

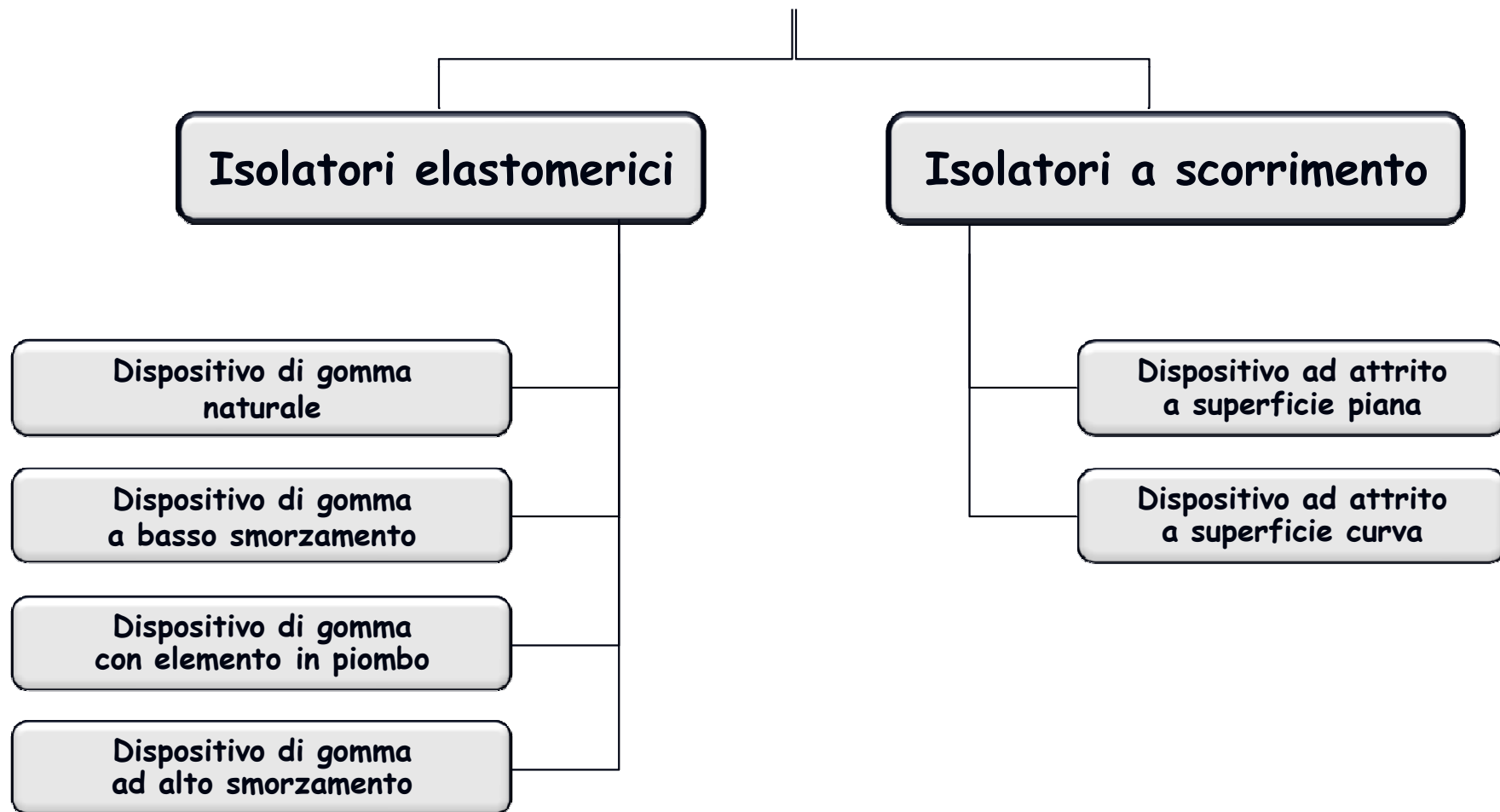
Corso di aggiornamento
Progettazione strutturale e
Norme Tecniche per le Costruzioni

**L'isolamento alla base nella progettazione sismica
e nell'intervento sull'esistente**

Spoletto
5-6 giugno 2015

03 - Dispositivi di isolamento

Dispositivi di isolamento



Isolatori elastomerici

Gli isolatori elastomerici sono costituiti da strati alterni di acciaio e elastomero collegati mediante vulcanizzazione.

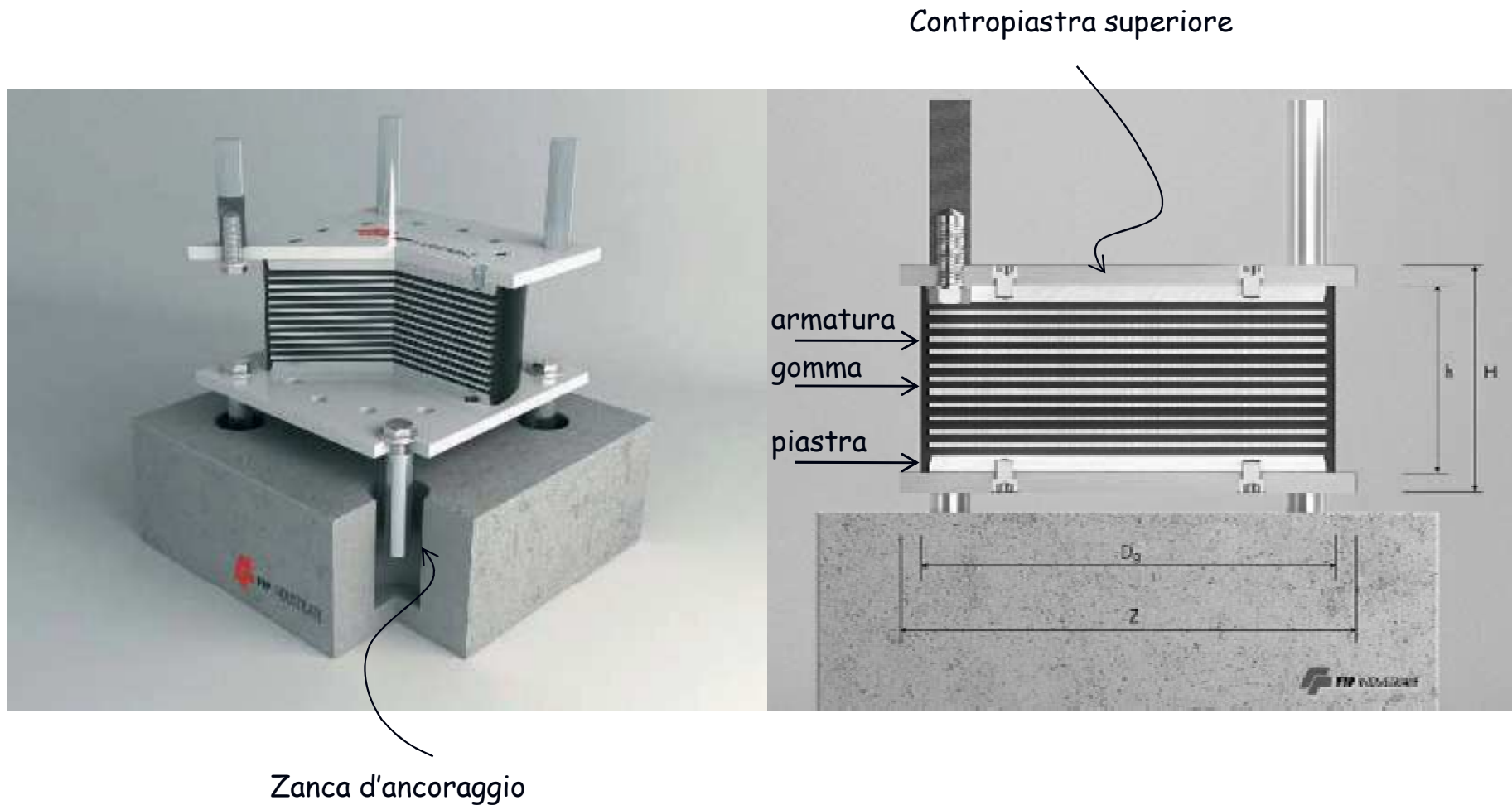
Isolatori elastomerici

Caratteristiche fisico-meccaniche dell'elastomero

		Mescola			
		Normale nd	Morbida	Normale	Dura
Durezza	Shore A3	50±3	40±3	60±3	75±3
Resistenza a rottura (trazione)	MPa	20	20	20	18
Allungamento a rottura	%	600	750	600	500
Modulo di elasticita'	MPa	0.9	0.4	0.8	1.4
Smorzamento viscoso equivalente del solo elastomero	%	4	10	10	16

Isolatori elastomerici

Caratteristiche fisiche



Caratteristiche fisiche dei dispositivi di isolamento

Isolatori elastomerici

Caratteristiche fisiche



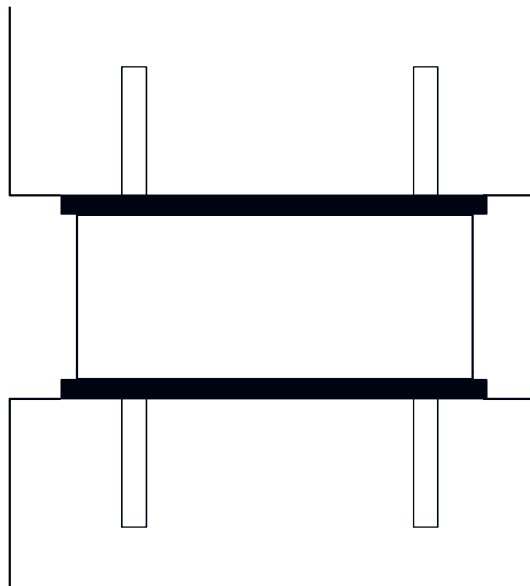
Dispositivo di isolamento

Isolatori elastomerici

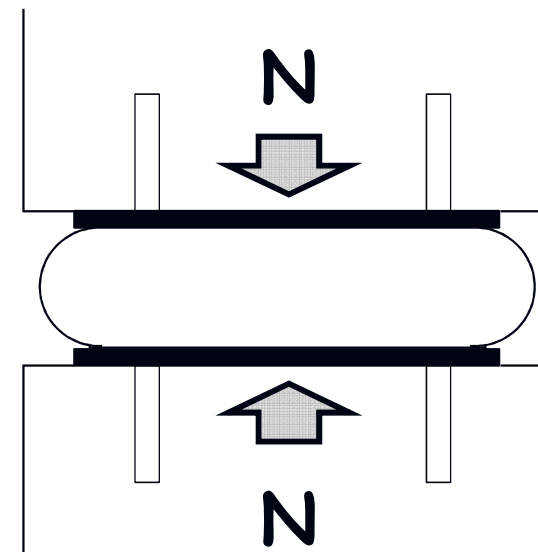
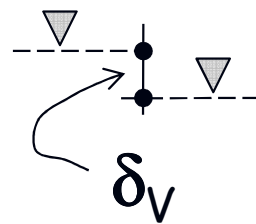
Effetto delle piastre d'armatura

In assenza di piastre di confinamento

Prima che sia trasmesso lo sforzo normale



Allorche' e' trasmesso lo sforzo normale



Effetto di vincolo esercitato dalle piastre in acciaio
sulla gomma dei dispositivi di isolamento

Isolatori elastomerici

Effetto delle piastre d'armatura

In assenza di piastre di confinamento

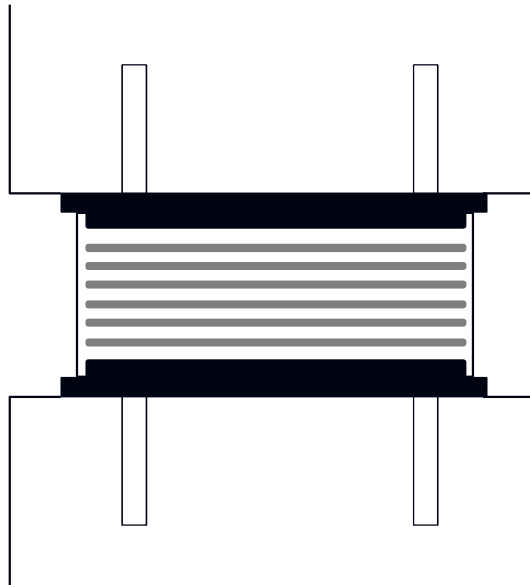
- 1.** Sono possibili importanti spostamenti verticali differenziali tra le basi dei pilastri
(con notevoli rispercussioni sulle travi in elevazione)
- 2.** Sono possibili moti di "rocking" durante l'evento sismico o in occorrenza di venti di forte intensita'
(con notevole fastidio per gli occupanti e aumento di sollecitazioni sugli elementi strutturali)

Isolatori elastomerici

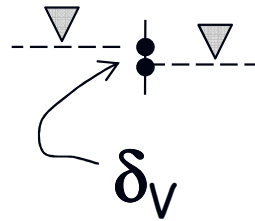
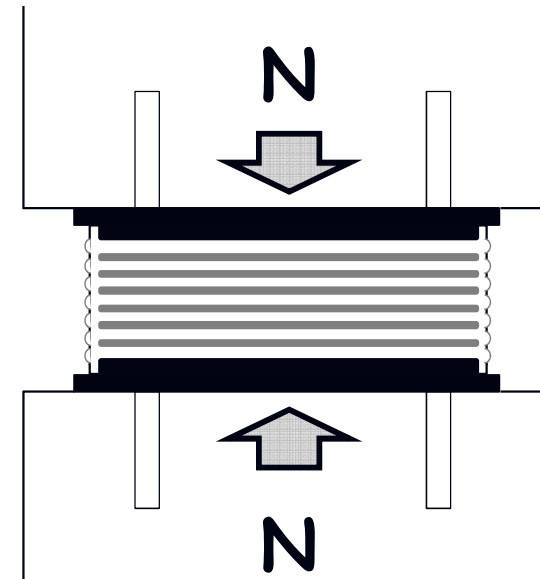
Effetto delle piastre d'armatura

In presenza di piastre di confinamento

Prima che sia trasmesso lo sforzo normale



Allorche' e' trasmesso lo sforzo normale



Risultato:

Le piastre di confinamento aumentano notevolmente la rigidità verticale degli isolatori

Isolatori elastomerici

Effetto delle piastre in acciaio



Effetto di vincolo esercitato dalle piastre in acciaio
sulla gomma dei dispositivi di isolamento

Isolatori elastomerici

Ipotesi di calcolo

La modellazione analitica della risposta di uno strato di gomma confinato da piastre rigide, soggetto ad un carico verticale presenta delle difficoltà a causa della forte non linearità del fenomeno e della non omogeneità dello stato deformativo.

L'assunzione di base considera il campo di spostamenti totali derivanti dalla sovrapposizione di :

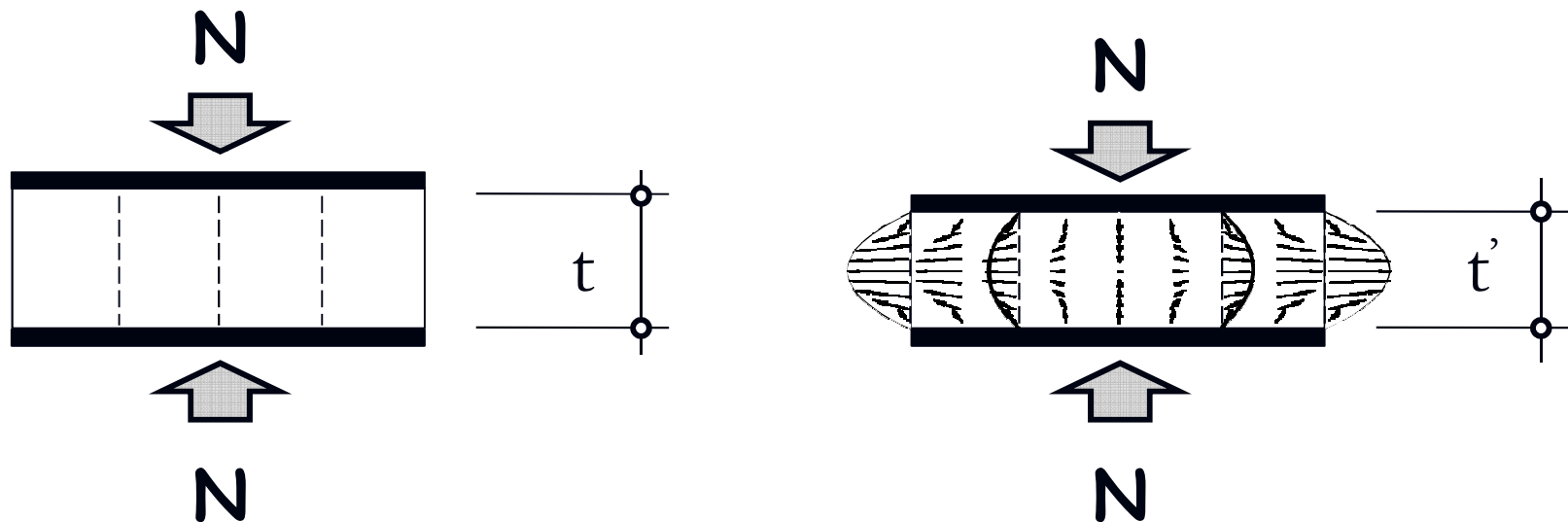
- campo di spostamenti provenienti dalla compressione omogenea dello strato di gomma libera;
- campo distorsionale necessario a ristabilire la condizione di confinamento e di incompressibilità media.

Isolatori elastomerici

Ipotesi di calcolo

Ipotesi della modellazione analitica :

- le sezioni orizzontali rimangono piane dopo la deformazione;
- le superfici cilindriche, inizialmente verticali, diventano paraboliche;
- elastomero incompressibile, cioè $\varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy} + \varepsilon_{zz} = 0$;



Isolatori elastomerici

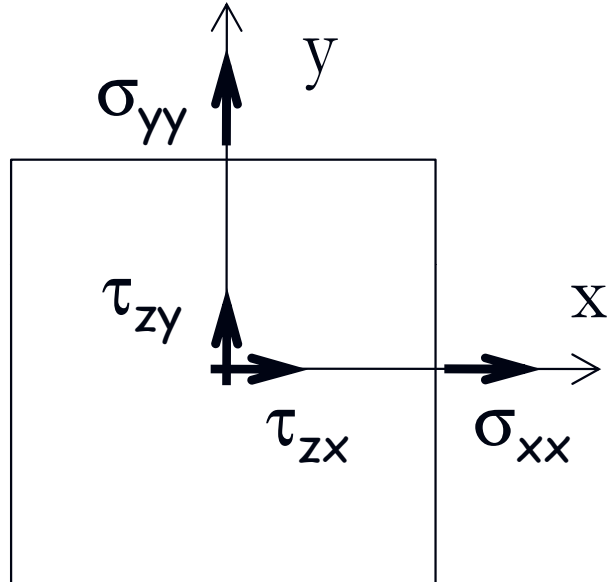
Stato tensionale

$$\sigma_{xx} = \sigma_{yy} = \sigma_{zz} = p$$

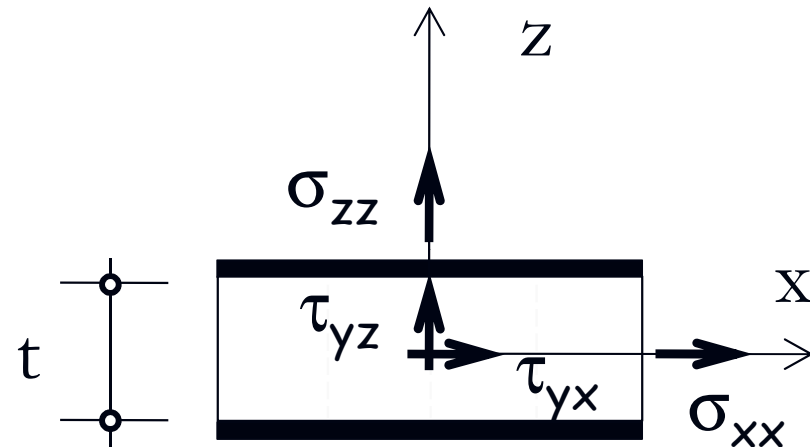
$$\tau_{xy}=0 \quad \tau_{xz} \neq 0 \quad \tau_{yz} \neq 0$$

pressione idrostatica

tensioni tangenziali generate dal
confinamento
delle piastre in acciaio



Pianta



Sezione verticale

Isolatori elastomerici

Rigidezza verticale

La rigidezza verticale dell'isolatore è calcolata mediante la relazione

$$K_V = \frac{N}{\delta_V} = \frac{E A}{t_r}$$

dove :

E è il modulo istantaneo a compressione dell'insieme elastomero + piastre d'acciaio

A è l'area trasversale totale dell'elastomero (normalmente al limite della piastra)

t_r è lo spessore totale dell'elastomero

Isolatori elastomerici

Modulo elastico a compressione

Il modulo E_c dell'isolatore può essere ricavato nell'ipotesi che il campo di forze sia fornito dalla sovrapposizione di due campi di forze semplici:

- la forza F_1
associata allo stato di deformazione verticale e applicato al blocco di gomma considerato libero di deformarsi (ovvero in assenza del confinamento determinato dalla presenza dei piatti metallici);
- la forza F_2
associata allo spostamento radiale che si deve imporre per ristabilire la congruenza tra blocco elastomerico e piatti metallici, cioè per annullare gli spostamenti orizzontali dei punti appartenenti alle superfici di attacco gomma-acciaio.

Isolatori elastomerici

Modulo elastico a compressione

In ogni caso :

$$F_1 = E_0 A \varepsilon$$

dove :

E_0 è il modulo di Young della gomma;

A è l'area della sezione dell'appoggio;

ε è pari a $\Delta t/t$ e rappresenta la deformazione verticale della gomma;

Isolatori elastomerici

Modulo elastico a compressione

Nel caso di isolatore circolare :

$$F_2 = \frac{\pi E_0 \delta R^4}{2t^3} = p_m A \quad \text{e quindi} \quad E_c = \frac{(F_1 + F_2)}{A \varepsilon} = E_0 \left(1 + \frac{p_m A}{\varepsilon E_0 A} \right)$$

Poichè

$$p_m A = \frac{3G\pi R^4}{2t^2} \varepsilon_c$$

si ha (materiale comprimibile) :

$$E_c = 6GS_1^2 \left(1 - \frac{8GS_1^2}{K} \right) \quad \text{dove K è il modulo di compressibilità volumetrica}$$

Isolatori elastomerici

Modulo elastico a compressione

Nell'ipotesi di materiale incomprimibile il modulo istantaneo a compressione dell'insieme elastomero + piastre d'acciaio vale

$$E = 6 G S_1^2$$

Dispositivo a sezione circolare

$$E = 6.73 G S_1^2$$

Dispositivo a sezione quadrata

$$E = 6 \lambda G S_1^2$$

Dispositivo a sezione circolare
con foro centrale

dove :

$$\lambda = \frac{b^2 + a^2 - \left[(b^2 - a^2) / (\ln b / a) \right]}{(b - a)^2}$$

essendo
a e b i raggi interni e esterni
dell'elastomero

Isolatori elastomerici

Fattore di forma primario

Il fattore di forma S_1 del singolo strato di gomma è definito dalla relazione :

$$S_1 = \frac{\textit{area caricata}}{\textit{area libera}}$$

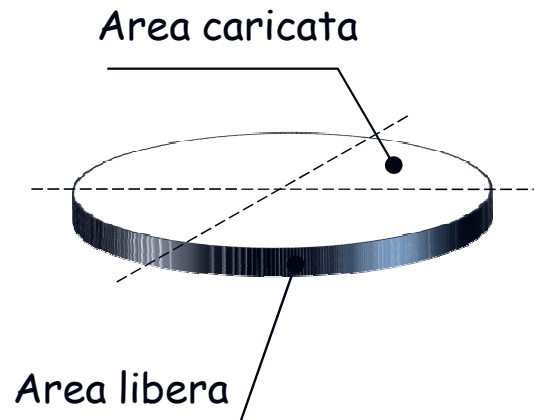
Esso controlla il confinamento della gomma
e quindi
la rigidità verticale

Isolatori elastomerici

Fattore di forma primario

Nel caso di un isolatore elastomerico a sezione circolare

$$S_1 = \frac{\text{area caricata}}{\text{area libera}}$$



$$\Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow S_1 = \frac{\pi R^2}{2\pi R t} = \frac{R}{2t}$$

dove :

R è il raggio del singolo strato di elastomero

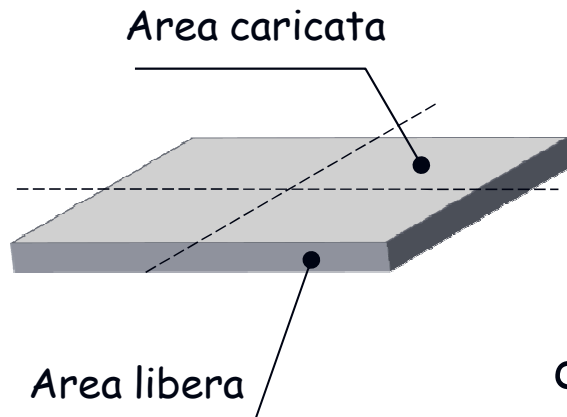
t è lo spessore del singolo strato di elastomero

Isolatori elastomerici

Fattore di forma primario

Nel caso di un isolatore elastomerico a sezione rettangolare

$$S_1 = \frac{\text{area caricata}}{\text{area libera}}$$



$$\Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow S_1 = \frac{a^2}{4at} = \frac{a}{4t}$$

dove :

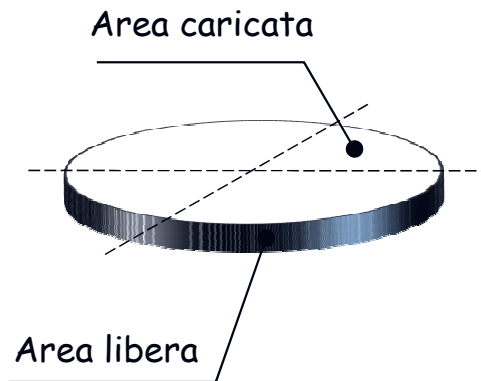
a è il lato del singolo strato di elastomero

t è lo spessore del singolo strato di elastomero

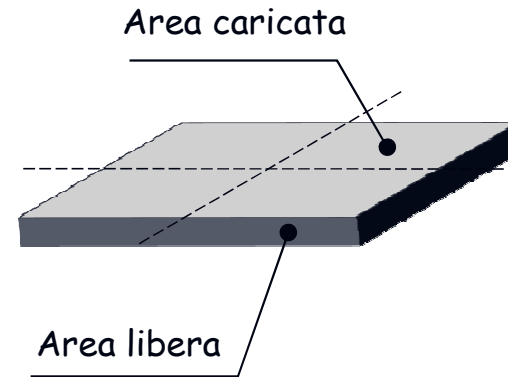
Isolatori elastomerici

Fattore di forma primario

$$K_v = \frac{E A}{t_r}$$



$$E = 6G S_1^2$$



$$E = 6.73G S_1^2$$

Al fine di ottenere una elevata rigidezza verticale è opportuno avere il fattore di forma $S_1 > 12$

Isolatori elastomerici

Fattore di forma primario

In funzione dell'altezza degli strati di elastomero e di acciaio

$$S_1 = \frac{\text{area caricata}}{\text{area libera}}$$



S1 basso



S1 alto

Isolatori elastomerici

Deformazione a taglio per compressione

Sotto compressione diretta il vincolo fornito dalle piastre di confinamento produce una deformazione massima da taglio nell'elastomero:

$$\gamma_c = 6 S_1 \varepsilon_c$$

dove :

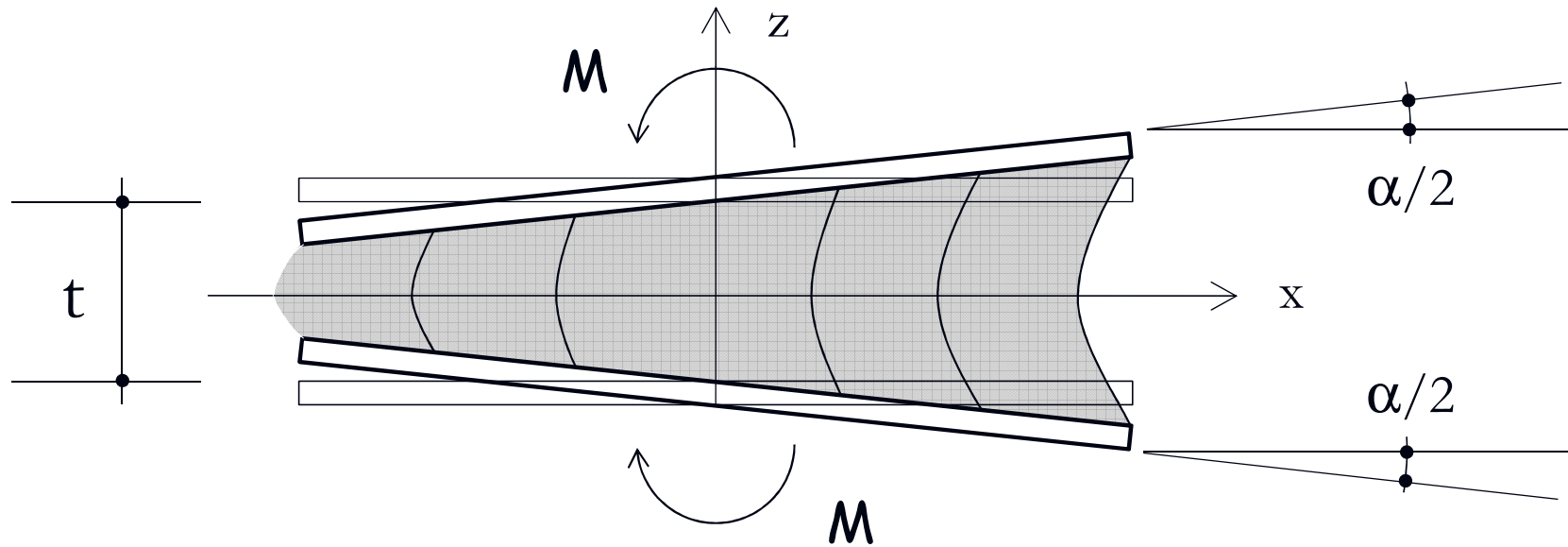
$\varepsilon_c = \delta_v / t_r$ è la deformazione normale indotta dai carichi verticali

δ_v è lo spostamento verticale indotto dai carichi verticali

t_r è lo spessore totale dell'elastomero

Isolatori elastomerici

Rigidezza flessionale



$$M = (EI)_{eff} \frac{\alpha}{t}$$

Isolatori elastomerici

Rigidezza flessionale

La rigidità flessionale dello strato può essere valutata come :

$$(EI)_{eff} = \frac{3G}{2t^2} \frac{\pi R^6}{12}$$

Dispositivo a sezione circolare

$$(EI)_{eff} = 6G S_1^2 (0.329 I)$$

Dispositivo a sezione quadrata

$$(EI)_{eff} = 2G S_1^2 I \frac{(b+a)}{(b^2 - a^2)}$$

Dispositivo a sezione circolare
con foro centrale

dove :

a, b sono i raggi interni ed esterni dello strato

t è lo spessore del singolo strato di elastomero

Isolatori elastomerici

Deformazione a taglio per flessione

Le deformazioni da taglio indotte da momento flettente sono valutate mediante la relazione :

$$\gamma_{\alpha} = 6 S_1 \varepsilon_{\alpha}$$

dove :

$\varepsilon_{\alpha} = R \alpha / t$ è la def. normale max indotta da momento flettente

α è la rotazione relativa tra le due facce dello strato di elastomero

R è il raggio dello strato di elastomero

t è lo spessore del singolo strato di elastomero

Isolatori elastomerici

Deformazione a taglio per flessione

Isolatore elastomerico con sezione circolare :

$$\gamma_{\alpha} = 6 \frac{R}{2t} \frac{R\alpha}{t_e} = \frac{3D^2\alpha}{4tt_e}$$

dove :

α è la rotazione relativa tra le due facce dello strato di elastomero

R è il raggio dello strato di elastomero

D è il diametro dello strato di elastomero

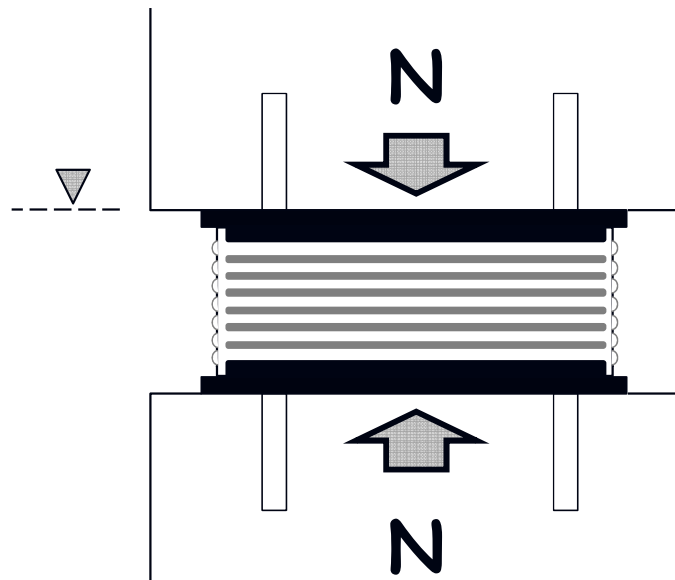
t è lo spessore del singolo strato di elastomero

t_e è lo spessore totale degli strati di elastomero

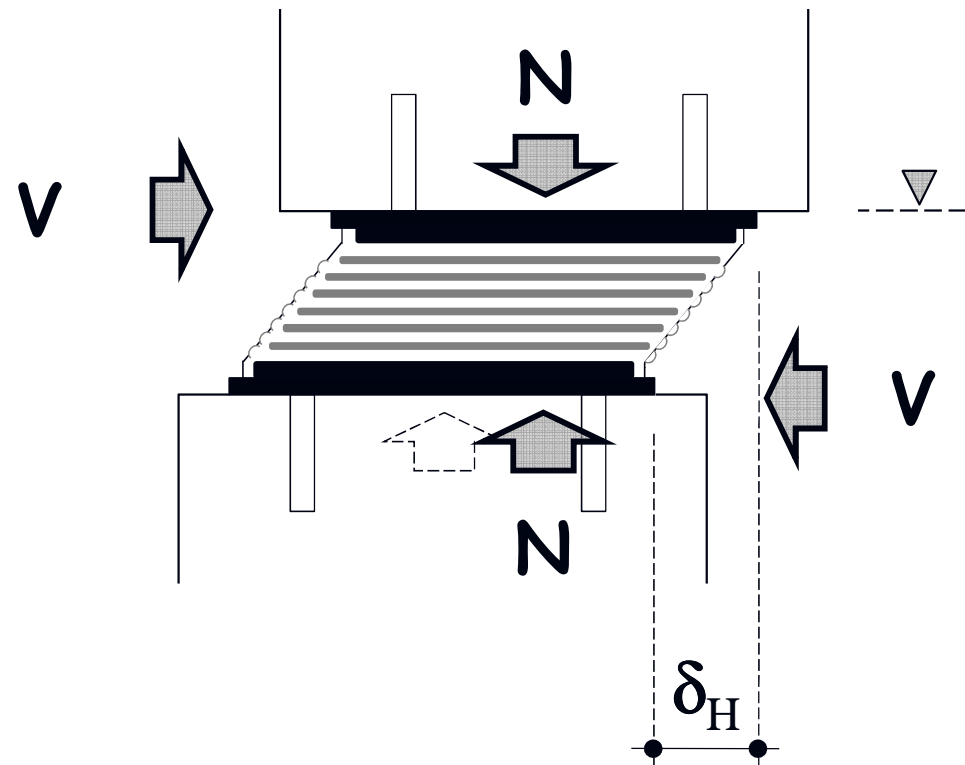
Isolatori elastomerici

Comportamento a taglio

Prima che sia trasmesso il taglio



Allorche' e' trasmesso il taglio



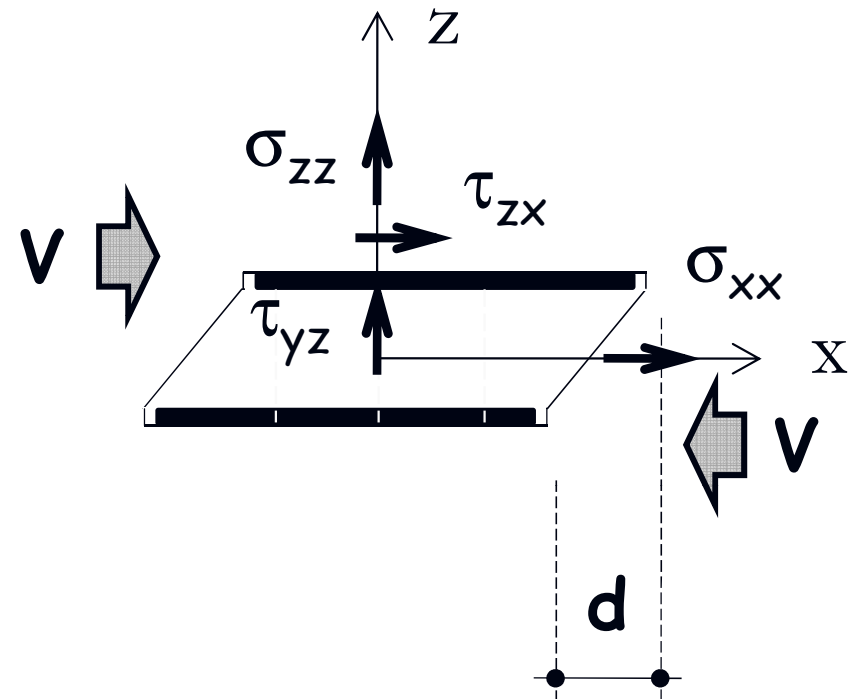
Isolatori elastomerici

Comportamento a taglio

La forza V induce nell'elastomero tensioni tangenziali τ_{xz} e τ_{yz} .

Il campo delle τ_{yz} avrà risultante nulla, mentre la risultante delle τ_{xz} sarà uguale in modulo ma di verso contrario alla forza V .

Nelle ipotesi che le sezioni orizzontali rimangano piane e di gomma incompressibile, le tensioni normali risultano essere nulle essendo nulla la pressione media verticale p_m .



Strato di elastomero soggetto a taglio

Isolatori elastomerici

Rigidezza laterale

La rigidezza laterale dell'isolatore è calcolata mediante la relazione

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

dove :

G è il modulo a taglio dell'elastomero

A è l'area trasversale totale dell'elastomero

t_r è lo spessore totale dell'elastomero

La deformazione a taglio dell'elastomero è' $\gamma = \frac{\delta}{t_r}$

Isolatori elastomerici

Smorzamento

Nei dispositivi di isolamento elastomerici lo smorzamento è in parte viscoso e in parte isteretico.

Esso e':

- variabile in funzione della tipologia di isolatore
- utilizzato per tener conto di fonti di smorzamento diverse dalla viscosa nell'ambito di modellazioni ed analisi lineari

Quali sono
i dispositivi di isolamento
sul mercato ?

Isolatori elastomerici a basso smorzamento

Comportamento

Lineare a taglio
fino a deform. non superiori al 100%

Smorzamento viscoso equivalente

2 - 3%

Vantaggi:

- Semplice da fabbricare
- Facile da modellare
- Risposta non molto sensibile alla velocità di carico, alla storia di carico, alla temperatura e all'invecchiamento

Svantaggi:

Necessita' di un sistema di smorzamento supplementare

Isolatori elastomerici a basso smorzamento

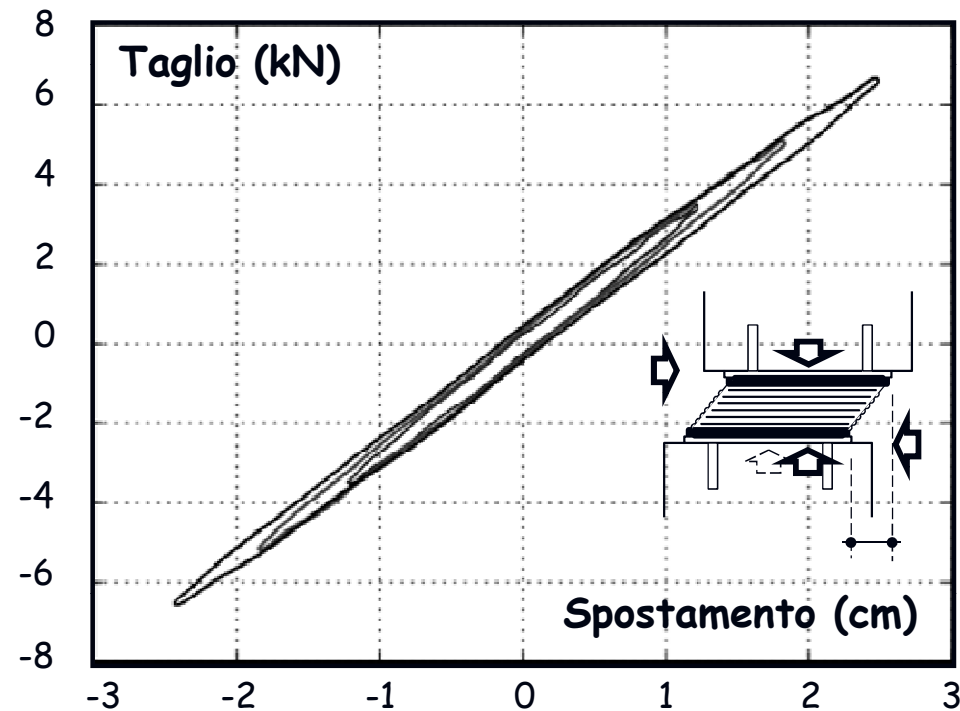


Diagramma taglio-spostamento
di un dispositivo di isolamento in gomma a basso smorzamento

Isolatori elastomerici ad elevato smorzamento

Lo smorzamento è incrementato
aggiungendo nerofumo, oli, resine e altri filler.

Comportamento

Non Lineare
con max def. a taglio = 200 - 350%

Smorzamento viscoso equivalente

10 - 15%
per deformazioni a taglio del 100%

Modulo a taglio

0.4-1.4 MPa

Nota !

Rigidezza e smorzamento efficaci
dipendono da:

- Elastomero e filler
- Pressione di contatto
- Velocita' di carico
- Storia di carico
- Temperatura

Isolatori elastomerici ad elevato smorzamento

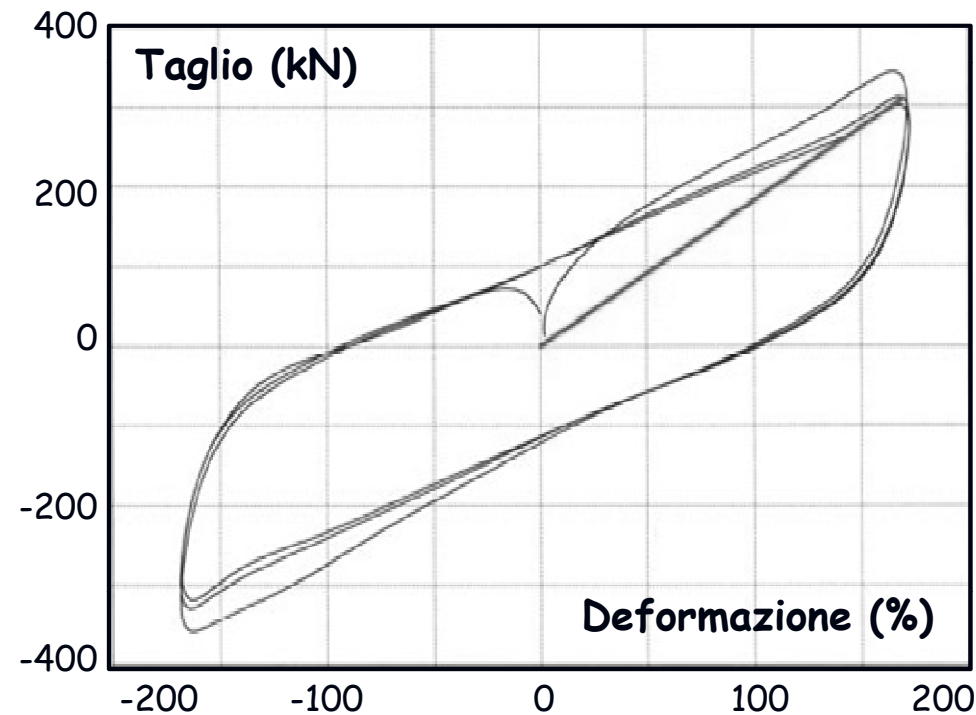
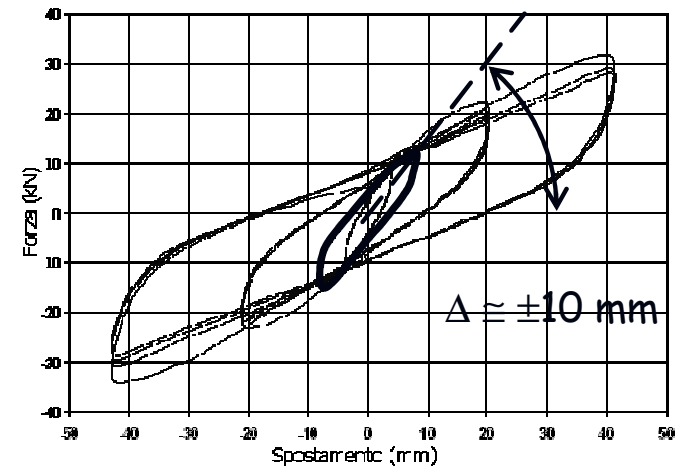
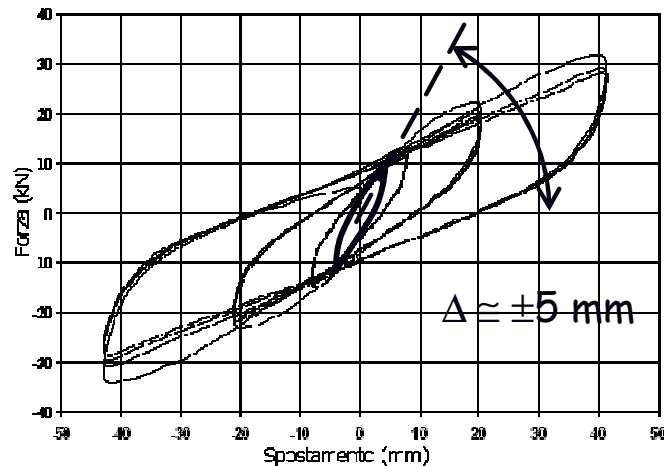
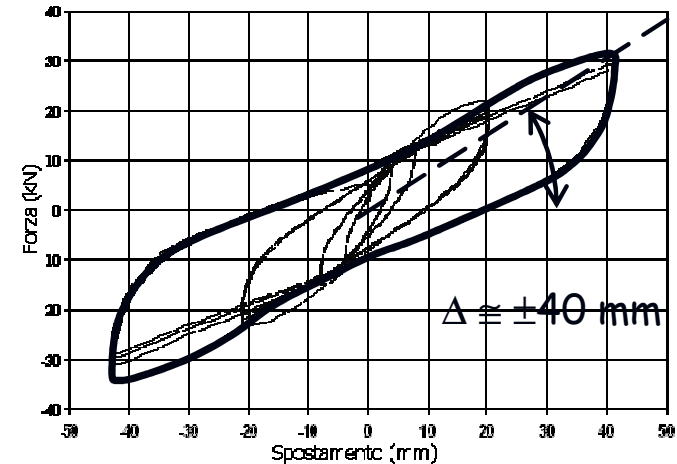
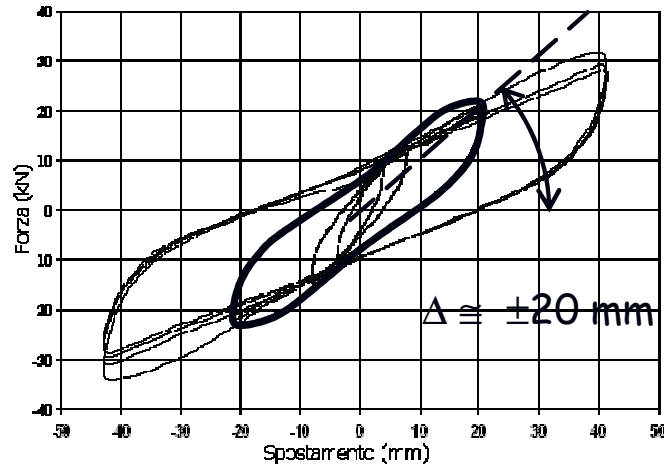


Diagramma taglio-deformazione
di un dispositivo di isolamento in gomma ad alto smorzamento

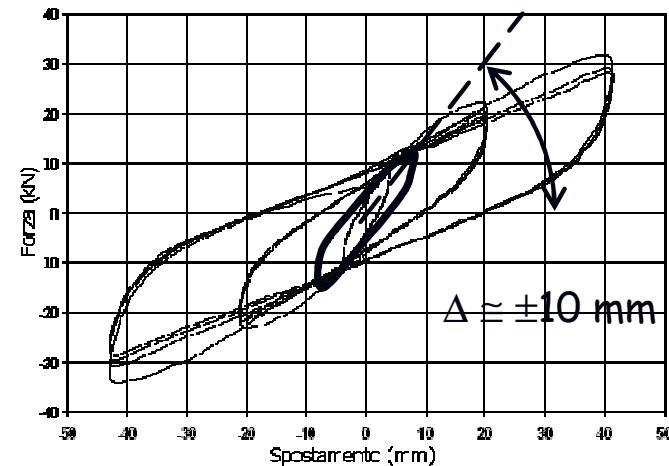
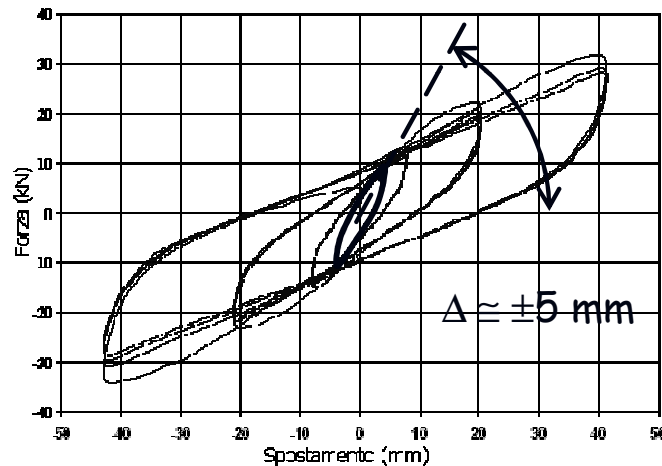
Isolatori elastomerici ad elevato smorzamento



La rigidezza efficace dipende dall'entità dello spostamento max



Isolatori elastomerici ad elevato smorzamento



La rigidezza è elevata
in corrispondenza di piccole deformazioni a taglio dell'isolatore



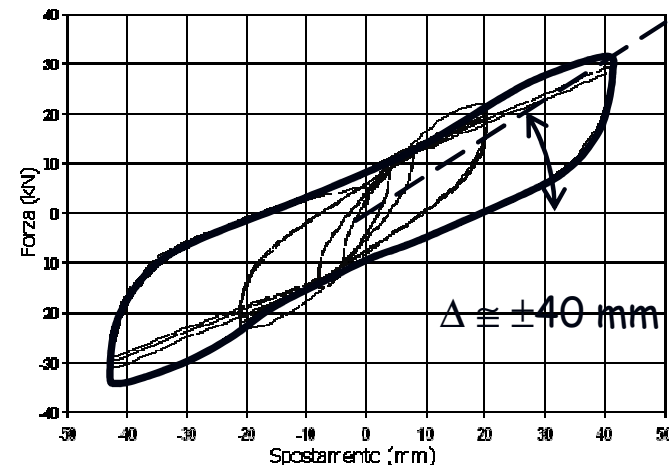
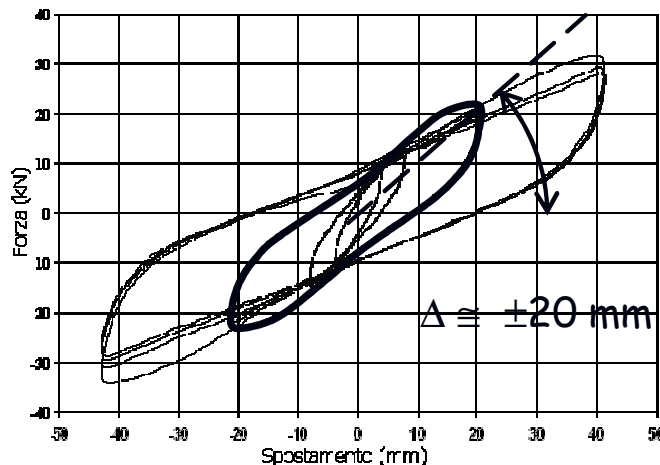
Ciò consente di ridurre l'ampiezza delle vibrazioni
in presenza di forze di taglio di moderata intensità (ad es. vento)

Isolatori elastomerici ad elevato smorzamento

La rigidezza è bassa
in corrispondenza di grandi deformazioni a taglio dell'isolatore

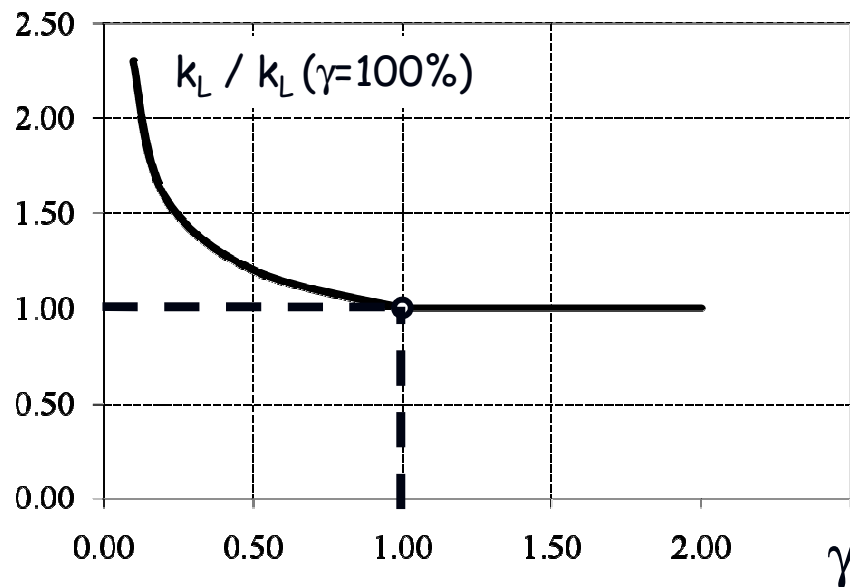


Ciò consente di ridurre le azioni da sisma sulla sovrastruttura



Isolatori elastomerici ad elevato smorzamento

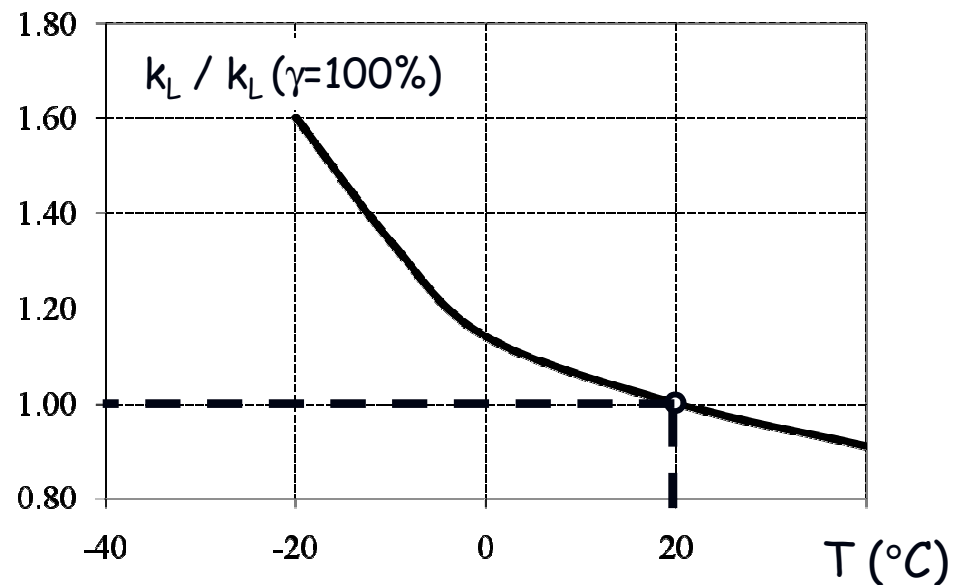
Variazione delle rigidezza laterale con la deformazione a taglio



- La rigidezza laterale e' quasi costante per deformazioni da taglio comprese tra il 100 e il 150-200%.
- Per piccoli valori della deform. da taglio, la rigidezza laterale assume valori anche tripli rispetto a quelli in corrispondenza del 100 % di deform. da taglio
- Per deformazioni da taglio superiori al 200% si osserva un incremento della rigidezza laterale conseguente alla cristallizzazione della gomma

Isolatori elastomerici ad elevato smorzamento

Variazione delle rigidezza laterale con la temperatura



Variazione relativa di rigidezza
di un dispositivo di isolamento in gomma ad alto smorzamento
in funzione della temperatura

Isolatori elastomerici ad elevato smorzamento

Si è visto sperimentalmente che

- la rigidezza equivalente k_{eff} non dipende fortemente dalla pressione verticale agente,
- lo smorzamento equivalente ξ cresce notevolmente al crescere del carico assiale:
al raddoppiarsi del carico lo smorzamento ξ può aumentare dal 50% al 100%.

Isolatori elastomerici

D 450 B 500 Z 370

① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦

① Spessore elastomero

② Altezza totale isolatore

③ Spostamento di progetto

④ Carico verticale massimo allo SLU con spostamento nullo

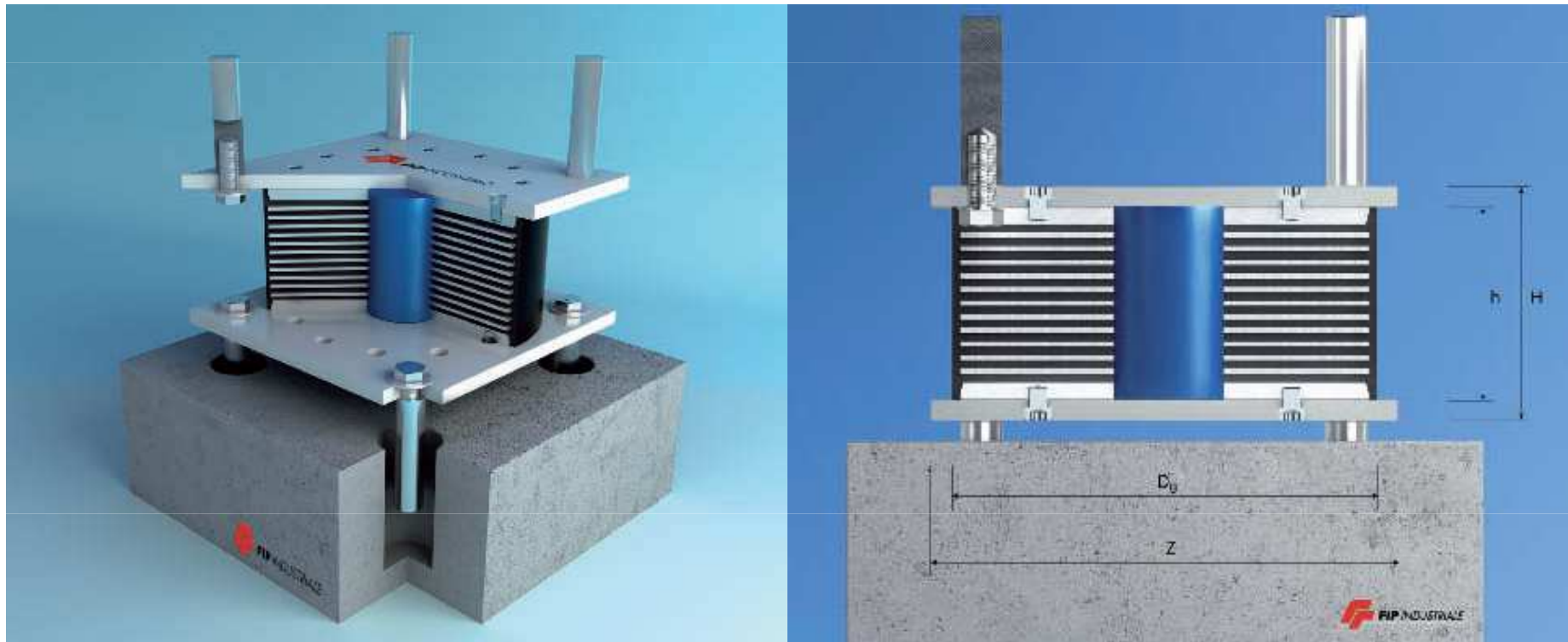
⑤ Carico verticale in condizione sismica

⑥ Rigidezza verticale dinamica

⑦ Rigidezza laterale

		G=0.4 MPa ($\xi=10\%$)					G=0.8 MPa ($\xi=10\%$)					G=1.4 MPa ($\xi=16\%$)				
t_e	H	S_{max}	V_{max}	V_{sisma}	K_r	K_v	S_{max}	V_{max}	V_{sisma}	K_r	K_v	S_{max}	V_{max}	V_{sisma}	K_r	K_v
mm	mm	mm	kN	kN	kN/mm	kN/mm	mm	kN	kN	kN/mm	kN/mm	mm	kN	kN	kN/mm	kN/mm
48	138	100	1300	1300	1.05	1287	100	2650	2650	2.09	2280	100	4650	4650	3.67	3405
56	150	120	1400	1400	0.90	1104	120	2850	2850	1.80	1954	120	5000	5000	3.14	2919
64	162	130	1500	1300	0.79	966	130	3050	2650	1.57	1710	130	5350	4650	2.75	2554
72	174	150	1550	1100	0.70	858	150	3150	2200	1.40	1520	150	5500	3850	2.44	2270
80	195	160	1600	950	0.63	772	160	3250	1900	1.26	1368	160	5650	3350	2.20	2043
88	198	180	1450	800	0.57	702	180	2900	1600	1.14	1244	180	5100	2800	2.00	1857
96	219	200	1300	650	0.52	644	200	2600	1350	1.05	1140	200	4600	2400	1.83	1703
104	222	210	1200	600	0.48	594	210	2400	1200	0.97	1052	210	4200	2150	1.69	1572
112	221	230	1051	500	0.45	552	230	2150	1050	0.90	977	230	3800	1850	1.57	1459
120	232	240	1000	450	0.42	515	240	2000	950	0.84	912	240	3550	1650	1.47	1362
128	243	260	900	400	0.39	483	260	1850	800	0.79	855	250	3250	1400	1.37	1277

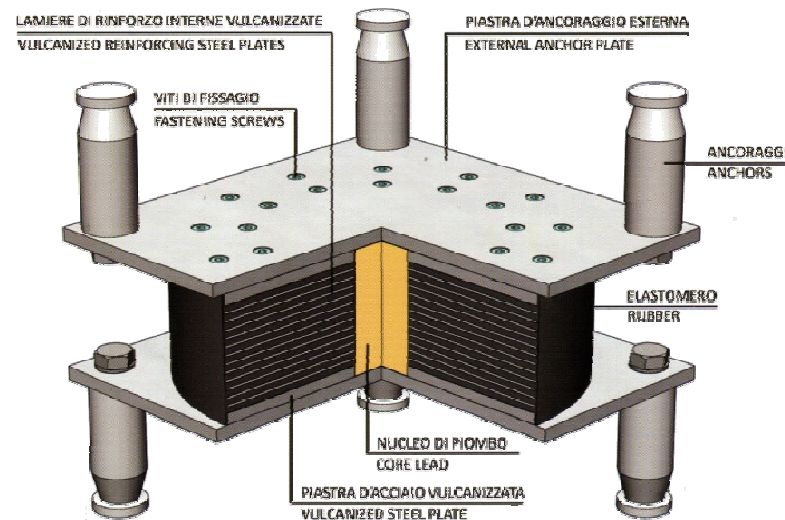
Isolatori elastomerici con elemento in piombo



Caratteristiche fisiche dei dispositivi di isolamento
con elemento centrale in piombo

Isolatori elastomerici con elemento in piombo

L'isolatore e' in gomma a basso smorzamento
con un elemento centrale in piombo



Piombo

- La tensione di snervamento e' circa 10MPa
- La tensione di snervamento si riduce con cicli ripetuti di carico in virtu' dell'aumento di temperatura

Isolatori elastomerici con elemento in piombo

L'isolatore e' in gomma a basso smorzamento con un elemento centrale in piombo

Comportamento

Fortemente Non Lineare
con max def. a taglio = 125 - 200%

Smorzamento viscoso equivalente

$\cong 30\%$
per deformazioni a taglio del 100%

Nota !

Rigidezza e smorzamento efficaci
sono meno variabili che negli isolatori
ad elevato smorzamento

Isolatori elastomerici con elemento in piombo

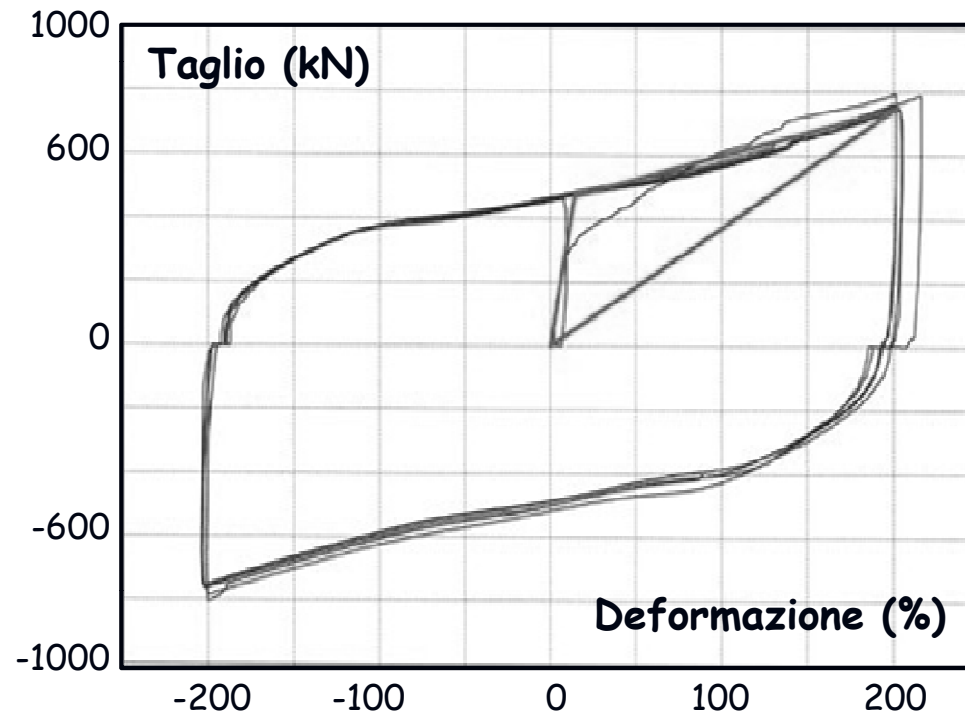


Diagramma taglio-deformazione
di un dispositivo di isolamento in gomma con elemento centrale in piombo

Isolatori elastomerici con piombo

D 450 B 500 Z 370

① Rigidezza laterale
contr. piombo

③ Rigidezza orizzontale efficace

② Carico snerv. piombo

④ Smorzamento efficace

①

②

③

④

		G=0.4 MPa ($\xi=10\%$)									G=0.9 MPa ($\xi=4\%$)								
t _e	H	S _{max}	V _{max}	V _{sisma}	K _r	K _{piombo}	F _y	k _{eff}	β_{eff}	K _V	S _{max}	V _{max}	V _{sisma}	K _r	K _{piombo}	F _y	k _{eff}	β_{eff}	K _V
mm	mm	mm	kN	kN	kN/mm	kN/mm	kN	kN/mm	%	kN/mm	mm	kN	kN	kN/mm	kN/mm	kN	kN/mm	%	kN/mm
48	138	100	1450	1450	1.28	13.61	55	1.79	28.88	1840	100	2750	2750	2.65	47.86	187	4.42	29.88	2793
56	150	120	1650	1650	1.10	13.17	61	1.57	30.04	1559	120	3100	3100	2.227	41.02	187	3.74	29.47	2394
64	169	130	1800	1800	0.96	10.21	55	1.35	29.21	1380	130	3500	3500	2.00	33.54	175	3.27	29.18	2140
72	182	150	1900	1900	0.86	9.08	55	1.19	28.88	1227	150	3600	3350	1.77	31.91	187	2.95	29.88	1862
80	195	160	2000	1450	0.77	8.17	55	1.08	29.41	1104	160	3850	2950	1.60	26.83	175	2.64	29.49	1712
88	218	180	2050	1300	0.70	7.43	55	0.98	29.12	1004	180	3950	2550	1.46	24.39	175	2.38	29.08	1556
96	221	200	2000	1150	0.64	6.81	55	0.89	28.88	920	200	3800	2150	1.33	23.93	187	2.21	29.88	1396
104	234	210	1850	1000	0.59	6.28	55	0.83	29.28	849	210	3550	1950	1.23	20.64	175	2.02	29.27	1317
112	247	230	1700	850	0.55	5.83	55	0.77	29.07	789	230	3250	1700	1.15	19.17	175	1.86	29.02	1223
120	260	240	1550	800	0.51	5.45	55	0.72	29.41	736	240	3000	1500	1.07	17.89	175	1.76	29.40	1141
128	258	260	1450	700	0.48	5.11	55	0.67	29.21	690	260	2750	1300	1.00	16.77	175	1.64	29.18	1070

Isolatori elastomerici

Resistenza a trazione

In passato, gli sforzi di trazione nei dispositivi elastomerici non erano ammessi. Questa regola era dettata dalla scarsa conoscenza che si aveva delle proprietà dei dispositivi elastomerici.

Da prove sperimentali su dispositivi elastomerici con G pari a 1MPa si è notato che la deformazione di rottura a trazione dei dispositivi risulta essere circa pari al 150%. La rigidezza a trazione risulta essere elastica fino ad una tensione di trazione pari a circa 40MPa e deformazione circa pari al 15%. Dopo il campo elastico la rigidezza si riduce per cavitazione della gomma.

Oggi si ammette una tensione di trazione pari al minimo tra $2G$ e 1MPa.

Isolatori elastomerici

Prove di laboratorio



Prove di laboratorio
di isolatore elastomerico

Isolatori elastomerici

Prove di laboratorio



Prove di laboratorio
di isolatore elastomerico

Isolatori a scorrimento a superficie piana



Foto di isolatori a scorrimento a superficie piana

Isolatori a scorrimento a superficie piana

Gli isolatori a scorrimento a superficie piana sono apparecchi di appoggio multidirezionali con superficie di scorrimento a basso attrito.

Comportamento

Rigido plastico

Non ricentrante

Coefficiente di attrito

circa 1-2%

Per questo motivo, il contributo delle forze attrittive alle forze orizzontali è quasi sempre trascurato.



Sono sempre utilizzati in combinazione con altri dispositivi antisismici (isolatori e/o dissipatori).

Isolatori a scorrimento a superficie piana con dissipatori

Gli isolatori a scorrimento a superficie piana con dissipatori costituiscono la combinazione di un apparecchio d'appoggio e di dissipatori isteretici in acciaio o viscosi.

Possono essere multidirezionali o monodirezionali e possono comprendere anche dispositivi di vincolo dinamico o dispositivi di vincolo fusibile meccanico.

Isolatori a scorrimento a superficie piana con dissipatori

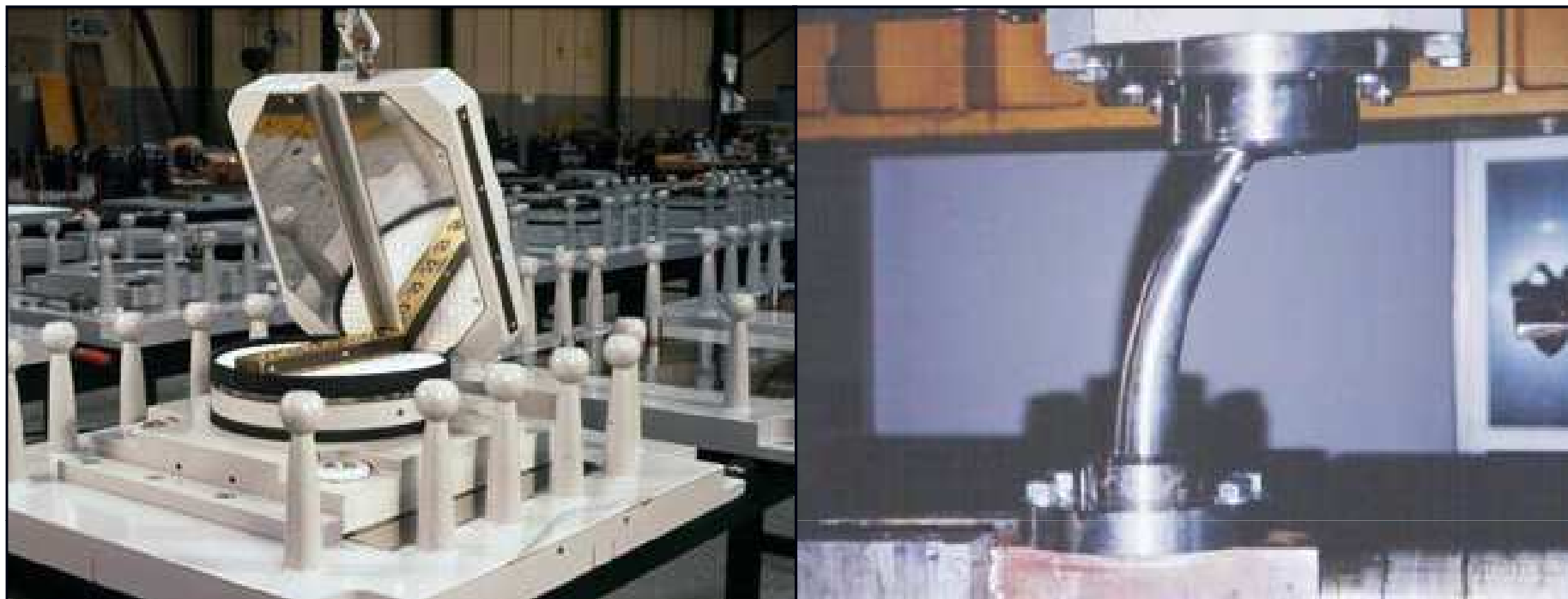


Foto di isolatori a scorrimento a superficie piana
con pioli a comportamento isteretico

Isolatori a scorrimento a superficie piana con dissipatori



Foto di isolatori a scorrimento a superficie piana
con elementi a C a comportamento isteretico

Isolatori a scorrimento a superficie piana con dissipatori



Foto di isolatori a scorrimento a superficie piana
con dissipatori viscosi

Isolatori a scorrimento a superficie curva semplice

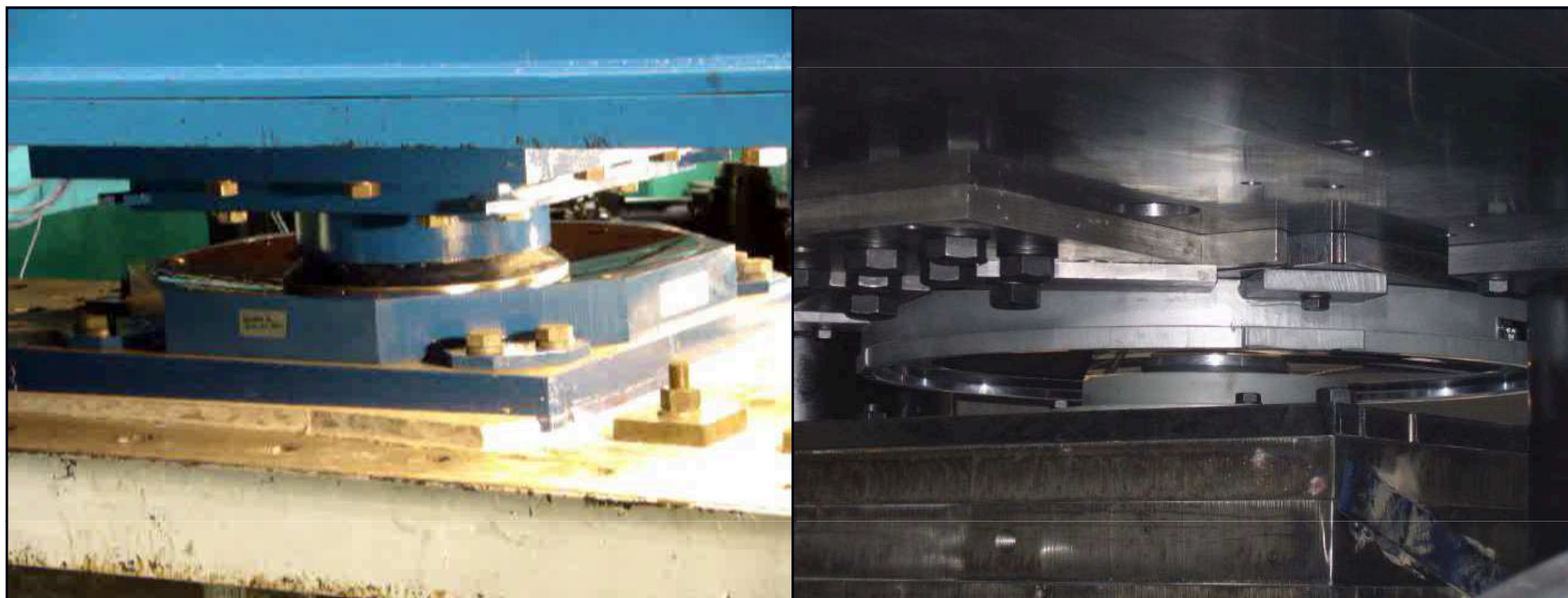
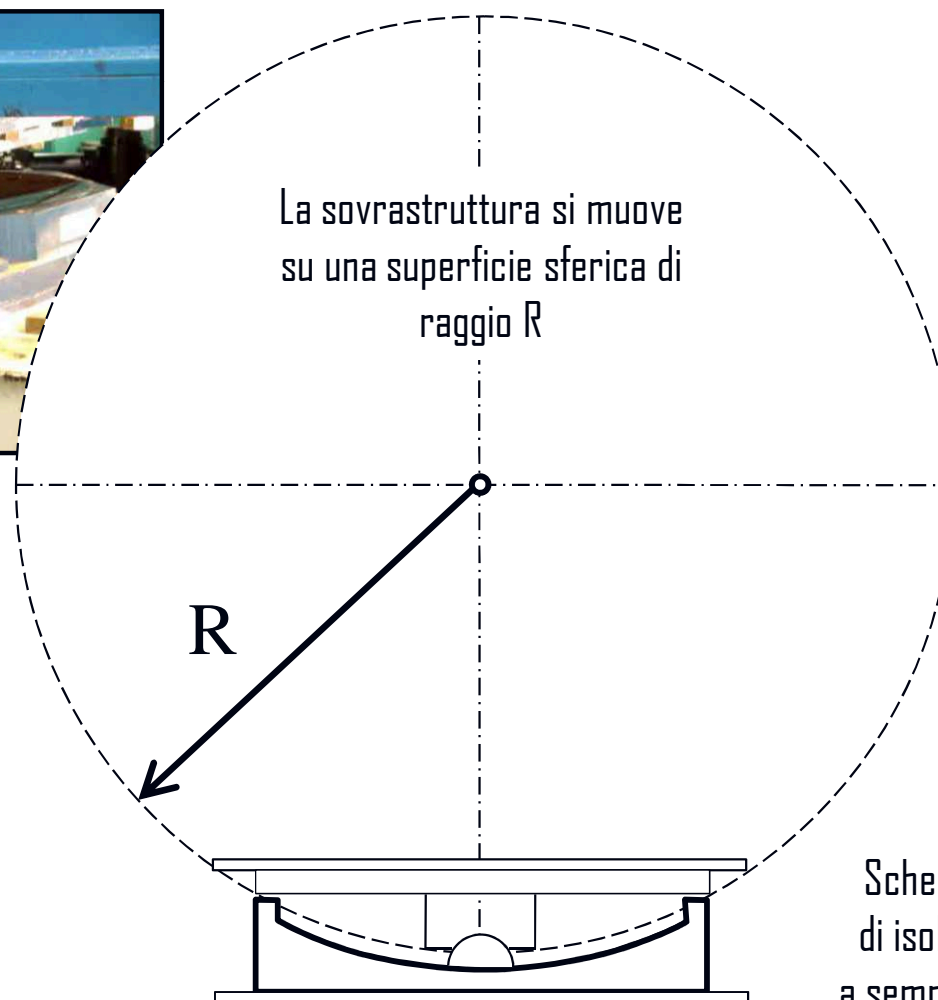
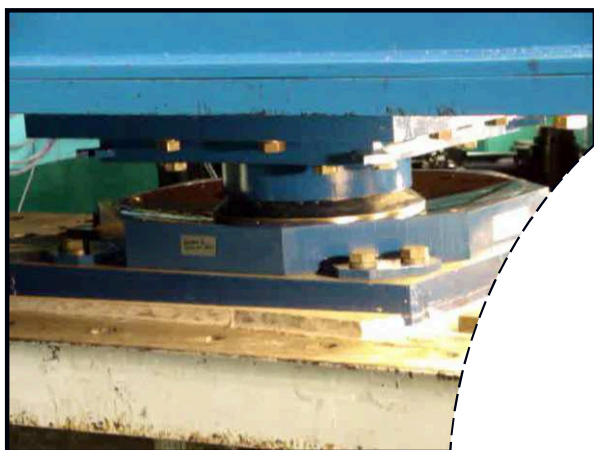


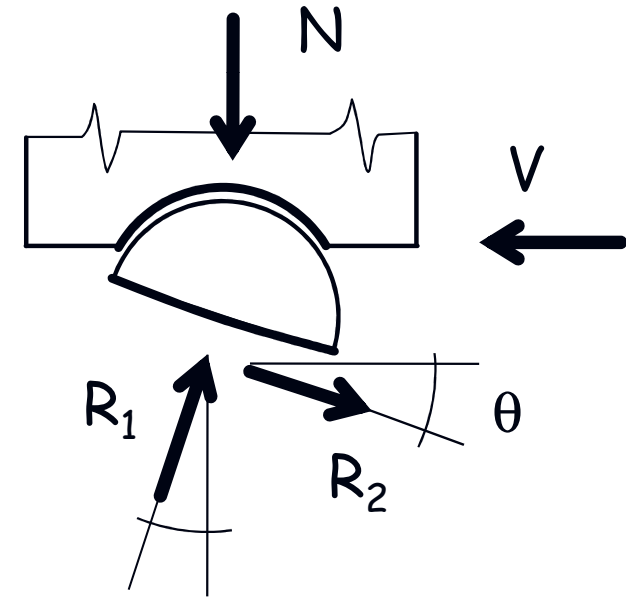
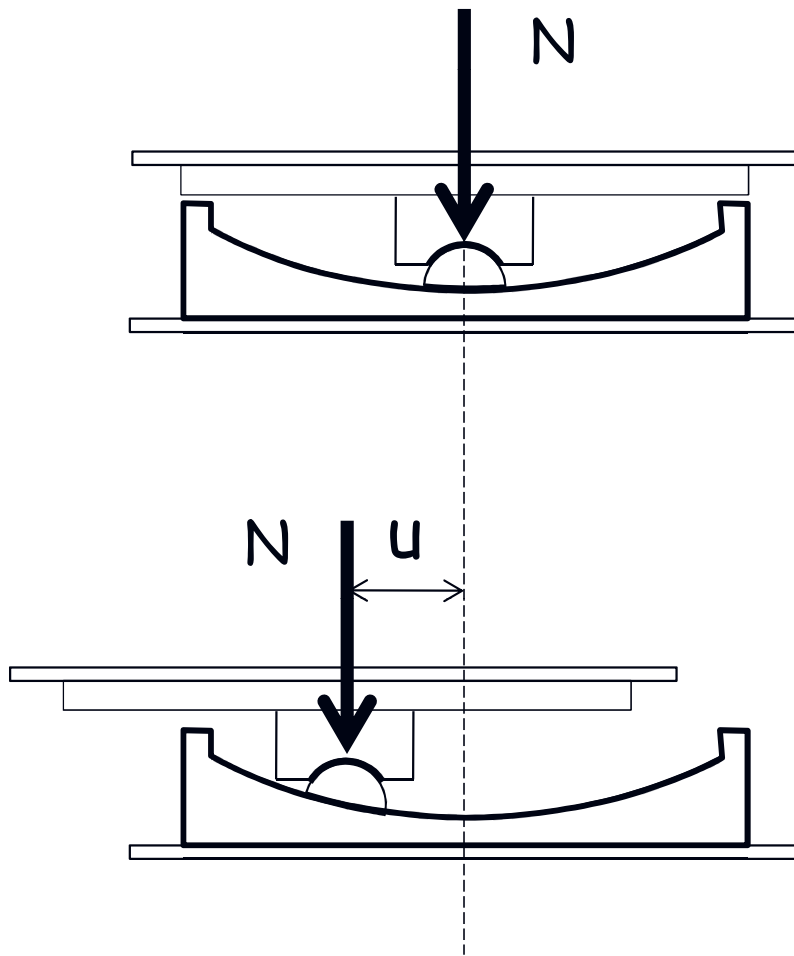
Foto di isolatori a scorrimento a superficie curva semplice

Isolatori a scorrimento a superficie curva semplice



Schema di funzionamento
di isolatore a scorrimento
a semplice superficie sferica

Isolatori a scorrimento a superficie curva semplice



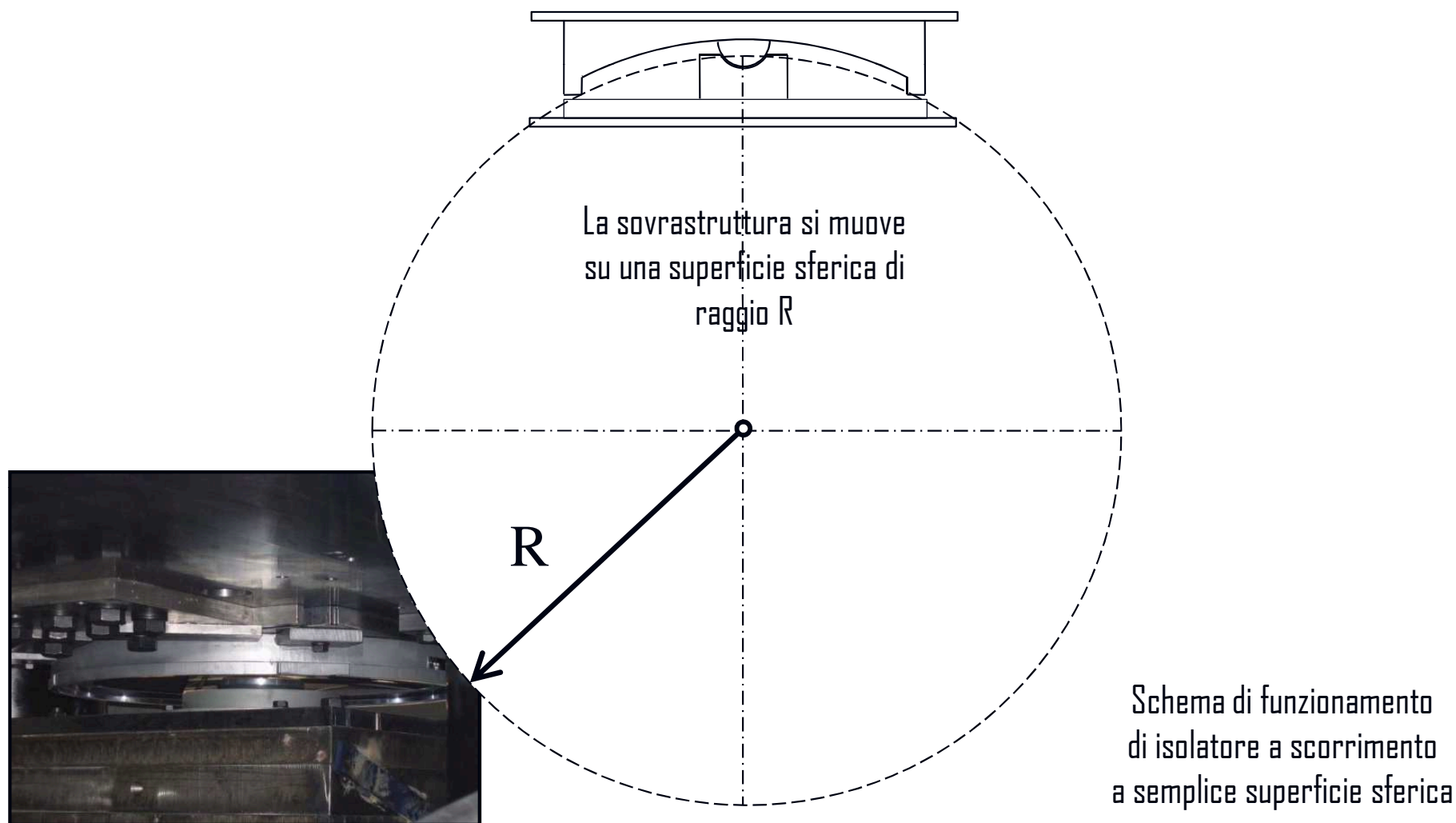
$$V = R_1 \sin \theta + R_2 \cos \theta$$

$$N = R_1 \cos \theta + R_2 \sin \theta$$



$$V = N \tan \theta + R_2 / \cos \theta$$

Isolatori a scorrimento a superficie curva semplice



Isolatori a scorrimento a superficie curva semplice

Gli isolatori a scorrimento a superficie curva semplice sono apparecchi di appoggio multidirezionali con superficie di scorrimento ad attrito.

Comportamento

Rigido incrudente

Ricentrante

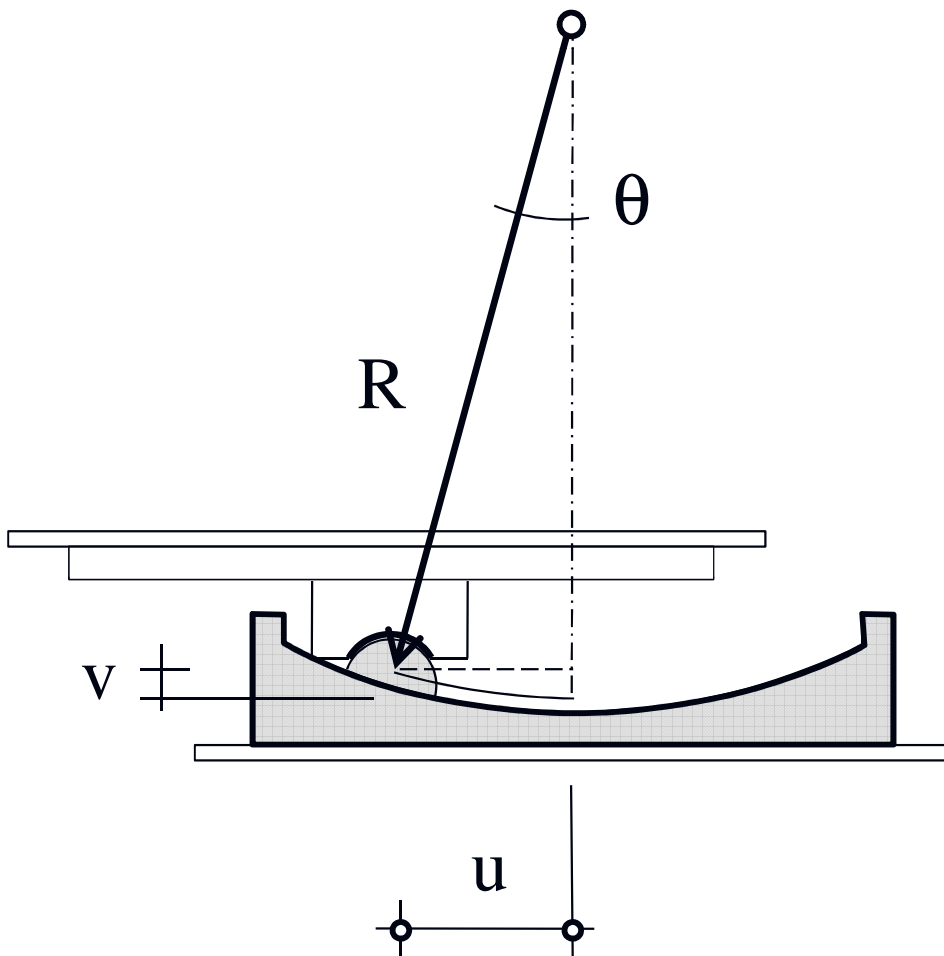
In particolare, la gravità determina
la forza di ricentraggio

Coefficiente di attrito

Variabile (2-10%)

Il contributo delle forze di attrito
non può essere trascurato.

Isolatori a scorrimento a superficie curva semplice



Per $u < 0.2R$,
si può confondere
il seno dell'angolo θ con l'angolo θ ,
ovvero:

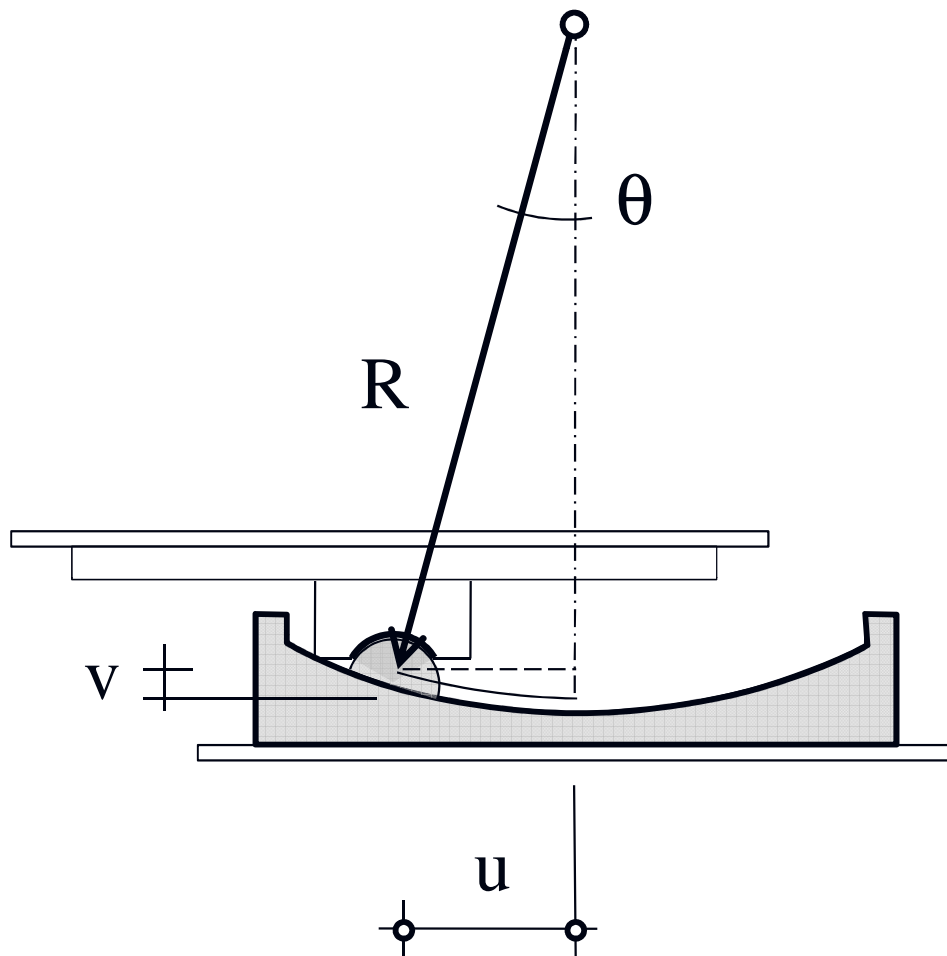
$$\sin \theta = \theta - \frac{\theta^3}{3!} + \dots \cong \theta$$

Pertanto, si ha:

$$u \cong \theta R$$

(l'errore nella valutazione di u
è inferiore al 2%)

Isolatori a scorrimento a superficie curva semplice



Per poter valutare gli spostamenti verticali consideriamo la seguente approssimazione:

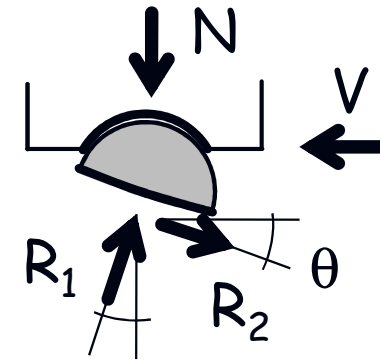
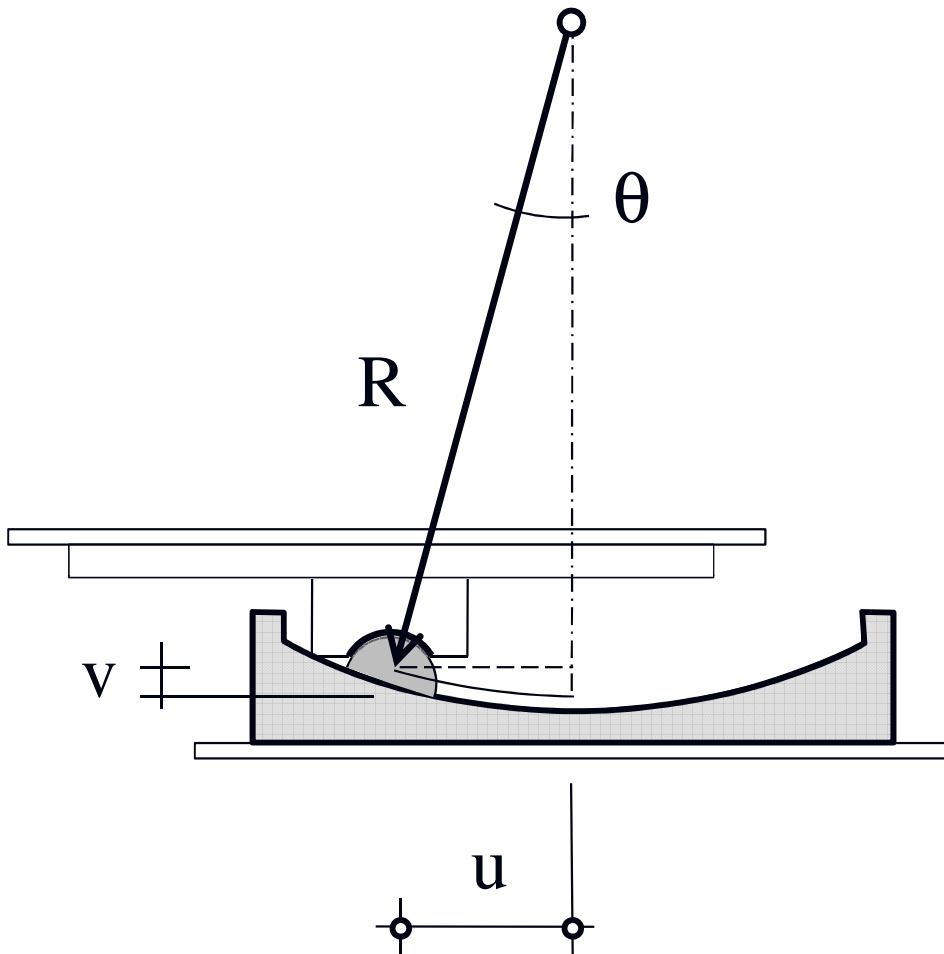
$$\cos \theta = 1 - \frac{\theta^2}{2!} + \dots \cong 1 - \frac{\theta^2}{2!}$$

Pertanto, si ha:

$$v \cong R \frac{\theta^2}{2} \cong \frac{u^2}{2R}$$

Nota! La frequenza verticale
e' il doppio di quella laterale.

Isolatori a scorrimento a superficie curva semplice



Il taglio nell'isolatore

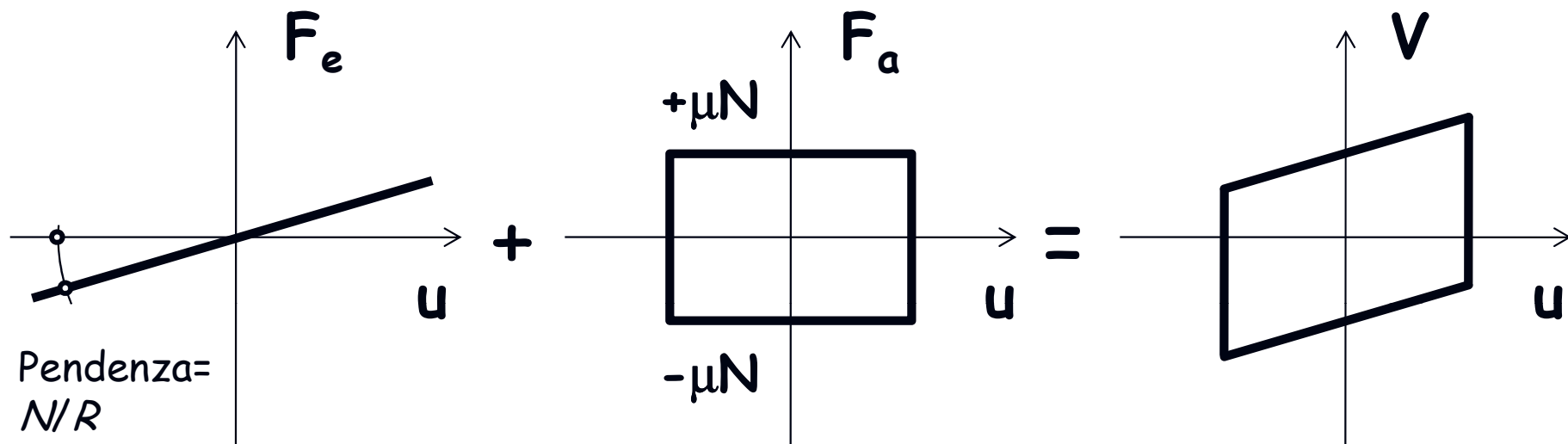
$$V = N \operatorname{tg} \theta + R_2 / \cos \theta$$

puo' essere valutato, pertanto,
anche mediante la relazione:

$$V = \frac{N}{R} u + \mu N \operatorname{sgn}(\dot{u})$$

Isolatori a scorrimento a superficie curva semplice

$$V = \frac{N}{R}u + \mu N \operatorname{sgn}(\dot{u}) = F_e + F_a$$



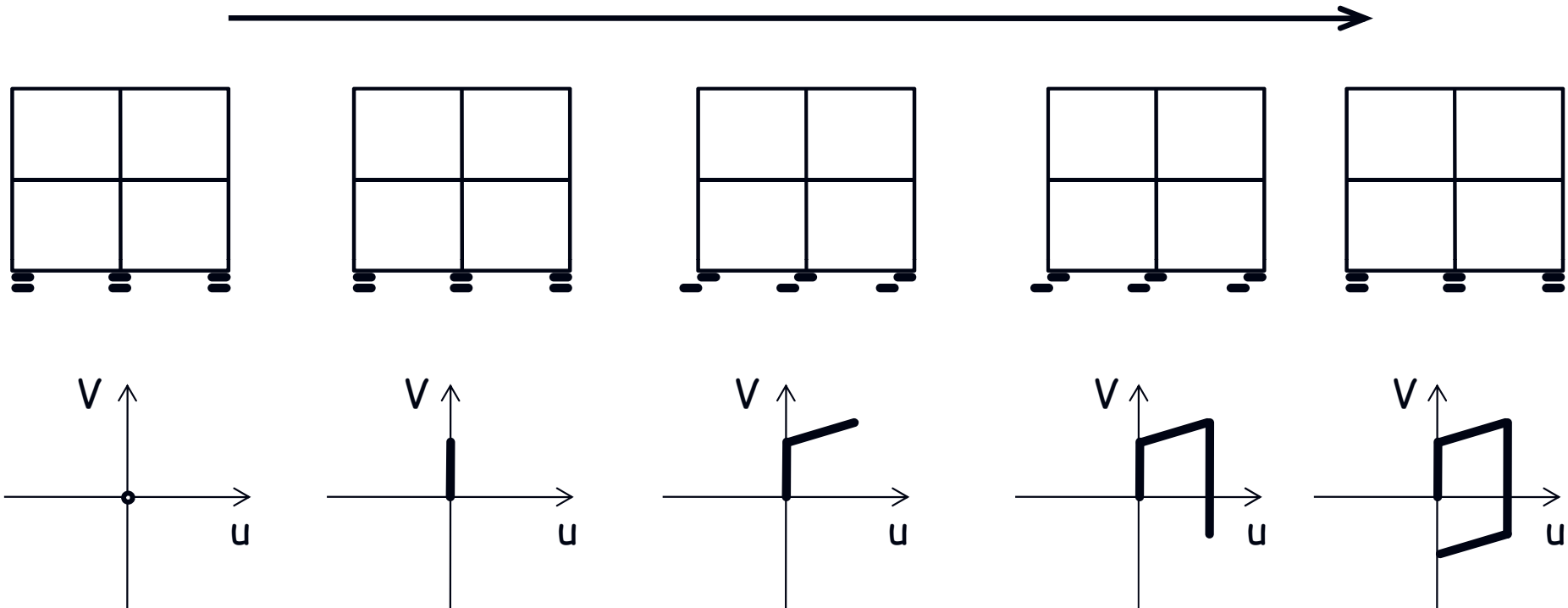
Nota! Il dispositivo non ricentra se $F_e < F_a$ (ovvero $u < \mu R$)

Ciò può essere importante in caso di lunghi periodi T e dunque grandi raggi di curvatura R

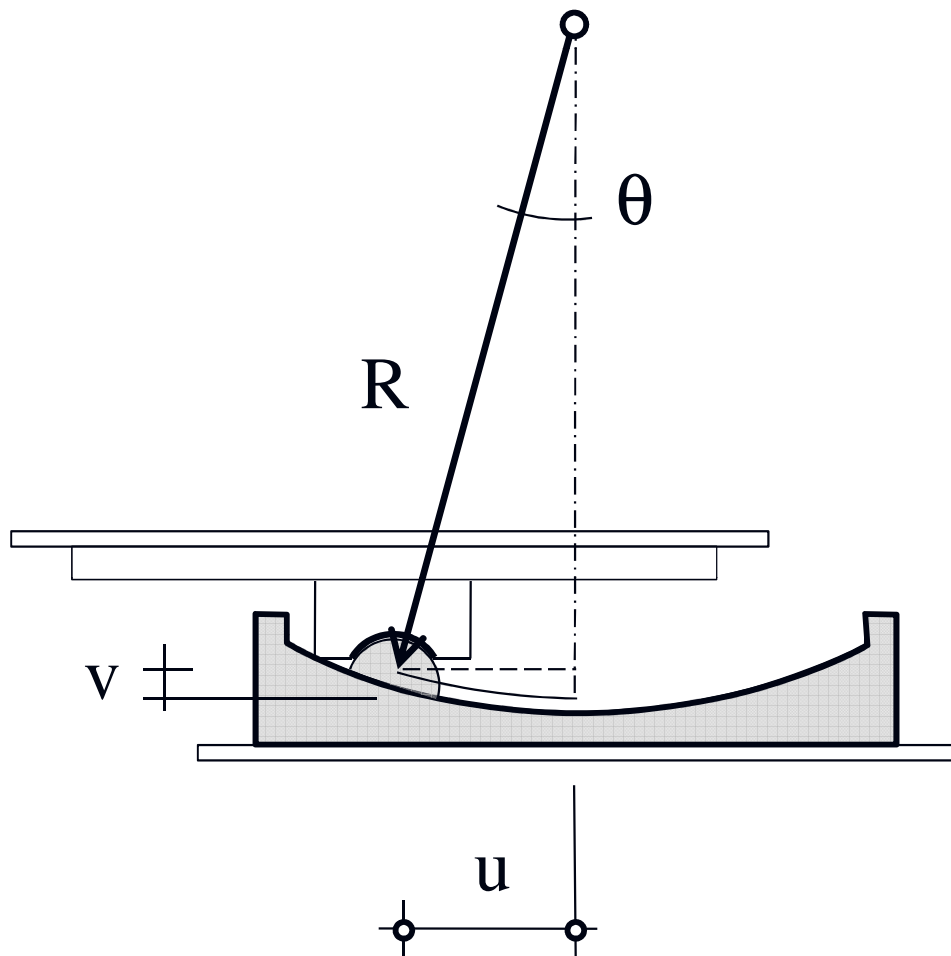
Isolatori a scorrimento a superficie curva semplice

$$V = \frac{N}{R}u + \mu N \operatorname{sgn}(\dot{u}) = F_e + F_a$$

tempo



Isolatori a scorrimento a superficie curva semplice



La rigidezza laterale
in assenza di attrito vale

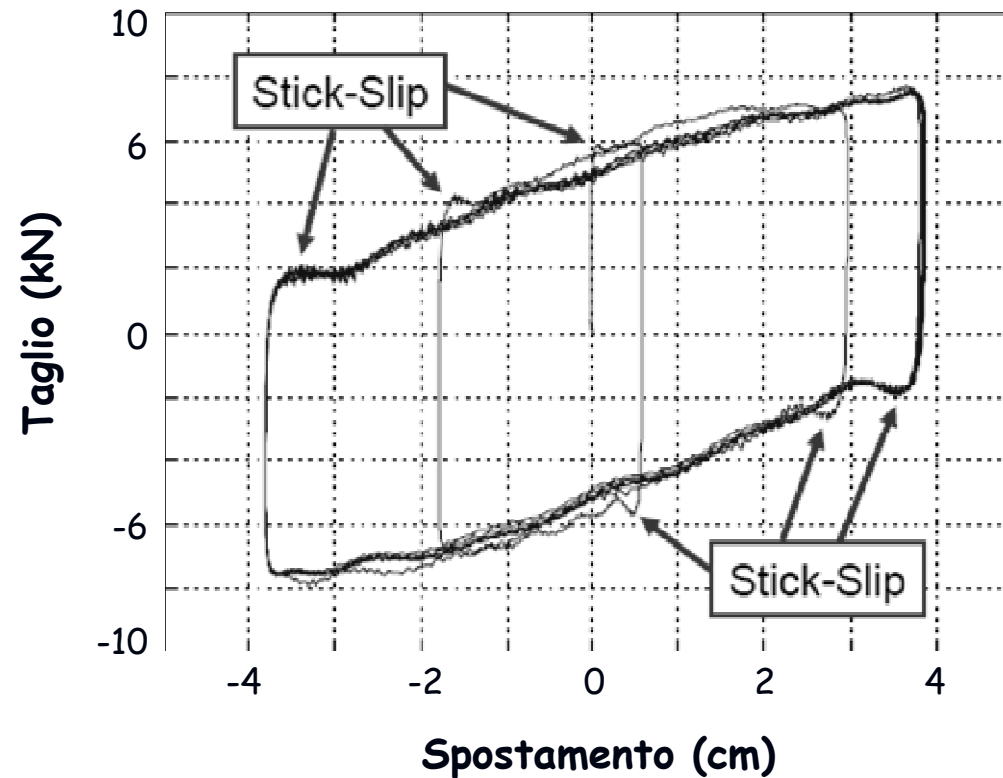
$$k = \frac{V}{u} = \frac{N}{R}$$

e il periodo

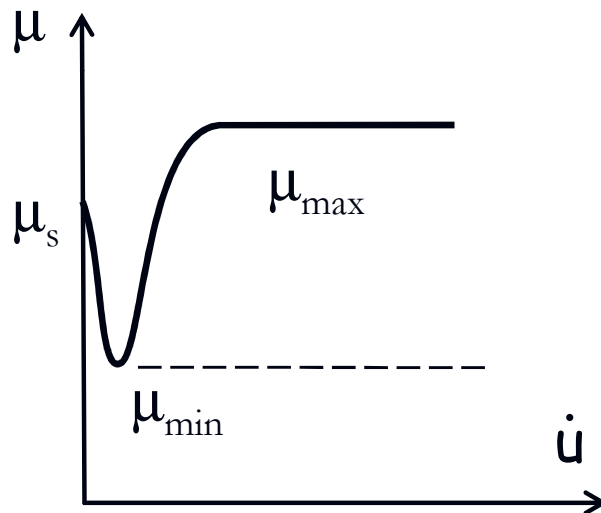
$$T = 2\pi \sqrt{\frac{N_{TOT}}{g k_{TOT}}} = 2\pi \sqrt{\frac{R}{g}}$$

Nota! Il periodo e' indipendente
dal peso della struttura e dipende
unicamente dal raggio di curvatura
del dispositivo di scorrimento

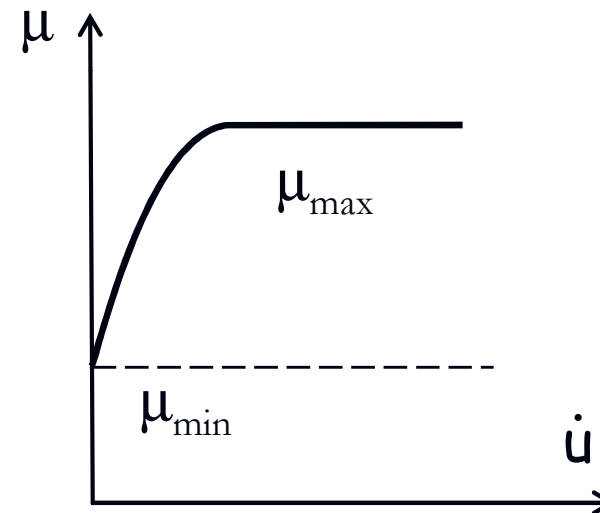
Isolatori a scorrimento a superficie curva semplice



Isolatori a scorrimento a superficie curva semplice



Dipendenza reale
dalla velocità



Dipendenza approssimata
dalla velocità

$$\mu = \mu_{\max} - (\mu_{\max} - \mu_{\min}) \exp(-a|\dot{u}|)$$

La resistenza dei dispositivi a scorrimento
dipende dalla velocità di carico

Isolatori a scorrimento a superficie curva semplice



Termografia
di isolatore a scorrimento
a semplice superficie sferica

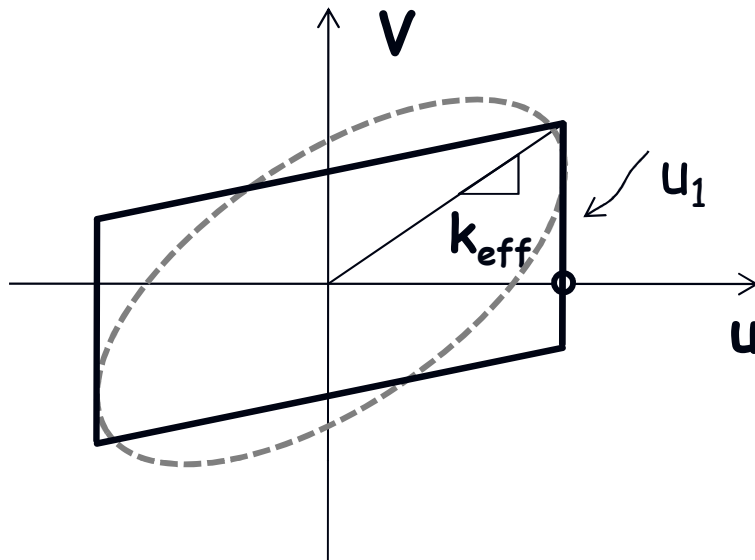
Isolatori a scorrimento a superficie curva semplice

	V_k	V_d	A				B	H_T
			D	D	D	D		
			± 100	± 200	± 300	± 400		
	kN	kN	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Legenda :	1000	1400	440	640	840	1040	240	130
V_k = Carico verticale caratteristico	2000	2800	520	720	920	1120	320	140
V_d = Carico verticale di progetto (USL)	3000	4200	580	780	980	1180	380	150
D = Spostamento orizzontale longitudinale	4000	5600	630	830	1030	1230	430	160
A = Diametro piastra superiore	5000	7000	675	875	1075	1275	475	170
B = Diametro piastra inferiore	...	...	...	...	...	...	...	...
H_T = Altezza totale	50000	70000	1590	1790	1990	2190	1390	379
	60000	84000	1715	1915	2115	2315	1515	401

Tratto dal catalogo *ALGAPEND*

Isolatori a scorrimento a superficie curva semplice

Modello linearizzato



Rigidezza secante efficace
allo spostamento u_1

$$k_{eff} = \frac{V}{u} = \frac{W}{R} + \frac{\mu W}{u}$$

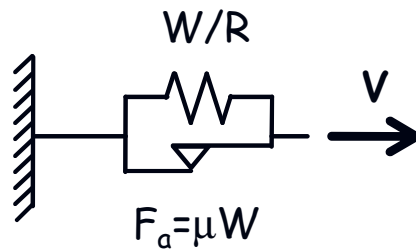
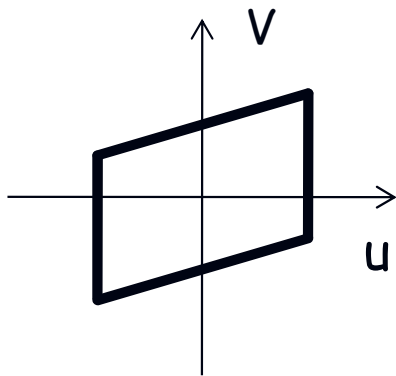
Smorzamento efficace
allo spostamento u_1

$$\xi_{eff} = \frac{E_d}{4\pi E_{so}} = \frac{4\mu Wu}{4\pi (0.5 k_{eff} u^2)} = \frac{2\mu R}{\pi (\mu R + u)}$$

Le proprietà efficaci sono dipendenti dallo spostamento considerato. Pertanto, un progetto che utilizzi le proprietà lineari efficaci è un progetto iterativo.

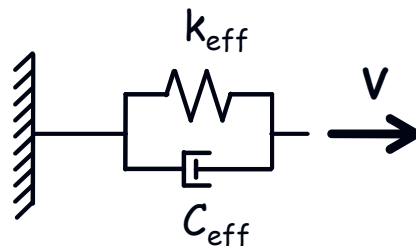
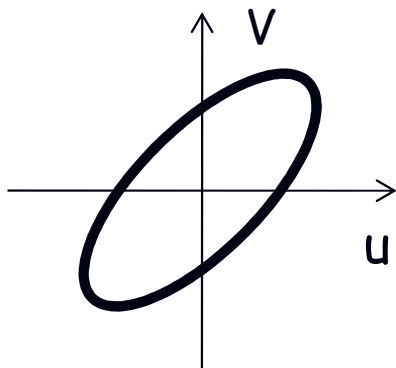
Analisi lineare e nonlineare

- Analisi nonlineare



$$V(t) = \frac{N}{R}u(t) + \mu N \operatorname{sgn}[\dot{u}(t)]$$

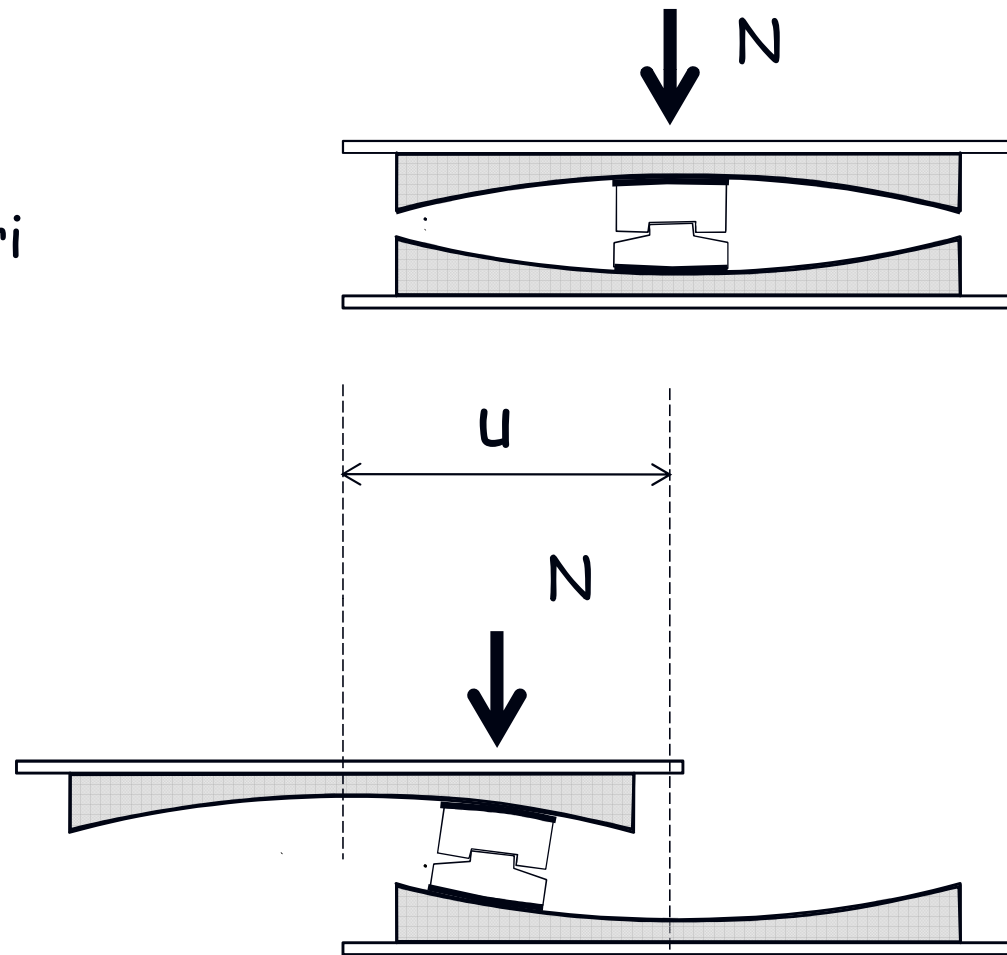
- Analisi lineare



$$V(t) = k_{eff}u(t) + c_{eff}\dot{u}(t)$$

Isolatori a scorrimento a doppia superficie curva

Nel caso di spostamenti molto grandi è conveniente l'uso di isolatori a doppia superficie curva perché questi consentono di ridurre l'ingombro in pianta.

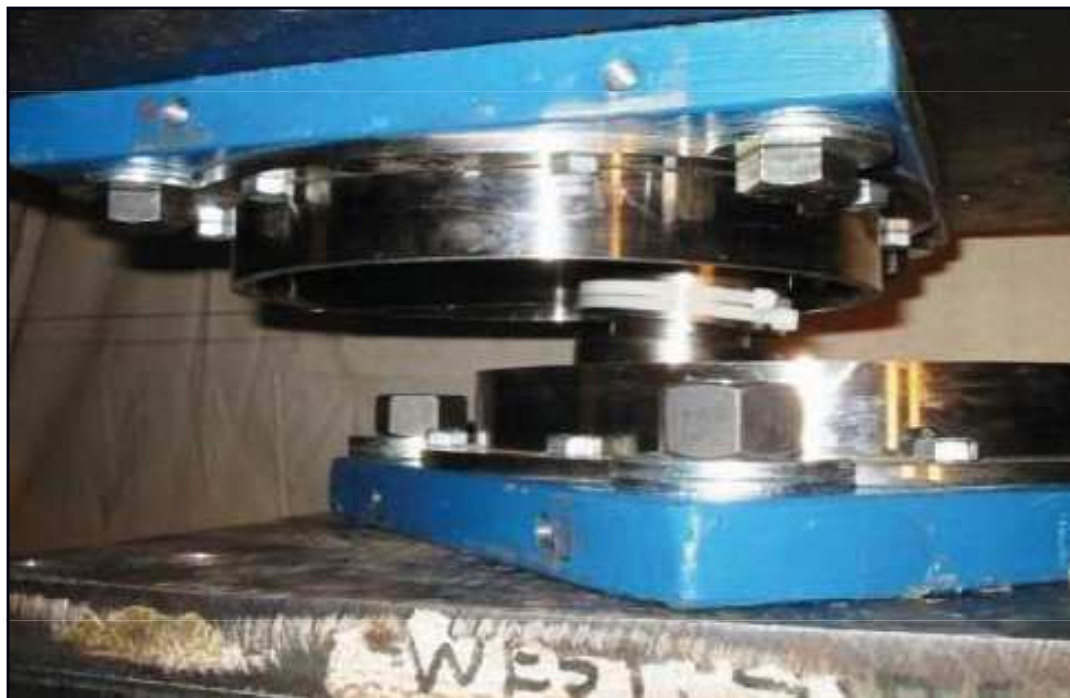


Isolatori a scorrimento a superficie curva doppia



Foto di isolatori a scorrimento
a doppia superficie sferica

Isolatori a scorrimento a superficie curva doppia



Configurazione spostata di un isolatore a scorrimento
a doppia superficie sferica

Isolatori a scorrimento a superficie curva doppia

	V_k	V_d	A				B	H_T
			D	D	D	D		
			± 300	± 400	± 500	± 600		
	kN	kN	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Legenda :	1000	1400	540	640	740	840	2340	200
V_k = Carico verticale caratteristico	2000	2800	620	720	820	920	420	210
V_d = Carico verticale di progetto (USL)	3000	4200	680	780	880	980	480	220
D = Spostamento orizzontale longitudinale	4000	5600	730	830	930	1030	530	225
A = Diametro piastra superiore	5000	7000	775	875	975	1075	575	230
B = Diametro piastra inferiore	...	...	...	...	...	...	...	...
H_T = Altezza totale	50000	70000	1690	1790	1890	1990	1490	565
	60000	84000	1815	1915	2015	2115	1615	610

Tratto dal catalogo ALGAPEND

Dispositivi di isolamento

Confronto

Tipo isolatore	Vantaggi	Svantaggi
Con gomma a basso smorzamento	<ul style="list-style-type: none">• Basse accelerazioni• Costo ridotto	<ul style="list-style-type: none">• Spostamenti elevati• Basso smorzamento• Bassa resistenza a carico servizio• Instabilità
Con gomma ad alto smorzamento	<ul style="list-style-type: none">• Moderate accelerazioni di piano• Resistenza al carico di servizio• Smorzamento moderato-alto	<ul style="list-style-type: none">• Rigidezza e smorzamento dipendente dalle deformazioni• Analisi complessa• Limitata scelta di rigidezza e smorzamento• Instabilità
Con gomma e elemento in piombo	<ul style="list-style-type: none">• Moderate accelerazioni di piano• Ampia scelta per rigidezza e smorzamento	<ul style="list-style-type: none">• Instabilità

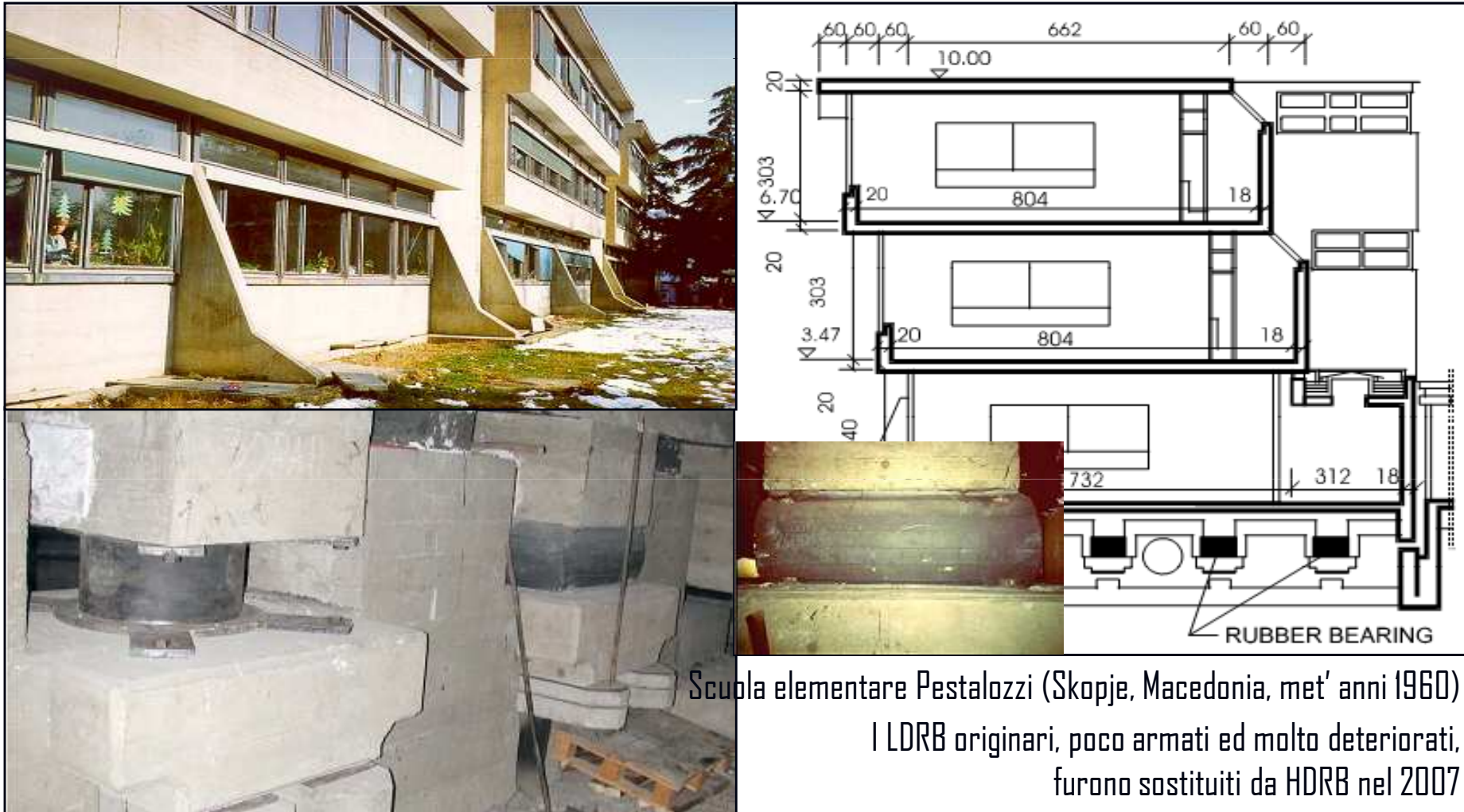
Dispositivi di isolamento

Confronto

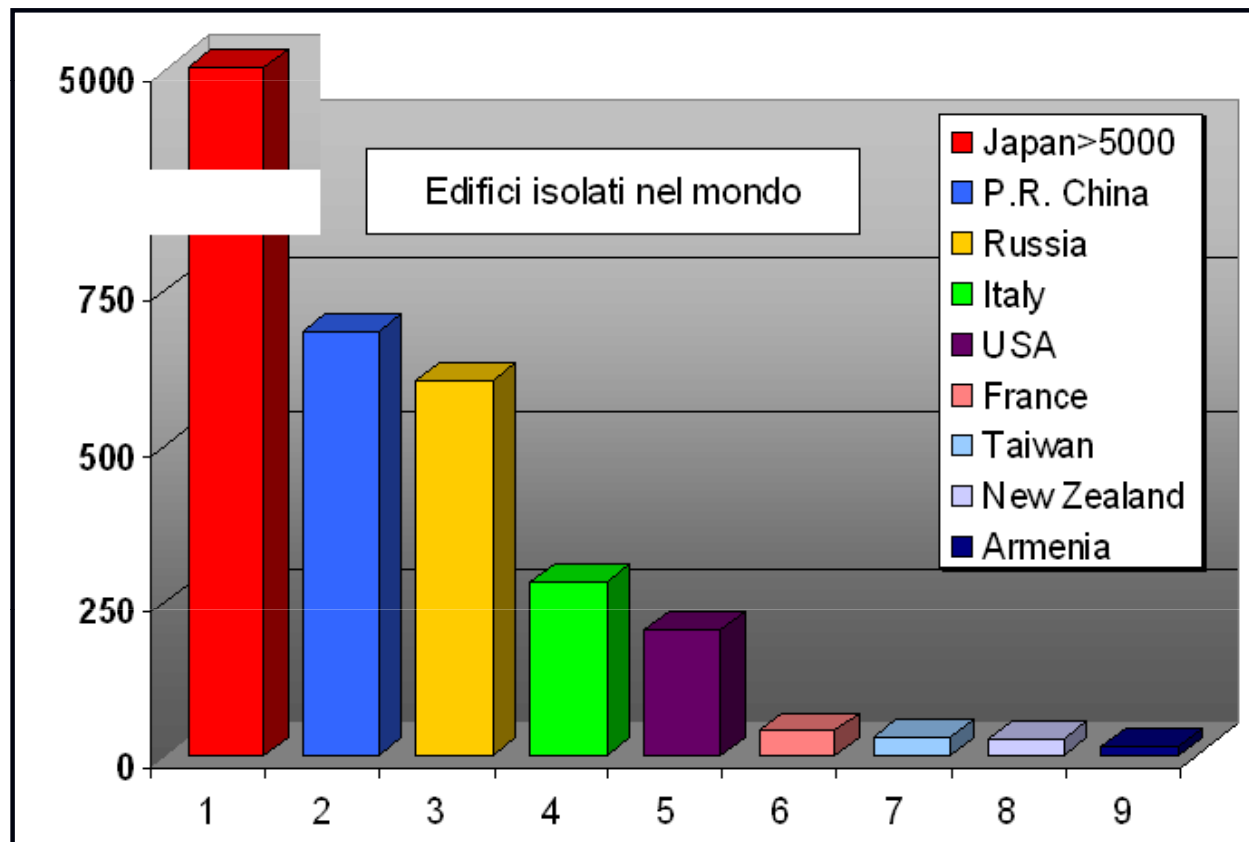
Tipo isolatore	Vantaggi	Svantaggi
A scorrimento a superficie piana	<ul style="list-style-type: none">• Resistenza al carico di servizio• Elevato smorzamento	<ul style="list-style-type: none">• Elevate accelerazioni di piano• Proprietà funzione della pressione e velocità• Assenza di forze di ricentraggio
A scorrimento a superficie curva	<ul style="list-style-type: none">• Resistenza a carico di servizio• Smorzamento moderato-alto• Riduzione della risposta torsionale	<ul style="list-style-type: none">• Elevate accelerazioni di piano• Proprietà funzione della pressione e velocità

Applicazione moderna dell'isolamento

Prime applicazioni

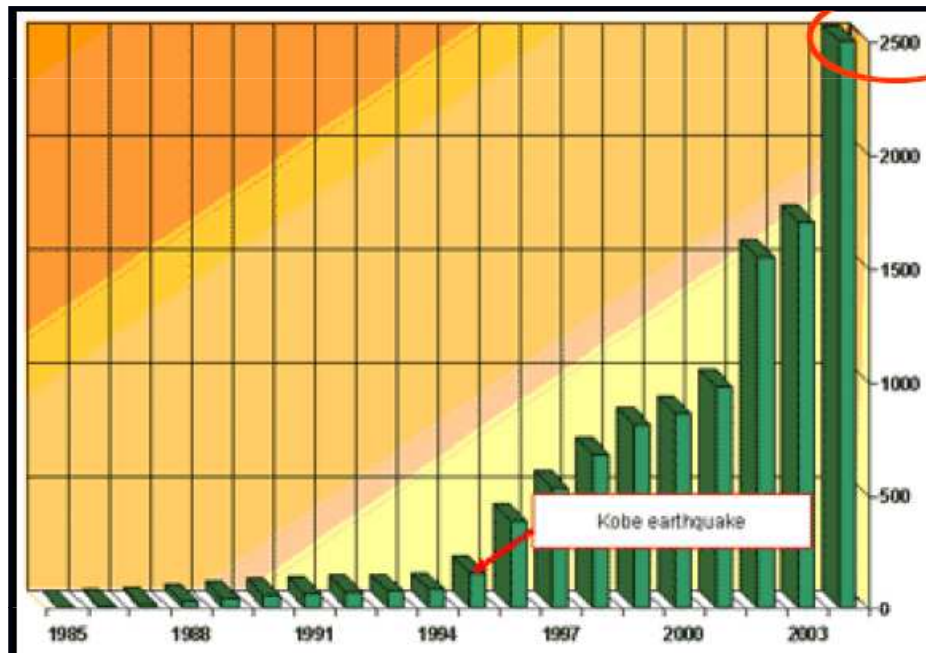


Applicazione moderna dell'isolamento



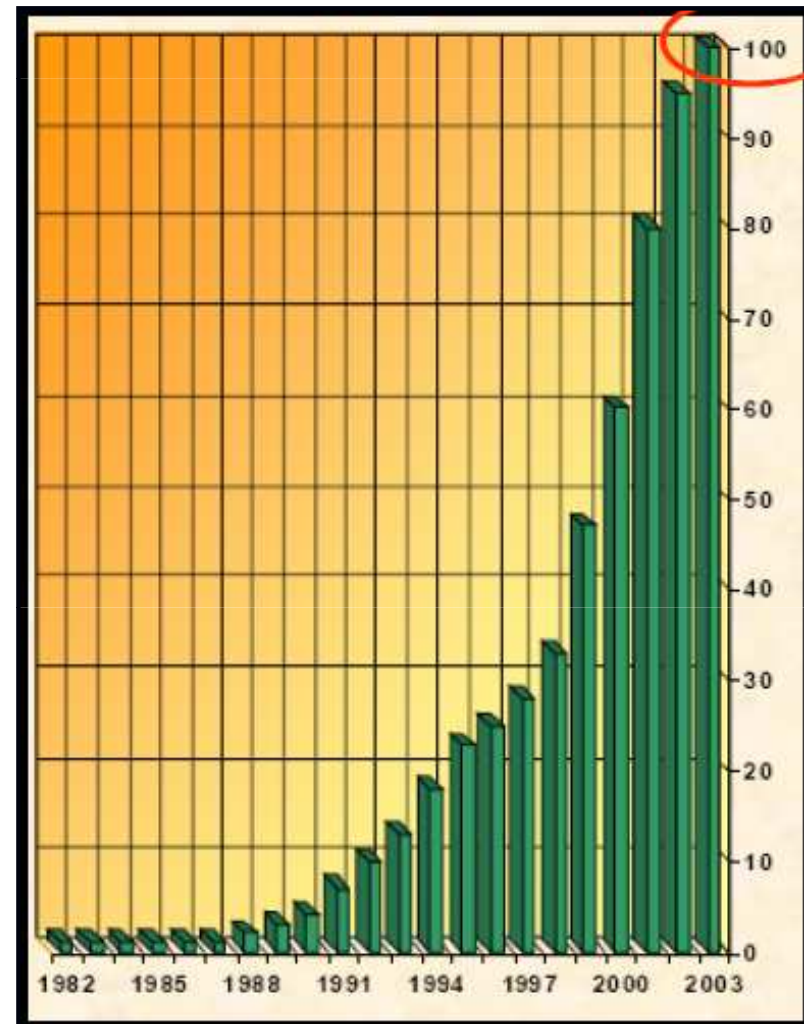
Edifici isolati nel mondo

Applicazione moderna dell'isolamento

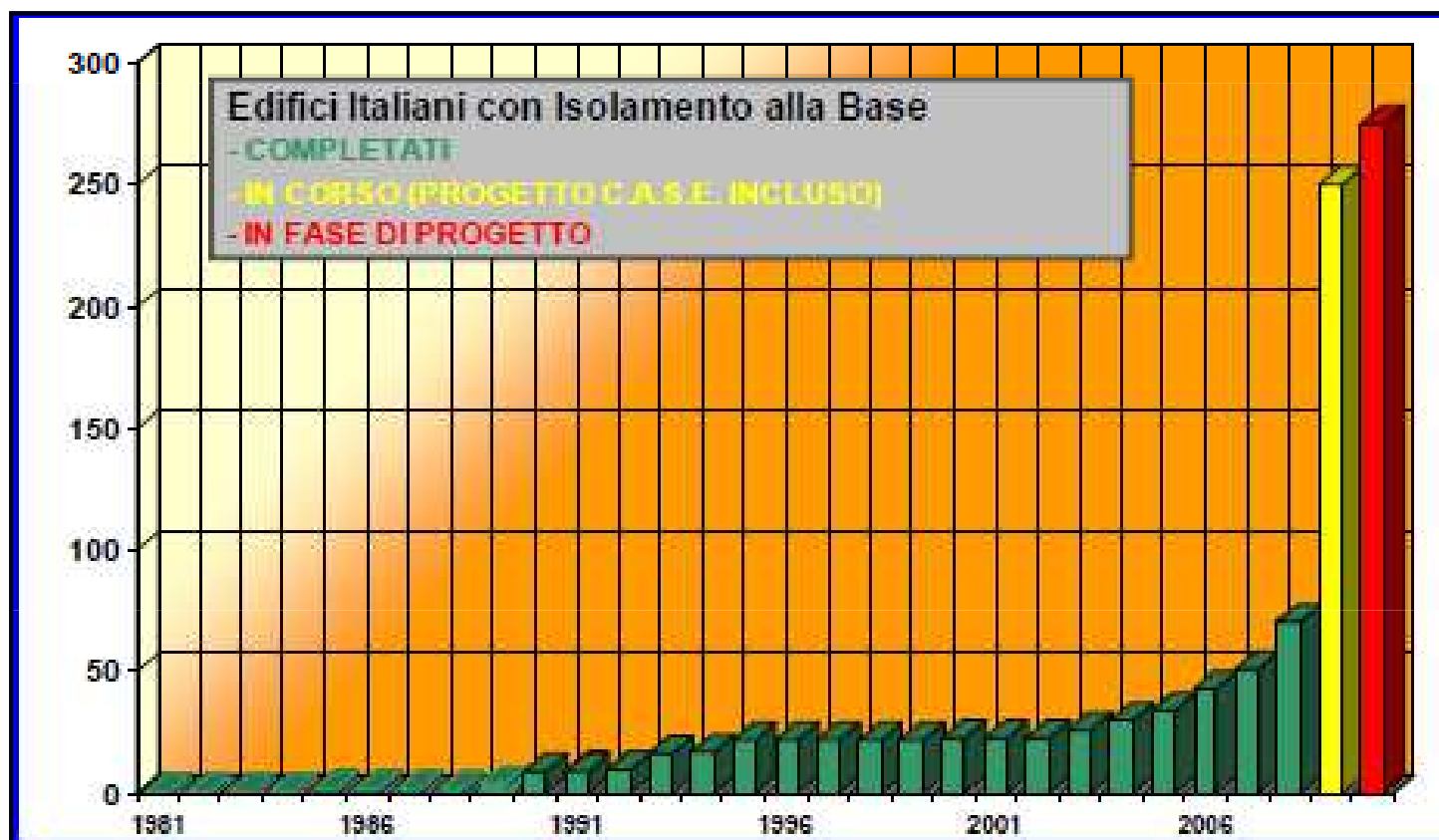


Edifici isolati in Giappone

Edifici isolati negli USA



Applicazione moderna dell'isolamento



Edifici isolati in Italia

Applicazione moderna dell'isolamento

A quali strutture applicare l'isolamento alla base ?

- Strutture ad alto rischio (centrali nucleari, impianti chimici ecc)
- Infrastrutture (ponti e viadotti)
- Edifici pubblici (ospedali, centri di emergenza, scuole, ecc.)
- Strutture adibite alla difesa
- Strutture che contengono componenti di elevato valore
- Monumenti artistici e storici