primo ramo di carico in una prova. In generale può assumersi pari a $d_2/20$

F_{el} forza corrispondente a d_{el}

d_1 ascissa del punto di intersezione della retta congiungente l'origine con il punto (d_{el}, F_{el}) e la linea retta congiungente i punti $(d_2/4, F(d_2/4))$ e (d_2, F_2) nel terzo ciclo della prova sperimentale

F_1 ordinata del punto di intersezione della retta congiungente l'origine con il punto (d_{el}, F_{el}) e la linea retta congiungente i punti $(d_2/4, F(d_2/4))$ e (d_2, F_2) nel terzo ciclo della prova sperimentale

d_2 spostamento massimo di progetto del dispositivo corrispondente allo SLC

F_2 forza corrispondente allo spostamento d_2 ottenuta nel terzo ciclo sperimentale.

DISPOSITIVI ANTISISMICI

DISPOSITIVI A COMPORTAMENTO NON LINEARE

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:

$$\left| K_{2,(i)} - K_{2,(3)} \right| / K_{2,(3)} \leq 10\%$$

$$\left| \xi_{e,(i)} - \xi_{e,(3)} \right| / \xi_{e,(3)} \leq 10\%$$

$$\left| E_{d,teor} - E_{d,(3)} \right| / E_{d,(3)} \leq 10\%$$

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

Le massime differenze tra le caratteristiche meccaniche ottenute nelle prove di qualificazione ed i valori di progetto o le normali condizioni d'uso devono essere contenute entro limiti riportati in tabella.

	Fornitura	Invecchiamento	Temperatura	Frequenza di prova ⁽¹⁾
K_2	±15%	±20%	±20%	±10%
K_{sec}	±15%	±20%	±40%	±10%
ξ_e	±10%	±15%	±15%	±10%

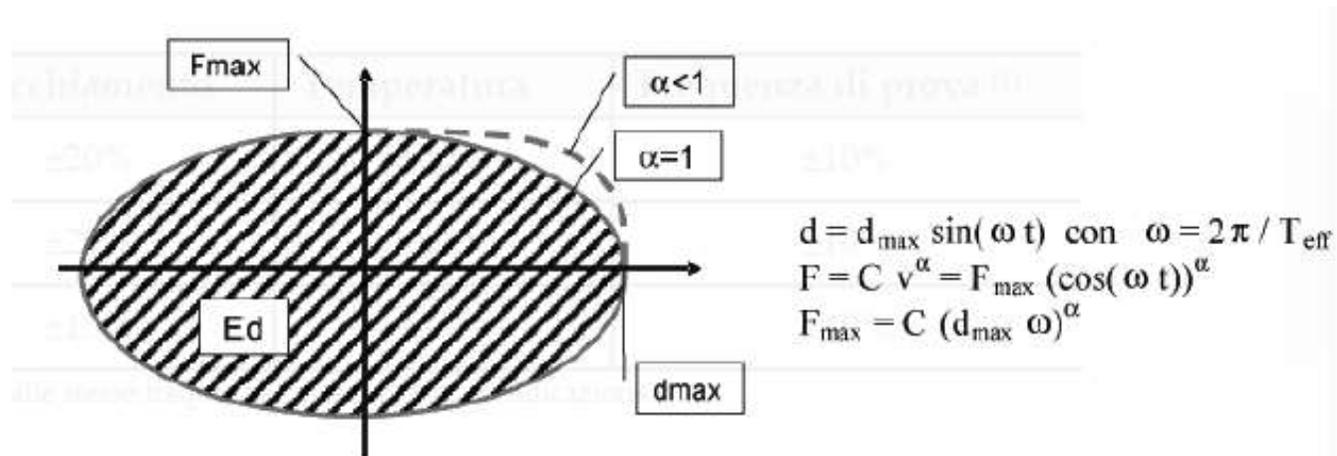
⁽¹⁾ Valori ottenuti o dichiarati con riferimento alle stesse frequenze delle prove di qualificazione.

DISPOSITIVI ANTISISMICI

DISPOSITIVI A COMPORTAMENTO VISCOSO

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^α , 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 figura. 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 α** .



DISPOSITIVI ANTISISMICI

DISPOSITIVI A COMPORTAMENTO VISCOSO

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:

$$\left| E_{d,(i)} - E_{d,(3)} \right| / E_{d,(3)} \leq 10\%$$

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

Le massime differenze tra le caratteristiche meccaniche ottenute nelle prove di qualificazione ed i valori di progetto o le normali condizioni d'uso devono essere contenute entro limiti riportati in tabella.

	Fornitura	Invecchiamento	Temperatura	Frequenza di prova
F_{\max}	$\pm 15\%$	$\pm 5\%$	$\pm 5\%$	$\pm 10\%$
E_d	-15%	-5%	-5%	$\pm 10\%$

Per tener conto di possibili valori di velocità superiori a quelli di progetto, la forza massima di progetto del dispositivo va amplificata con un fattore di affidabilità γ_v dato da

$$\gamma_v = (1 + t_d) 1.5^\alpha$$

t_d è la tolleranza sulla forza di progetto fornita dal fabbricante
 α è l'esponente della legge costitutiva

DISPOSITIVI ANTISISMICI

DISPOSITIVI A COMPORTAMENTO VISCOSO

Il dispositivo deve possedere due cerniere sferiche alle estremità onde evitare effetti di trafilamento e deterioramento delle guarnizioni, e la capacità rotazionale deve essere valutata tenendo conto dei carichi che interesseranno la struttura nel corso della vita, degli effetti del sisma e dei disallineamenti di montaggio. In ogni caso la rotazione consentita dalle cerniere non deve essere inferiore ai 2 gradi sessagesimali.

I dispositivi devono essere progettati in modo da evitare snervamenti sotto l'applicazione dei carichi di servizio e rotture sotto le condizioni di collasso. Devono essere inoltre in grado di sopportare le accelerazioni laterali risultanti dalle analisi sismiche strutturali allo SLC e, in assenza di tale valutazione, devono resistere ad una forza minima trasversale pari ad almeno due volte il peso proprio del dispositivo. Il progetto e la costruzione del dispositivo devono consentire la manutenzione nel corso della vita utile ed evitare che fenomeni di instabilità interessino gli steli, nelle condizioni di massima estensione ed in riferimento alla configurazione di messa in opera.

DISPOSITIVI ANTISISMICI

ISOLATORI ELASTOMERICI

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**.

Fattori di forma degli isolatori

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 $S_2 = D/t_e$.

DISPOSITIVI ANTISISMICI

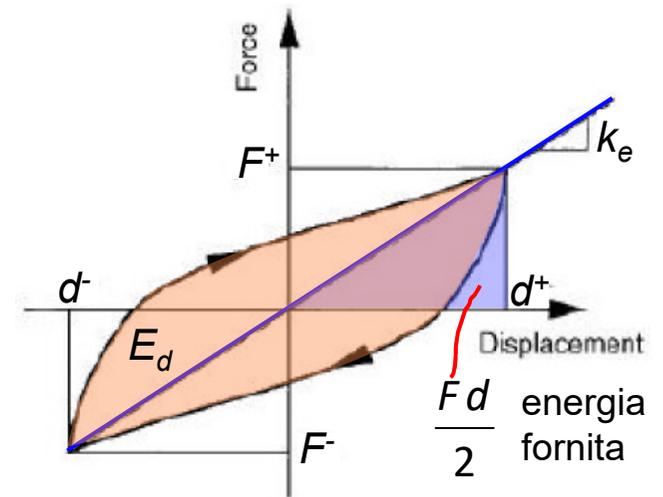
ISOLATORI ELASTOMERICI

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 rigidità equivalente K_e , il coefficiente di smorzamento viscoso equivalente ξ_e .

$$K_e = \frac{F}{d} = G_{din} \frac{A}{t_e}$$

G_{din} modulo dinamico equivalente a taglio

$$\xi_e = \frac{E_d}{2\pi F d}$$



La rigidità verticale K_v è definita come rapporto tra la forza verticale di progetto F_v e lo spostamento verticale d_v .

$$K_v = \frac{F_v}{d_v}$$

DISPOSITIVI ANTISISMICI

ISOLATORI ELASTOMERICI

Le massime differenze tra le caratteristiche meccaniche ottenute nelle prove di qualificazione ed i valori di progetto o nelle normali condizioni d'uso devono essere contenute entro limiti riportati in tabella.

Le variazioni devono essere valutate con riferimento al 3° ciclo di prova. Le frequenze di prova per valutare le variazioni delle caratteristiche meccaniche sono 0,1Hz e 0,5Hz.

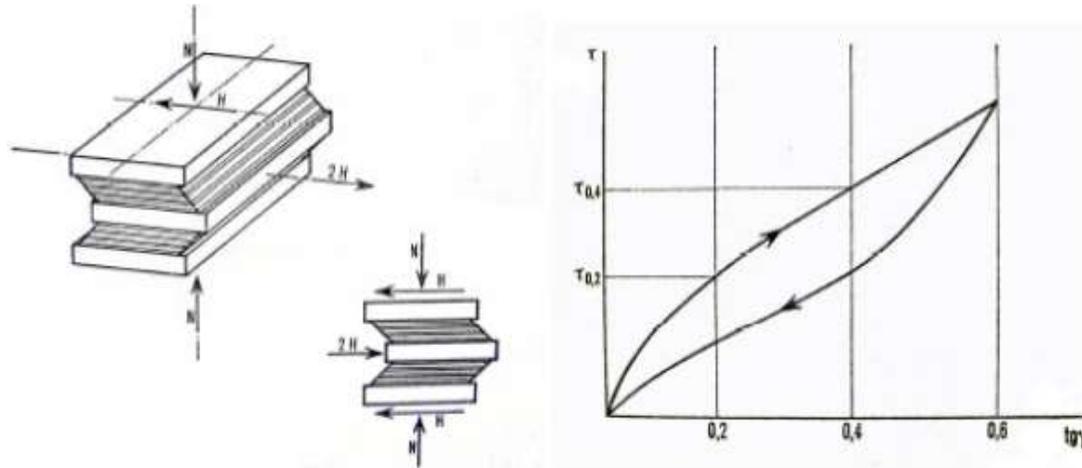
Le variazioni dovute al carico verticale, valutate come differenza tra i valori corrispondenti al carico verticale massimo ed a quello minimo, non dovranno superare il 15% del valore di progetto.

	Fornitura	Invecchiamento	Temperatura	Frequenza di prova
K_e	±20%	±20%	±20%	±20%
K_v	-30%	-	-	-
ξ_e	±20%	±20%	±20%	±20%

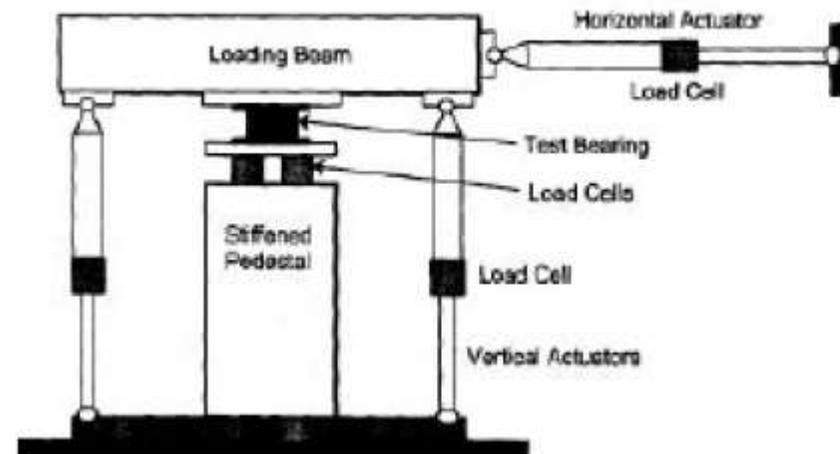
DISPOSITIVI ANTISISMICI

PROVE SU ISOLATORI ELASTOMERICI

Schema di prova su dispositivo elastomerico per valutare il modulo G



Prova su dispositivo elastomerico per valutare le caratteristiche nel tempo



DISPOSITIVI ANTISISMICI

ISOLATORI ELASTOMERICI

La progettazione degli isolatori deve rispettare le seguenti limitazioni:

Tensione max
piastra in acciaio

$$\sigma_s = \frac{1.3V(t_1 + t_2)}{A_r t_s}$$

$$\gamma_t \leq 5$$

$$\gamma_s \leq \frac{\gamma^*}{1.5} \leq 2$$

In carico verticale max sull'isolatore deve essere inferiore al carico critico $V_{cr}/2$.

t_1 e t_2 sono gli spessori dei due strati di elastomero a contatto con la piastra, t_s è il suo spessore

γ^* è il valore max della def. di taglio raggiunto nelle prove di qualificazione relative all'efficacia dell'aderenza elastomero-acciaio, senza segni di rottura.

A_r è l'area ridotta efficace dell'isolatore calcolata come:

$$A_r = (\varphi - \sin \varphi) D^2 / 4 \quad \varphi = \arccos(d_2/D) \quad \text{per isolatori circolari}$$

$$A_r = \min \left\{ \begin{array}{l} (b_x - d_{rftx} - d_{Ex})(b_y - d_{rfty} - 0.3d_{Ey}) \\ (b_x - d_{rftx} - 0.3d_{Ex})(b_y - d_{rfty} - d_{Ey}) \end{array} \right. \quad \text{per isolatori rett.}$$

b_x e b_y lati dell'isolatore

d_{Ex} e d_{Ey} è lo spostamento relativo tra le due facce dell'isolatore prodotti dall'azione sismica (dir. x e y)

DISPOSITIVI ANTISISMICI

ISOLATORI ELASTOMERICI

$$V_{cr} = \frac{G_{din} A_r S_1 b_{min}}{t_e}$$

$$b_{min} = \begin{cases} \min(b_x, b_y) & \text{per isolatori rettangolari} \\ D & \text{per isolatori circolari} \end{cases}$$

$$\gamma_c = 1.5V / (S_1 G_{din} A_r) \quad \text{è la deformazione di taglio dell'elastomero prodotta dalla compressione}$$

$$\gamma_s = d_2 / t_e \quad \text{è la deformazione di taglio dell'elastomero per lo spostamento sismico totale, inclusi gli effetti torsionali}$$

$$\gamma_\alpha = a^2 / 2t_i t_e \quad \text{è la deformazione di taglio dovuta alla rotazione angolare}$$

$$a^2 = (\alpha_x b_x^2 + \alpha_y b_y^2) \quad \alpha_x \text{ e } \alpha_y \text{ rappresentano le rotazioni attorno alle direzioni x e y nel caso di un isolatore rettangolare}$$

$$a^2 = 3\alpha D^2 / 4 \quad \text{con } \alpha = \sqrt{\alpha_x^2 + \alpha_y^2} \quad \text{nel caso di isolatore circolare}$$

$$\gamma_t = \gamma_c + \gamma_s + \gamma_\alpha \quad \text{Deformazione totale di taglio di progetto}$$

DISPOSITIVI ANTISISMICI

ISOLATORI ELASTOMERICI

$$E_c = \frac{1}{\frac{1}{6G_{din} S_1^2} + \frac{4}{3E_b}}$$

Modulo di compressibilità assiale (in Mpa)

G_{din} modulo di taglio dinamico dell'elastomero

E_b modulo di compressibilità volumetrica della gomma, da assumere pari a 2000 MPa

d_{rftx} , d_{rfty} spostamenti relativi tra le due facce degli isolatori, prodotti da ritiro, fluage e termiche

$$d_E = \max \left\{ \begin{array}{l} \sqrt{(d_{Ex} + d_{rftx})^2 + (0.3d_{Ey} + d_{rfty})^2} \\ \sqrt{(0.3d_{Ex} + d_{rftx})^2 + (d_{Ey} + d_{rfty})^2} \end{array} \right.$$

DISPOSITIVI ANTISISMICI

ISOLATORI A SCORRIMENTO

Gli **isolatori a scorrimento** (sliding device - SD) sono dispositivi di appoggio caratterizzati da **bassi valori del coefficiente di attrito**. Possono essere unidirezionali e multidirezionali ma negli edifici sono utilizzati solo i secondi per la tendenza ad avere un comportamento isotropo del sistema.

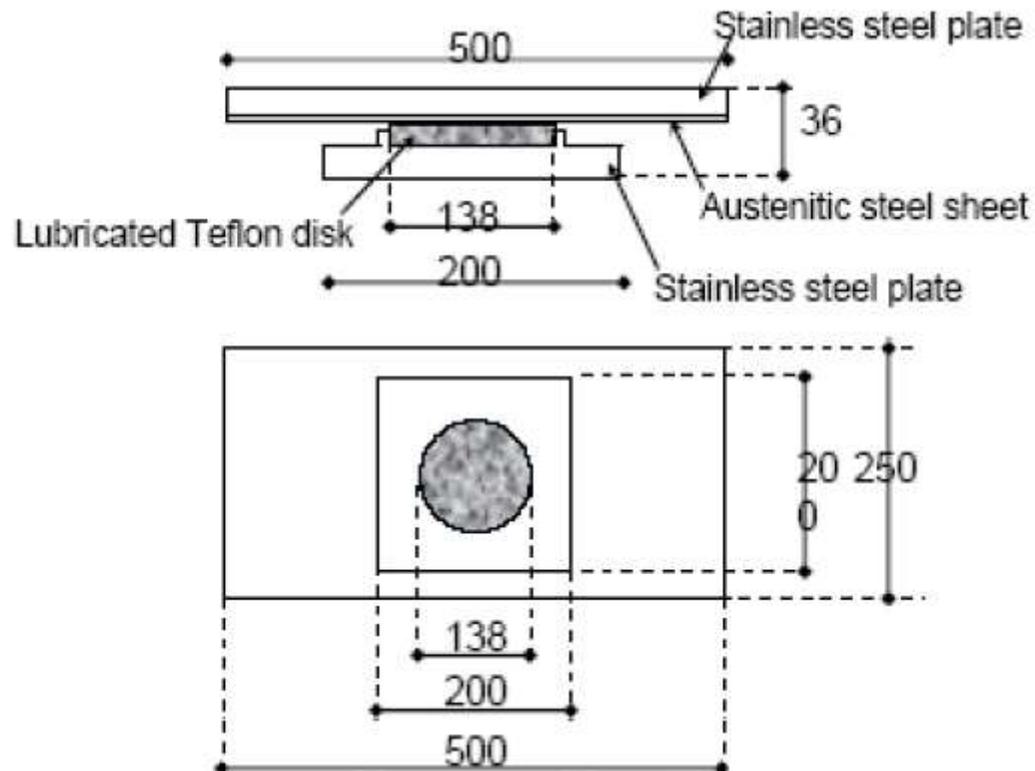
Sono costituiti da due dischi di diverso diametro che scorrono uno sull'altro e sono costruiti con materiali che sviluppano una bassa resistenza d'attrito tra le superfici a contatto, come **l'acciaio inossidabile lucidato e il PTFE (teflon)**. Il coefficiente di attrito dinamico è funzione della velocità di scorrimento, della pressione di contatto e della temperatura infatti:

- aumenta rapidamente al crescere della velocità mantenendosi, però, pressoché costante nell'intervallo di velocità tipicamente raggiunte in condizioni sismiche (200-800mm/s);
- si riduce all'incirca linearmente al crescere della pressione di contatto;
- diminuisce al crescere della temperatura;
- è fortemente influenzato dallo stato di lubrificazione delle superfici a contatto.

DISPOSITIVI ANTISISMICI

ISOLATORI A SCORRIMENTO

Nella pratica non vengono molto utilizzati, rispetto a quelli elastomerici, a causa appunto dell'eccessiva variabilità del coefficiente d'attrito nel tempo e a causa delle diverse condizioni ambientali (temperatura, umidità) e di pulizia (polvere) nelle quali l'isolatore può trovarsi ad operare.



DISPOSITIVI ANTISISMICI

ISOLATORI A SCORRIMENTO

Per ovviare a questo problema si usano **dispositivi lubrificati** che hanno come **unica funzione quella di sostegno dei carichi verticali** e che per questo **non possono essere utilizzati da soli in un sistema di isolamento**.

La capacità ricentrante è in genere fornita da un **meccanismo separato di tipo dissipativo**.

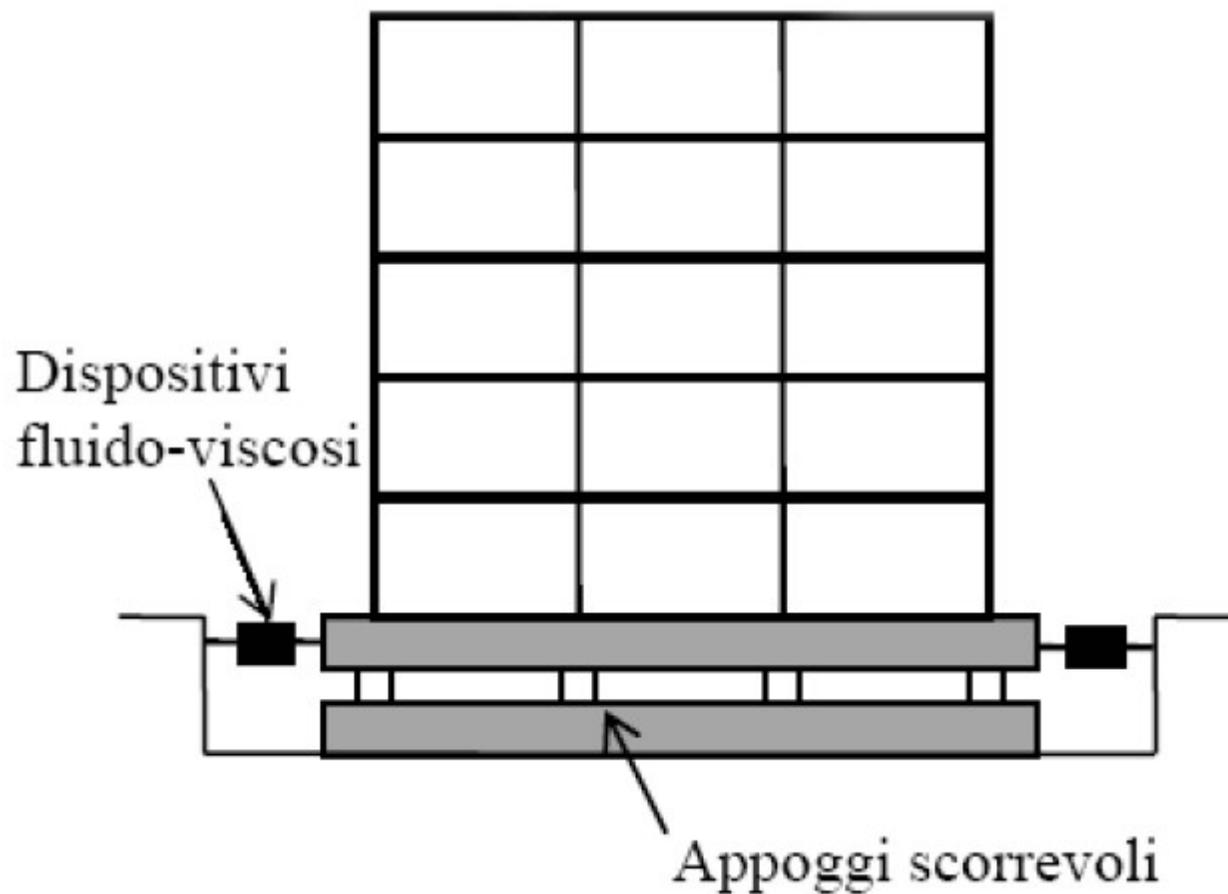
Gli **isolatori in acciaio-PTFE lubrificati a superficie piana** devono infatti essere utilizzati congiuntamente ad **altri dispositivi spesso in gomma**, con la funzione sia di dispositivi ausiliari che di veri e propri isolatori.

In quest'ultimo caso si realizzano dei **sistemi di isolamento ibridi**, in cui coesistono **isolatori elastomerici ed a scorrimento**.

Questa soluzione presenta notevoli vantaggi tecnici ed economici: **permette di ottenere sistemi a bassa rigidità** (lungo periodo), con notevoli abbattimenti degli effetti del sisma e **buone capacità ricentranti** senza l'utilizzo di dispositivi ausiliari.

DISPOSITIVI ANTISISMICI

ISOLATORI A SCORRIMENTO



DISPOSITIVI ANTISISMICI

ISOLATORI A SCORRIMENTO

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

$$\left| f_{(i)} - f_{(3)} \right| / f_{(3)} \leq 25\%$$

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 $1,25 d_2$.

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.

INDICAZIONI PROGETTUALI

Deve essere possibile sostituire gli isolatori, quindi bisogna predisporre la struttura in modo che sia possibile trasferire temporaneamente alla sottostruttura il carico gravante sul singolo isolatore.

Per i dispositivi dipendenti dagli spostamenti (dissipatori), i parametri fondamentali sono:

- la rigidezza k_d e la resistenza F_{dy} ,
- la duttilità μ_c ,
- il rapporto di rigidezza del sistema dissipativo k_c e quello della struttura k_s

Per i dispositivi dipendenti dalla velocità sono:

- La costante di smorzamento C_d
- La rigidezza k_d

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

INDICAZIONI PROGETTUALI

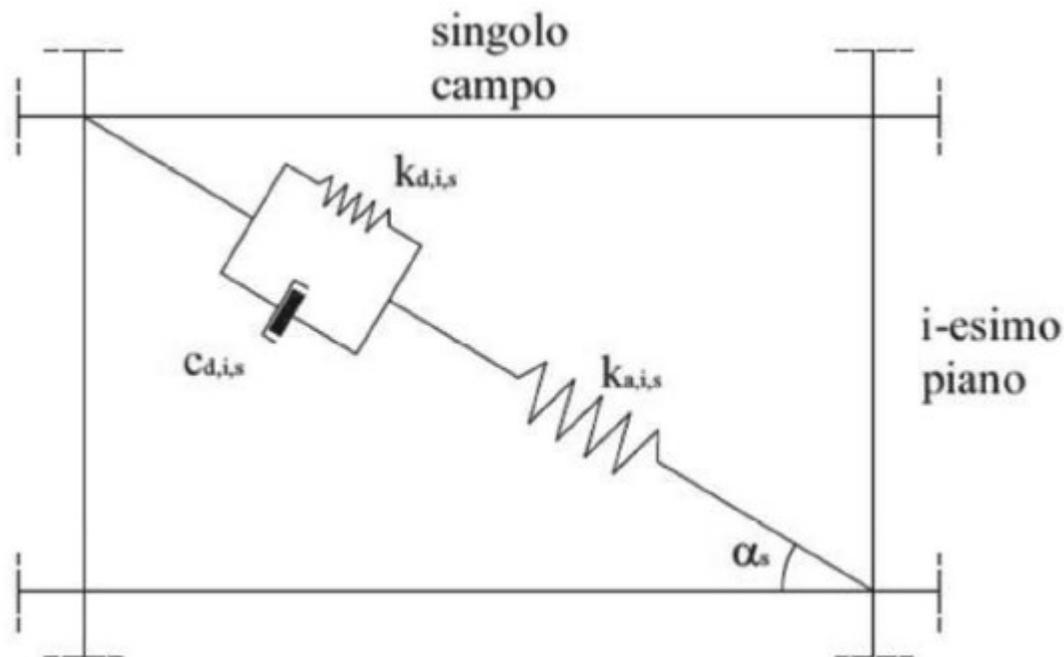
Con riferimento alla figura, la rigidezza del sistema e del telaio rinforzato sono:

$$K_c = \frac{1}{\frac{1}{K_d} + \frac{1}{K_a}}$$

Rigidezza del sistema di rinforzo con dissipatore

$$K_{TOT} = K_s + K_c$$

Rigidezza del telaio rinforzato (controvento con dissipatore)



K_s = Rigidezza del telaio

MODELLAZIONE

La sovrastruttura e la sottostruttura devono essere modellate come sistemi a comportamento elastico lineare aventi rigidezza 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.

$$se \quad K_v < 800K_{esi}$$

Necessario tener conto della deformabilità verticale degli isolatori

rigidezza verticale rigidezza equivalente orizzontale

Se è utilizzato un modello lineare, si deve adottare una rigidezza equivalente riferita allo spostamento totale di progetto per lo stato limite in esame di ciascun dispositivo facente parte del sistema di isolamento.

L'energia dissipata dal sistema d'isolamento deve essere espressa in termini di coefficiente di smorzamento viscoso equivalente del sistema d'isolamento ξ_{esi} , valutato con riferimento all'energia dissipata dal sistema di isolamento in cicli con frequenza nell'intervallo delle frequenze naturali dei modi considerati.

MODELLAZIONE

Il comportamento del sistema di isolamento può essere modellato come lineare equivalente se sono soddisfatte tutte le seguenti condizioni:

- a) la rigidezza equivalente del sistema d'isolamento è almeno pari al 50% della rigidezza secante per cicli con spostamento pari al 20% dello spostamento di riferimento;
- b) lo smorzamento lineare equivalente del sistema di isolamento, come definito in precedenza, è inferiore al 30%;
- c) le caratteristiche forza-spostamento del sistema d'isolamento non variano di più del 10% per effetto di variazioni della velocità di deformazione in un campo del $\pm 30\%$ intorno al valore di progetto, e dell'azione verticale sui dispositivi, nel campo di variabilità di progetto;
- d) l'incremento della forza nel sistema d'isolamento per spostamenti tra $0,5 d_c$ e d_{dc} , essendo d_{dc} lo spostamento del centro di rigidezza dovuto all'azione sismica, è almeno pari al 2,5% del peso totale della sovrastruttura.

Nel caso in cui si adotti un modello non lineare, il legame costitutivo dei singoli dispositivi del sistema d'isolamento deve riprodurre adeguatamente il loro comportamento nel campo di deformazioni e velocità che si verificano durante l'azione sismica, anche in relazione alla corretta rappresentazione dell'energia dissipata nei cicli di isteresi.

ANALISI

In relazione alle caratteristiche dell'edificio e del sistema di isolamento possono essere utilizzati i seguenti metodo di analisi:

- Analisi statica lineare
- Analisi dinamica lineare
- Analisi dinamica non lineare

Dovendo essere trascurabili le non linearità che si sviluppano nella struttura, l'adozione dell'[analisi statica non lineare](#), non comporta particolari vantaggi nella progettazione della struttura.

ANALISI STATICA LINEARE

Per le costruzioni dotate di isolamento alla base, il metodo dell'analisi statica lineare può essere applicato se la struttura isolata soddisfa i requisiti seguenti:

- a) il sistema d'isolamento può essere modellato come lineare, in accordo con quanto riportato in precedenza (§ 7.10.5.2 NTC 2018);
- b) il periodo equivalente T_{is} della costruzione isolata ha un valore compreso fra $3T_{bf}$ e 3,0 s, in cui T_{bf} è il periodo della sovrastruttura assunta a base fissa;
- c) la rigidezza verticale del sistema di isolamento K_V è almeno 800 volte più grande della rigidezza equivalente orizzontale del sistema di isolamento K_{esj} ;
- d) il periodo in direzione verticale T_V , calcolato come $T_V = 2\pi \sqrt{M/K_V}$, è inferiore a 0,1 s;
- e) nessun isolatore risulta in trazione per l'effetto combinato dell'azione sismica e dei carichi verticali;
- f) il sistema resistente all'azione sismica possiede una configurazione strutturale regolare in pianta (§ 7.2.1 NTC 2018).

ANALISI STATICA LINEARE

Ai requisiti da a) ad f) si aggiungono, per **gli edifici civili ed industriali**, i seguenti:

- la **sovrastuttura ha altezza non maggiore di 20 m e non più di 5 piani**
- la **sottostruttura può essere considerata infinitamente rigida**, per cui il suo periodo proprio è non maggiore di 0,05s.
- la **dimensione maggiore in pianta della sovrastuttura è inferiore a 50 m**;
- in ciascuna delle direzioni principali orizzontali, l'**eccentricità totale tra il centro di rigidità del sistema di isolamento e la proiezione verticale del centro di massa non è superiore al 3% della dimensione della sovrastuttura trasversale alla direzione orizzontale considerata.**

Se le condizioni sono rispettate, il **calcolo può essere svolto su due modelli separati**, per **ciascuno dei quali si assume il valore corrispondente dello smorzamento**, uno per **la sovrastuttura più sistema d'isolamento** ed uno per **la sottostruttura**.

Su quest'ultimo agiscono le **forze ricavate dal primo modello** e le **forze d'inerzia prodotte direttamente dal moto del terreno**.

ANALISI STATICA LINEARE

La **forza orizzontale complessiva applicata al sistema d'isolamento**, da ripartire tra gli elementi strutturali **costituenti la sottostruttura in proporzione alle rigidezze dei corrispondenti dispositivi d'isolamento**, è pari a:

$$F = M \cdot S_e(T_{is}, \xi_{esi})$$

$$T_{is} = 2\pi \cdot \sqrt{M/K_{esi}}$$

$S_e(T_{is}, \xi_{esi})$ accelerazione spettrale per la categoria di suolo appropriata

M massa totale della sovrastruttura

$K_{esi,min}$ la rigidezza equivalente minima in relazione alla variabilità delle proprietà meccaniche del sistema di isolamento

Lo **spostamento del centro di rigidezza** dovuto all'azione sismica d_{dc} deve essere calcolato, in ciascuna direzione orizzontale, mediante l'espressione:

$$d_{dc} = \frac{M \cdot S_e(T_{is}, \xi_{esi})}{K_{esi,min}}$$

Le **forze orizzontali da applicare a ciascun livello della sovrastruttura** devono essere calcolate, in ciascuna direzione orizzontale, mediante l'espressione:

$$f_j = m_j \cdot S_e(T_{is}, \xi_{esi})$$

m_j la massa del livello j-esimo

ANALISI STATICA LINEARE

Gli effetti della torsione d'insieme della sovrastruttura sui singoli dispositivi di isolamento possono essere messi in conto amplificando in ciascuna direzione gli spostamenti e le forze precedentemente definiti mediante i fattori δ_{xi} e δ_{yi} da applicare, rispettivamente, alle azioni in direzione x e y:

$$\delta_{xi} = 1 + \frac{e_{tot,y}}{r_y^2} y_i \qquad \delta_{yi} = 1 + \frac{e_{tot,x}}{r_x^2} x_i$$

(x_i, y_i) coordinate del dispositivo rispetto al centro di rigidità

$(e_{tot,x}, e_{tot,y})$ eccentricità totale nella direzione x, y

(r_x, r_y) componenti, in direzione x e y, del raggio di torsione del sistema di isolamento, date da:

$$r_x^2 = \frac{\sum (x_i^2 K_{yi} + y_i^2 K_{xi})}{\sum K_{yi}}$$

$$r_y^2 = \frac{\sum (x_i^2 K_{yi} + y_i^2 K_{xi})}{\sum K_{xi}}$$

K_{xi}, K_{yi} sono le rigidità equivalenti del dispositivo i-esimo, nelle direzioni x e y.

ANALISI DINAMICA LINEARE

L'analisi dinamica lineare si può applicare quando il sistema di isolamento può essere modellato come lineare equivalente.

L'analisi può essere svolta mediante **analisi modale con spettro di risposta** o **mediante integrazione al passo delle equazioni del moto**, eventualmente previo disaccoppiamento modale, considerando un numero di modi tale da portare in conto anche un'aliquota significativa della massa della sottostruttura, se inclusa nel modello.

Se si adotta l'analisi modale con spettro di risposta, questa va svolta come per le strutture a base fissa.

Lo spettro elastico va ridotto per tutto il campo di periodi $T \geq 0.8T_{is}$ assumendo per il **coefficiente riduttivo** η il valore corrispondente al coefficiente di **smorzamento viscoso equivalente** ξ_{est} del sistema di isolamento.

VERIFICHE

Stati Limite di salvaguardia della Vita

La capacità della sottostruttura e della sovrastruttura deve essere valutata adottando i valori di γ_M utilizzati per le costruzioni non isolate.

La domanda sugli elementi strutturali della sovrastruttura e della sottostruttura e sul terreno deve essere valutata, nel caso di analisi lineare, considerando un fattore di comportamento $q \leq 1,50$ nel caso degli edifici e $q = 1$ nel caso dei ponti ed adottando le regole di combinazione.

Nelle condizioni di massima sollecitazione, le parti dei dispositivi non impegnate nella funzione dissipativa devono rimanere in campo elastico, nel rispetto delle norme relative ai materiali di cui sono costituite, e comunque con un coefficiente di sicurezza almeno pari a 1,5.

VERIFICHE

Stati Limite di Collasso

I dispositivi del sistema d'isolamento devono essere in grado di sostenere, senza rotture, gli spostamenti d_2 , valutati per una azione sismica riferita allo SLC.

Nel caso di **sistemi a comportamento non lineare**, allo spostamento ottenuto con l'azione sismica detta, occorre aggiungere il maggiore tra lo spostamento residuo allo SLD e il 50% dello spostamento corrispondente all'annullamento della forza, seguendo il ramo di scarico a partire dal punto di massimo spostamento raggiunto allo SLD.

In tutte le costruzioni, le connessioni del gas e di altri impianti pericolosi che attraversano i giunti di separazione devono essere progettate per consentire gli spostamenti relativi della sovrastruttura isolata, con lo stesso livello di sicurezza adottato per il progetto del sistema d'isolamento.

VANTAGGI ISOLAMENTO

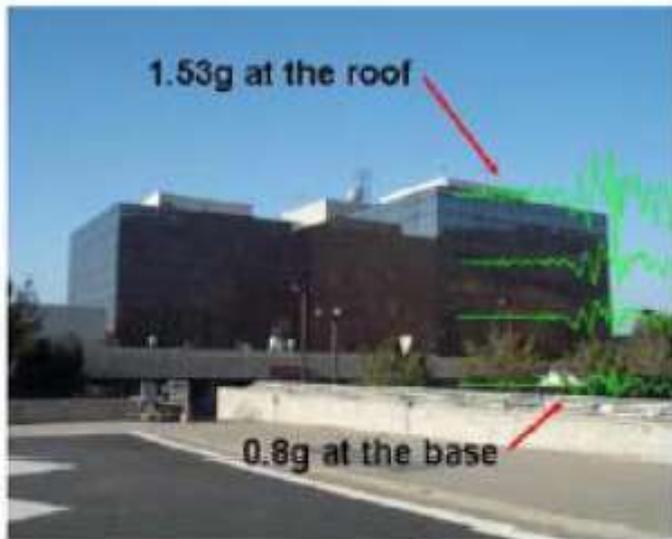
1. Sensibile riduzione delle accelerazioni trasmesse alla struttura e quindi:

- **minori forze sulla struttura**: così si evita non solo il collasso dell'edificio, ma anche il danneggiamento degli elementi strutturali, ovvero travi e soprattutto pilastri;
- le **minori accelerazioni** consentono di evitare danni anche a tutto ciò che è contenuto all'interno dell'edificio e quindi di mantenerne la funzionalità anche a seguito di un terremoto violento;
- **minore o nulla percezione umana delle scosse sismiche**, grazie all'effetto filtro degli isolatori, con conseguente riduzione del rischio di panico spesso causa di incidenti, anche gravi, durante il sisma;

2. Riduzione degli spostamenti d'interpiano e quindi:

- **l'edificio si muove come un blocco rigido** al di sopra degli isolatori, nei quali viene concentrata quasi tutta la deformazione.
- **Evitare il danno** non solo agli elementi strutturali, ma anche agli elementi non strutturali, come le tamponature (danni che comunque possono rendere inagibile un edificio costruito in modo tradizionale).

VANTAGGI ISOLAMENTO



Roof: 1.53g
4th Floor: 1.30g
3th Floor: 1.07g
1th Floor: 0.80g



Risposta sperimentale su struttura isolata del terremoto di Northridge

Confronto tra accelerazioni su struttura a base fissa e a base isolata nel caso del terremoto di Northridge, California.

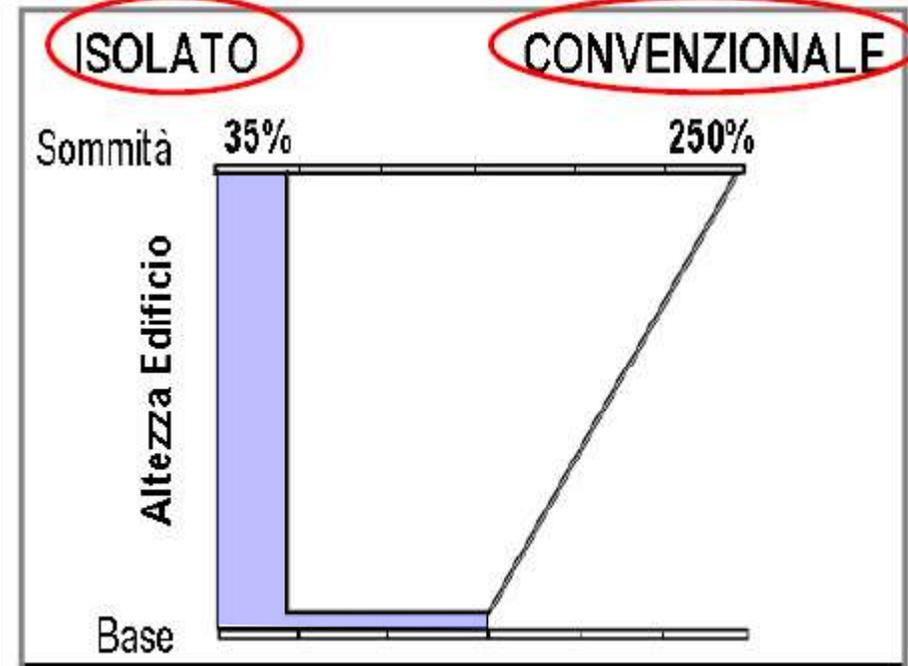
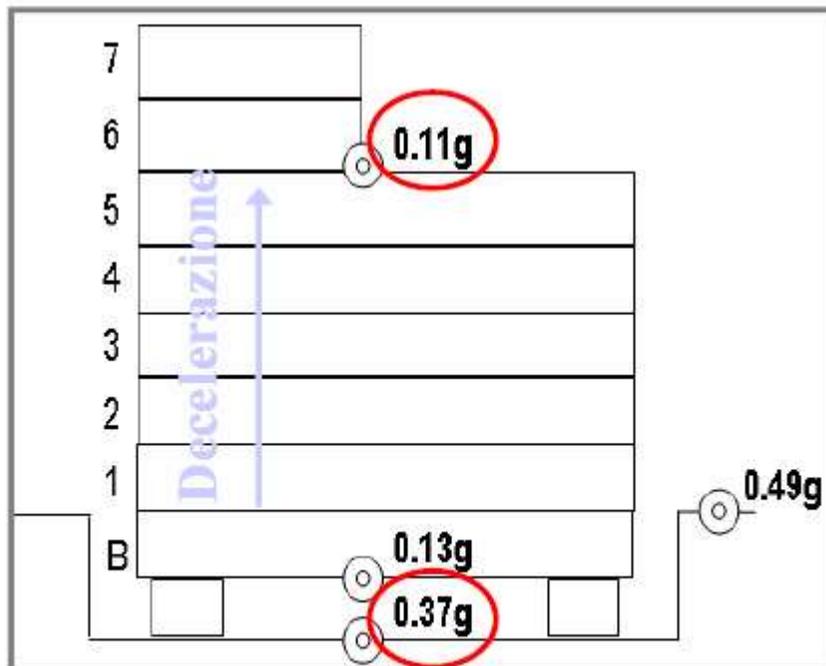
VANTAGGI ISOLAMENTO



Edificio USC Hospital, L.A., California.

Riduzione dell'amplificazione dinamica dell'azione sismica alla base

($A_{is}/A_{bf} = 1/3$, posizionato a ca. 30km dall'epicentro)



Terremoto di Northridge, California (1994).

VANTAGGI ISOLAMENTO



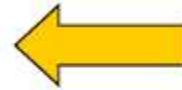
Danni a elementi non strutturali ed impianti all'Olive View Hospital CA (non isolato).

APPLICAZIONI ISOLAMENTO SISMICO

Esempi di nuove costruzioni in Europa



**Da Luz, Lisbona,
Portogallo**



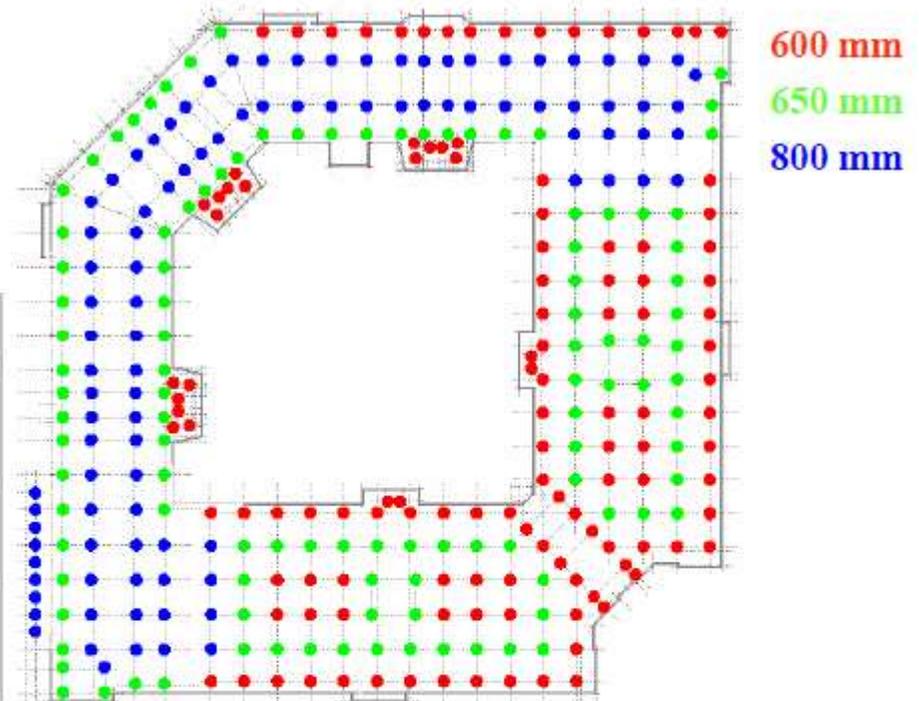
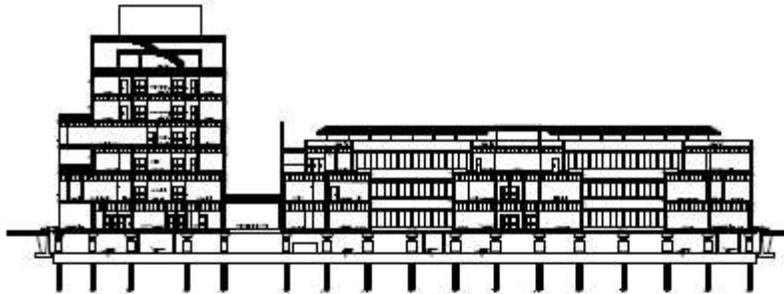
**Gervasutta, Udine,
Italia**



Identificativo Ospedale	Numero isolatori	Periodo struttura	Spostamento massimo	Smorzamento viscoso
Gervasutta	52	2.0 sec	180 mm	10%
Da Luz	315	2.5 sec	180 mm	10-15%
Napoli	327	2.4 sec	243 mm	15%

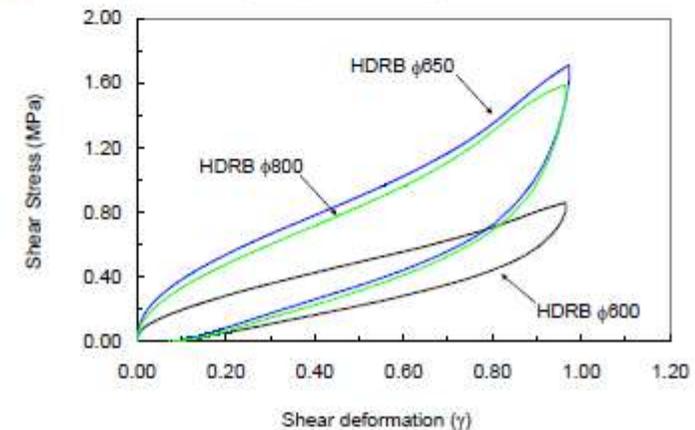
APPLICAZIONI ISOLAMENTO SISMICO

Nuovo complesso ospedaliero OS.MAR. a Napoli



Proprietà meccaniche	Miscela normale	Miscela dura
Resistenza a compressione (N/mm ²)	15.5	15.5
Deformazione ultima (%)	350	300
Modulo di taglio (N/mm ²)	0.80±0.12	1.40±0.21
Smorzamento viscoso equivalente (%)	15	15

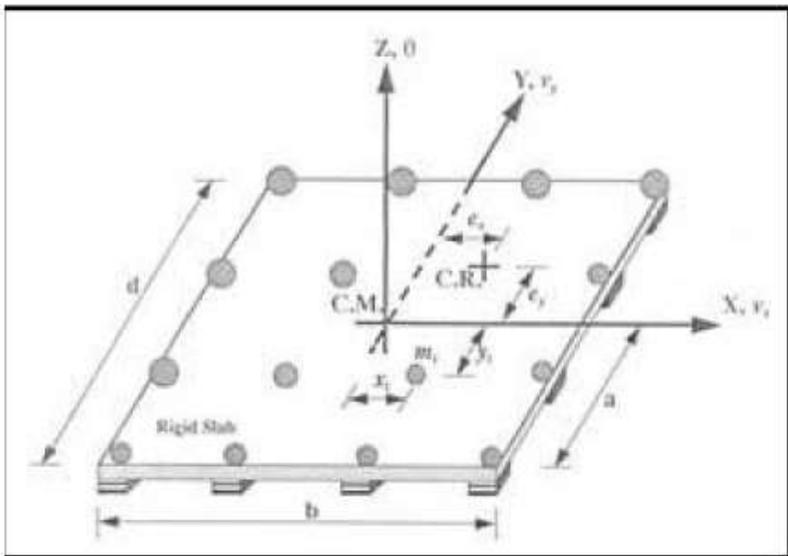
Diametro isolatore (mm)	Numero di isolatori	Rigidezza orizzontale K _h (kN/mm)	Rigidezza verticale K _v (kN/mm)	Rapporto di rigidezza K _v /K _h
600	122	1.51	1802	1195
650	108	2.98	2472	830
800	97	4.89	3949	808



APPLICAZIONI ISOLAMENTO SISMICO



Complesso ospedaliero AS.MAR.
a Napoli



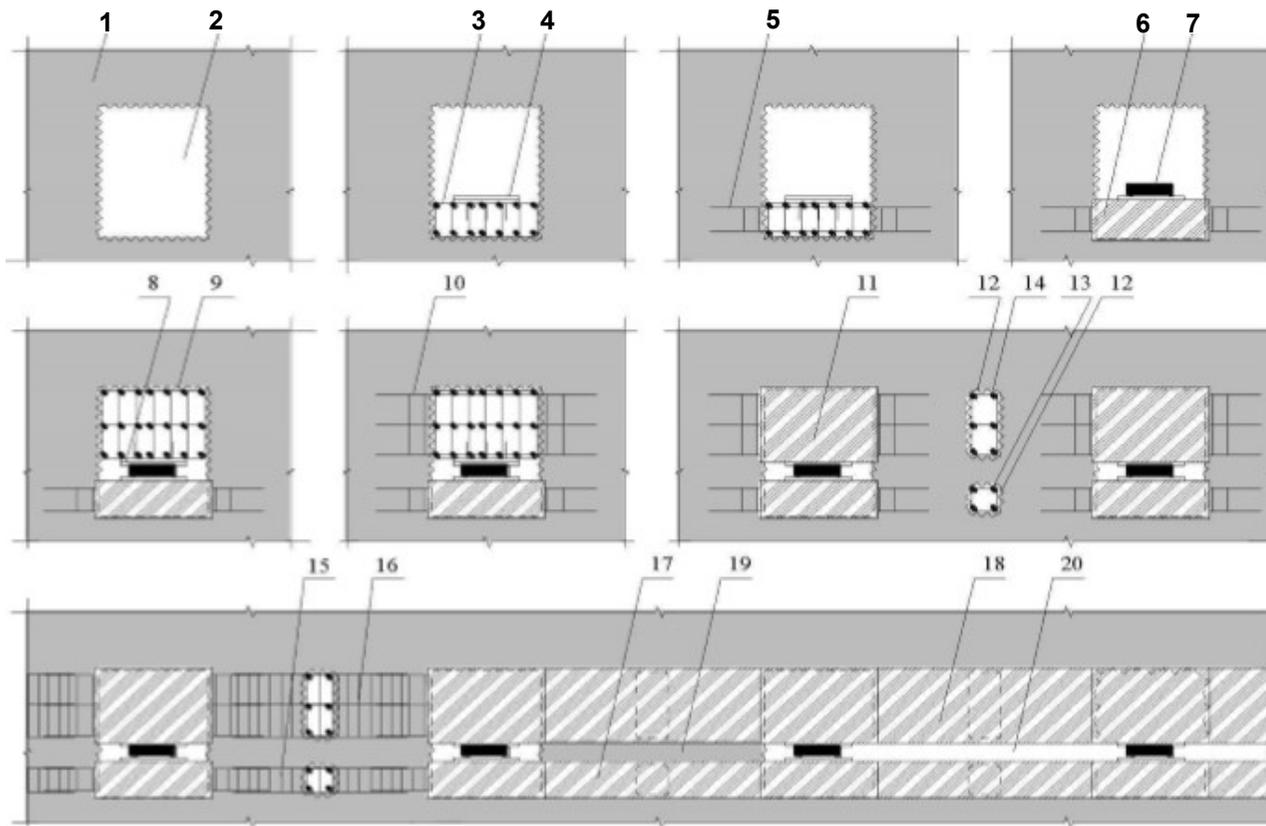
APPLICAZIONI ISOLAMENTO SISMICO

Dettagli condutture e canalizzazioni in collegamento fra sottostruttura e sovrastruttura.



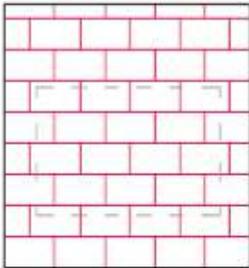
EDIFICI ESISTENTI IN MURATURA

Intervento mediante aggiunta di isolatori in gomma

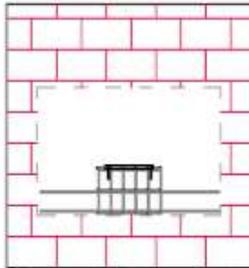


EDIFICI ESISTENTI IN MURATURA

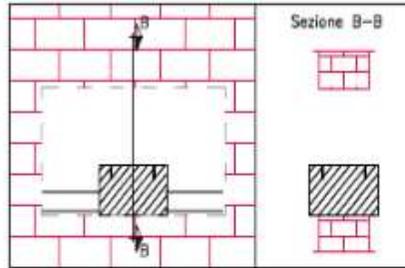
Scavo nella muratura



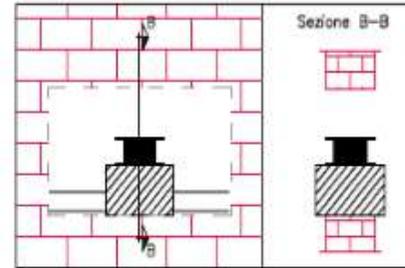
Disposizione delle armature inferiori e della contropietra dell'isolatore



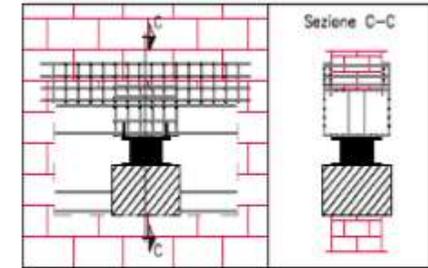
Getto del baggio



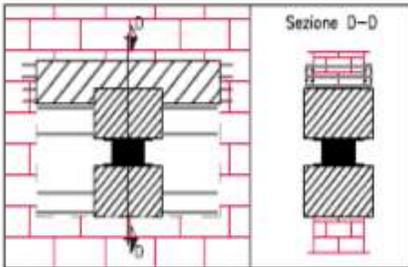
Disposizione dell'isolatore



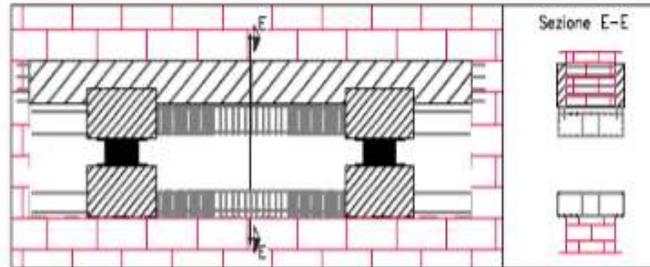
Disposizione della contropietra superiore, delle armature superiori dell'appoggio e delle armature di fasciatura della muratura



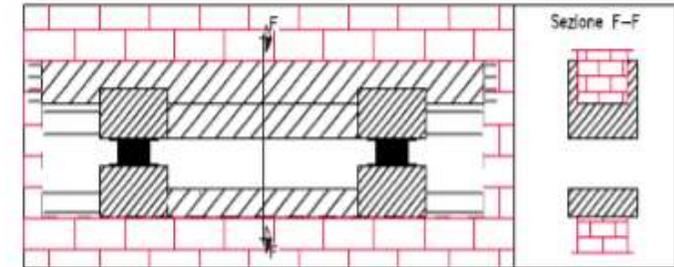
Getto della parte superiore dell'appoggio e delle travi fascianti la muratura



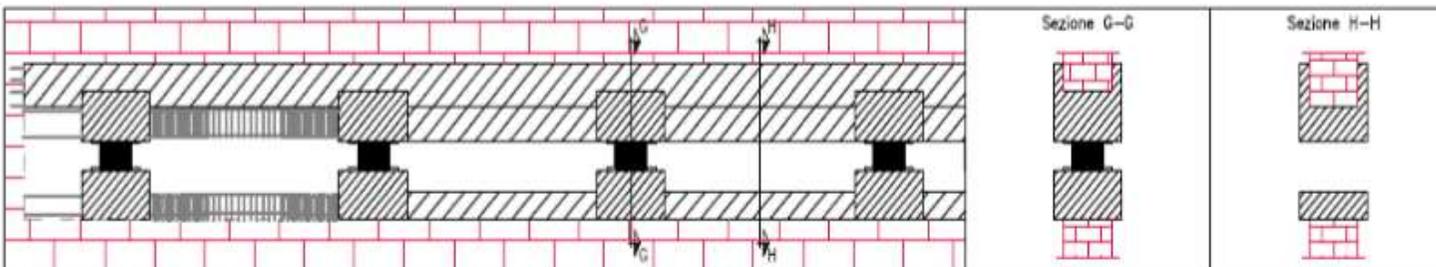
Realizzazione della disconnessione tra due appoggi consecutivi e prosecuzione delle armature della trave



Getto di completamento della trave superiore e del cordolo inferiore

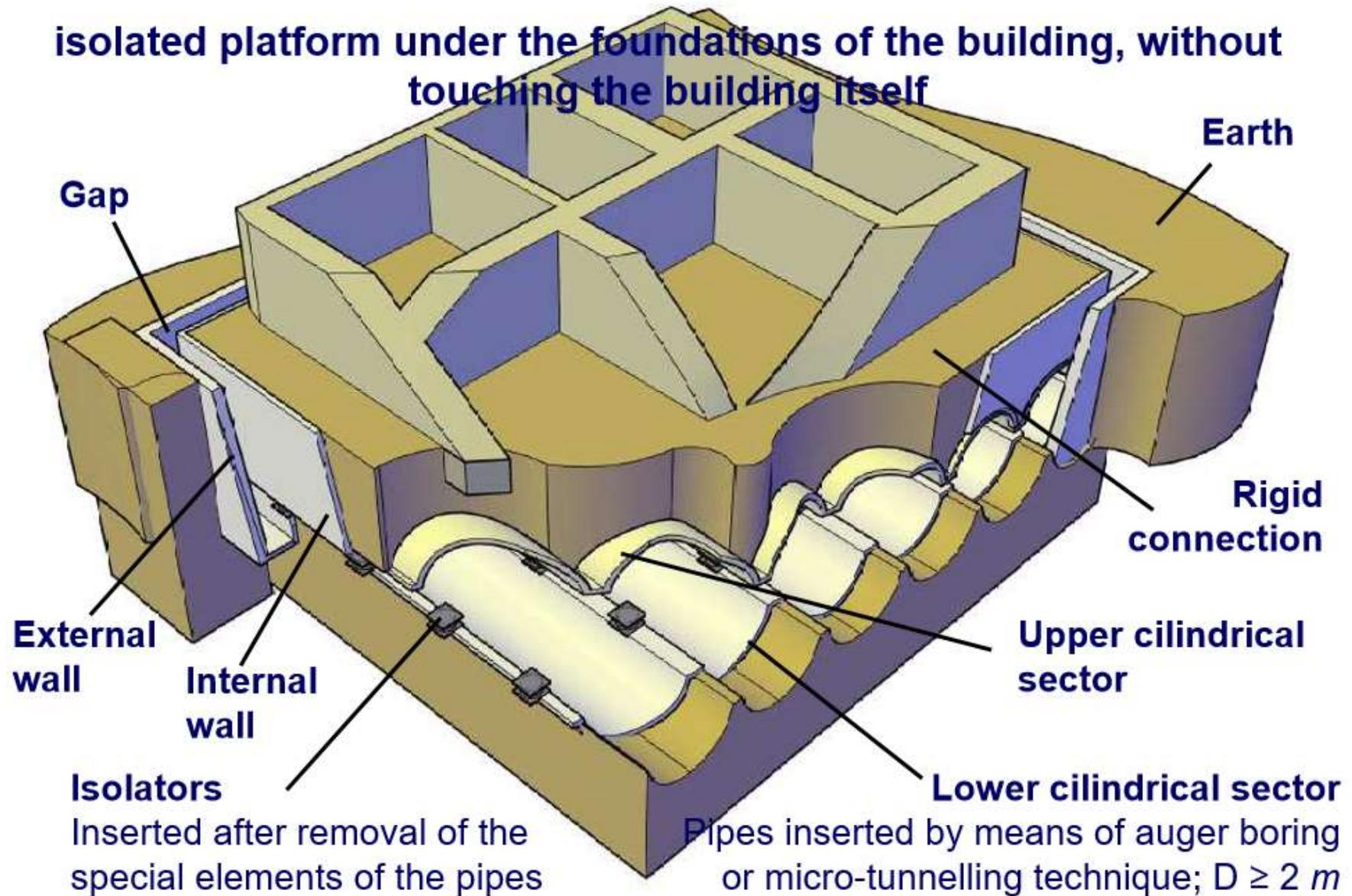


Ripetizione delle fasi precedenti per tratti successivi



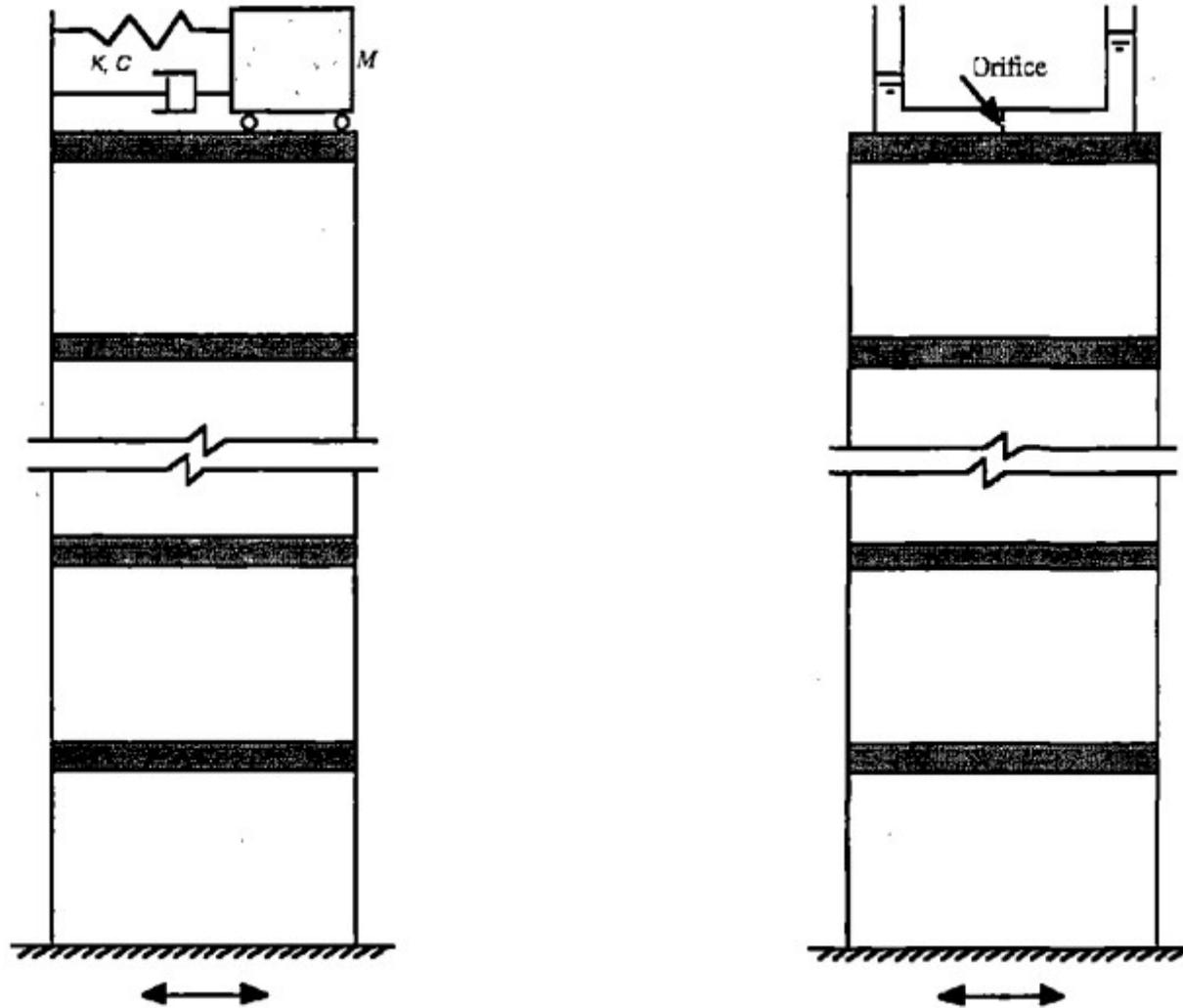
EDIFICI ESISTENTI IN MURATURA

isolated platform under the foundations of the building, without touching the building itself

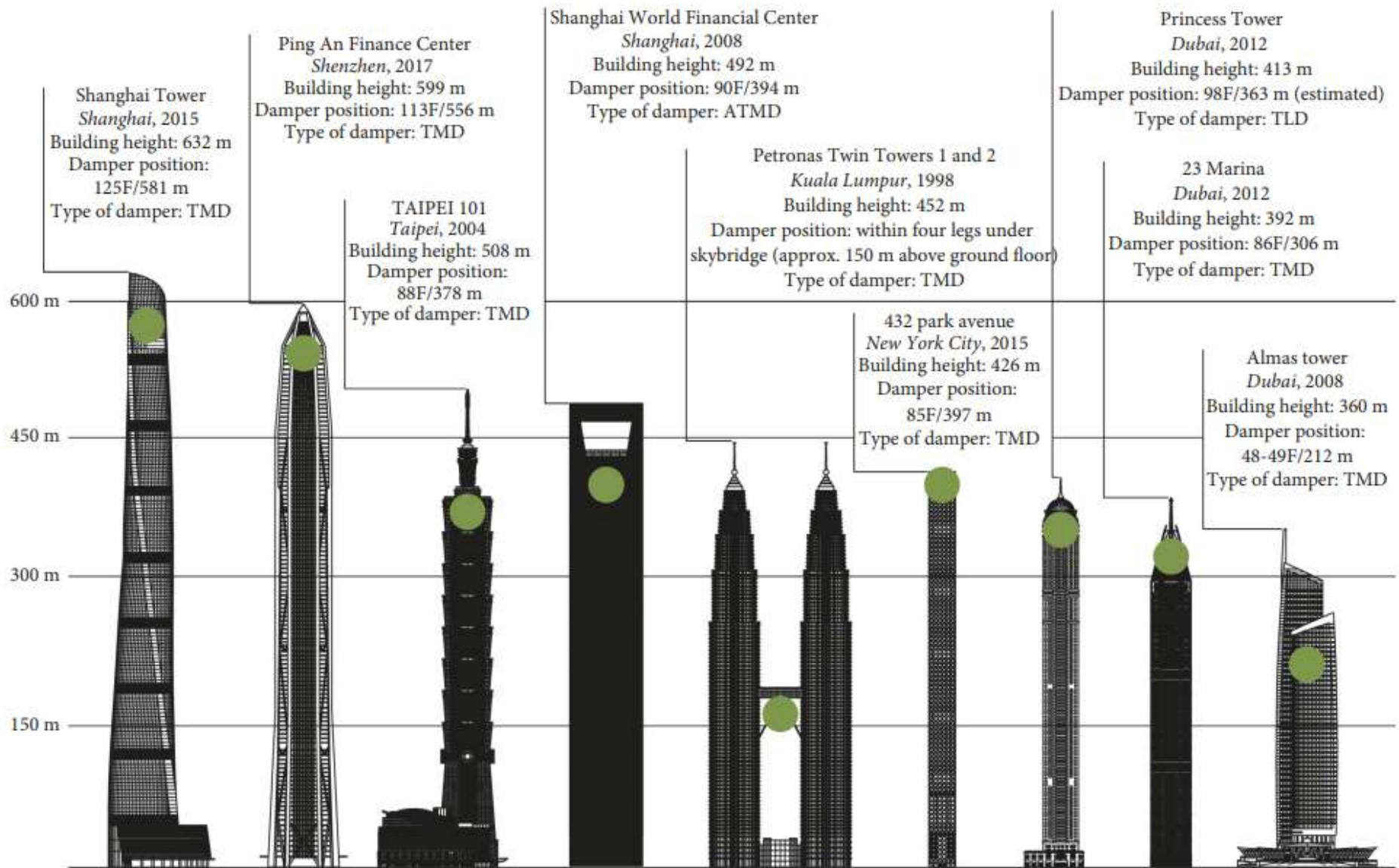


CONTROLLO SISMICO E A VENTO EDIFICI ALTI

Dispositivi a massa accordata TMD (*Tuned Mass Damper*)

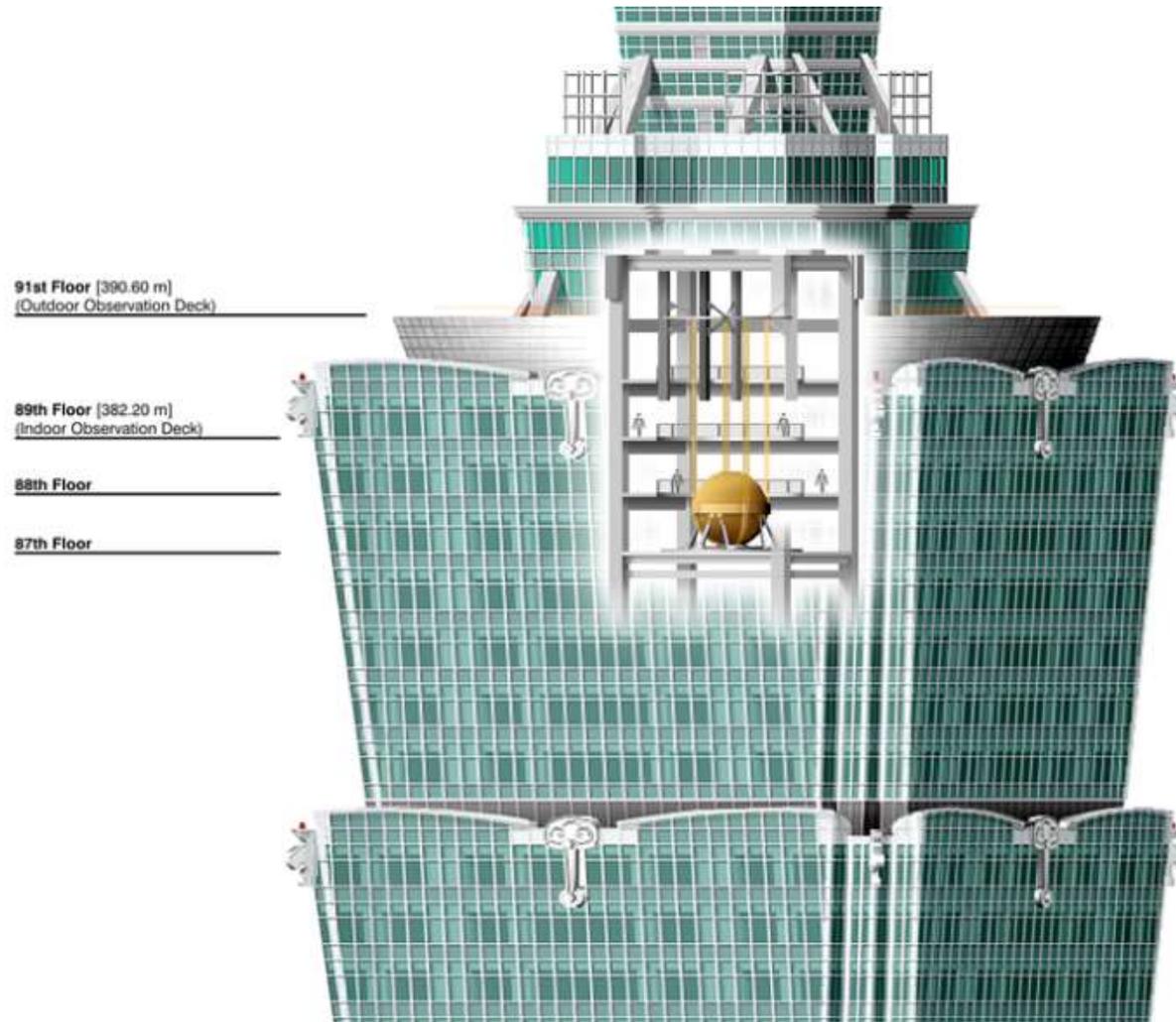


CONTROLLO SISMICO E A VENTO EDIFICI ALTI



DISPOSITIVI A MASSA ACCORDATA

TMD (*Tuned Mass Damper*) del Taipei 101

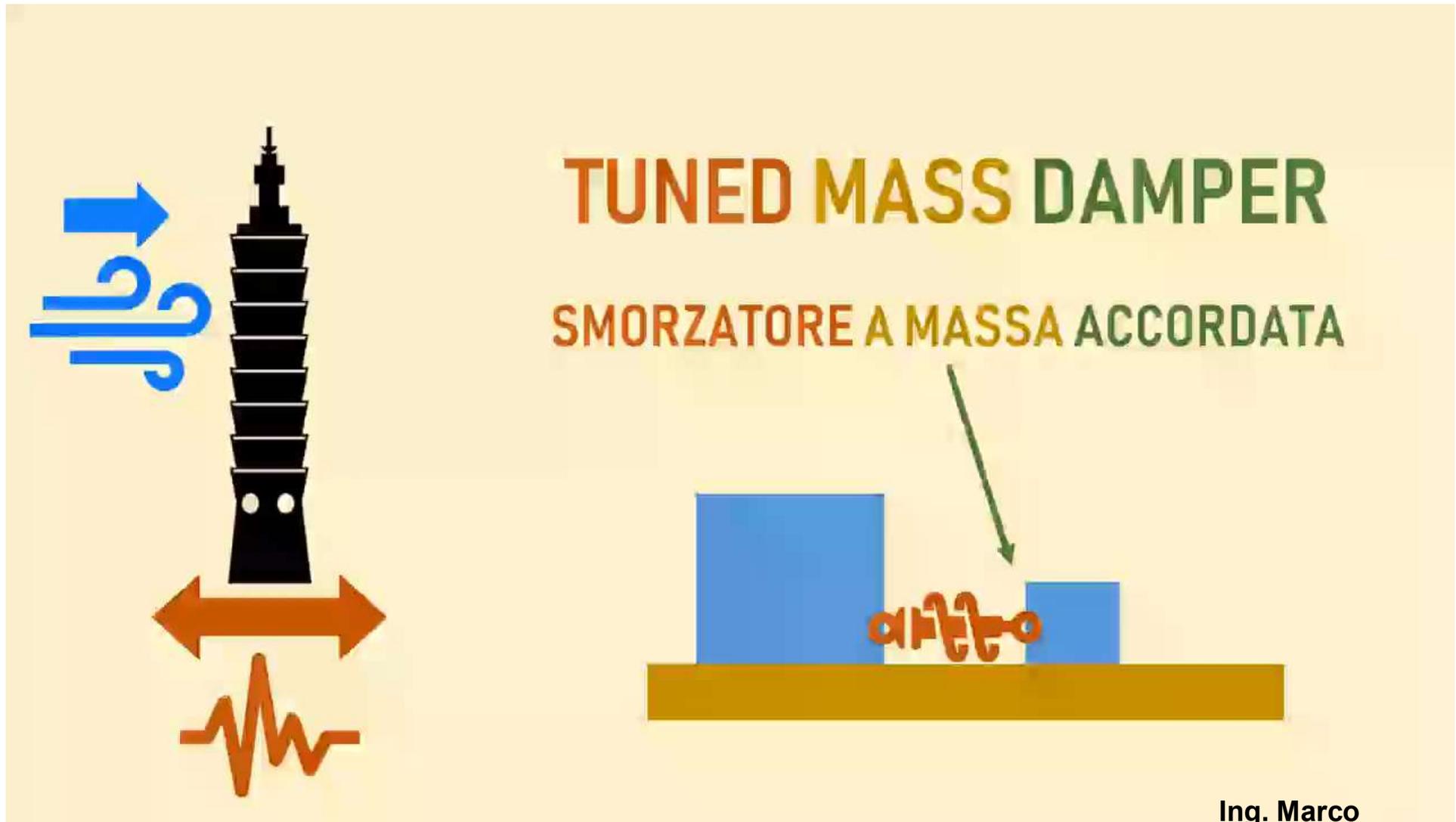


DISPOSITIVI A MASSA ACCORDATA

TMD (*Tuned Mass Damper*) del Taipei 101



DISPOSITIVI A MASSA ACCORDATA



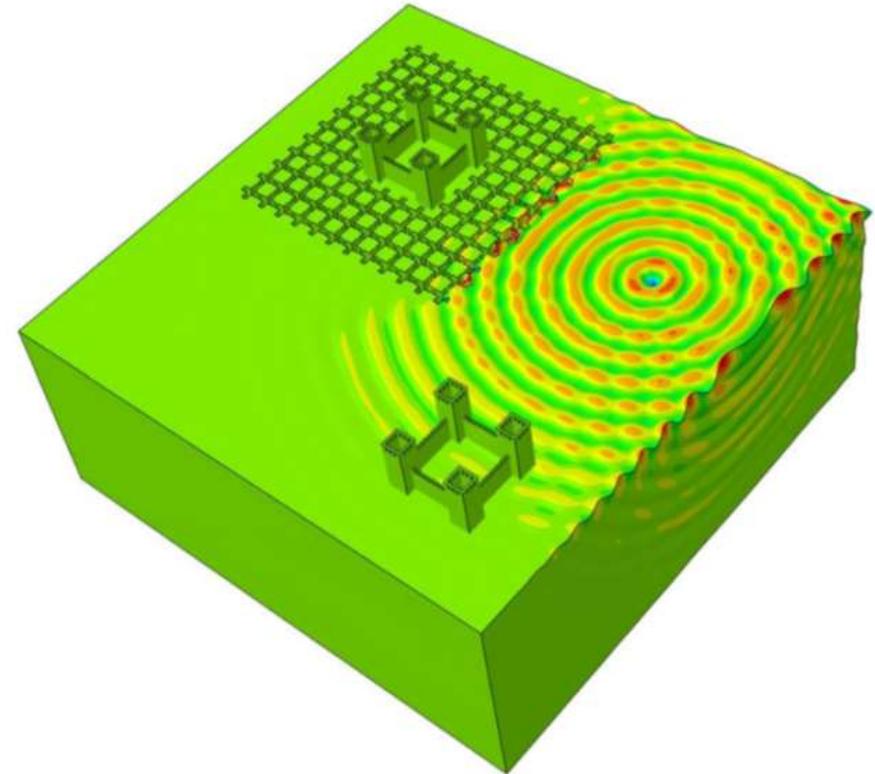
Ing. Marco
Pisapia

DISPOSITIVI A MASSA ACCORDATA



SCUDI SISMICI - METAMATERIALI

- Impiego di metamateriali creati con strutture composite
- Inibiscono la propagazione delle onde sismiche attraverso effetti di interferenza
- Potrebbero essere impiegati come “schermatura” di edifici vulnerabili al sisma senza dover intervenire sugli stessi



Studi in corso: es. UNITN, INGV