

# ASPETTI PROGETTUALI DI ISOLAMENTO SISMICO

Prof. Ing. Dora  
Foti



Politecnico di Bari

# RISCHIO SISMICO

$$\text{RISCHIO SISMICO} \\ = \\ \text{Hazard x Vulnerabilità x Esposizione}$$

Interazione tra pericolosità sismica, vulnerabilità dei manufatti, esposizione incluso effetti socio-economici.

# RISCHIO SISMICO

- Il 42,5% del territorio italiano è classificato a rilevante rischio sismico per la presenza di un'edilizia antica o vecchia, molto vulnerabile alle vibrazioni sismiche.
- Fra i paesi industrializzati, l'Italia è fra quelli a maggior rischio sismico.

<b>Eventi di magnitudo uguale a 7</b>		
	<b>Morti</b>	<b>Feriti</b>
<b>Appennino Meridionale</b>	5000-11000	>15000
<b>Media Mondiale</b>	6500	20500
<b>Giappone</b>	50	250



Abruzzo 2009

Molise 2002

# STRUTTURE ANTISISMICHE TRADIZIONALI

## Progettazione antisismica tradizionale

LE STRUTTURE  
SONO PROGETTATE  
PER **SOPPORTARE**  
**CON DANNO**  
**ACCETTABILE** GLI  
EFFETTI DINAMICI

I METODI DI  
CALCOLO SI  
BASANO SUL  
**RINFORZO DELLE**  
**STRUTTURE**

Per normativa, le nuove costruzioni devono poter sopportare, senza danni evidenti, un sisma di media intensità; in occasione di un terremoto violento si richiede che la struttura non crolli, ma si accetta che la stessa si danneggi anche irreparabilmente  $\Rightarrow$  costi di ripristino eccessivi



Abruzzo 2009

# STRUTTURE ANTISISMICHE TRADIZIONALI

**Integrità assoluta**  $\Rightarrow$  riduzione di accelerazioni e spostamenti

In una costruzione realizzata in modo convenzionale le cause di danno degli elementi non sono contemporaneamente eliminabili.



# TECNICHE INNOVATIVE DI PROGETTAZIONE ANTISISMICA

Tali tecniche nascono intorno alla metà anni '70 ⇒ riduzione drastica delle forze sismiche agenti sulla struttura

LE STRUTTURE SONO  
PROGETTATE CON IL  
PRECISO SCOPO DI  
*RIDURRE LA VULNERABILITA'  
DELLE COSTRUZIONI*

I METODI DI CALCOLO SI  
BASANO SULLA *MITIGAZIONE  
DEGLI EFFETTI DEI  
TERREMOTI*

# TECNICHE INNOVATIVE DI PROGETTAZIONE ANTISISMICA



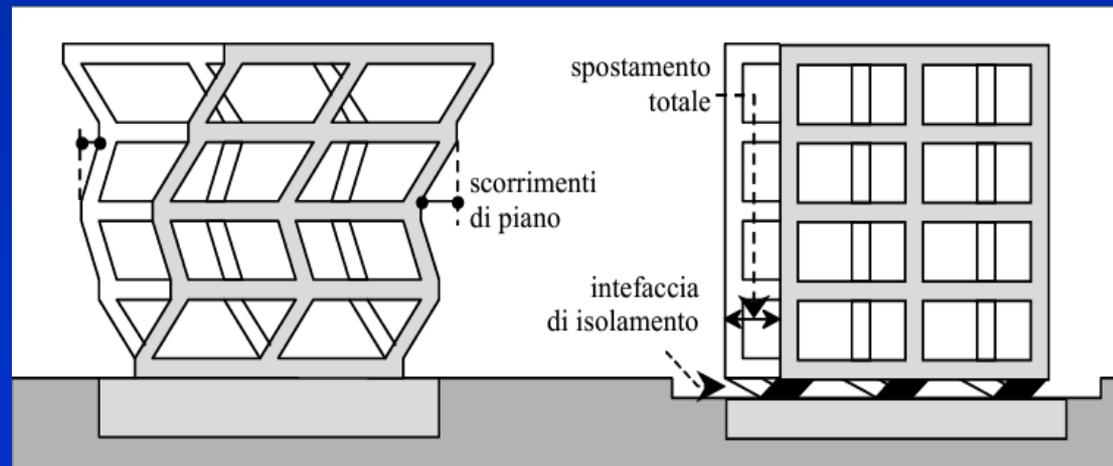
- Dispositivi "inerti" (il comportamento non può essere modificato "on line") che vengono aggiunti alla struttura per dissipare e/o deflettere l'energia.
- Localizzano i fenomeni non-lineari in certe zone predefinite di una struttura.

# ISOLAMENTO SISMICO

L'isolamento sismico si realizza di solito al piano di fondazione (isolamento di base)

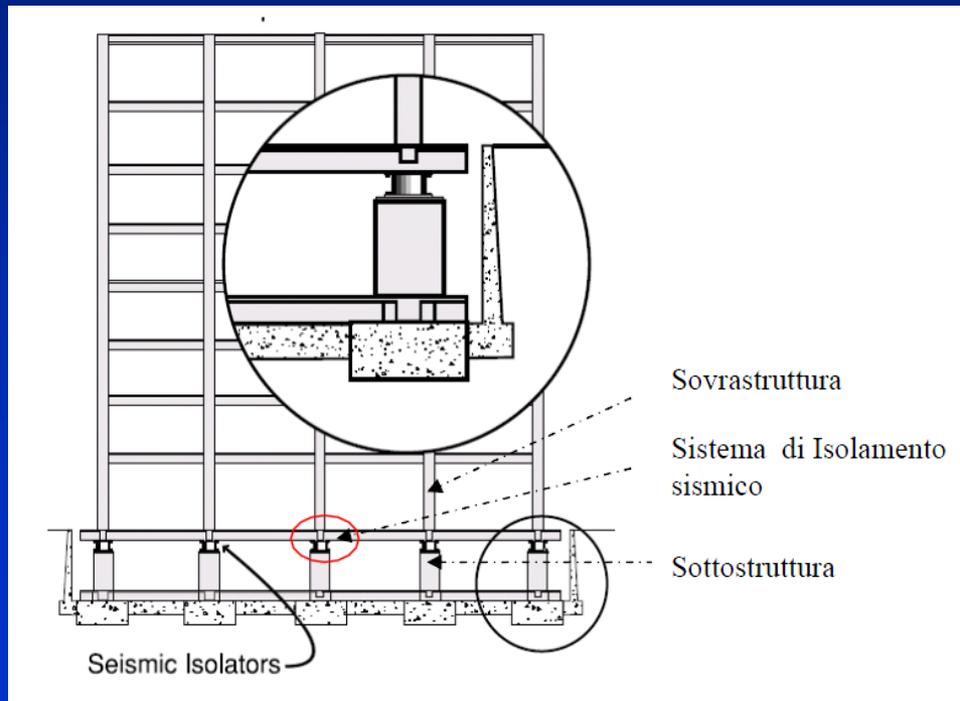
## OBIETTIVO

disaccoppiare il movimento orizzontale della costruzione da quello del terreno, modificando il segnale di ingresso e riducendo gli effetti sulla sovrastruttura

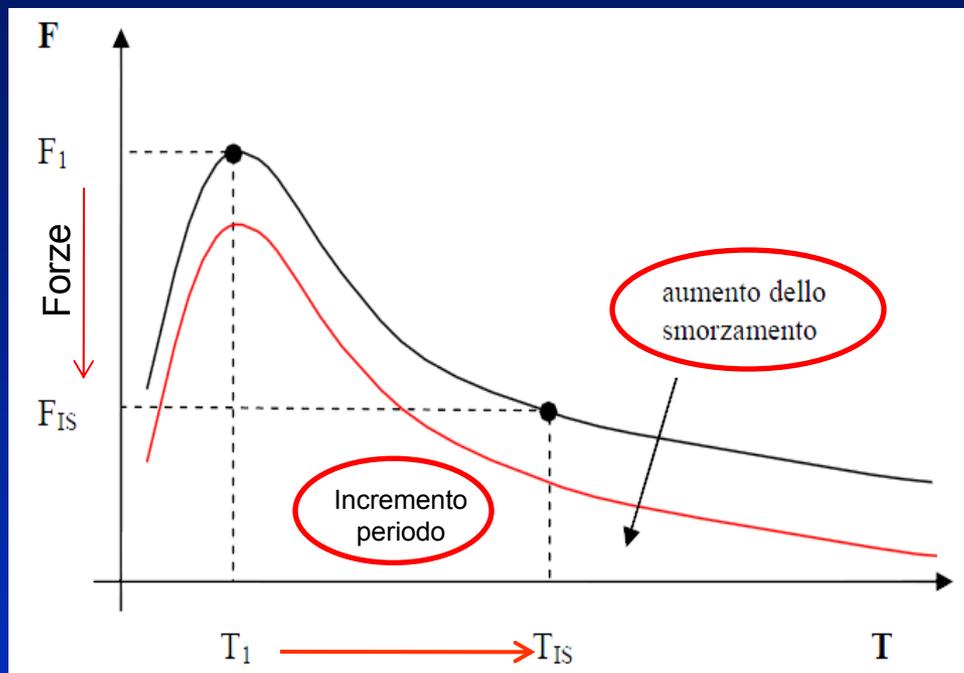


# ISOLAMENTO SISMICO

Il disaccoppiamento è ottenuto interponendo dispositivi detti **ISOLATORI**, tra l'edificio e le fondazioni, ciò consente di ridurre le accelerazioni trasmesse alla sovrastruttura, che si comporta come un corpo rigido al di sopra degli isolatori



# ISOLAMENTO SISMICO: EFFETTI



- Incremento del **PERIODO** (T) fondamentale di oscillazione, rispetto al periodo predominante dei terremoti
- Incremento dello **SPOSTAMENTO ORIZZONTALE** (10-35cm) della sovrastruttura
- Aumento dello **SMORZAMENTO** ( $\xi$ )

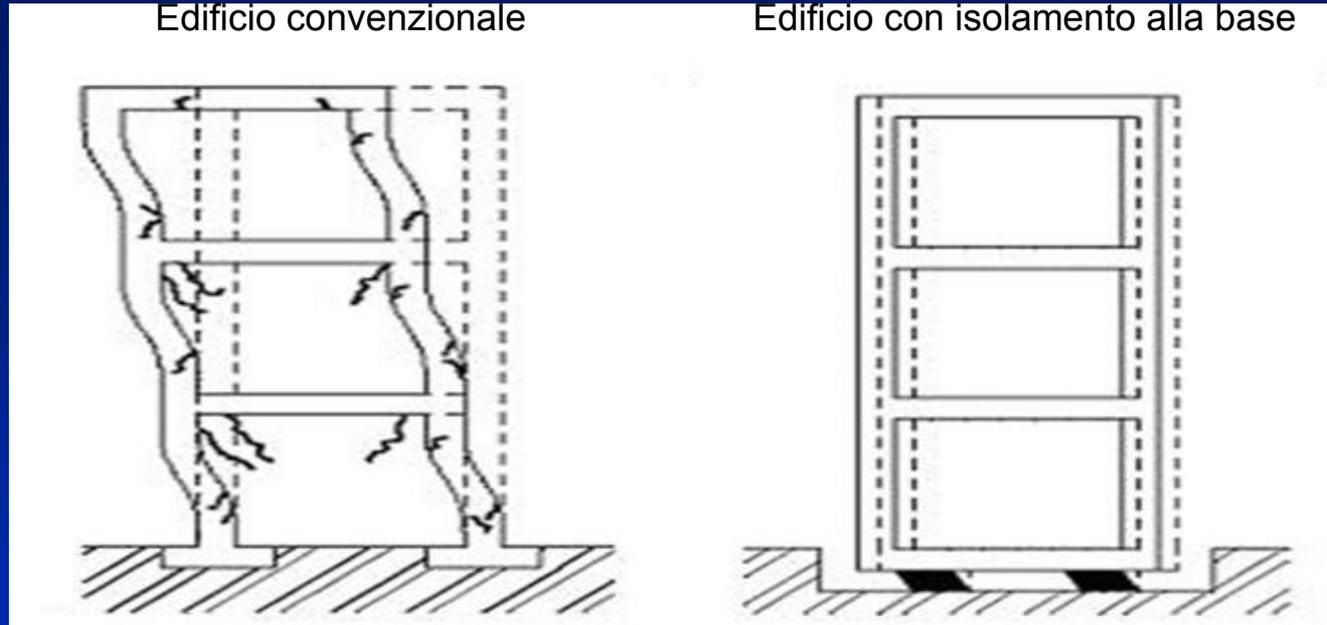


Sensibile riduzione delle **FORZE** di progetto da applicare alla sovrastruttura nel caso di configurazione a base isolata

# SISTEMA DI ISOLAMENTO – PROPRIETA'

- Sostegno carichi gravitazionali con elevata rigidezza in direzione verticale
- Bassa rigidezza in direzione orizzontale, con il fine di incrementare il periodo
- Dissipazione di energia
- Capacità ricentrante (recupero posizione iniziale al termine del sisma)
- Vincolo laterale nei confronti dei carichi di servizio (vento)
- Durabilità elevata

# ISOLAMENTO SISMICO



Edificio a base fissa: riduce le forze sismiche per plasticizzazione degli elementi strutturali.

Edificio a base isolata: riduce le forze sismiche per la presenza di un piano che scivola su dispositivi (isolatori) aventi bassa rigidità orizzontale che modifica le caratteristiche dinamiche della struttura.

# ISOLAMENTO SISMICO – CENNI STORICI

- Il primo edificio con isolatori in neoprene fu una scuola elementare a Skopje, Macedonia nel 1963. Isolatori non-rinforzati.
- 1976, Berkeley, CA, ricerche sugli isolatori in neoprene zincato. In seguito maggiore diffusione, specialmente a partire dagli anni '90 dopo i terremoti di Kobe e Los Angeles.



# ISOLAMENTO SISMICO – STORIA IN ITALIA

1. Italia (con NZ, Francia e Russia) è stata tra i primi paesi ad applicare l'isolamento sismico.
2. Fine anni '70 più di 150 applicazioni per ponti e viadotti.
3. Inizi anni '90, 20 applicazioni di isolatori su edifici: edificio Telecom (AN), edificio a Squillace (CZ), ecc.

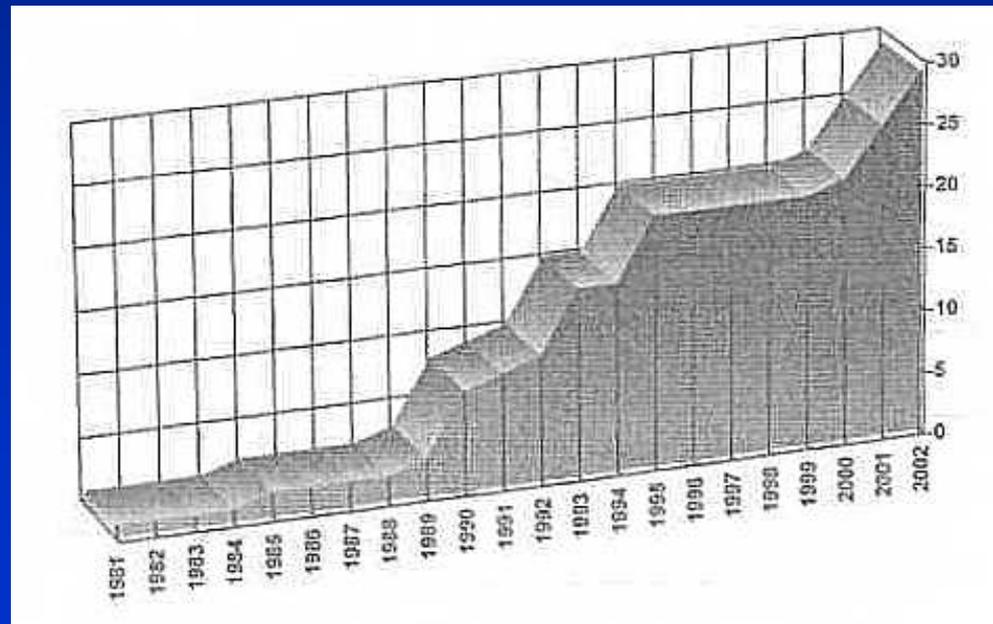


Viadotto Somplago- Udine/Tarvisio



# ISOLAMENTO SISMICO – STORIA IN ITALIA

- Brusco arresto dal 1995 al 1999. Solo edifici dell'Università della Basilicata.
- Edifici isolati non conformi alla legge e da sottoporre, quindi, all'approvazione del Consiglio superiore dei lavori pubblici ⇒ lungo iter burocratico
- Ripresa dopo la nascita del GLIS (ANIDIS) e della pubblicazione delle linee guida per strutture isolate (1998), sebbene con molta difficoltà



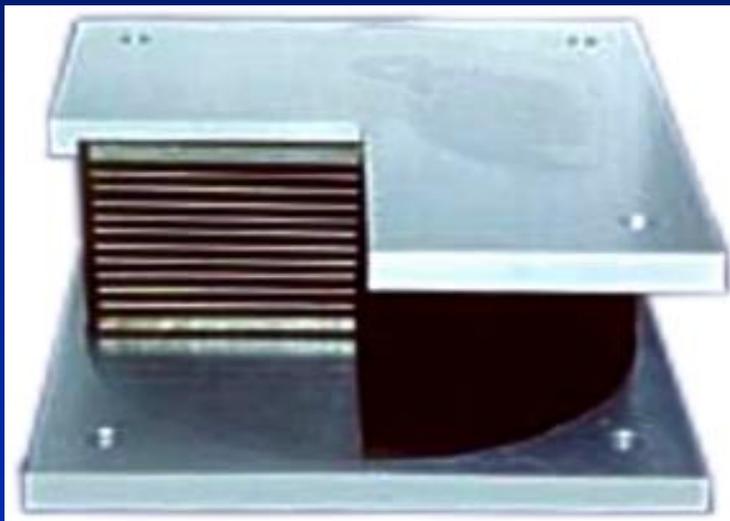
# ISOLAMENTO SISMICO – APPLICAZIONI

1. 1° edificio adeguato in USA, il *Foothill Communities Law and Justice Center (FCLJC)* - 1985
2. Centrale nucleare (*Cruas, Francia*) - 1979
3. Ospedale (*Gervasutta a Udine*) - 2004
4. Bronzi di Riace



# CLASSIFICAZIONE

## ELASTOMERICI



- Alternanza di strati di elastomero ( $s=8-20\text{mm}$ ) e lamierini di acciaio ( $s=2-3\text{mm}$ )
- Piastre di estremità
- Mescole con  $G=0.4-1.4\text{ MPa}$   
 $\xi=2-20\%$

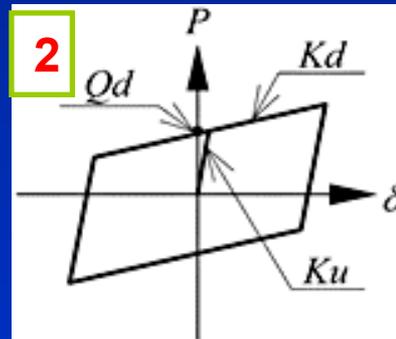
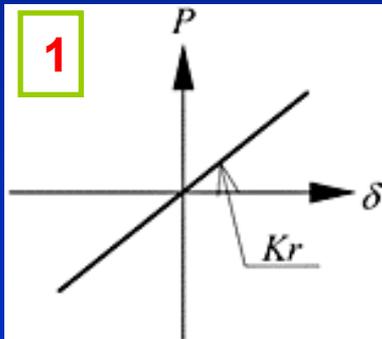
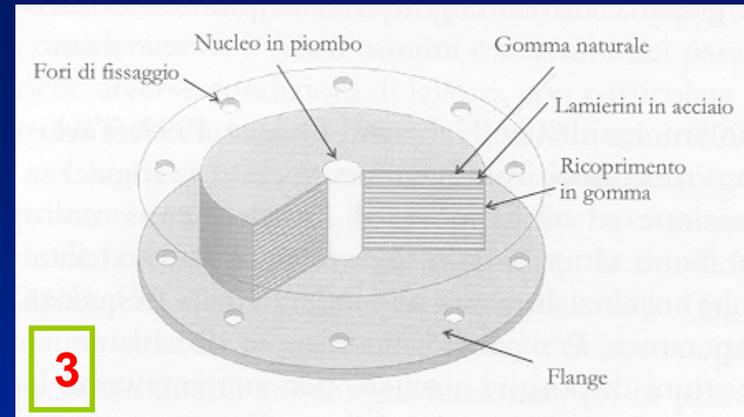
## A SCORRIMENTO



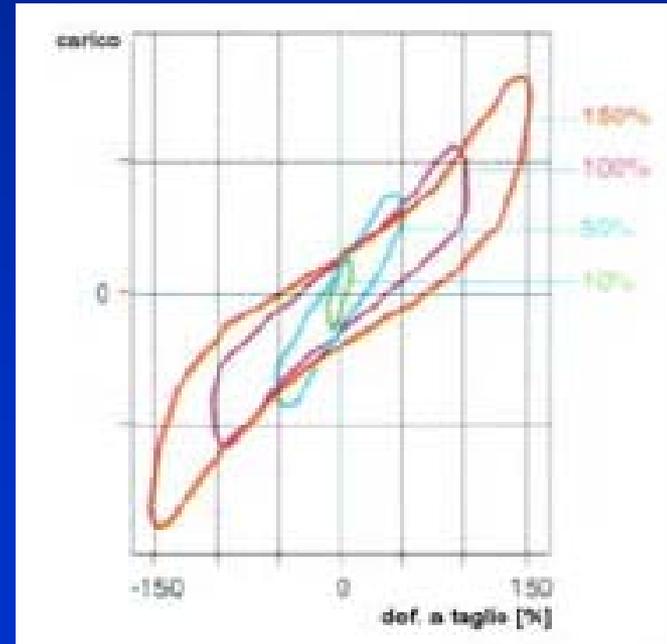
- Acciaio-teflon (interfaccia di scorrimento)

# ISOLATORI ELASTOMERICI

- 1) Low Damping Rubber Bearing (LDRB)
- 2) High Damping Rubber Bearing (HDRB)
- 3) Lead Rubber Bearing (LRB)



ciclo di isteresi di un HDRB al variare della deformazione a taglio



# ISOLATORI ELASTOMERICI

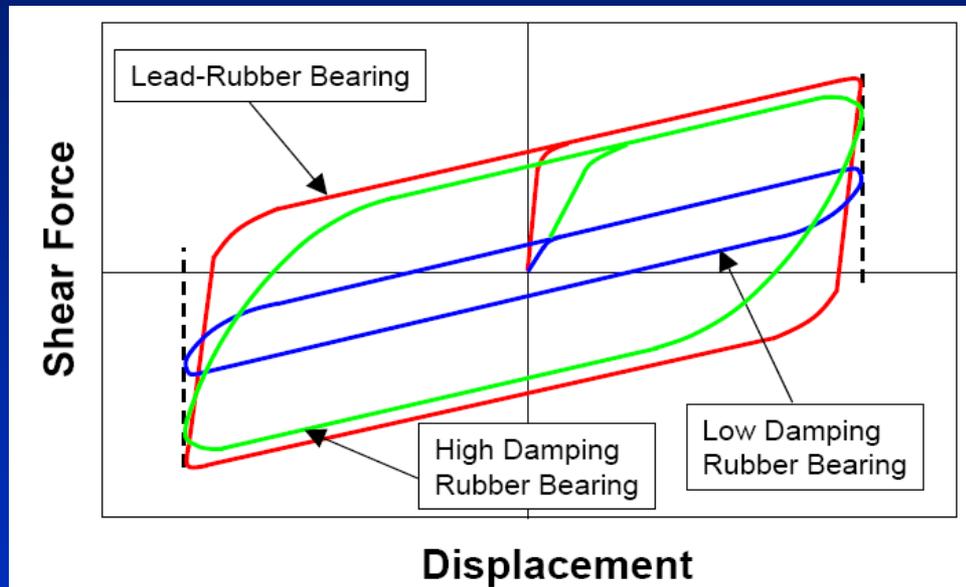


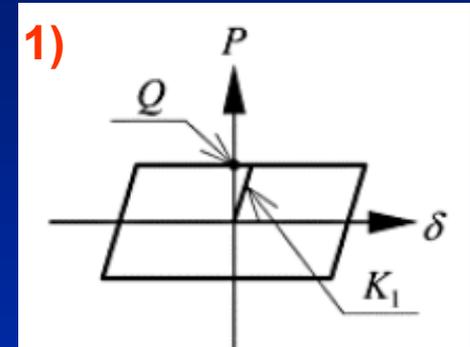
Diagramma taglio-spostamento per i diversi tipi di appoggi

# ISOLATORI A SCORRIMENTO

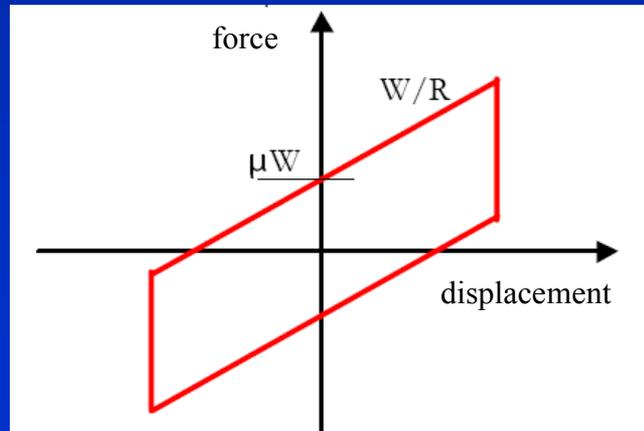
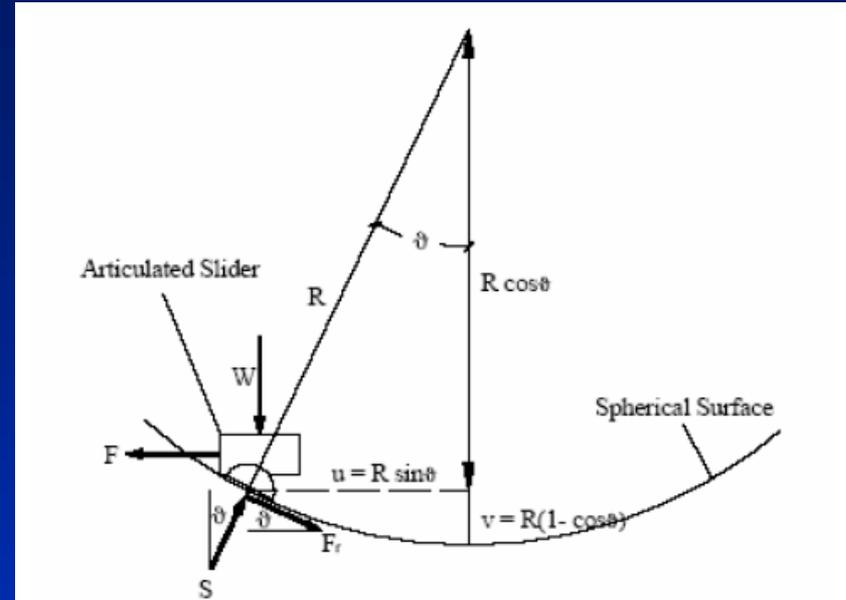
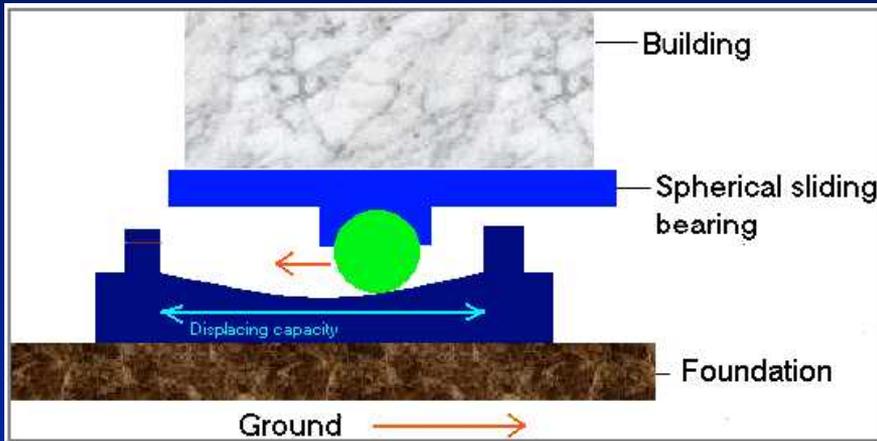
- 1) Friction Base Isolation System (FBIS) (appoggi in acciaio-PTFE)
- 2) Friction Pendulum System (FPS)

## Caratteristiche

- Coefficiente di attrito dinamico = 8-12%
- Si può assumere a volte di trascurare la dissipazione di energia per attrito (superfici lubrificate) nella modellazione e analisi
- No capacità ricentrante, eccetto per l'FPS
- Smorzamento alto ma non troppo perché altrimenti il sistema si blocca



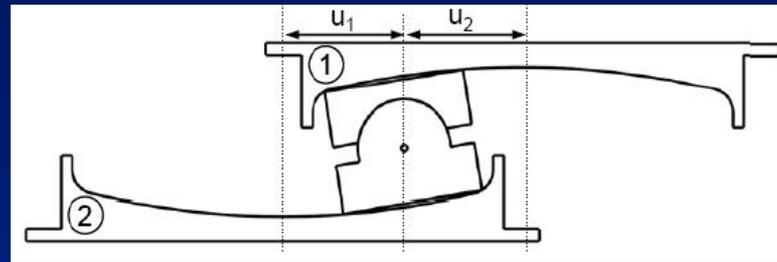
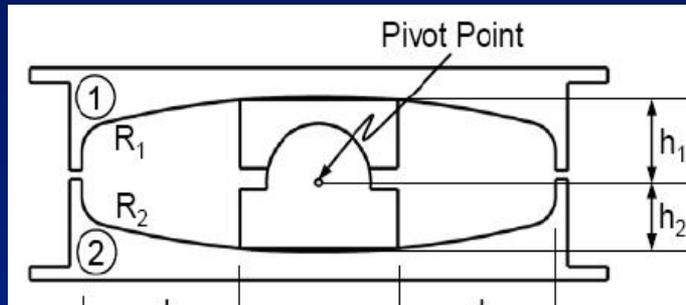
# ISOLATORI A SCORRIMENTO - FPS



Forze agenti sulla massa in posizione deformata

Ciclo di isteresi di un FPS

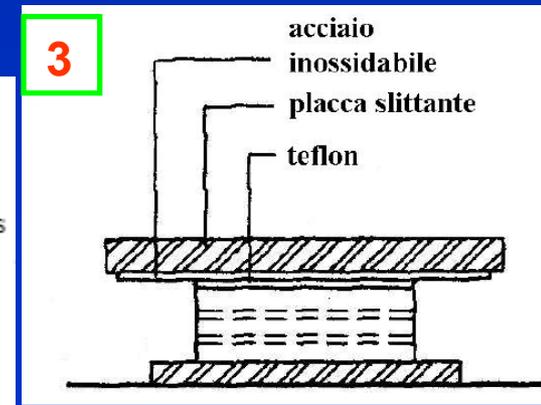
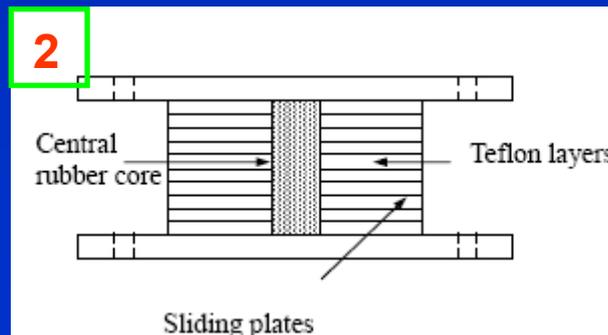
# ISOLATORI A SCORRIMENTO - DCFP



## Double Concave Friction Pendulum (DCFP)

### Altri tipi di isolatori

1. Isolatore a rotolamento
2. Isolatore elastico ad attrito (R-FBI)
3. Isolatore dell'Electricit  de France (EDF)
4. Sistemi Combinati EERC
5. Isolatori elasto-plastici



# CARATTERISTICHE MECCANICHE E PARAMETRI PROGETTUALI

Un'impostazione efficace del progetto di una struttura isolata alla base si fonda su di un corretto predimensionamento del sistema di isolamento, ottenuto non solo attraverso una stima preliminare delle sollecitazioni agenti e degli spostamenti richiesti, ma anche attraverso un'adeguata documentazione sulle specifiche prestazionali dei dispositivi individuati come possibile soluzione al problema progettuale. Tale documentazione può anche avvalersi, ad esempio, di cataloghi dei produttori, prove sperimentali, etc.

LRB-S	V	F <sub>zd</sub>	K <sub>o</sub>	ξ <sub>o</sub>	F <sub>z</sub>	F <sub>1</sub>	d <sub>1</sub>	K <sub>v</sub>	D <sub>g</sub>	t <sub>o</sub>	h	H	Z
	KN	KN	KN/mm	%	KN	KN	mm	KN/mm	mm	mm	mm	mm	mm
			per d <sub>2<sup>max</sup></sub> = 83 mm										
LRB-S 500/100-110	2700	3630	1.04	35	162	106	8	1164	500	100	197	247	660
LRB-S 550/100-120	4170	5430	2.33	35	194	126	8	1579	550	100	197	247	600
LRB-S 600/102-120	4830	6500	2.40	33	207	128	8	1715	600	102	190	240	650
LRB-S 650/102-120	6440	9190	2.08	30	223	129	8	2335	650	102	200	260	700
LRB-S 700/105-115	7250	10570	2.74	27	228	121	8	2374	700	105	197	257	760
LRB-S 750/112-125	9240	12530	3.08	28	257	143	9	2754	750	112	207	267	800
LRB-S 800/128-130	10310	13190	3.20	29	267	155	10	2577	800	128	223	263	850
LRB-S 850/128-130	12650	17040	3.40	27	284	157	10	3130	850	128	223	263	900
LRB-S 900/128-140	13490	19250	3.91	28	320	162	10	3359	900	128	228	266	900
LRB-S 1000/135-150	19250	26760	4.50	27	375	210	11	4344	1000	135	251	331	1050
LRB-S 1100/150-160	24050	32410	5.01	27	418	241	12	4725	1100	150	266	346	1150
LRB-S 1200/154-160	29180	38790	5.42	25	452	247	12	5498	1200	154	266	346	1250

Esempio di catalogo di un LRB

# CARATTERISTICHE MECCANICHE E PARAMETRI PROGETTUALI

## Isolatore elastomerico

$$K_H = \frac{GA}{t_r}$$

rigidezza tangenziale alla  
traslazione orizzontale

$$\gamma = \frac{D}{t_r}$$

max deformazione  
a taglio

$$K_V = \frac{E_c A'}{t_r}$$

rigidezza estensionale  
verticale

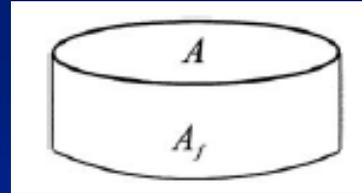
**G** = modulo dinamico equivalente a taglio  
**t<sub>r</sub>** = spessore totale elastomero  
**A** = area sez. trasv. lorda  
**A'** = area sez. trasv. lamine acciaio  
**D** = spostam. max in direzione orizzontale  
**E<sub>c</sub>** = modulo di elasticità istantaneo  
dell'elastomero rinforzato

# CARATTERISTICHE MECCANICHE E PARAMETRI PROGETTUALI

## Isolatore elastomerico

Il fattore di forma  $S$  è definito dal seguente rapporto:

$$S = \frac{A}{A_f}$$



$$S = \frac{\Phi}{4t}$$



$$E_c = 6GS^2$$

forma circolare

$$S = \frac{a}{4t}$$



$$E_c = 6,73GS^2$$

forma quadrata

$$E_c = 6\lambda GS^2$$

$$E_c = 4GS^2$$

forma cava

Il modulo di taglio  $G$  si determina da prove di qualificazione sui dispositivi

$$S = \sqrt{\frac{\kappa}{60G}} \leq 7$$



$\kappa$  = modulo di compressibilità volumetrica

Si può trascurare la comprimibilità della gomma

# CARATTERISTICHE MECCANICHE E PARAMETRI PROGETTUALI

DM 14.01.2008

$$S_1 = \frac{A'}{L}$$

fattore di forma  
primario

$$S_2 = \frac{D}{t_e}$$

fattore di forma  
secondario

$A'$  = superficie in comune strato elastom.-strato acciaio (depurata dei fori)

$L$  = superficie laterale libera del singolo elastomero

$D$  = dimensione in pianta della singola piastra di acciaio // azione sismica

$t_e$  = spessore totale degli strati di elastomero

$$S_1 > 10$$



adeguata rigidezza verticale per  
sostenere i carichi verticali

$$S_2 > 4$$



adeguata rigidezza verticale nelle condizioni  
di max def. orizz. per evitare l'instabilità

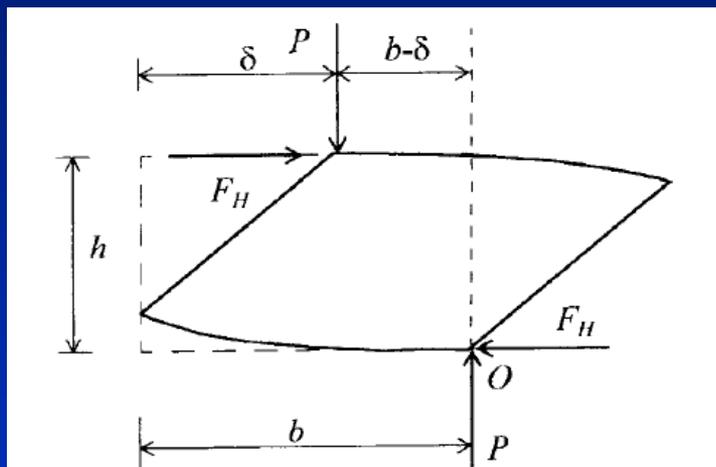
$$\frac{V_{crit}}{P_{max}} \geq 2 \Rightarrow S_2 \geq \frac{4\sqrt{2}}{\pi S_1 G} p$$



$p = P/A =$  tensione applicata = 4-15 MPa  
 $G = 0.4-1.4$  MPa  
 $S_1 > 10$

# CARATTERISTICHE MECCANICHE E PARAMETRI PROGETTUALI

Instabilità per roll-out (per appoggi collegati con semplice adesione)



Affinchè sia assicurata la stabilità:

$$\delta \leq \delta_{\max} \approx 0.9 b$$

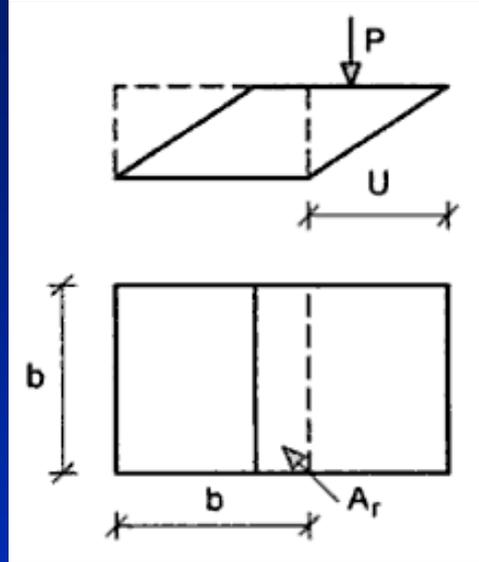
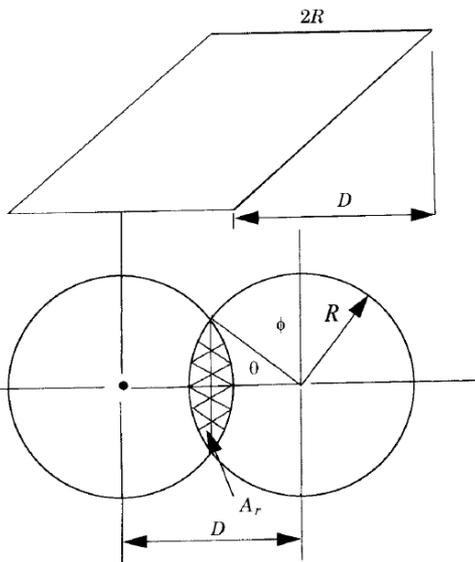
$\delta$  = spostamento orizz. dell'isolatore

$b$  = larghezza base di appoggio

Tale prescrizione, a vantaggio di sicurezza, può essere utilizzata anche per gli appoggi bullonati

# CARATTERISTICHE MECCANICHE E PARAMETRI PROGETTUALI

## Instabilità (Circ. 617/2009)



$A_r$  = area sezione reagente in situazione deformata

$V_{cr}$  = carico critico di instabilità

$$A_r = \text{Min} \left[ \begin{aligned} &(b_x - d_{rfix} - d_{Ex}) \cdot (b_y - d_{rfty} - 0,3 \cdot d_{Ey}) \\ &(b_x - d_{rfix} - 0,3 \cdot d_{Ex}) \cdot (b_y - d_{rfty} - d_{Ey}) \end{aligned} \right]$$

$b_x, b_y$  = dimensione lati isolatore rettangolare

$$A_r = (\varphi - \text{sen } \varphi) D^2 / 4,$$

con  $\varphi = 2 \arccos (d_r / D)$

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

$t_e$  = spessore tot. strati di elastomero

$b_{min} = D$  (circ.) o  $b_{min}$  (rettangolari)

$G_{din} = F t_e / A d = 0,4 - 1,4 \text{ MPa}$  (3° ciclo)

$$P_{max} < V_{cr} / 2$$

$P_{max}$  = max carico verticale agente

# CARATTERISTICHE MECCANICHE E PARAMETRI PROGETTUALI

## Instabilità (Circ. 617/2009)

### Deformazione di taglio totale

$$\gamma_t = \gamma_c + \gamma_s + \gamma_\alpha \leq 5$$

$\gamma_c = 1,5V/(S_1 G_{din} A_r)$  = deformazione di taglio dell'elastomero prodotta dal carico di compressione di progetto V

$\gamma_s = d_2/t_e$  = def. di taglio per lo spostamento sismico totale, inclusi gli effetti torsionali

$\gamma_\alpha = a^2/t_e$  = def. di taglio per la rotazione angolare

$\alpha_x, \alpha_y$  = rotazione isolatore (attorno ad x e ad y)

$$a^2 = \alpha_x^2 b_x^2 + \alpha_y^2 b_y^2 \quad \text{rettang.}$$

$$a^2 = 3\alpha D^2/4 \quad \text{circolari}$$

$$\gamma_s \leq \frac{\gamma^*}{1,5} \leq 2$$

$\gamma^*$  = valore max def. di taglio raggiunta nelle prove di qualificazione relative all'efficacia dell'aderenza elastomero-acciaio

# CARATTERISTICHE MECCANICHE E PARAMETRI PROGETTUALI

## Max tensione sul lamierino di acciaio

(Circ. 617/2009)

$$\sigma_s = 1,3V \cdot (t_1 + t_2) / (A_r t_s)$$

= max tensione sul lamierino di acciaio

$t_s$  = spessore lamierino ( $t_s > 2$  mm)

$V$  = carico verticale agente

$t_1, t_2$  = spessori strati di elastomero direttamente a contatto con il lamierino di acciaio

## Modulo di compressibilità assiale dell'isolatore

(Circ. 617/2009)

$$E_c = \left( 1 / \left( 6G_{din} S_1^2 \right) + 4 / \left( 3E_b \right) \right)^{-1}$$

= modulo di compressibilità assiale dell'isolatore

$E_b$  = modulo di compressibilità volumetrica della gomma = 2000 MPa

# CARATTERISTICHE MECCANICHE E PARAMETRI PROGETTUALI

Le necessarie prove di accettazione e qualificazione sui materiali e sui dispositivi sono riportate nel D.M. 14/1/2008 e nella Circolare n. 617 del 2/2/2009.

I valori di progetto:

$$K_H = \frac{GA}{t_r}$$

$$K_V = \frac{E c A}{t_r}$$

devono essere confrontati con i corrispondenti valori ottenuti nelle prove di qualificazione. Le massime differenze riscontrate devono essere contenute entro i limiti di tabella (D.M. 14/1/2008, Tab. 11.9.IV).

Tabella 11.9.IV

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

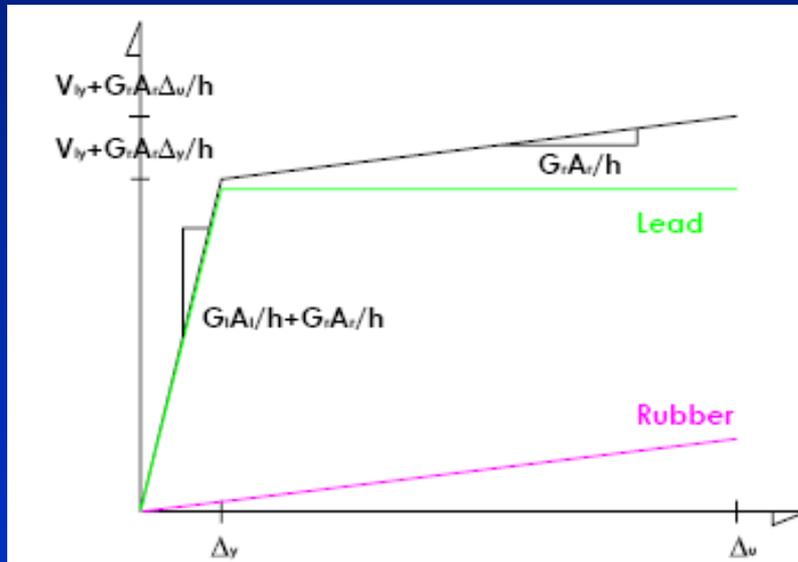
Le variazioni devono essere valutate con riferimento al 3° ciclo di prova.

# CARATTERISTICHE MECCANICHE E PARAMETRI PROGETTUALI

Valori utilizzati nella pratica progettuale al di fuori della Normativa: LRB e FPS

## LRB: Lead Rubber Bearing

$\Phi_{\text{nucleo piombo}} = 10-20\% D_{\text{est}} \text{ isolatore}$



$$V_y = \tau_{ly} A_l + \frac{G_r A_r}{h} \Delta_y$$

$$V_u = \tau_{ly} A_l + \frac{G_r A_r}{h} \Delta_u$$

$\tau_{ly}$  = tens. snerv. nucleo = 10 MPa

$G_l$  = mod. taglio piombo = 130 MPa

$G_r$  = mod. taglio elastomero = 1 MPa

$$K_1 = \frac{1}{h} (G_l A_l + G_r A_r)$$

$$K_2 = \frac{G_r A_r}{h}$$

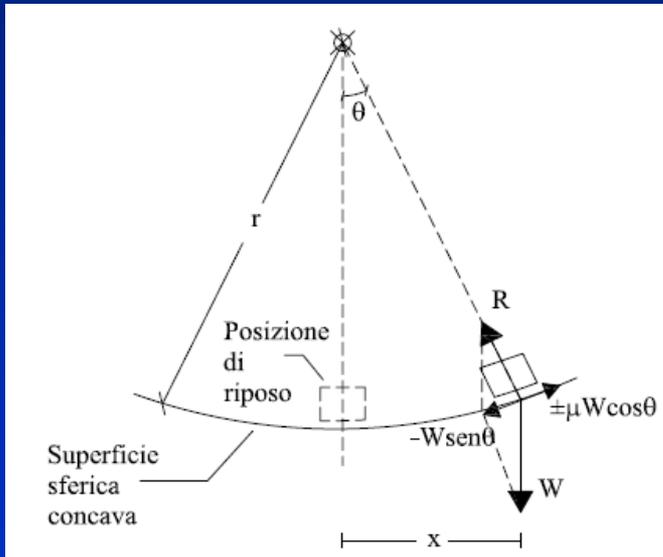
$$K_1 \approx 10 K_2$$

# CARATTERISTICHE MECCANICHE E PARAMETRI PROGETTUALI

Valori utilizzati nella pratica progettuale al di fuori della Normativa: LRB e FPS

## FPS: Friction Pendulum System

$K_H =$  proporzionale al carico verticale  $= W/r$



il baricentro degli sforzi di taglio coincide con la proiezione sul piano di isolamento del centro di massa della sovrastruttura

Importante proprietà degli FPS: capacità di eliminare quasi totalmente gli effetti torsionali presenti in edifici dove  $CM \neq CK$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{M}{k}} = 2\pi \sqrt{\frac{W/g}{k}} = 2\pi \sqrt{\frac{r}{g}}$$

= periodo proprio di vibrazione della struttura

## Isolatori a scorrimento – DM 14/01/2008- pto.11.9.8

Per evitare la perdita di contatto tra superfici scorrevoli.

Se:

$$\Delta F < 1,25\% W_{sovr}$$
$$0,5 d_{dc} \leq d \leq d_{dc}$$



gli isolatori devono essere in grado di garantire la loro funzione di appoggio fino a  $d = d_{max} = 1,25 d_2$

$\Delta F$  = incremento di forza nell'isolatore

$d$  = spostamento del sistema di isolamento

$d_{dc}$  = spostam. max del centro di rigidezza allo SLC

$d_2$  = spostam. max di progetto del singolo isolatore allo SLC

# MODELLAZIONE COMPORTAMENTO SPERIMENTALE ISOLATORI

D.M. 2008 – pto. 11.9.7

Parametri equivalenti per isolatori elastomerici

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



**d** = spostam. max raggiunto in quel ciclo  
**F** = forza orizz. in corrispondenza di d  
**G<sub>din</sub>** = mod. dinamico equiv. a taglio  
**A** = area elastomero soggetta al carico vert.  
**t<sub>e</sub>** = spessore tot. strati di elastomero

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



L'en. dissipata per isteresi (**E<sub>d</sub>**) viene trasformata in smorzamento viscoso equivalente.

**E<sub>d</sub>** = en. dissipata in un ciclo completo di carico (generalm. calcolata per **γ = 100%**)

$$K_V = \frac{F_V}{d_V}$$



**F<sub>v</sub>** = forza verticale di progetto

**d<sub>v</sub>** = spostamento verticale

# MODELLAZIONE COMPORTAMENTO SPERIMENTALE ISOLATORI

**A)** Modello lineare equivalente

**B)** Modello non-lineare equivalente

**A)** Si può usare se sono verificate delle condizioni sulla rigidezza o sullo smorzamento equivalente del sistema di isolamento e determinate caratteristiche del legame costitutivo forza-spostamento

**Circ. 617/2009**  
– pto. C7A.10

Rigidezza totale  
equivalente del s.i.

$$K_{esi} = \sum_j (K_{ej})$$

Smorzamento viscoso  
equivalente del s.i.

$$\xi_{esi} = \sum_j (W_{dj}) / 2\pi K_{esi} d^2$$

dove  $W_{dj} = E_{dj} = \text{en. dissipata in un ciclo completo di carico dell'isolatore } j\text{-esimo}$

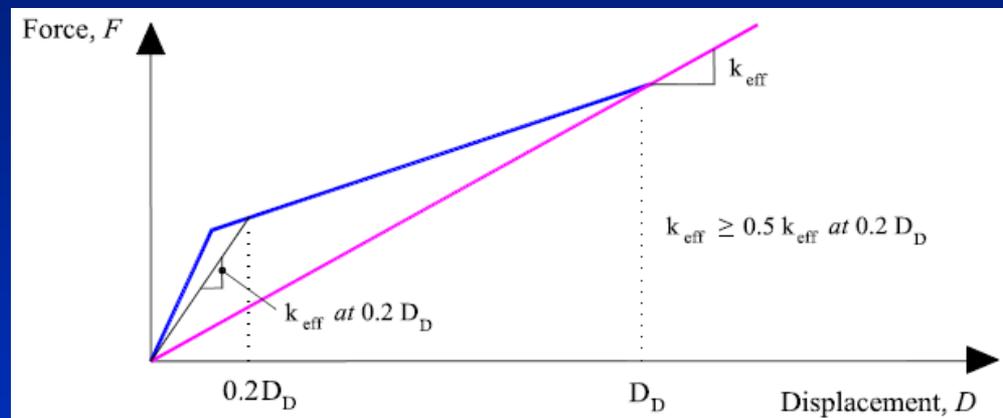
**B)** Il legame costitutivo non-lineare viene sostituito con un modello bi-lineare equivalente.

# MODELLAZIONE COMPORTAMENTO SPERIMENTALE ISOLATORI

D.M. 2008 – pto. 7.10.5.2

## A) Modello lineare equivalente – condizioni

- $K_{esi} \geq 50\% K_{sec}$  per cicli con spostamento pari al 20% dello spostamento di riferimento ( $D_D$ )
- $\xi_{esi} < 30\%$



- le caratteristiche forza-spostamento del sistema d'isolamento non variano oltre il 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)

# MODELLAZIONE COMPORTAMENTO SPERIMENTALE ISOLATORI

## D.M. 2008 – pto. 7.10.5.2

### A) **Modello lineare equivalente – condizioni**

- **$\Delta F$  nel sistema d'isolamento  $\geq 2,5\% W_{sovr}$**  per  $0,5d_{dc} \leq d \leq d_{dc}$ ,  
con  $d_{dc}$  = spostamento di progetto del centro di rigidità dovuto all'azione sismica allo SLC
- **$K_v/K_{esi} > 800$   $\rightarrow$  si trascura la deformazione verticale**

## Circ. 617/2009 – pto C7.10.5.1

Nel caso di isolatori elastomerici, per rapporti di smorzamento dell'ordine del 10%, le analisi per lo SLU e per lo SLD possono eseguirsi, in genere, con gli stessi valori di rigidità e di smorzamento, se i valori di deformazione raggiunti per i due livelli di azione sono compresi tra il 50% e il 150% .

# MODELLAZIONE COMPORTAMENTO SPERIMENTALE ISOLATORI

## B) Modello non lineare equivalente – parametri

- 1)  $k_e$  = rig. elastica del 1° ramo
- 2)  $k_p$  = rig. post-elastica del 2° ramo
- 3)  $Q$  = valore caratteristico dello sforzo di taglio
- 4)  $k_{eff}$  = rig. equivalente = pendenza retta congiungente i due punti del ciclo di isteresi con max forza di taglio

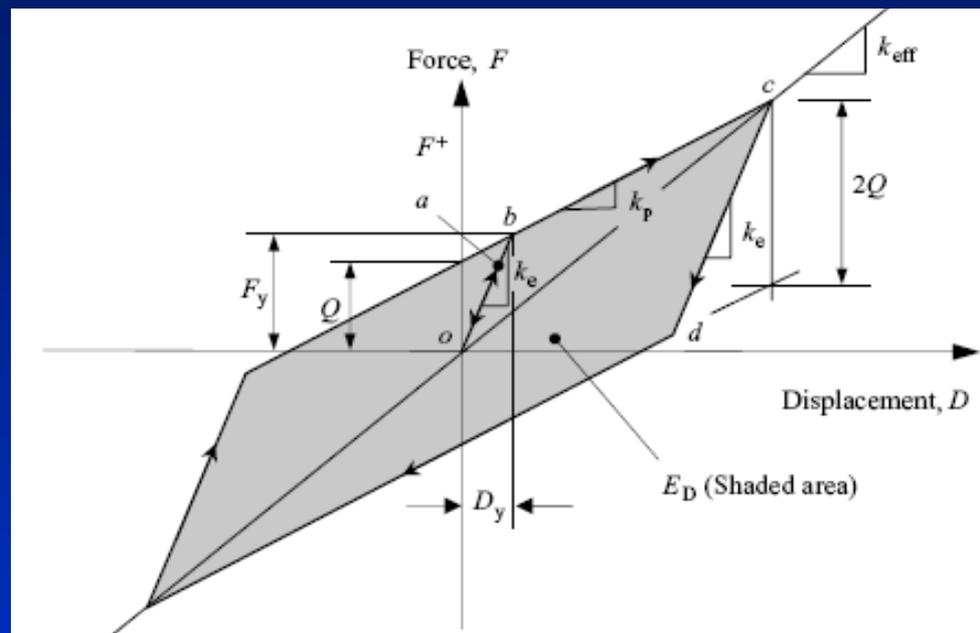
$$k_{eff} = k_p + \frac{Q}{D_D}$$

con  $D_D$  = max spost. di riferimento del dispositivo di isolamento

$$5) \quad D_y = \frac{Q}{k_e - k_p} \quad F_y = Q + k_p D_y$$

$$\zeta_e = \frac{E_d}{2\pi k_{eff} D_D^2} \quad \longrightarrow \quad E_d = 4Q(D_D - D_y) \quad \text{per cui:}$$

$$\zeta_e = \frac{2Q(D_D - D_y)}{\pi k_{eff} D_D^2}$$



**N.B. Tali parametri si particolarizzano a seconda del tipo di isolatore considerato**

# MODELLAZIONE COMPORTAMENTO SPERIMENTALE ISOLATORI

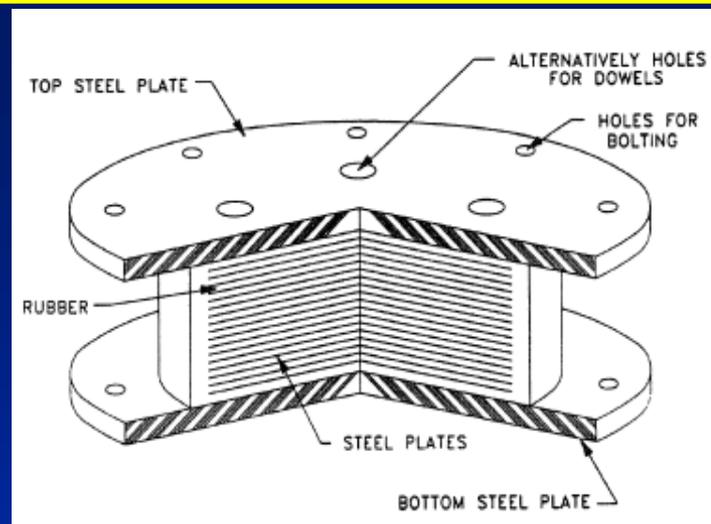
## HDRB: High Damping Rubber Bearing

$$k_p = G_{din} \frac{A}{t_e}$$

$$Q = \frac{\pi \zeta_e k_p D_D^2}{(2 - \pi \zeta_e) D_D - 2D_y}$$



per  $\xi_e$  e  $D_y$  si inseriscono i valori determinati attraverso le prove di qualificazione



Di solito:

$$10\% < \xi_e < 20\%$$

$$D_y = \lambda t \quad \text{con} \quad 0,05 < \lambda < 0,1$$

$t$  = spessore tot. di elastomero

$$k_e = \frac{F_y}{D_y}$$

dove:

$$F_y = Q + k_p D_y$$

Con le opportune sostituzioni si ottiene la rigidezza equivalente  $k_{eff}$

$$k_{eff} = \frac{2Q(D_D - \lambda t)}{\pi \zeta_e D_D^2}$$

# MODELLAZIONE COMPORTAMENTO SPERIMENTALE ISOLATORI

## LRB: Lead Rubber Bearing

$$k_p = \frac{G_r A_r}{h}$$

$$Q = A_l \tau_{ly}$$

$$k_e = \frac{1}{h} (G_l A_l + G_r A_r)$$

$$k_e = \kappa k_p$$

con:  $6.5 \leq \kappa \leq 10$

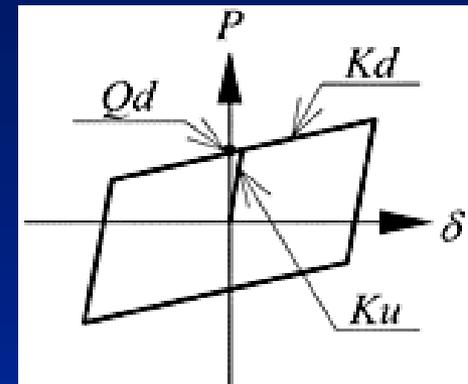
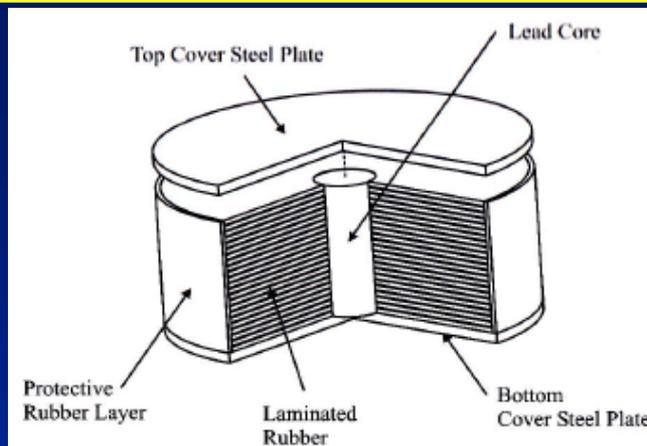
$\tau_{ly}$  = tens. snerv. nucleo = 10 MPa

$$D_y = \frac{Q}{(\kappa - 1) k_p}$$



$$\xi_e = \frac{2Q(D_D - D_y)}{\pi k_{eff} D_D^2} = \frac{2Q [(\kappa - 1) k_p D_D - Q]}{\pi (\kappa - 1) k_p (k_p D_D + Q) D_D}$$

essendo  $k_p D_D + Q = k_{eff} D_D$



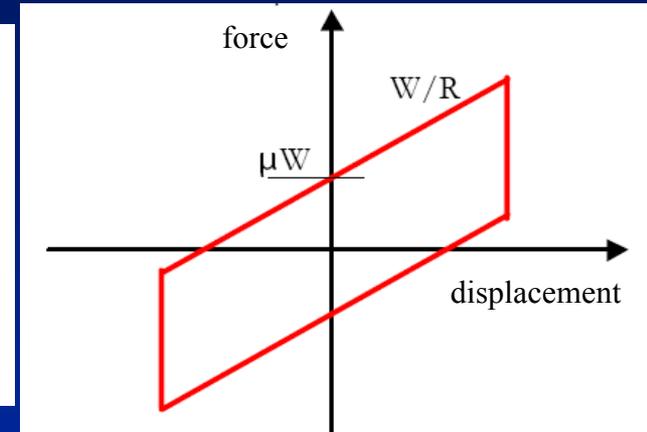
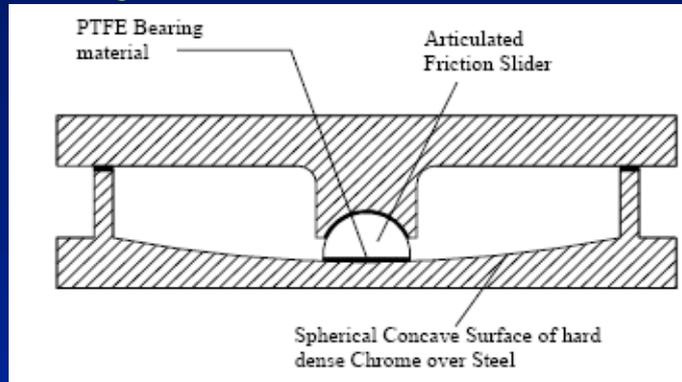
# MODELLAZIONE COMPORTAMENTO SPERIMENTALE ISOLATORI

## FPS: Friction Pendulum System

$$Q = \mu_s W$$

$$k_p = \frac{W}{R}$$

$\mu_s$  = coeff. di attrito



$$D_y = \frac{Q}{k_e - k_p} \approx \frac{Q}{100 k_p} = \frac{\mu_s W}{100 (W/R)} = \frac{\mu_s R}{100}$$

perchè  $k_e \approx 100 k_p$

→  $D_y$  assume valori molto piccoli

→  $D_y$  è trascurabile rispetto allo spostamento di progetto  $D_D$

$$E_d = 4Q(D_D - D_y) \approx 4QD_D = 4\mu_s W D_D$$

$$k_{eff} = k_p + \frac{Q}{D} = W \left( \frac{1}{R} + \frac{\mu_s}{D_D} \right)$$

e

$$\zeta_e = \frac{4\mu_s W D_D}{2\pi W (1/R + \mu_s/D_D) D_D^2} = \frac{2\mu_s}{\pi (D_D/R + \mu_s)}$$

# METODI DI ANALISI STRUTTURALE

1.- Analisi statica lineare

2.- ~~Analisi statica non -lineare~~

3.- Analisi dinamica lineare

4.- Analisi dinamica non lineare



Perché la sovrastruttura si mantiene in campo elastico e non si hanno vantaggi nella progettazione con isolamento

1. e 3. se il sistema di isolamento è modellabile come lineare.

Altrimenti 4. dove la sovrastruttura è modellabile con elementi a comportamento elastico-lineare e il sistema di isolamento è modellabile con elementi a comportamento non-lineare, con diagramma costitutivo bilineare teorico che approssima il reale comportamento ciclico.

# METODI DI ANALISI STRUTTURALE

## 1.- Analisi statica lineare - condizioni

D.M. 2008 – pto. 7.10.5.3.1

- a) Il sistema di isolamento può essere modellato come lineare equivalente (pto. 7.10.5.2)
- b) Regolarità in pianta della struttura (pto. 7.2.2)
- c) Contenimento delle dimensioni della sovrastruttura:  
 $H \leq 20\text{m}$        $n_{\text{piani}} \leq 5$        $D_{\text{max}}^{\text{pianta}} \leq 50\text{m}$
- d)  $3T_{\text{bf}} \leq T_{\text{is}} \leq 3\text{ s}$

Circ. 617-09

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



$M$  = massa tot della sovrastruttura  
 $K_{\text{esi}}$  = rig. equiv. orizz. senza effetti torsionali al piano di isolamento

# METODI DI ANALISI STRUTTURALE

## 1.- Analisi statica lineare - condizioni

D.M. 2008 – pto. 7.10.5.3.1

$$T_{bf} = T_1 = C_1 \cdot H^{3/4}$$

D.M. 2008 – pto.7.3.3.2.

$$\begin{array}{l} T_{bf} < 2,5 T_C \\ < T_D \\ H < 40 \text{ m} \end{array}$$

$$T_1 = 2 \cdot \sqrt{d}$$

EC8 – pto.4.3.3.2.2

**d [m] = spost. lat. elastico sovrastrut.**

è ottenuto applicando ai vari piani forze orizzontali fittizie pari ai pesi propri di impalcato

e) sottostruttura  $\infty$  rigida  $\rightarrow T_{sott} \leq 0.05 \text{ s}$

Altrimenti l'isolamento non disaccoppierebbe il moto perché la sottostruttura si deformerebbe; non si avrebbero le ampie oscillazioni della sovrastruttura sugli isolatori, accompagnate da piccole accelerazioni

# METODI DI ANALISI STRUTTURALE

## 1.- Analisi statica lineare - condizioni

D.M. 2008 – pto. 7.10.5.3.1

e)

$$K_V \geq 800 \cdot K_{esi}$$

$$T_V = \sqrt{M/K_V} \leq 0.1 \text{ s}$$



Si trascurano gli effetti della deformabilità verticale degli isolatori elastomerici

f) No isolatori soggetti a trazione



comportamento non lineare degli isolatori (cavitazione, sollevamenti,...)

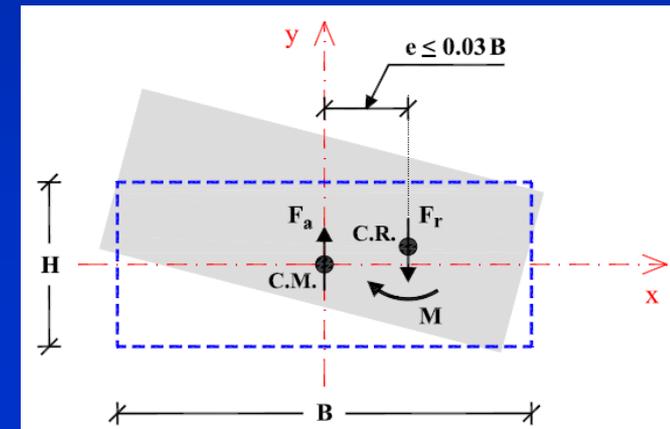
g)  $e_{(CR-CM)} \leq 3\% D_{trasv}$

$D_{trasv}$  = dimensione della sovrastruttura, trasversale alla direzione orizzontale considerata



- la massa partecipante è quasi tutta concentrata nei primi due modi traslatori
- evitare scostamenti significativi dello spostam. di ogni isolatore

**N.B.** Anche nell'analisi dinamica lineare occorre limitare la  $e_{(CR-CM)}$



# MODELLI DI CALCOLO

**1.- Analisi statica lineare**

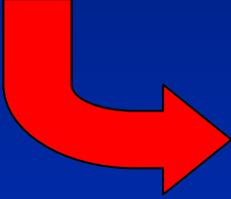
: 2 sub-modelli

Sovrastruttura + s.i.

Solo sottostruttura

**3.- Analisi dinamica lineare**

: sovrastrut. + sottostrut. (un unico modello)

- 
- Analisi modale con spettro di risposta
  - Integrazione diretta delle equazioni del moto

Un corretto valore di  $\xi$  (coefficiente di smorzamento viscoso equivalente) si ottiene o introducendo nelle equazioni modali disaccoppiate il corrispondente valore modale di  $\xi$ , oppure definendo in maniera appropriata la matrice di smorzamento del sistema  $C$  (se si opera sul sistema completo).

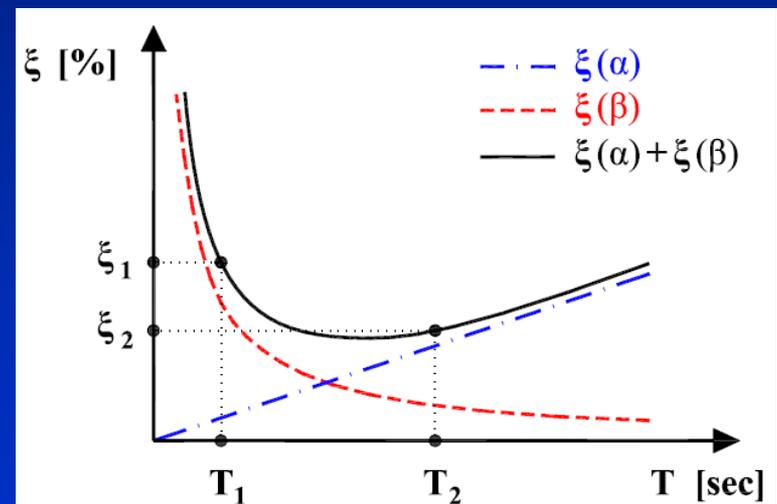
# MODELLI DI CALCOLO

## 3.- Analisi dinamica lineare

Assunta  $C = \alpha M + \beta K$  disaccoppiabile, si sostituisce nell'equazione del moto e si pone  $T_i = 2\pi/\omega_i$   $\rightarrow$  la formula della Circ. 617-2009 per determinare  $\xi_i$ :

$$\xi_i = 0,5 \left[ (\alpha T_i) / 2\pi + (2\pi \beta) \right] / T_i$$

Andamento di  $\xi$  in funzione di  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $T$



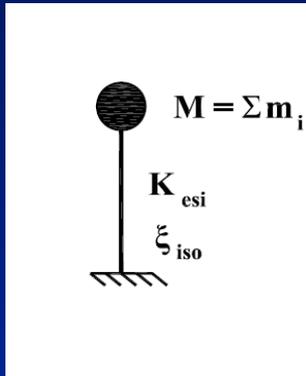
## 3.- Analisi dinamica lineare

Si deve considerare la **componente verticale** quando:

- $K_v < 800 K_{esi}$
- elementi pressochè orizzontali con  $L > 20m$
- elementi precompressi (eccetto solai con  $l < 8m$ )
- elementi a mensola con  $l > 4m$
- strutture di tipo spingente
- pilastri in falso
- edifici con piani sospesi
- il sito non è in zona 3 o 4

# SVILUPPO ANALISI STATICA LINEARE

D.M. 2008 – pto. 7.10.5.3.1



Nell'analisi statica lineare equivalente la risposta può descriversi con un modello ad 1 g.d.l. →

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

E' possibile adottare un modello di calcolo semplificato che assimila la sovrastruttura ad un corpo rigido, libero di traslare al di sopra del sistema di isolamento, e ne descrive il moto individuando due traslazioni orizzontali indipendenti e sovrapponendo a queste gli effetti torsionali

→ Distribuzione uniforme di accelerazione lungo l'altezza dell'edificio

Ad ogni piano  $f_j = m_j \cdot S_e(T_{is}, \xi_{esi})$  è la forza da applicare al piano j-esimo

La risultante:  $F = M \cdot S_e(T_{is}, \xi_{esi})$  è applicata al sistema di isolamento in ciascuna delle due direzioni orizzontali ed è ripartita tra gli elementi della sottostruttura in maniera proporzionale alle rigidezze dei corrispondenti dispositivi di isolamento.

# SVILUPPO ANALISI STATICA LINEARE

D.M. 2008 – pto. 7.10.5.3.1

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

$d_{dc}$  = spostamento di CK del sistema di isolamento provocato da F

$K_{esi, \min}$  = valore min tra le  $K_{esi}$  del s.i. considerando le combinazioni più sfavorevoli delle proprietà meccaniche dei singoli isolatori

Per considerare gli effetti della torsione lo spostamento max nelle due direzioni per il singolo isolatore diventa:

$$d_{xi} = d_{dc} \cdot \delta_{xi}$$

$$d_{yi} = d_{dc} \cdot \delta_{yi}$$

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

$r_x$  ed  $r_y$  sono le componenti, in direzione x e y, del raggio torsionale del s.i.

# SVILUPPO ANALISI STATICA LINEARE

Gli effetti torsionali sulla sovrastruttura si considerano amplificando le sollecitazioni su ogni elemento moltiplicando le  $f_j$  applicate al baricentro di ogni impalcato per

$$\delta = 1 + 0,6 x / L_e$$

$x$  = distanza dell'elemento verticale resistente dal baricentro geometrico di piano, misurata perpendicolarmente alla direzione dell'azione sismica considerata

$L_e$  = distanza tra i due elementi resistenti più lontani, misurata nello stesso modo

Le risposte  $E_{x,y}$  vanno combinate:

$$\begin{aligned} &1,00 \cdot E_x + 0,30 \cdot E_y \\ &0,30 \cdot E_x + 1,00 \cdot E_y \end{aligned}$$

La risultante si ottiene applicando la regola della radice quadrata della somma dei quadrati (SRSS)

$$d_2 = \max \left( \sqrt{(d_x)^2 + (0.3d_y)^2} ; \sqrt{(d_y)^2 + (0.3d_x)^2} \right)$$

**N.B.** L'analisi statica lineare anche quando non è applicabile, è uno strumento utile per l'analisi preliminare.

Per la verifica del sistema di isolamento e la valutazione del taglio alla base la Circ. 617 consiglia di eseguire sempre un'analisi statica lineare

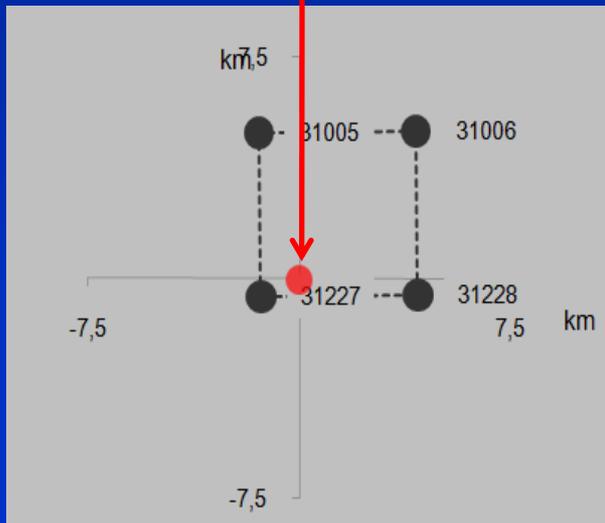
# AZIONE SISMICA

Nelle NTC le forme spettrali sono definite, per ciascuna probabilità di superamento del periodo di riferimento  $P_{VR}$ , dai seguenti parametri:

- $a_g$  accelerazione massima al sito
- $F_0$  fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale
- $T_c$  periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

In allegato alle NTC sono forniti tali valori per tutti i siti del territorio italiano, in corrispondenza dei nodi di un reticolo di riferimento.

CERIGNOLA (FG)



$$p = \frac{\sum_{i=1}^4 \frac{P_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{d_i}}$$

$p$  = valore del parametro di interesse nel punto in esame  
 $P_i$  = valori del parametro di interesse per i punti del reticolo  
 $d_i$  = distanze tra i punti del reticolo e il punto di interesse

Stato limite	$P_{VR}$ [%]	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_c^*$ [s]
SLO	81	30	0,043	2,534	0,279
SLD	63	50	0,056	2,539	0,298
SLV	10	475	0,170	2,495	0,396
SLC	5	975	0,237	2,419	0,415

# AZIONE SISMICA

## EDIFICIO A BASE ISOLATA (q=1,5)

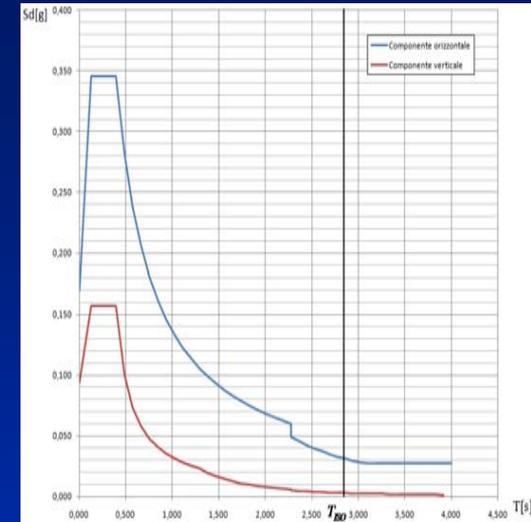
### SPETTRO ELASTICO

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

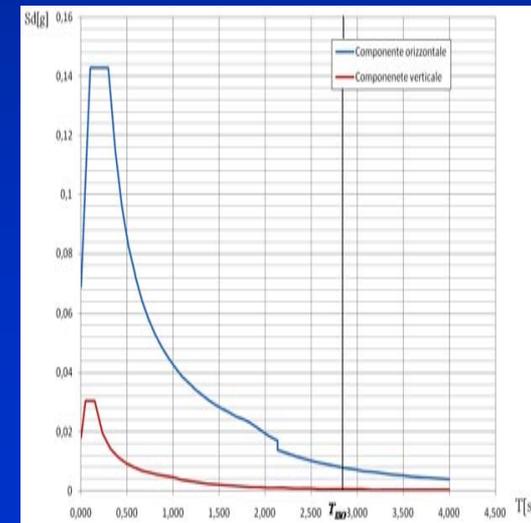
$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

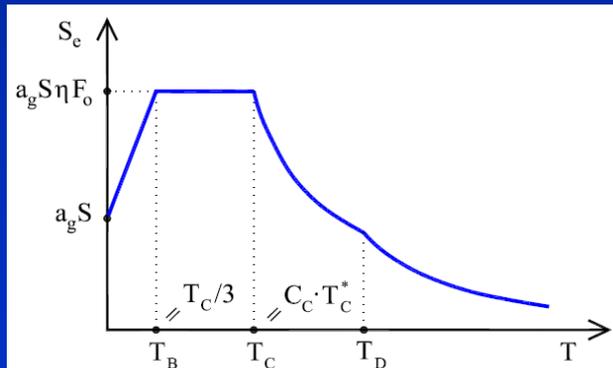
$$T_D < T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$



(SLU)



(SLD)



# AZIONE SISMICA

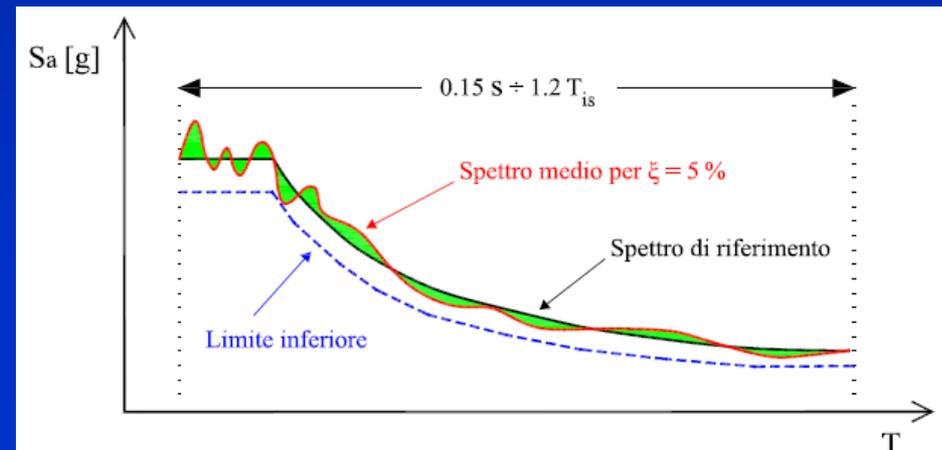
## ACCELEROGRAMMI ARTIFICIALI

-Accelerogrammi artificiali commisurati alla pericolosità del sito con spettro di risposta elastico coerente con lo spettro di risposta di progetto

- Similmente alle strutture a base fissa, un indice di coerenza con lo spettro elastico è rappresentato dalla media delle ordinate spettrali ottenute con i diversi accelerogrammi, in corrispondenza di  $\xi = 5\%$ , relativamente all'intervallo  $0,15 \text{ s} \div 1,2 T_{is}$  (SLU e SLE) (D.M. 14/01/2008 – pto. 3.2.3.6):

dove  $T_{is}$  = periodo equivalente della struttura isolata

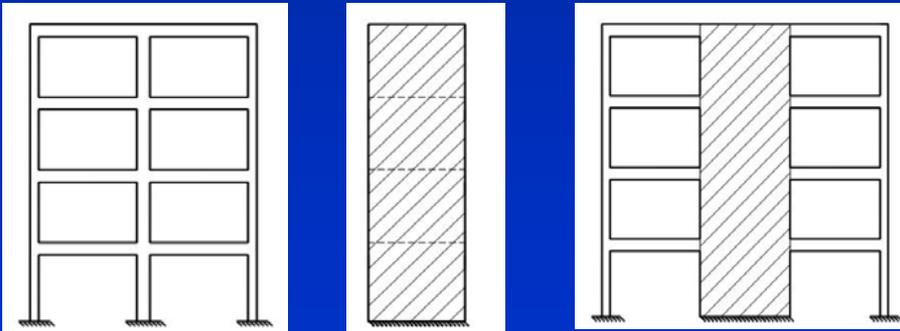
- Tale ordinata media spettrale non deve avere uno scarto in difetto  $> 10\%$  rispetto alla corrispondente componente dello spettro elastico.



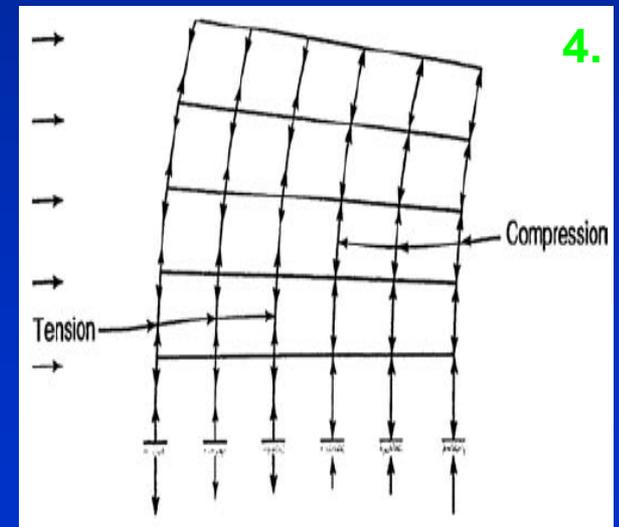
# CRITERI DI PROGETTAZIONE

1. Elevato rapporto di isolamento  $\zeta_{is} = T_{is} / T_{bf}$  con  $T_{is} = 3-5 T_{bf}$  ;  $T_{is} < 3s$
2. Altezza medio-bassa  $\longrightarrow$  è possibile avere  $\zeta_{is}$  elevato
3. Il numero max di piani oltre il quale l'isolamento sismico non è più efficace dipende dalla tipologia strutturale
4. Per edifici con elevato rapporto altezza/larghezza, evitare sforzi di trazione sugli isolatori, cosa più probabile per edifici alti e snelli (che però non sono adatti ad essere isolati)

3.



4.



# CRITERI DI PROGETTAZIONE

## Criterio 4

### A. Circostanze che favoriscono l'insorgere di rilevanti sforzi di trazione:

- presenza di scale realizzate con robuste travi a ginocchio (molto irrigidenti)
- presenza di telai con traversi rigidi e campate molto dissimili
- presenza di pareti accoppiate mediante travi corte e rigide
- presenza di sistemi misti telaio-parete dotate di travi di collegamento molto corte e rigide.

### B. Come evitare sforzi di trazione negli isolatori:

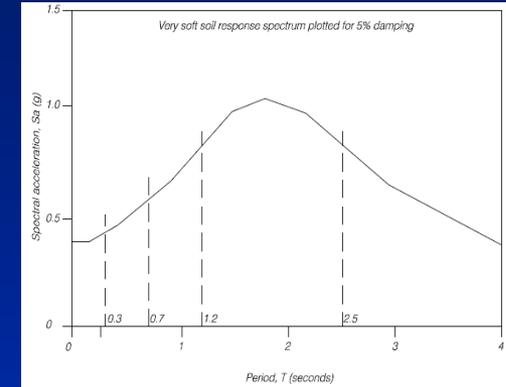
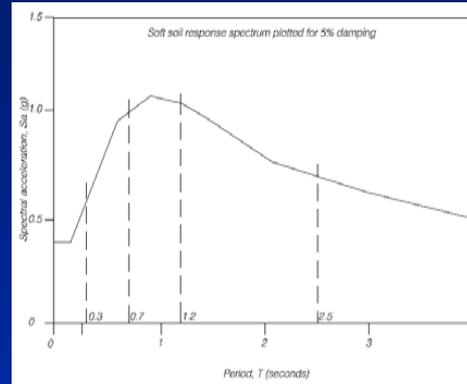
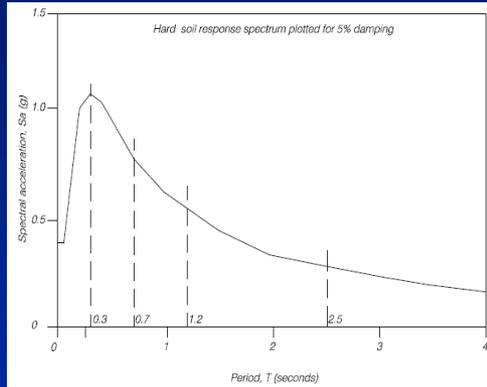
- uso di catene (adatte a resistere a elevati sforzi di trazione)
- impiego di unioni semi-rigide
- variare gli interassi della maglia strutturale in modo che  $V > 0$  sugli isolatori (D.M. 14.01.2008. pto. 7.10.4.2)

Se  $V < 0$   $\longrightarrow$  limitare la trazione  $\sigma_t < \min [2G; 1 \text{ MPa}]$

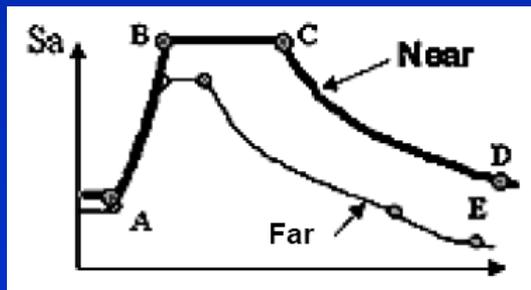
- effettuare prove sperimentali sugli isolatori per verificare la capacità di sostenere un determinato sforzo di trazione.

# CRITERI DI PROGETTAZIONE

## 5. Caratteristiche del terreno



## 6. Distanza dalla faglia: evitare effetti “near-fault”

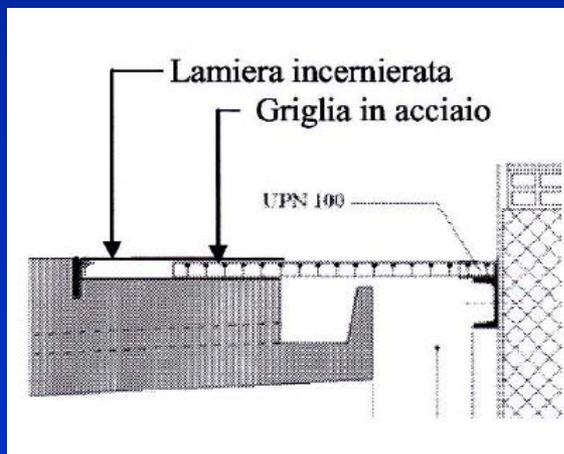


# CRITERI DI PROGETTAZIONE

7. Rigidezza orizzontale crescente al diminuire dell'intensità delle azioni orizzontali sollecitanti per evitare continue vibrazioni sotto i carichi di servizio.

I carichi orizzontali di esercizio  $\leq 10\% W_{\text{sovrast}}$  (gli isolatori sono progettati per un intervallo pari a 5-15%  $W_{\text{sovrast}}$ )

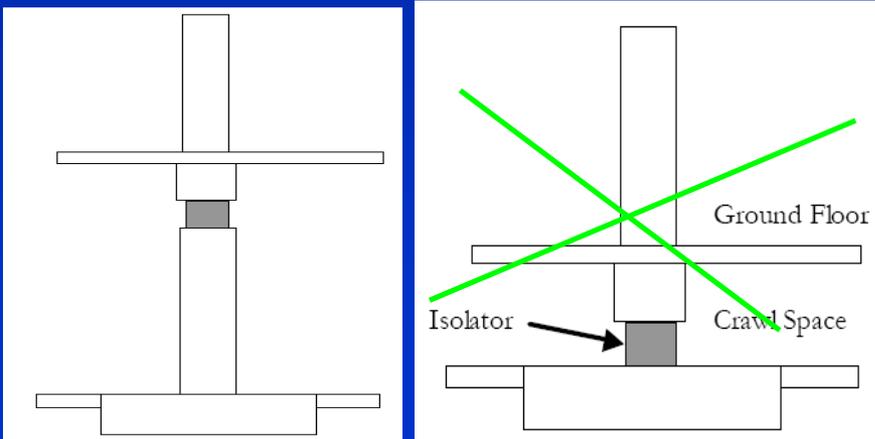
8. Presenza di un giunto sismico lungo il perimetro strutturale per evitare il fenomeno del martellamento



# CRITERI DI PROGETTAZIONE

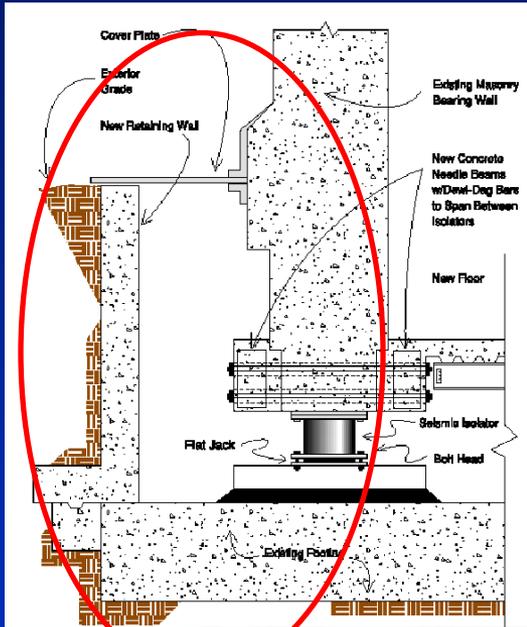
9. Tubazioni flessibili nell'interfaccia sovrastrut.-sottostrut.
10. Garantire la possibilità di accedere in fondazione per ispezionare gli isolatori (manutenzione e/o sostituzione)
11. Particolare attenzione ai dettagli costruttivi delle connessioni degli isolatori alla sovrastrut. e alla sottostrut. per migliorare e facilitare la sostituzione degli isolatori.

10.

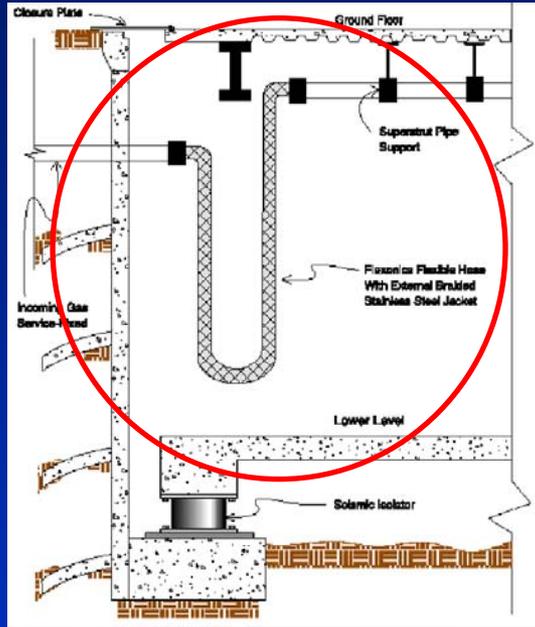


# PARTICOLARI COSTRUTTIVI

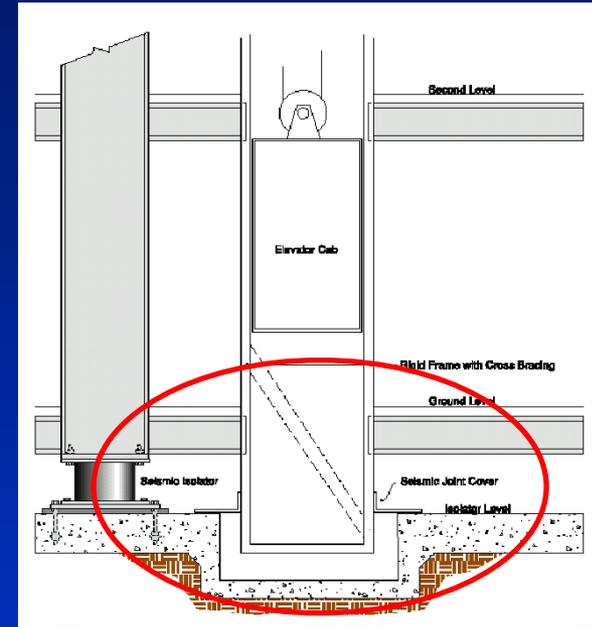
Giunto strutturale esterno



Tubi flessibili per impianti



Particolare ascensore con giunto alla base



# VERIFICA

Gli stati limite di esercizio sono:

- **Stato Limite di Operatività (SLO):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- **Stato Limite di Danno (SLD):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli stati limite ultimi sono:

- **Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV):** a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
- **Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC):** a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

# VERIFICA - SLD

Il requisito del sostanziale mantenimento in campo elastico della struttura nelle verifiche allo SLU fornisce ampie garanzie rispetto alla sicurezza nei confronti dello SLD.

- **Spostamenti di interpiano della sovrastruttura ridotti di 4- 5 volte  $\Rightarrow$   $\delta_i < 2/3$  limiti forniti in (7.3.7.2) in funzione dell'altezza "h" di piano  $\Rightarrow$  maggiore livello di protezione per gli elementi non strutturali.**
- **Per un sistema di isolamento a comportamento non lineare gli spostamenti residui allo SLD devono essere compatibili con la funzionalità della costruzione e il funzionamento del sistema di isolamento. Questo è automaticamente verificato se è soddisfatta la verifica allo SLV.**
- **Le connessioni strutturali e non, e quelle degli impianti, fra struttura isolata e il terreno, devono assorbire gli spostamenti relativi max senza danno o limitazione d'uso.**

# VERIFICA - SLV

## La verifica agli SLV è riferita agli elementi strutturali

- **Sottostruttura in campo elastico sotto l'effetto delle azioni sismiche di progetto.**
- **La sottostruttura (se non inclusa nel modello della sovrastruttura) sarà soggetta alle forze trasmesse dalla sovrastruttura attraverso il sistema di isolamento, e alle forze prodotte dalle accelerazioni del terreno direttamente applicate alla sottostruttura.**
- **Sottostruttura infinitamente rigida ( $T < 0,05$  s)  $\Rightarrow F_i = m_{\text{sott}} a_g$**
- **Per limitare le plasticizzazioni negli elementi strutturali si assume un valore  $q=1,5$  (basso) del coefficiente riduttivo delle sollecitazioni di progetto rispetto a quelle ottenute dal calcolo nell'ipotesi di comportamento perfettamente elastico lineare.**
- **Gli edifici di classe d'uso 4 devono mantenere la loro piena funzionalità anche dopo un terremoto violento.**

# VERIFICA - SLC

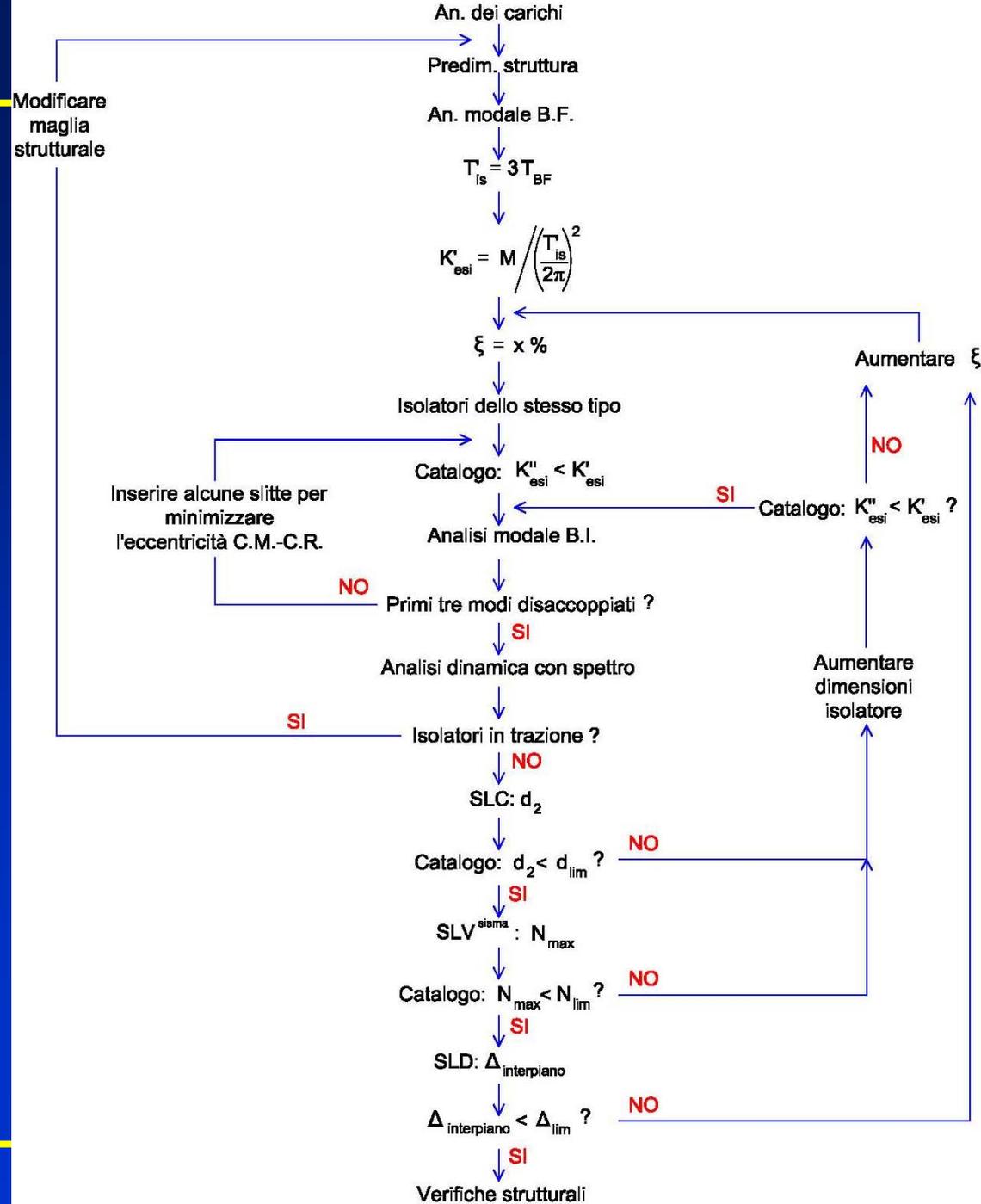
La verifica agli SLC è riferita a dispositivi di isolamento e dei loro elementi di connessione. In tal modo si garantisce una maggiore sicurezza del sistema di isolamento

- Ogni dispositivo costituente il sistema di isolamento deve mantenere la sua piena funzionalità per lo spostamento  $d_2$  (= spostamento max di progetto del dispositivo di isolamento corrispondente allo SLC) prodotto da un terremoto di intensità superiore al terremoto per lo SLV e forma spettrale diversa ⇒ necessità di ripetere il calcolo.
- Impianti pericolosi ⇒ verifica delle capacità delle giunzioni di sopportare senza danno gli spostamenti relativi della sovrastruttura isolata con riferimento alle condizioni di SLC. Nel progetto dei “life-lines” si deve adottare lo stesso livello di sicurezza adottato per il progetto del sistema di isolamento.

# FASI DELLA PROGETTAZIONE



# FLOW-CHART PROGETTAZIONE



# VALUTAZIONE COSTI

L'incremento del 2-3% dei costi di costruzione (ad opera completata) per la presenza dell'isolamento viene compensata da:

- 1) Possibilità di evitare una complessa palificazione
- 2) Possibilità di realizzare edifici di forma particolare e con notevoli asimmetrie
- 3) Evitare pericolosi effetti torsionali dovuti alla presenza di asimmetrie
- 4) Possibilità di assumere un'accelerazione costante nella sovrastruttura ⇒ semplificazioni nella progettazione

# VALUTAZIONE COSTI

Inoltre:

- Il divario tra i costi di realizzazione di un edificio a base fissa e di un edificio isolato alla base diminuisce con l'aumentare delle irregolarità, in quanto nel caso della configurazione a base isolata è possibile ottimizzare il comportamento dinamico della struttura.
- Nel caso della struttura a base isolata si possono realizzare luci maggiori (valgono le prescrizioni della zona sismica 4) con conseguente riduzione del numero di pilastri e di isolatori e quindi dei costi.
- Riduzione dei costi relativi a manutenzione e riparazione dopo un sisma
- In zone maggiormente sismiche (zona 1 e 2) il divario tra i costi si riduce maggiormente o addirittura si azzerà.

**IN AGGIUNTA:**

**La funzionalità della struttura è garantita durante e dopo il sisma, requisito indispensabile per ospedali e centri della protezione civile ecc...**

# COLLAUDO

- Collaudo in corso d'opera, in particolare installazione dei dispositivi
- Collaudatore con specifiche competenze
- Il collaudatore deve richiedere la seguente documentazione:

1. documenti di origine, forniti dal produttore
2. certificati delle prove sui materiali del dispositivo
3. certificati di qualificazione dei dispositivi
4. certificati delle prove di accettazione in cantiere, disposte dal D.L.

Tale documentazione deve essere esposta nella relazione a struttura ultimata del D.L.; quest'ultimo deve accertare la qualità dei materiali.

## Di fondamentale importanza:

- a) controllo della posa in opera dei dispositivi nel rispetto delle tolleranze e delle modalità di posa prescritte dal progetto;
- b) verifica della completa separazione tra sottostruttura e sovrastruttura e tra quest'ultima e le altre strutture adiacenti.

# COLLAUDO

## Accertamenti sulla costruzione:

- il sistema di isolamento e i singoli dispositivi che lo compongono
- la rigidità della sottostruttura (deve essere elevata)
- la porzione inferiore delle sovrastruttura sorretta dagli isolatori (elevata rigidità)
- i giunti strutturali (“gap”) orizzontali
- i “gap” verticali
- cavi e tubazioni (componenti d’interfaccia)



## Accertamenti sugli isolatori:

- prima dell’ordine: che siano qualificati in accordo con la Normativa
- prima dell’installazione: prove di accettazione positive e presenziando a quelle più significative, verificandone la corretta esecuzione ed analisi



# COLLAUDO

## A discrezione del collaudatore:

- 1) estendere gli accertamenti,
- 2) prove speciali di caratterizzazione dinamica del sistema di isolamento
- 3) verifica delle caratteristiche della costruzione rispetto a quelle attese

Il collaudatore in corso d'opera dovrà presenziare alle varie fasi di costruzione del nuovo edificio, con il supporto, ove necessario, del progettista e del D.L.

## Adeguamento sismico con isolamento di un edificio esistente

In aggiunta:

- Messa sotto carico degli isolatori
- Taglio dei pilastri e delle pareti di fondazione o, se esistenti, dei vecchi pali di fondazione
- Realizzazione di un eventuale solaio irrigidente



# ADEGUAMENTO DI EDIFICI ESISTENTI

## Problematiche dell' adeguamento di edifici esistenti:

1. Le metodologie di protezione per edifici nuovi spesso non possono essere applicate agli edifici esistenti per le ridotte capacità deformative e di duttilità di questi ultimi
2. L'aspetto economico prevale su quello tecnico e risulta decisivo per la scelta della tecnica da adottare
3. Possibile danneggiamento che alcuni elementi a comportamento fragile possono subire prima dell'entrata in funzione degli elementi di rinforzo
4. Scarsa flessibilità di inserimento di pareti o controventi metallici per ridurre le irregolarità esistenti e quindi gli effetti torsionali

# ADEGUAMENTO DI EDIFICI ESISTENTI

L'**isolamento sismico** è in grado di dare un'efficace protezione sismica con il minimo intervento sull'esistente:

- interventi solo a livello del piano di isolamento
- l'utilizzo del fabbricato e delle attività che vi si svolgono non vengono interrotti (v. ospedali e centrali operative)

# ADEGUAMENTO DI EDIFICI ESISTENTI

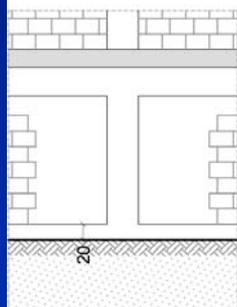
## Osservazioni sull'uso dell'isolamento sismico per l'adeguamento:

1. **Necessità di verificare la presenza di un gap sismico con gli edifici adiacenti**
2. **Controllo della duttilità e resistenza dell'edificio da adeguare (resistenza > 5% peso, altrimenti aggiungere nuovi elementi resistenti)**
3.  **$\xi$  non molto elevato per consentire al sistema di isolamento di funzionare anche per terremoti medio-bassi (adottare dispositivi in gomma a basso smorzamento + dispositivi ausiliari per incrementare la capacità dissipativa durante i sismi più violenti)**

# FASI DELL'ADEGUAMENTO

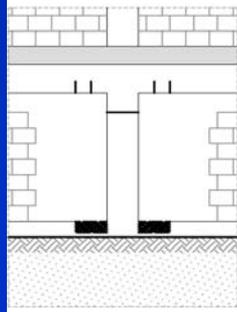
1. Puntellamento della sovrastruttura;
2. Realizzazione di un sistema di fondazioni provvisorie in grado di assicurare il trasferimento dei carichi al terreno;

## FASE 1) SCAVI E DEMOLIZIONI



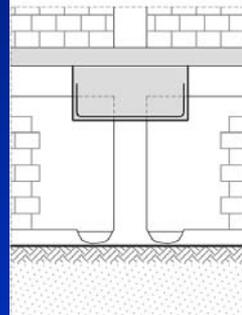
Scavo a sezione obbligata lungo il perimetro dell'edificio fino a quota -20 cm rispetto all'estradosso della trave di fondazione. Demolizione della muratura adiacente al pilastro per consentire la realizzazione dei ringrossi.

## FASE 2) FORATURE



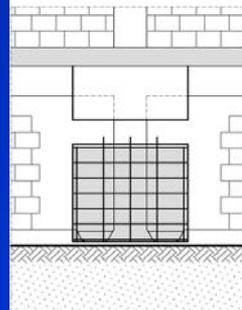
Esecuzione delle forature mediante carotiere o fioretto secondo le disposizioni indicate nella tavola di progetto. Rimozione di parte del calcestruzzo adiacente al pilastro per consentire il posizionamento delle armature del ringrosso inferiore.

## FASE 3) RINGROSSO SUPERIORE



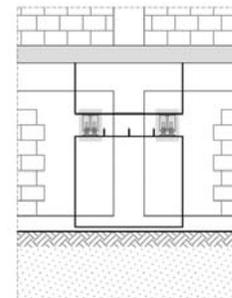
Realizzazione del ringrosso della trave di elevazione mediante posa in opera di armature passanti nei fori già eseguiti. Posa in opera della dima a cui ancorare la parte sup. dell'isolatore, realizzaz. di idonea carpenteria e getto a pressione di malta cementizia.

## FASE 4) RINGROSSO INFERIORE



Realizzazione del ringrosso alla base del pilastro secondo le dimensioni prescritte. Posa in opera di adeguate armature passanti nei fori già eseguiti, realizzazione della carpenteria e successivo getto di calcestruzzo.

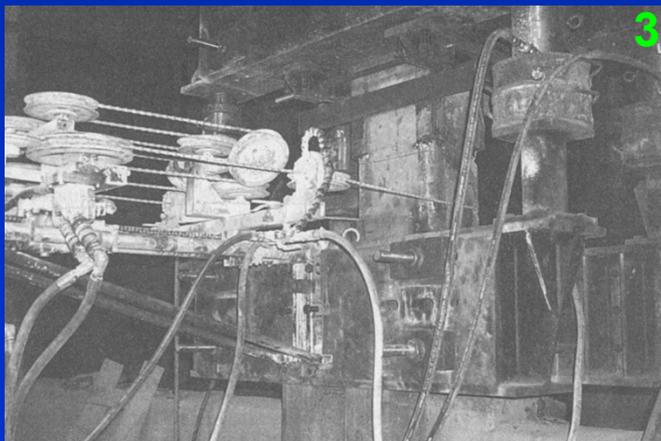
## FASE 5) DISPOSITIVI DI CONTRASTO



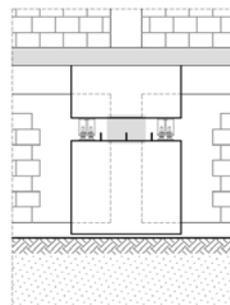
Posa in opera dei dispositivi di contrasto, all'avvenuta maturazione dei getti. Messa a contrasto fra i ringrossi (sup. ed inf.) mediante regolazione dei dadi di serraggio del dispositivo e puntellatura delle travi adiacenti secondo quanto prescritto dalla tavola di progetto.

# FASI DELL'ADEGUAMENTO

3. Taglio delle fondazioni esistenti dopo aver realizzato delle nuove fondazioni idonee a reggere i carichi trasmessi dagli isolatori;
4. Nel caso di strutture in adiacenza, raddoppio delle fondazioni delle parti in comune;
5. Realizzazione di un giunto di circa 20 cm intorno all'edificio, sia rispetto al terreno che rispetto ad eventuali edifici confinanti;
6. Realizzazione di un diaframma sufficientemente rigido nel suo piano al di sopra del piano degli isolatori, questo per ripartire le azioni orizzontali fra i vari isolatori

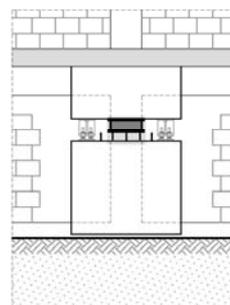


## FASE 7) TAGLIO DEL PILASTRO



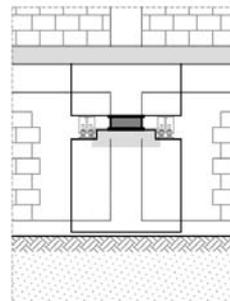
Con i dispositivi di contrasto attivi, demolizione della parte di pilastro compresa fra i ringrossi e taglio delle armature esistenti.

## FASE 8) POSA ISOLATORE



Posa in opera dell'isolatore mediante il serraggio dei tirafondi della piastra superiore negli appositi alloggi ancorati alla dima ed annegati in precedenza nel ringrosso superiore.

## FASE 9) FINITURA BASAMENTO



Realizzazione del piano di posa inferiore dell'isolatore mediante posa in opera di ulteriori armature e getto di malta espansiva a completamento del ringrosso inferiore.

# FASI DELL'ADEGUAMENTO



Figura 10. Armatura e dima ringrosso superiore



Figura 11. Vista ringrosso superiore ed inferiore



Figura 12. Fase preliminare al taglio mediante disco diamantato



Figura 13. Fase successiva al taglio con struttura poggiate su dispositivi di contrasto temporaneo



Figura 14. Posa isolatore con serraggio alla piastra superiore



Figura 15. Finitura basamento mediante malta espansiva

# FASI DELL'ADEGUAMENTO



Figura 16. Ringrosso superiore ed inferiore dei pilastri centrali per posa isolatori a scorrimento



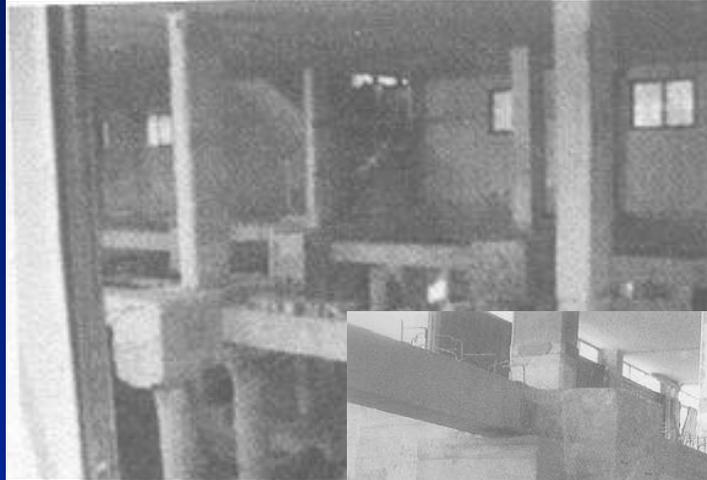
Figura 17. Particolari isolatore a scorrimento (sopra) e preliminarmente alla fase di posa

# ESEMPIO DI ADEGUAMENTO

Danni subiti nel 1997 da una palazzina di Fabriano.



# FASI DELL'ADEGUAMENTO – PALAZZINA DI FABRIANO



# SVILUPPI (PROSPETTIVE) FUTURI

## Applicazioni in Giappone

- Tokyo

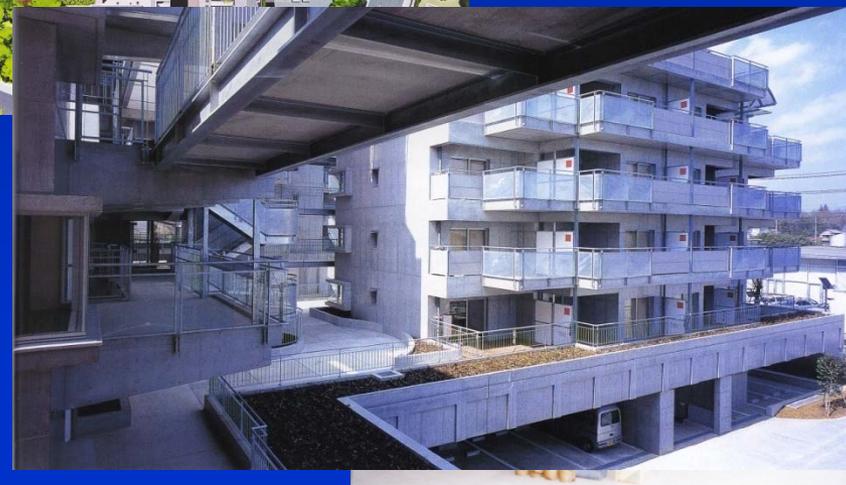
Piastrone su isolatori (12349 m<sup>2</sup>) per  
21 edifici di 6-14 piani



Edificio di 87 m  
isolato alla base



Artificial ground



# SVILUPPI (PROSPETTIVE) FUTURI

## Applicazioni in Cina

- Pechino

50 edifici isolati alla base di 7-9 piani su una sottostruttura a 2 piani di 3 Km<sup>q</sup> che contiene tutti i servizi e le infrastrutture, compresi treni e metropolitane.



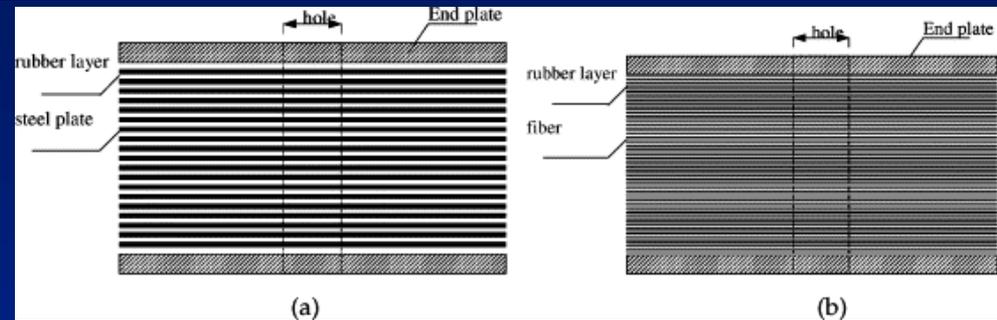
***Risparmio del 25% —> innalzamento medio di 3 piani (100.000 m<sup>2</sup> in più).***



# SVILUPPI (PROSPETTIVE) FUTURI

## Isolatori fibro-rinforzati

spessore fibre  $\approx 10$  mm

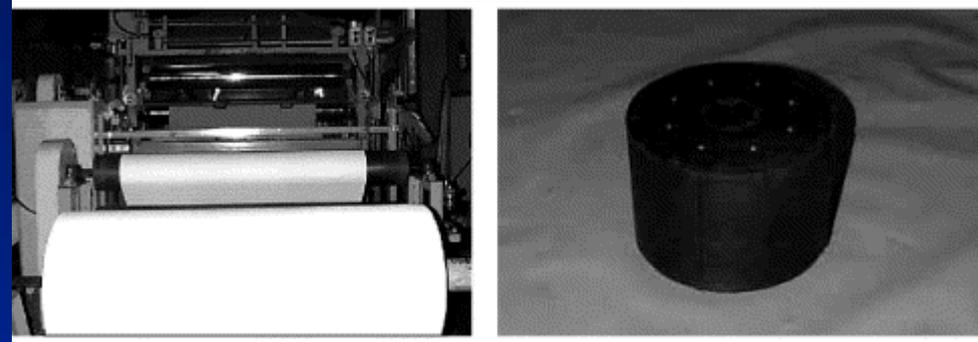


**Vantaggi** nell'uso delle fibre di carbonio in sostituzione dei lamierini di acciaio:

- Riduzione di peso dell'isolatore con modulo elastico delle fibre confrontabile con quello dell'acciaio
- Riduzione dei costi di realizzazione perché possibilità di costruire lunghe strisce rettangolari (per isolare edifici in muratura)
- Riduzione dei costi di assemblaggio con tecniche di incollaggio appropriate
- $k_v$  fibre  $<$   $k_v$  acciaio e il rinforzo non è rigido a trazione  $\rightarrow$  le fibre si possono allungare sotto trazione

# SVILUPPI (PROSPETTIVE) FUTURI

## Isolatori fibro-rinforzati



### Vantaggi :

- Le fibre sono completamente flessibili a flessione → nella situazione deformata a taglio si ha uno smorzamento a frizione delle fibre → non è necessario utilizzare una miscela molto elaborata per ottenere lo smorzamento, ma si utilizza lo smorzamento prodotto dalle fibre
- Possibilità di utilizzo anche per l'edilizia economica nelle nazioni più povere

DORA FOTI - MICHELE MONGELLI

# Progetto di strutture isolate alla base

Analisi, dimensionamento e verifiche

Guida all'applicazione pratica della nuova normativa sismica



***GRAZIE***

***PER L'ATTENZIONE!***