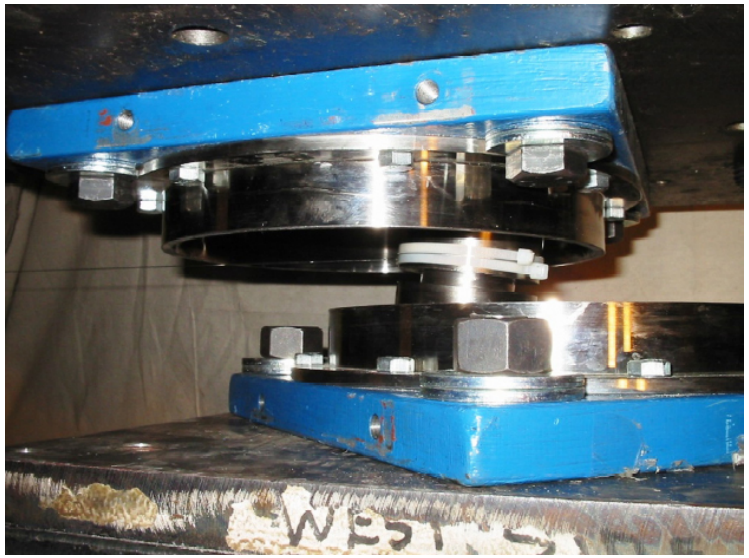
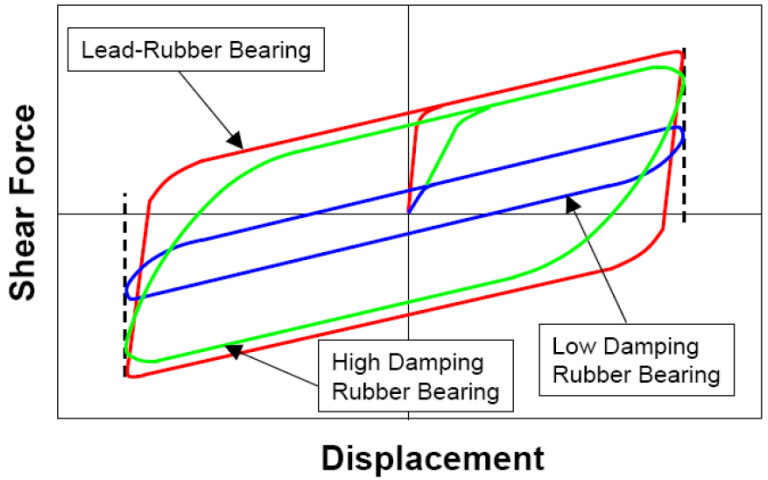
MITIGAZIONE RISCHIO SISMICO CON AUSILIO DI DISPOSITIVI D'ISOLAMENTO

Roma 08 Febbraio 2024







MITIGAZIONE DEL RISCHIO SISMICO TECNICHE TRADIZIONALI ED INNOVATIVE

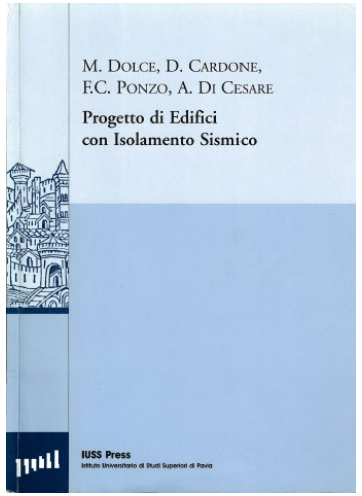
TECNICHE DI CONTROLLO DEL COMPORTAMENTO STRUTTURALE

DISPOSITIVI E SISTEMI D'ISOLAMENTO-COMPORTAMENTO ISOLATORI

METODI DI MODELLAZIONE

NORMATIVE







MITIGAZIONE DEL RISCHIO SISMICO CON DISPOSITIVI D'ISOLAMENTO:

TECNICHE TRADIZIONALI ED INNOVATIVE

Softing
Il software per il calcolo strutturale

ROMA 08 FEBBRAIO 2024

INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO-ADEGUAMENTO O VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA

IL RISCHIO E' LA PROBABILITA' CHE UN EVENTO SISMICO SUPERI SOGLIE PRESTABILITE

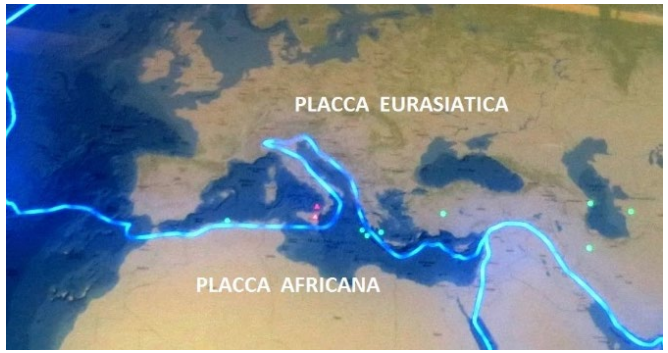
RISCHIO SISMICO E' FUNZIONE DI CARATTERISTICHE FENOMENO - VULNERABILITA'- IMPORTANZA DELL'OPERA-ESPOSIZIONE

Figura A - Matrice della valutazione del Rischio.

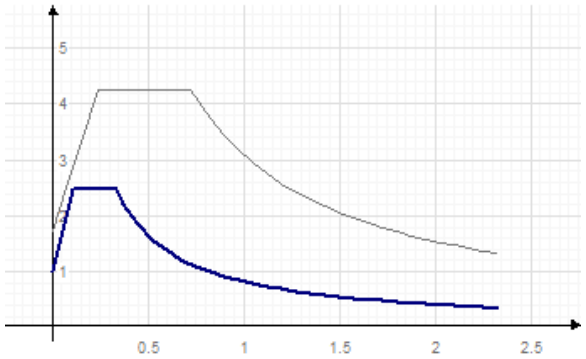
Probabilità	Gravità Danno 1 trascurabile	2 modesta	3 notevole	4 ingente
4 elevata	4	8	12	16
3 medio alta	3	6	9	12
2 medio bassa	2	4	6	8
1 bassissima	1	2	3	4

$R = P \times D$

ELEVATA PROPABILITA' CHE AVVENGA FENOMENO SISMICO EVENTUALMENTE AMPLIFICATA DA CARATERISTICHE STRATIGRAFICHE LOCALI

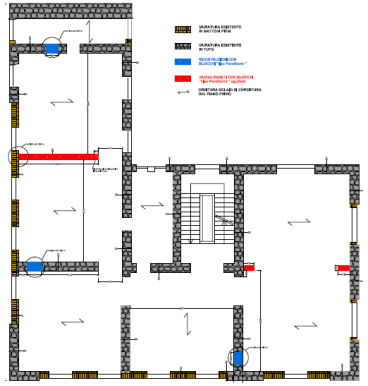


Faglia Gloria



VULNERABILITA'





IMPORTANZA DELL'OPERA-ESPOSIZIONE NEL CONTENIMENTO PERDITE





CLASSIFICAZIONE RISCHIO SISMICO METODO SEMPLIFICATO

Classe di Rischio	PAM	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
A+*	PAM ≤ 0,50%				$V_1 \div V_2$
A*	0,50%<PAM≤1,0%			$V_1 \div V_2$	$V_3 \div V_4$
B*	1,0%<PAM≤1,5%	V_1	$V_1 \div V_2$	V_3	V_5
C*	1,5%<PAM≤2,5%	V_2	V_3	V_4	V_6
D*	2,5%<PAM≤3,5%	V_3	V_4	$V_5 \div V_6$	
E*	3,5%<PAM≤4,5%	V_4	V_5		
F*	4,5%<PAM≤7,5%	V_5	V_6		
G*	7,5%≤PAM	V_6			

Tabella 5 – *Classe PAM attribuita in funzione della classe di vulnerabilità assegnata all'edificio e della zona sismica in cui lo stesso è situato*

Mattoni o pietra lavorata:
Classe media di vulnerabilità globale V5

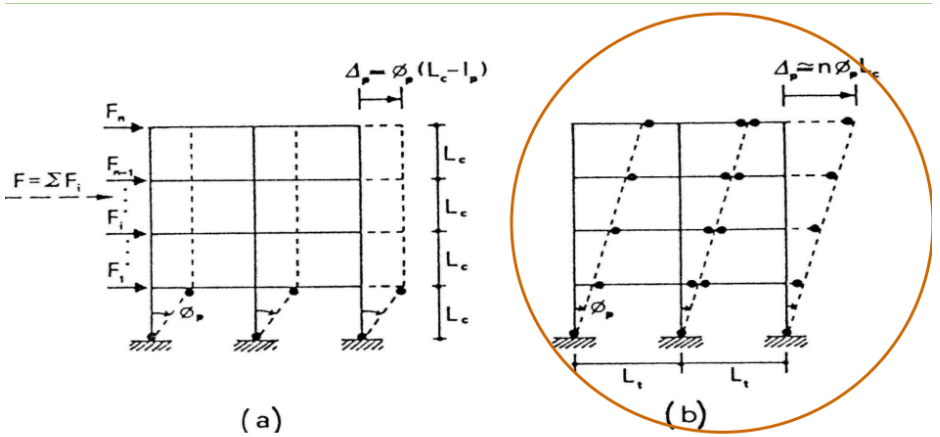
Classe di rischio:
Zona 1 → **F** (4,5%<PAM≤7,5%)
Zona 2 → **E** (3,5%<PAM≤4,5%)
Zona 3 → **D** (2,5%<PAM≤3,5%)
Zona 4 → **B** (1,0%<PAM≤1,5%)

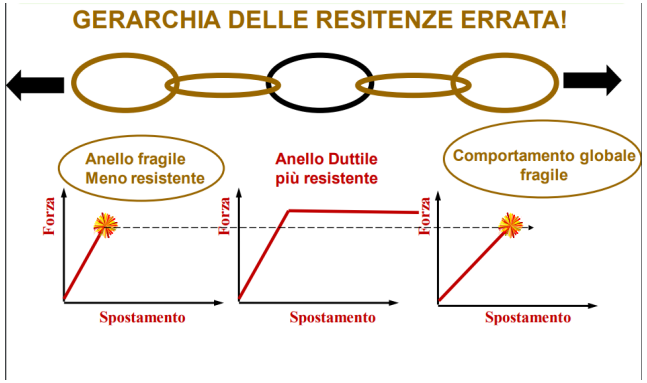
TIPOLOGIA STRUTTURALE		PECULIARITÀ CARATTERISTICHE DELLA TIPOLOGIA STRUTTURALE	CLASSE MEDIA DI VULNE-RABILITÀ GLOBALE	POSSIBILI MECCANISMI LOCALI	PECULIARITÀ NEGATIVE PER LA VULNERABILITÀ LOCALE/GLOBALE	PAS-SAGGIO DI CLASSE
MURATURA	INERTI / MAGLIA MURARIA					
	pietra grezza	• Legante di cattiva qualità e/o assente • Orizzontamenti di legno o comunque caratterizzati da scarsa rigidezza e/o resistenza nel proprio piano medio e scarsamente collegati con le pareti portanti	V_6			
	mattoni di terra cruda (adobe)	• Orizzontamenti di legno o di mattoni ma comunque caratterizzati da scarsa rigidezza e/o resistenza nel proprio piano medio e scarsamente collegati con le pareti portanti • Eventuale presenza di telai di legno	V_6			
	pietra sbozzata	• Accorgimenti per aumentare la resistenza (ad es. listature). • Orizzontamenti di legno o comunque caratterizzati da scarsa rigidezza e/o	V_5	Ribaltamento delle pareti	• Scarsa qualità costruttiva • Elevato degrado e/o danneggiamento • Spinte orizzontali non contrastate • Pannelli murari male ammorsati tra loro • Orizzontamenti male ammorsati alle pareti • Aperture di elevate dimensioni intervallate da maschi di ridotte dimensioni • Presenza di numerose nicchie che riducono significativamente l'area resistente della muratura • Pareti di elevate dimensioni (larghezza e altezza) non controventate a sufficienza	da V_5 a V_6
	mattoni o pietra lavorata	• Orizzontamenti di mattoni o di legno caratterizzati da scarsa rigidezza nel proprio piano medio e scarsamente collegati con le pareti portanti	V_5			
	pietra massiccia per costruzioni monumentali	nel proprio piano medio	V_4	Meccanismi parziali o di piano		da V_4 a V_5
	mattoni + solai d'elevata rigidezza nel proprio piano medio	• Funzionamento scatolare della costruzione • Orizzontamenti di calcestruzzo armato o comunque caratterizzati da elevata rigidezza nel proprio piano medio ben collegati alla muratura	V_4	Ribaltamento delle pareti Meccanismi parziali o di piano	• Scarsa qualità costruttiva • Elevato degrado e/o danneggiamento • Pannelli murari male ammorsati tra loro • Orizzontamenti male ammorsati alle pareti • Pannelli murari a doppio strato con camera d'aria • Assenza totale o parziale di cordoli • Aperture di elevate dimensioni intervallate da maschi di ridotte dimensioni • Presenza di numerose nicchie che riducono significativamente l'area resistente della muratura • Pareti di elevate dimensioni (larghezza e altezza) non controventate a sufficienza	da V_4 a V_5
	armata e/o confinata	• Elevata qualità delle muratura, rinforzata da reti o barre di acciaio, e/o realizzata tra travi e colonne che la racchiudono in corrispondenza di tutti e quattro i lati • Orizzontamenti di calcestruzzo armato o comunque caratterizzati da elevata rigidezza nel proprio piano medio	V_3	Meccanismi dovuti, ad esempio, ad un'errata disposizione degli elementi non strutturali che possono ridurre la duttilità globale	• Scarsa qualità costruttiva • Elevato degrado o danneggiamento • Elevata irregolarità in pianta e/o in altezza • Presenza numerosa di elementi non-strutturali che modificano negativamente il comportamento locale e/o globale • Aperture di elevanti dimensioni intervallate da maschi di ridotte dimensioni • Pareti di elevate dimensioni (larghezza e altezza) non controventate a sufficienza	da V_3 a V_4

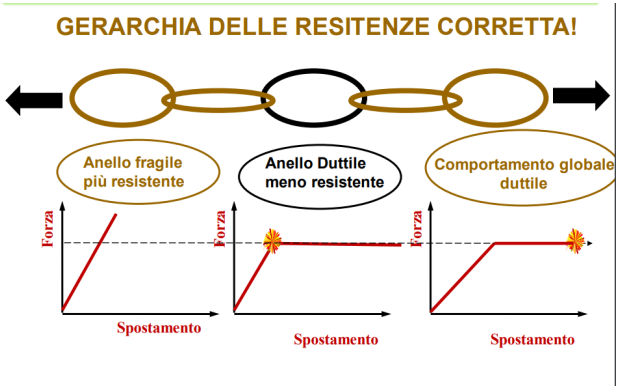
MITIGAZIONE DEL RISCHIO SISMICO

POICHE' NON E' POSSIBILE ELIMINARE IL FENOMENO FISICO E' NECESSARIO **RIDURRE LA VULNERABILITA'.**

PER LE **NUOVE STRUTTURE** OCCORRE PROGETTARE PER GARANTIRE LA SALVAGUARDIA DELLA VITA UMANA E MINIMIZZARE I DANNI ATTRAVERSO LA PROGETTAZIONE IN DUTTILITA'.







PROGETTAZIONE SISMICA TRADIZIONALE ED INNOVATIVA

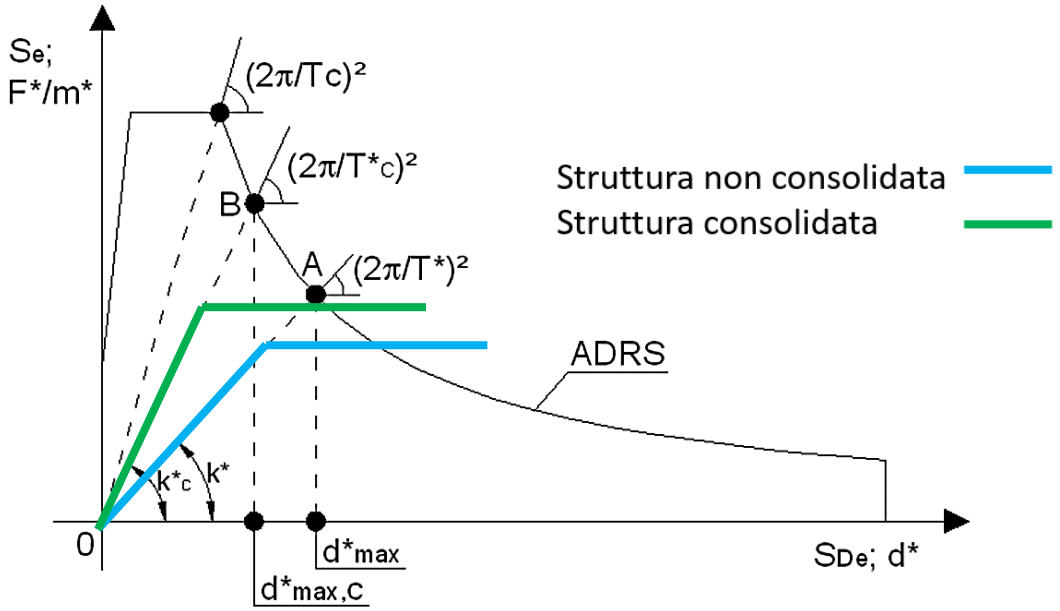
PROGETTAZIONE SISMICA TRADIZIONALE

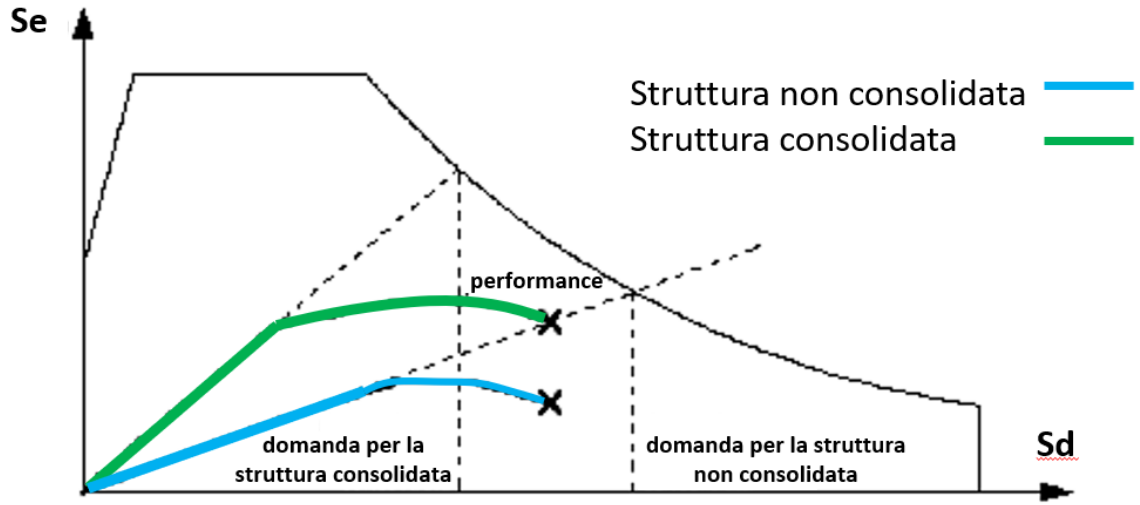
Progettazione basata sulla resistenza (Force Based Design)

- È RELATIVO ALLA VALUTAZIONE DEGLI STATI DI SOLLECITAZIONE INDOTTI DALLE AZIONI SISMICHE DI PROGETTO SEGUITA DA UN CONFRONTO CON LE SOLLECITAZIONI RESISTENTI PROPRIE DI CIASCUNA SEZIONE IN FUNZIONE DELLE CARATTERISTICHE DEI MATERIALI
- IN UNA SECONDA FASE SI PROCEDE ALLA VERIFICA DEGL STATI DI DEFORMAZIONE SUBITI DALLA STRUTTURA, ACCERTANDOSI CHE SIANO INFERIORI AI VALORI DI NORMATIVA
- IN TALE CONTESTO, LO SPOSTAMENTO ASSUME IL RUOLO DI PARAMETRO DI VERIFICA anziché DI PROGETTO, INDICANDO SOLAMENTE UNA MAGGIORE O MINORE ADEGUATEZZA DELLA RIGIDEZZA DELLA STRUTTURA RISPETTO ALLE AZIONI ORIZZONTALI

- LE VERIFICHE DI SICUREZZA SI BASANO SULLA CAPACITA' E SULLA DOMANDA.

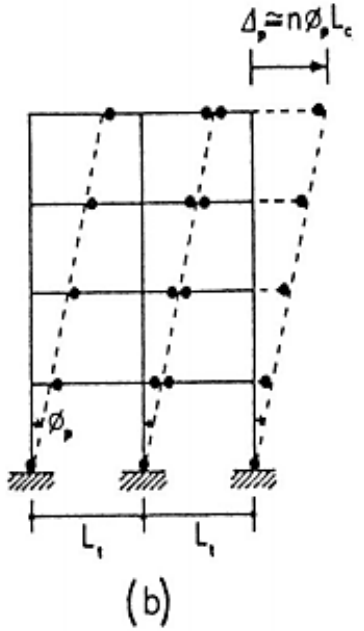
  AUMENTARE MOLTO LA RESISTENZA PUO' DIVENTARE NON ECONOMICO E SI POTREBBERO AVERE INGENTI ACCELERAZIONI CON CONSEGUENTE DANNEGGIAMENTO DELLE PARTI NON STRUTTURALI E DEGLI IMPIANTI. IN ALCUNI CASI E' NECESSARIO INTERVENIRE ANCHE SULLA DOMANDA ATTRAVERSO LA DISSIPAZIONE DI ENERGIA DELLA STRUTTURA





PER SLU E' IMPORTANTE LA CAPACITA' DI SOPPORTARE SPOSTAMENTI ELEVATI SENZA CAUSARE RIDUZIONI ECCESSIVE DI RESISTENZA NEI CONFRONTI DEI CARICHI GRAVITAZIONALI.
LA STRUTTURA DEVE AVERE ELEVATA DUTTILITA' QUINDI ELEVATA CAPACITA' DEFORMATIVA.

SPESSO LA DUTTILITA' COINCIDE CON IL DANNO STRUTTURALE.
LE DEFORMAZIONI PERMENENTI COME RISULTATO DI UNA ELEVATA DISSIPAZIONE DI ENERGIA POTREBBERO RICHIEDERE INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO SUCCESSIVO, ANCHE MOLTO ONEROSO





PROGETTAZIONE SISMICA TRADIZIONALE ED INNOVATIVA

PROGETTAZIONE SISMICA INNOVATIVA ➡ *Progettazione basata sui livelli prestazionali voluti dalla struttura*

CON PERFORMANCE BASED DESIGN LE STRUTTURE POSSONO ESSERE PROGETTATE SULLA BASE DI PARAMETRI DI CONTROLLO AD ESEMPIO SPOSTAMENTI IMPONENDO CHE I VALORI SIANO INFERIORI A QUELLI RICHIESTI

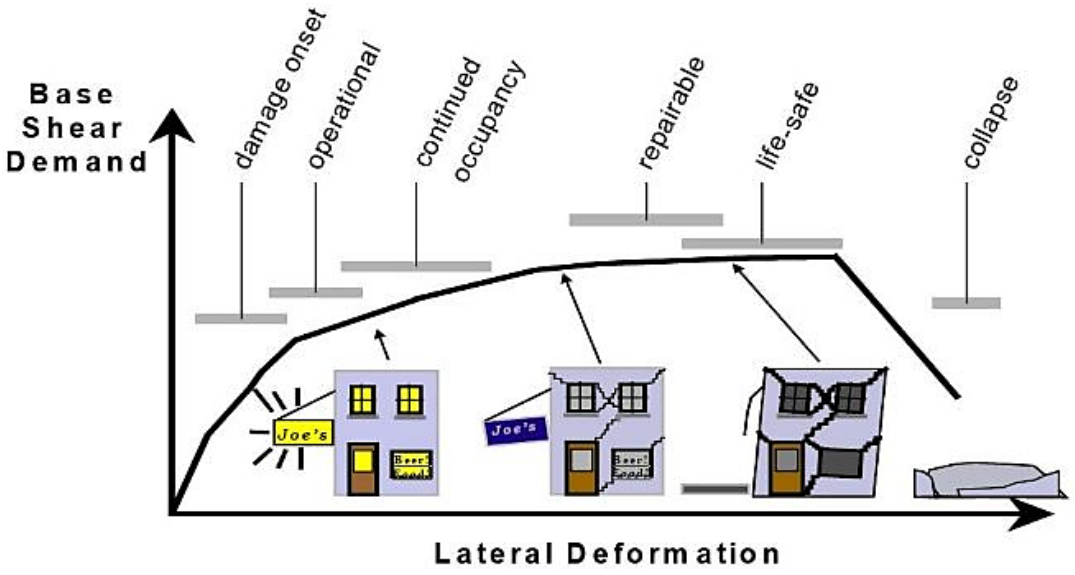


Fig. 3.1 – "Performance-based design" [da Ron Hamburger]

Duttilità della struttura

E' definita generalmente in funzione dello spostamento di un punto significativo della struttura (es. in sommità)

$$\mu_\Delta = \Delta_u / \Delta_y$$

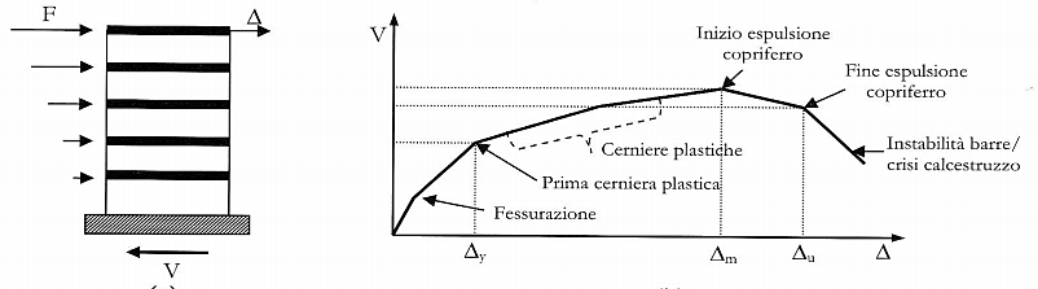


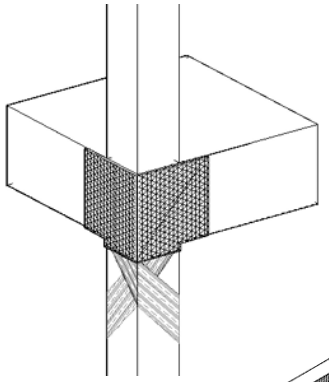
Fig. 2.32 (a) Edificio multipiano; (b) curva di capacità della struttura

- EFFICACE STRATEGIA DI PREVENZIONE E MITIGAZIONE DEL RISCHIO SISMICO E' RAPPRESENTATA RIDUZIONE DELLA DOMANDA CON **CONTROLLO STRUTTURALE**

STRATEGIE CONVENZIONALI

RESISTENZA **DUTTILITA'**

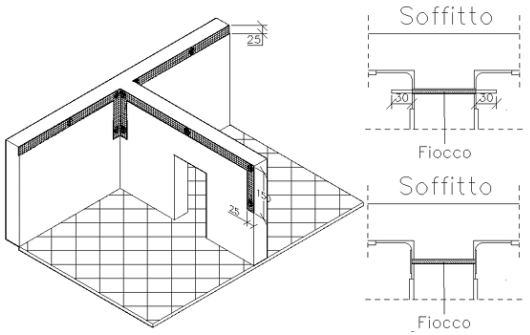
















- EFFICACE STRATEGIA DI PREVENZIONE E MITIGAZIONE DEL RISCHIO SISMICO E' RAPPRESENTATA RIDUZIONE DELLA DOMANDA CON CONTROLLO STRUTTURALE

STRATEGIE INNOVATIVE

CONTROLLO ATTIVO
- Forzanti di controllo
- Variazione di rigidezza
- Variazione di smorzamento

CONTROLLO PASSIVO
- Dissipazione supplementare (controventi dissipativi)
- Isolamento
- Dispositivi misti

CONTROLLO IBRIDO
- Isolamento attivo
- Smorzamento di massa attivo
- Isolamento + smorzamento di massa attivo






MITIGAZIONE DEL RISCHIO SISMICO CON DISPOSITIVI D'ISOLAMENTO:

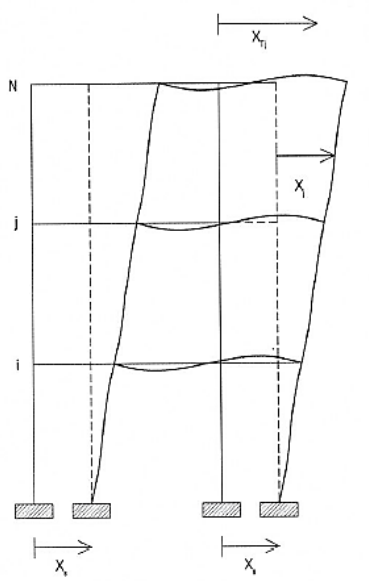
TECNICHE DI CONTROLLO DEL COMPORTAMENTO STRUTTURALE

Softing
Il software per il calcolo strutturale

ROMA 08 FEBBRAIO 2024

PER COMPRENDERE SIGNIFICATO DI CONTROLLO BASTA SCRIVERE EQUAZIONE DEL MOTO DI UNA STRUTTURA

$$E_c = E_e + E_d + E_{in}$$



AVENDO POSTO:

$E_c = \int \mathbf{M}\ddot{\underline{x}}dx$ energia cinetica del sistema

$E_e = \int -\mathbf{K}\,\underline{x}\,dx$ lavoro elastico

$E_d = \int -\mathbf{C}\,\dot{\underline{x}}dx$ lavoro dissipativo

$E_{in} = -\int \mathbf{M}\,\ddot{x}_s dx$ lavoro esterno (energia in ingresso)

DALL'ANALISI DELLA RELAZIONE PRECEDENTE SI POSSONO INDIVIDUARE TIPOLOGIE DI DISPOSITIVI DIFFERENTI:

- DISPOSITIVI PER DISSIPARE ENERGIA IN INGRESSO
- DISPOSITIVI PER ATTENUARE ENERGIA IN INGRESSO
- IMPIEGO DI DISPOSITIVI IBRIDI

I SISTEMI POSSONO ESSERE ATTIVI CON IMPIEGO DI ALTRE FONTI DI ENERGIA O PASSIVI

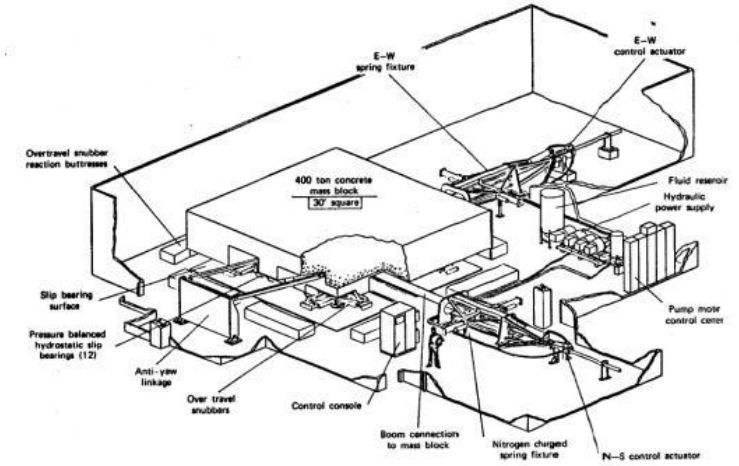
Controllo attivo

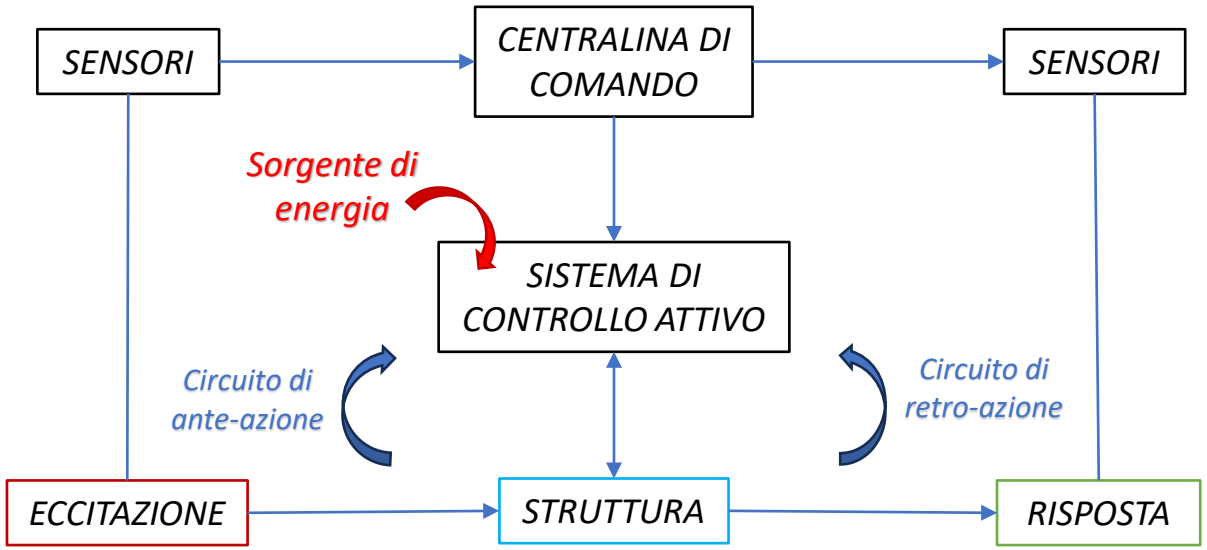
- Dispositivi in grado di invertire il processo dinamico mediante apporto di potenze meccaniche esterne in funzione del fenomeno dinamico in atto.

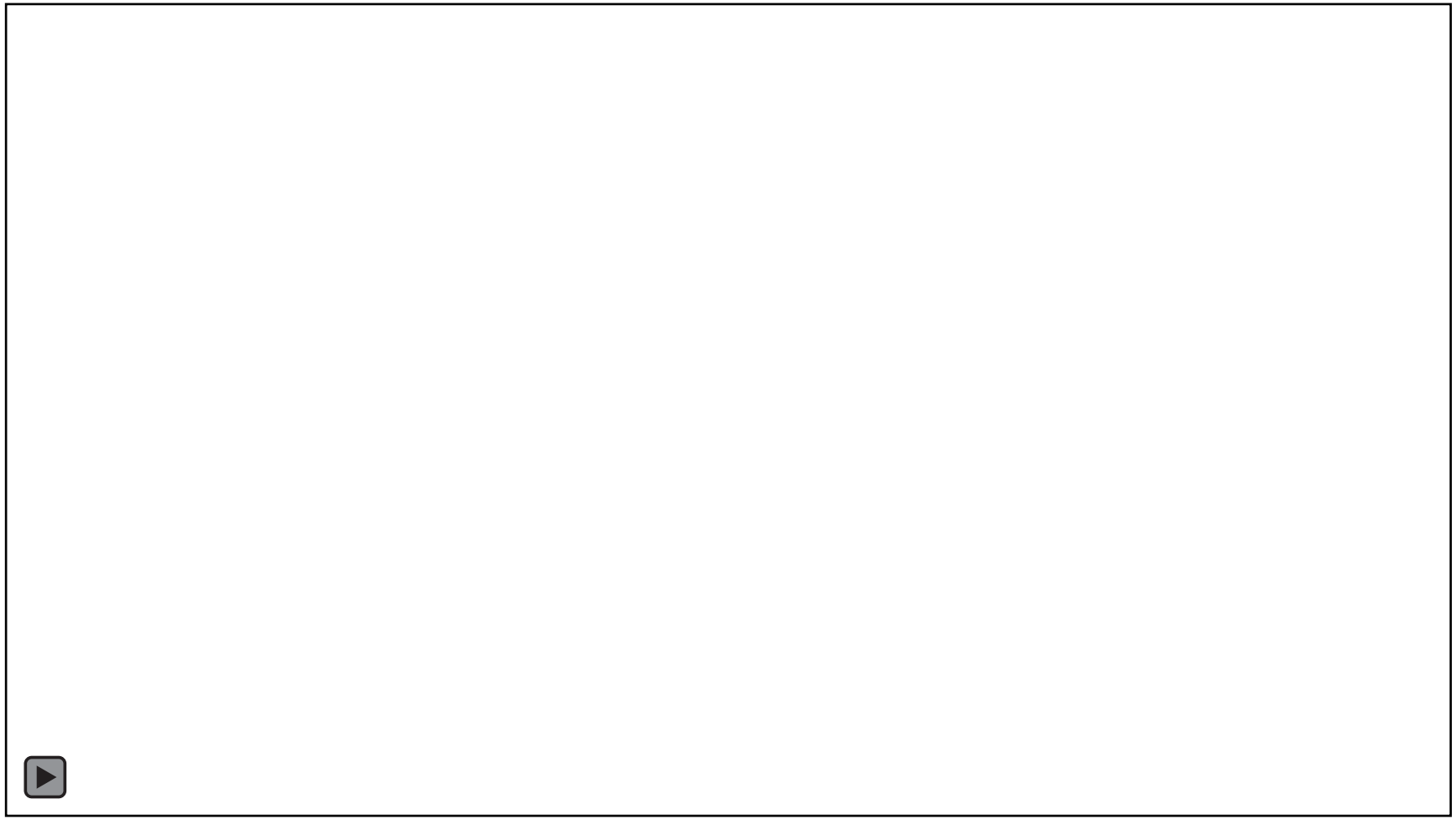
La criticità è riferita ai

- tempi di risposta con rischio di fornire anziché dissipare energia
- Necessità di energia esterna per funzionamento ed interruzione flusso elettrico in caso di sima violento

1.massa smorzante controllata (***Active Mass Damper***, **AMD**);
2.variazione di rigidezza (***Active Variable Stiffness***, **AVS**);
3.smorzatori ad attrito attivi (***Active Friction Dampers***, **AFD**)







1.massa smorzante controllata (*Active Mass Damper*, AMD);

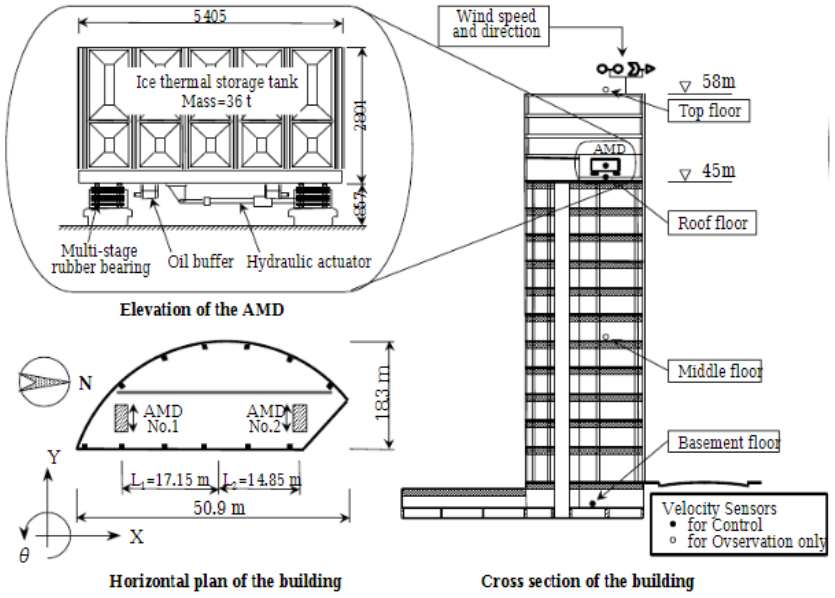
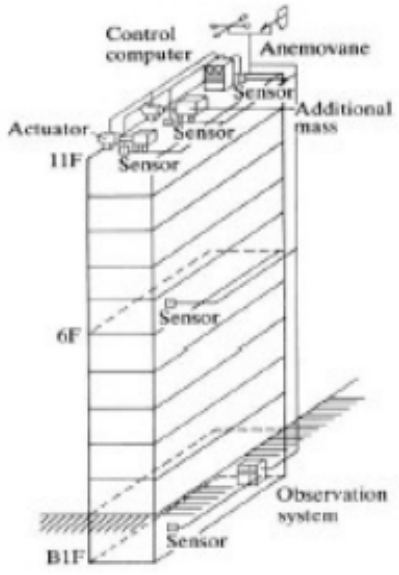


Figure 1 The building and AMD (Sendagaya INTES)

Active Mass Damper, progettato da Kobori, per il Kyobashi Seiwa Building di Tokyo . Il controllo attivo del Seiwa Bilding ha come obiettivi la riduzione delle ingenti vibrazioni della struttura, caratterizzata da una notevole snellezza, sotto l'azione di forti venti e di terremoti moderati, così da migliorare il confort. Un rapporto di massa più alto comporta un sistema di controllo strutturale potenzialmente più performante in presenza di sollecitazioni più intense. Le masse possono essere anche quelle presenti es. impianti.



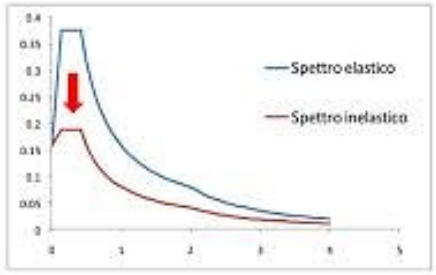


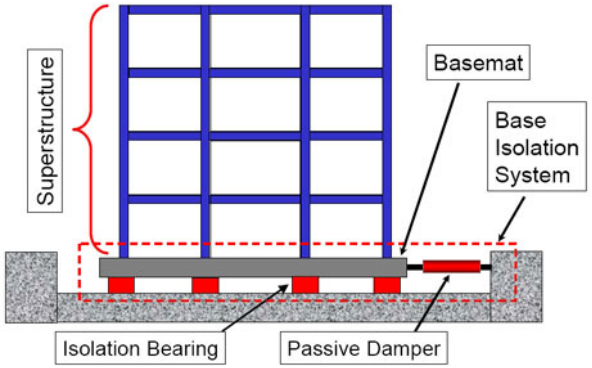
Sono costituiti da una massa oscillante ausiliaria, azionata da un attuatore, che esercita una forza sulla massa, facendola vibrare. La forza di controllo della struttura è data dalla forza d'inerzia della massa.

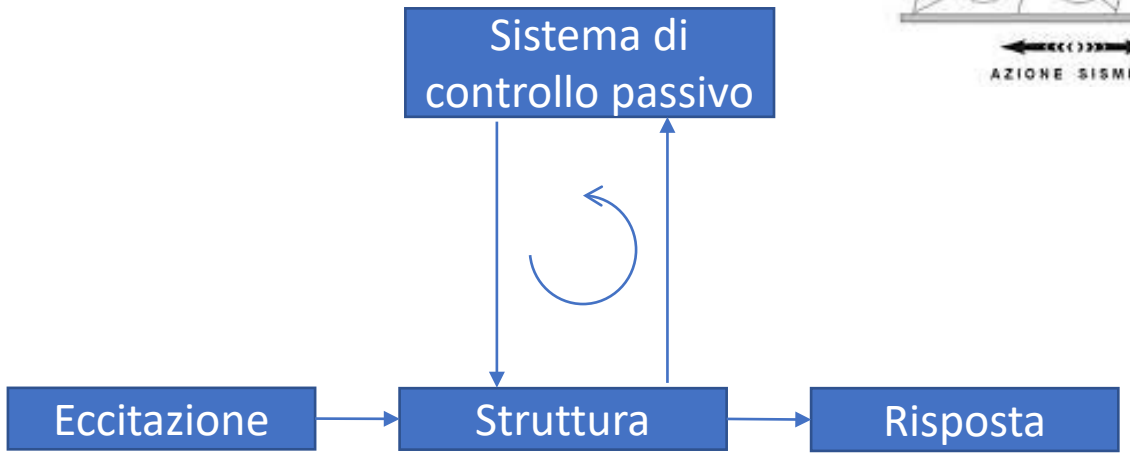
Controllo passivo

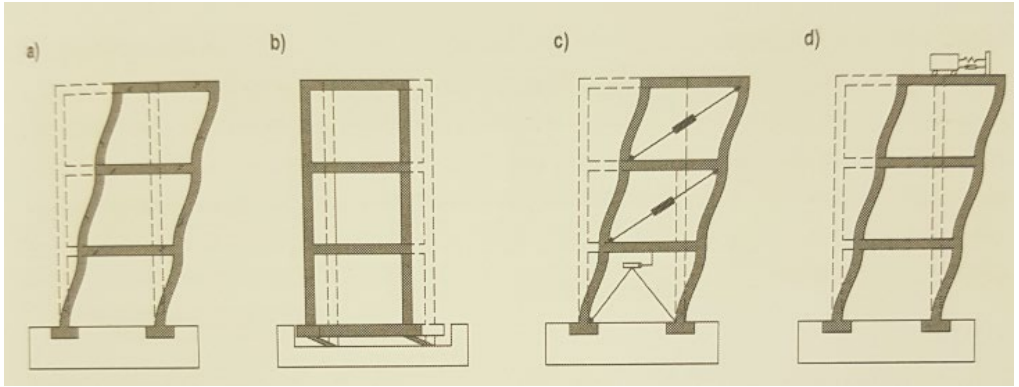
Sono definiti a **controllo passivo** quei sistemi che non necessitano di energia per operare. Sono sistemi molto affidabili, dato che non sono soggetti ai black-out. Il controllo delle forze agenti, avviene attraverso moti relativi o conversione dell'energia in calore. Le tecniche ultimamente utilizzate sono: l'isolamento sismico e la dissipazione di energia.

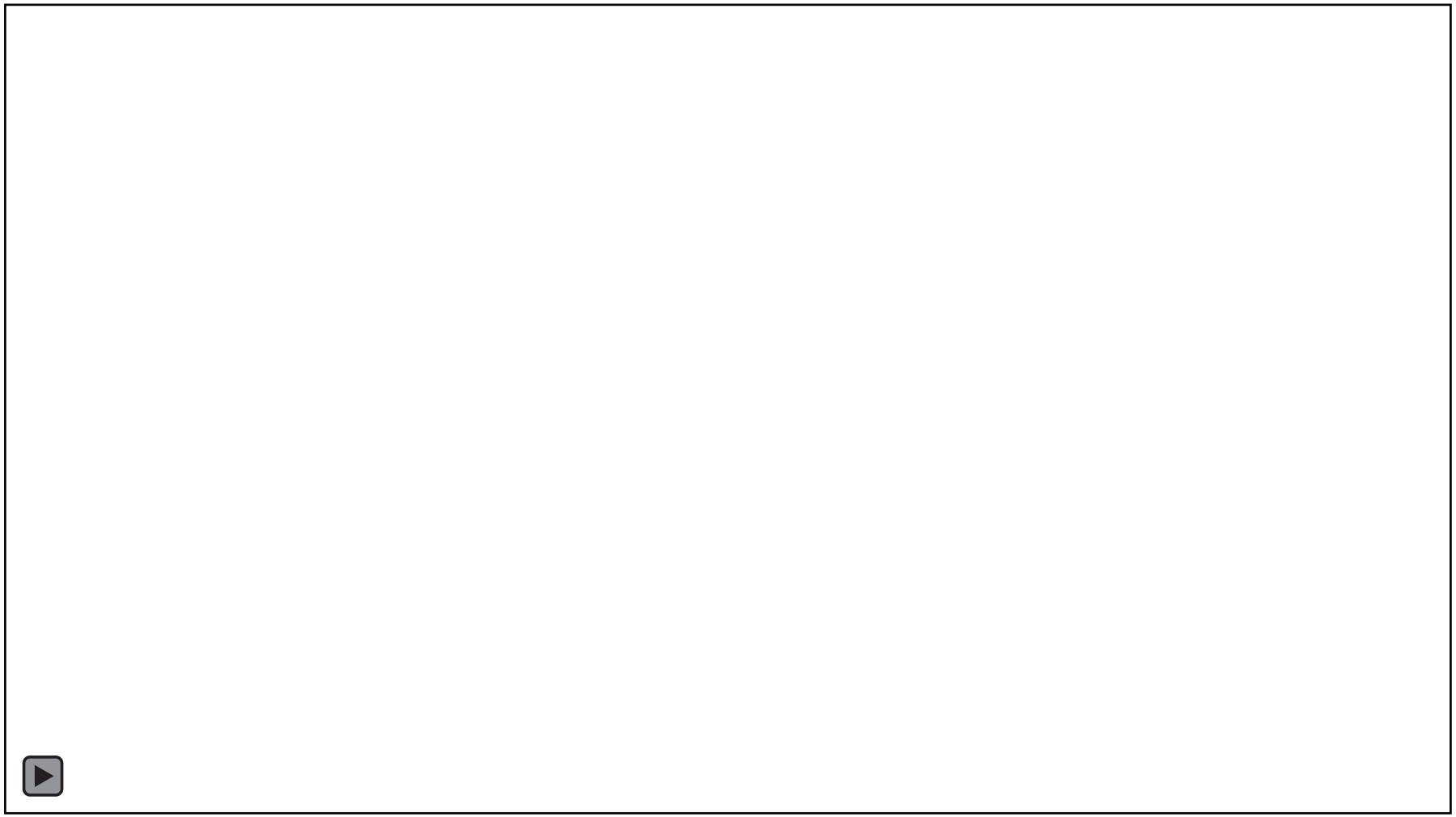






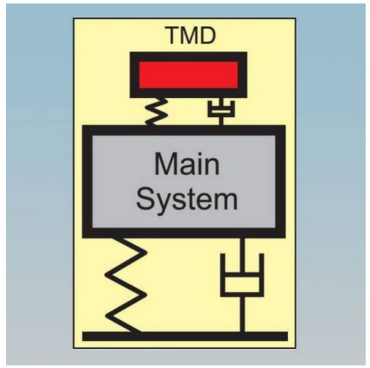






Controllo passivo massa accordata (tuned mass dumper)

Si basano sull'inserimento di un **sistema massa-molla-smorzatore** collegata alla struttura in genere posizionato sulla sommità dell'edificio da proteggere. Le proprietà vengono accordate alla frequenza naturale dell'edificio in modo che il sistema oscilli in controfase rispetto all'oscillazione della struttura



g. Principio di funzionamento di un TMD

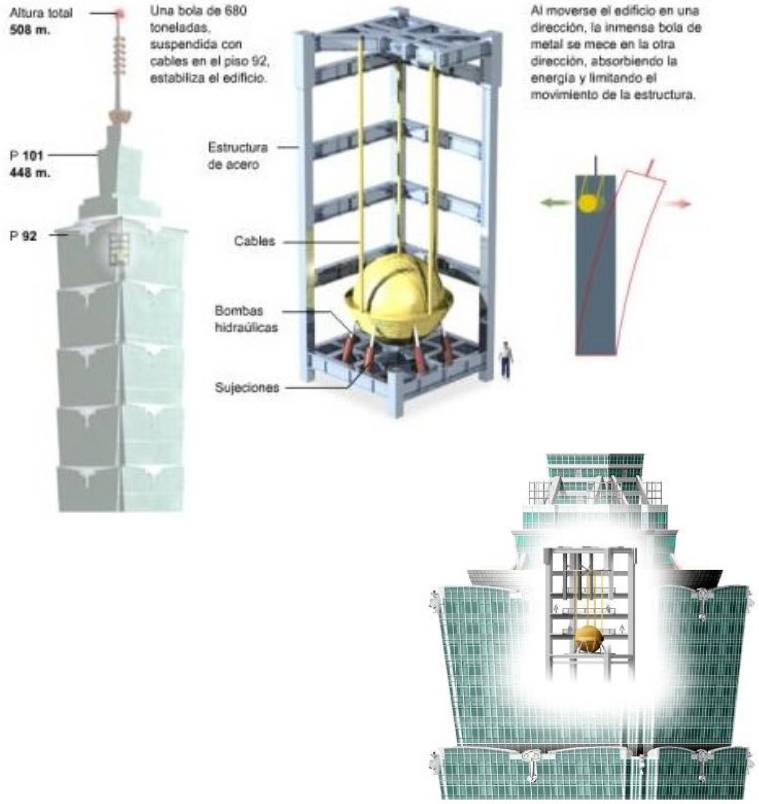
Controllo passivo massa accordata (tuned mass dumper)

Si basano sull'inserimento di un sistema massa-molla-smorzatore in genere posizionato sulla sommità dell'edificio da proteggere. Le proprietà vengono accordate alla frequenza naturale dell'edificio. Esempio Taipei 101



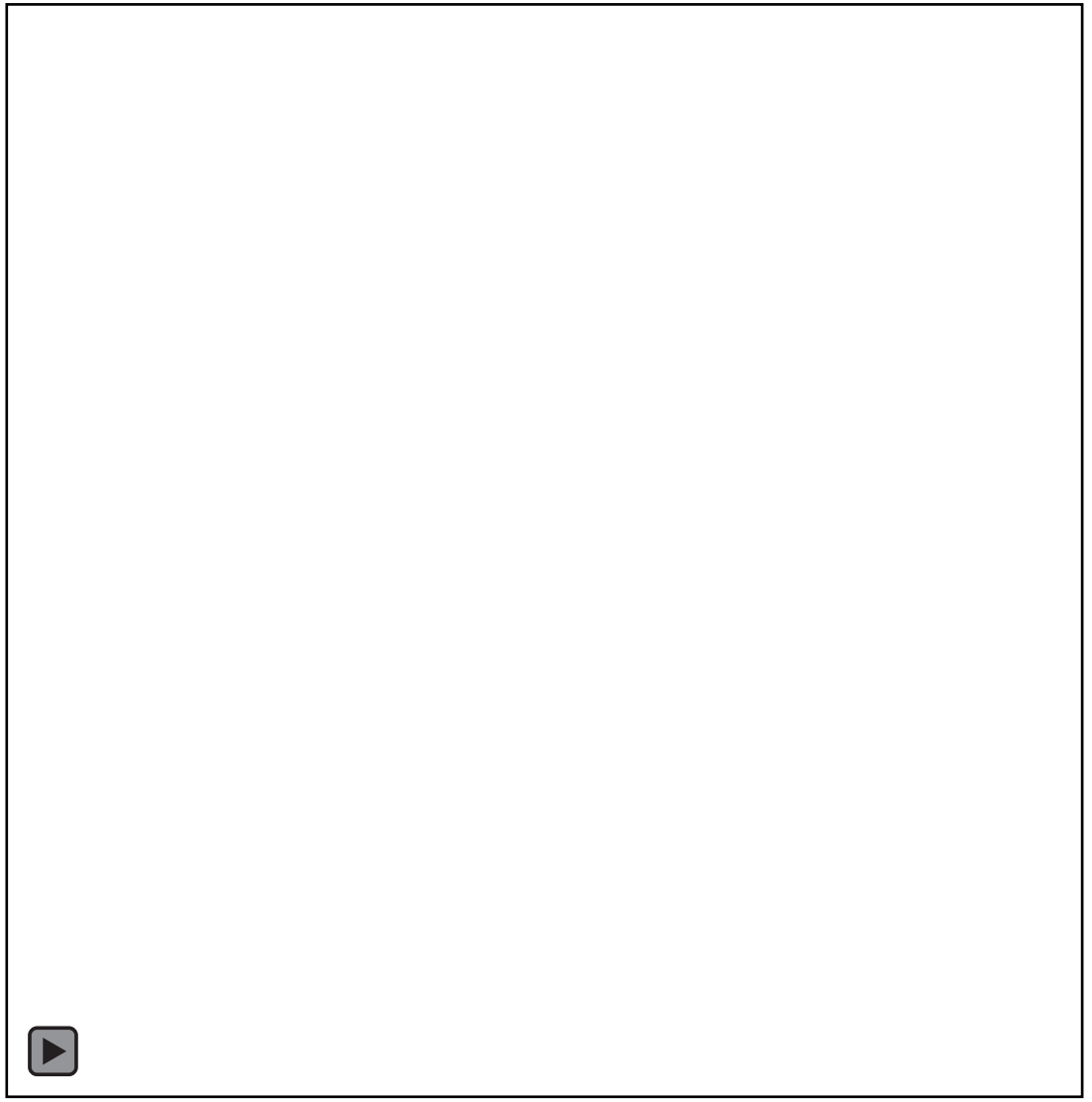


Tuned mass damper del Taipei101



Controllo passivo massa accordata (tuned mass dumper)

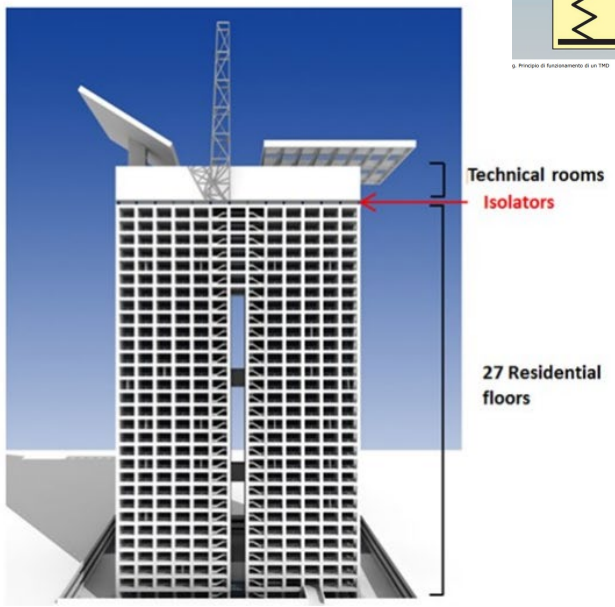
Altro sistema è costituito da serbatoi a colonna collegati da una condotta ed un diaframma per regolare lo smorzamento del sistema

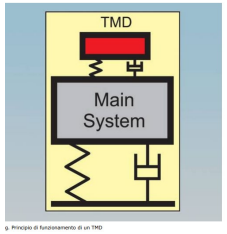


Controllo passivo massa accordata (tuned mass dumper)

Si basano sull'inserimento di un sistema massa-molla-smorzatore collegata alla struttura in genere posizionato sulla sommità dell'edificio da proteggere. Le proprietà vengono accordate alla frequenza naturale dell'edificio.







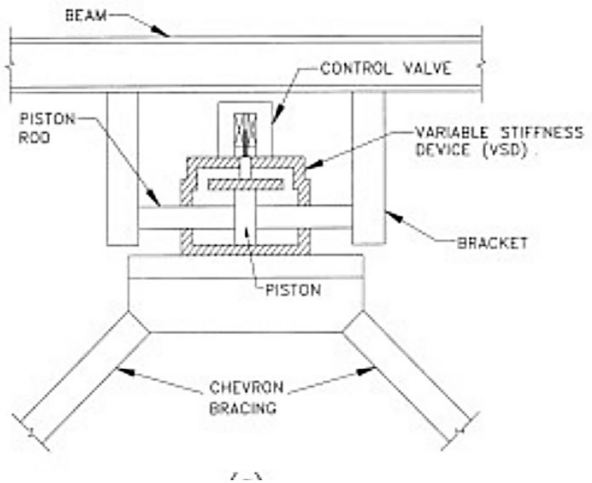
La Torre "Eurosky" è il più alto edificio residenziale di Roma, costituito da 30 piani fuori terra per un totale di 120 m di altezza. Rappresento il primo esempio in Italia in cui viene applicata la strategia del Tuned Mass Damper in cui la massa accordata è realizzata con quella degli ultimi 4 piani dell'edificio stesso. Il contributo della "molla di richiamo" è fornito dal sistema di isolamento posto al 27° piano realizzato con isolatori in elastomero armato con nucleo in piombo. Il sistema è composto da 28 ISI-P di diametro 800 mm, rigidezza equivalente Kh,eq = 5,8 kN/mm, dissipazione x>25% e spostamento massimo ±200 mm. La distribuzione ottimale in pianta delle rigidezze è stata ottenuta con l'ausilio di 30 isolatori a scorrimento a superficie piana. Per contrastare di effetti del rocking, il sistema è completato da barre di collegamento verticale pretese, in acciaio.

Controllo semi-attivo

Il funzionamento è analogo ai dispositivo di controllo attivo, ma una volta avviati e regolati i dispositivi di protezione, gli stessi interagiscono passivamente con la struttura. L'energia richiesta è estremamente ridotta e può essere fornita da una semplice batteria.

- **smorzante controllata** (***Active Variable damping***, A**VD**);
- **variazione di rigidezza** (***Active Variable Stiffness***, **AVS**) (**Dissipatori a fluido con orifizio variabile);**
- **smorzatori ad attrito attivi** (***Active Friction Dampers***, **AFD**)

Hanno il vantaggio che l'energia viene ridotta senza possibilità di incremento dell'energia del sistema



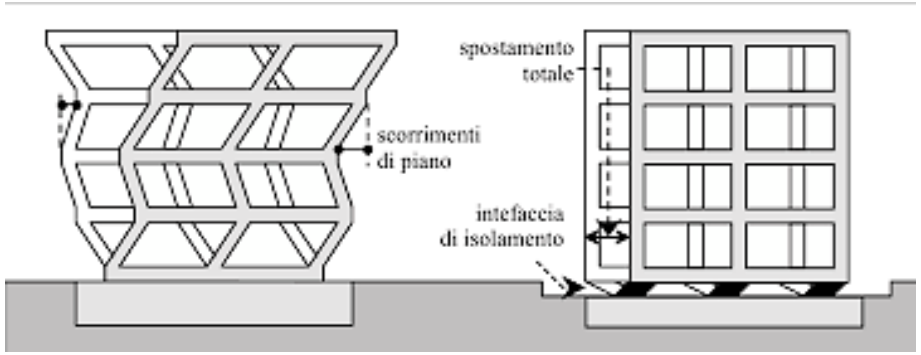
Dispositivo semiattivo a rigidezza variabile testato da Kobori

DISPOSITIVI E SISTEMI D’ISOLAMENTO:

COMPORTAMENTO ISOLATORI

Principi di base-isolamento

- PRIMI TENTATIVI DI DISACCOPPIARE IL MOTO STRUTTURA-TERRENO





Secondo Diogene Laerzio (III secolo d.C.), l'idea di poggiare le fondazioni del **tempio di Artemide** su **strati alterni di carbone e velli di lana** fu suggerita da **Theodoros di Samo**, un grande architetto dell'epoca, che applicò la stessa tecnica per l'edificazione del **tempio di Heraion**







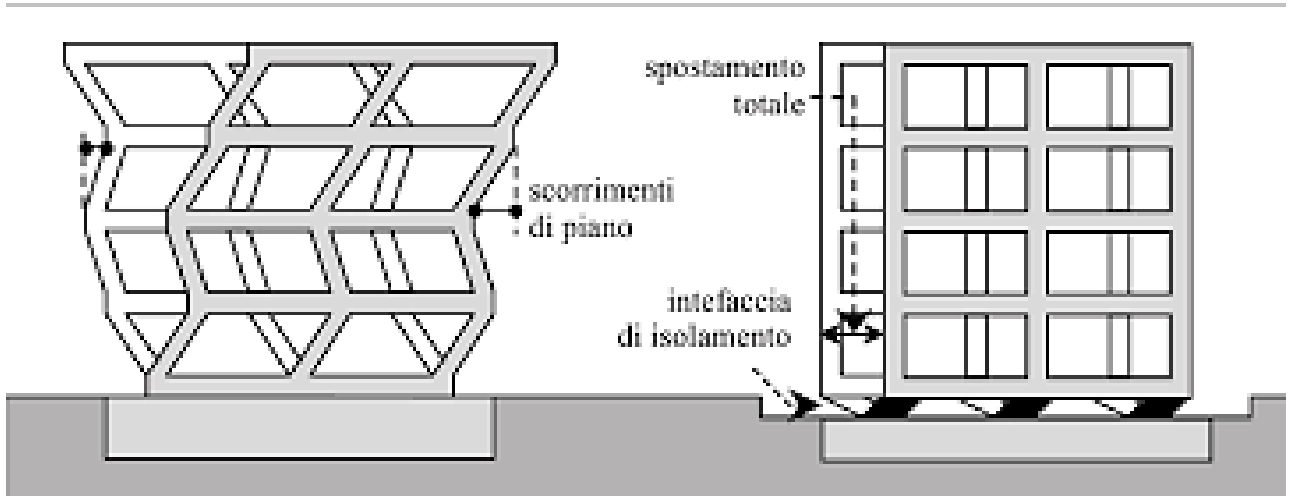
Principi di base-isolamento

- Inserimento di dispositivi a bassa resistenza a taglio elevata rigidezza assiale
- Sufficiente rigidezza tagliante per le condizioni di esercizio e sismi di bassa entità
- I dispositivi isolamento filtrano eccitazione sismica e ne regolano la trasmissione
- Disaccoppiamento tra due corpi rigidi
- Oltre allungamento periodo si ha un aumento dello smorzamento

Principi di base-isolamento

- Accelerazioni da corpo rigido e costanti
- Riduzione taglio ma soprattutto momento flettente

obiettivo ulteriore è la distribuzione costante anziché 2/3 dell'altezza



Principi di base-isolamento

- Accelerazioni più basse su tutti i piani, quindi non necessari interventi di consolidamento tamponature





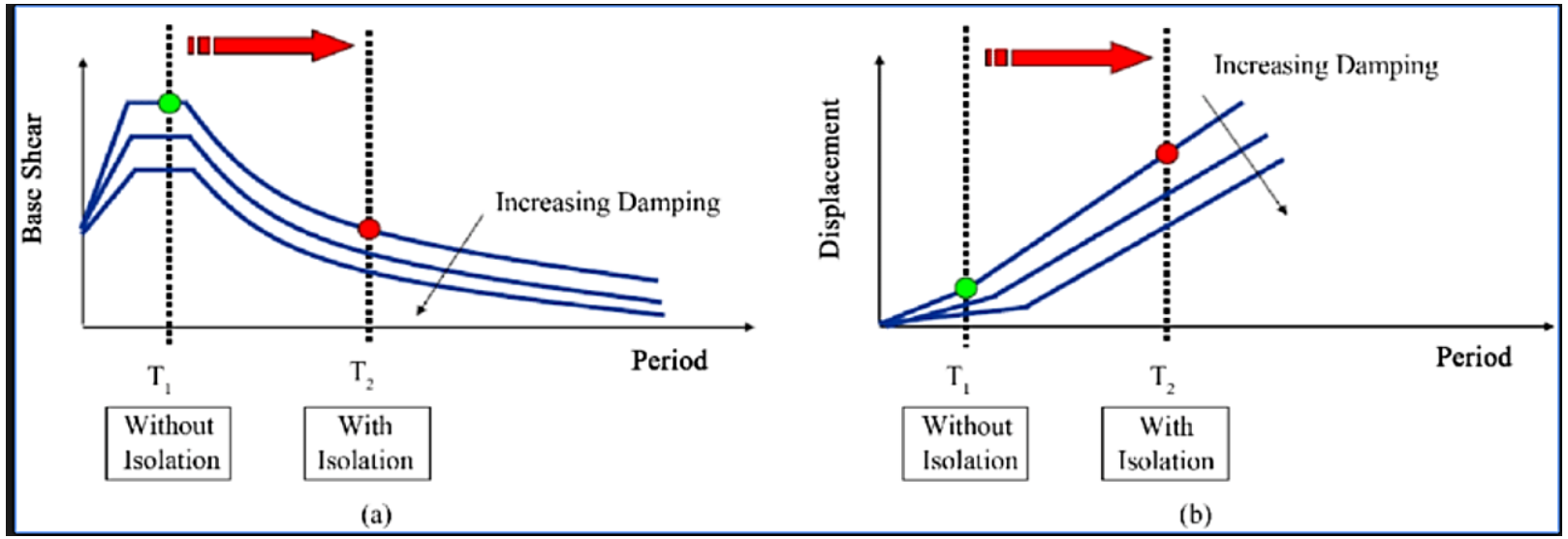


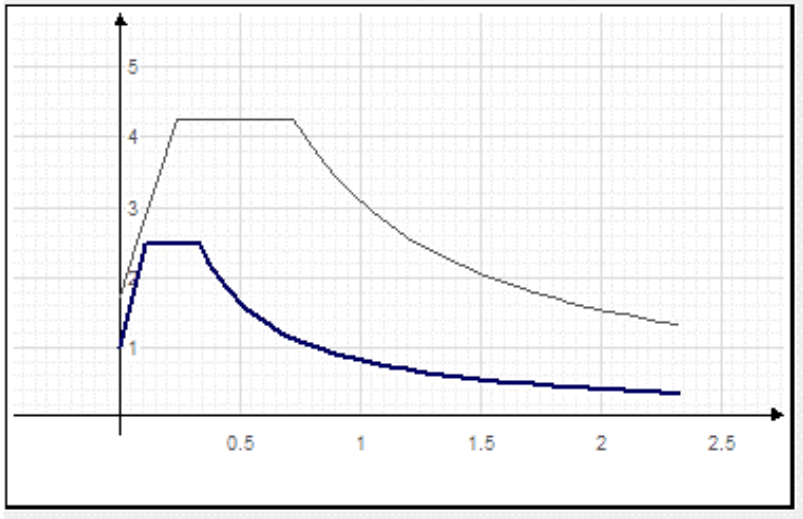




Principi di base-isolamento

- Efficacia del sistema isolamento in funzione della categoria del suolo
- Efficacia principale spostamento periodo di almeno 3 volte cercando di limitare a 3 secondi



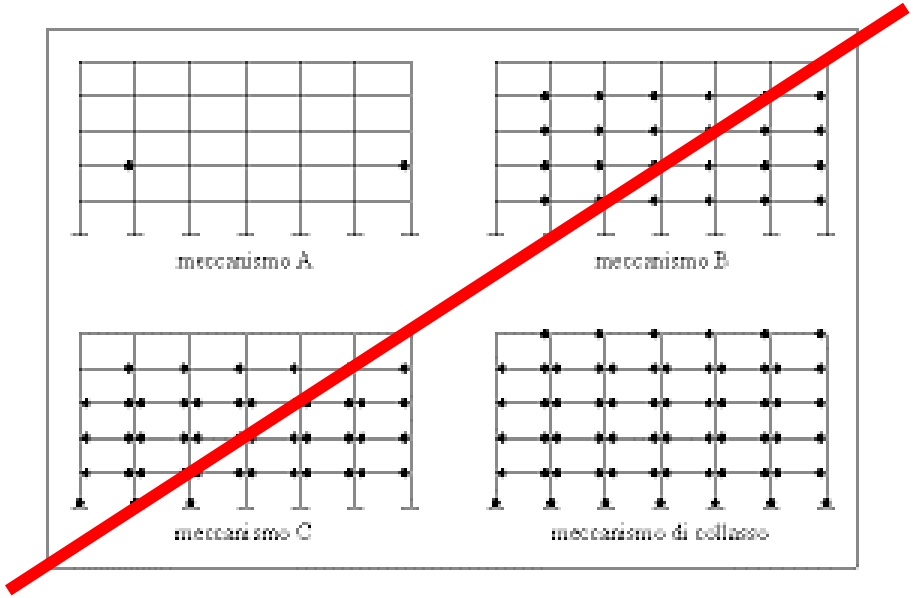


Spettri suolo tipo A

Spettri suolo tipo D

Principi di base-isolamento

- La struttura deve avere rigidezza molto più grande dell'isolamento quindi non deve plasticizzarsi perché avrebbe un periodo simile a quello isolamento. La norma prevede progetto con q=1.5

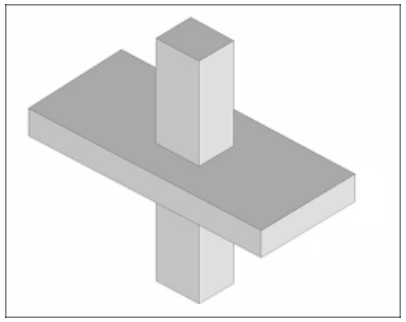


Principi di base-isolamento

- E' possibile progettare dettagli costruttivi per strutture non dissipative NTC2018

7.10.2. REQUISITI GENERALI E CRITERI PER IL LORO SODDISFACIMENTO

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



7.4.6 DETTAGLI COSTRUTTIVI PER LE STRUTTURE A COMPORTAMENTO DISSIPATIVO

Le indicazioni fornite nel seguito in merito ai dettagli costruttivi si applicano alle strutture in c.a. a comportamento dissipativo, sia gettate in opera sia prefabbricate. I dettagli costruttivi sono articolati in termini di:

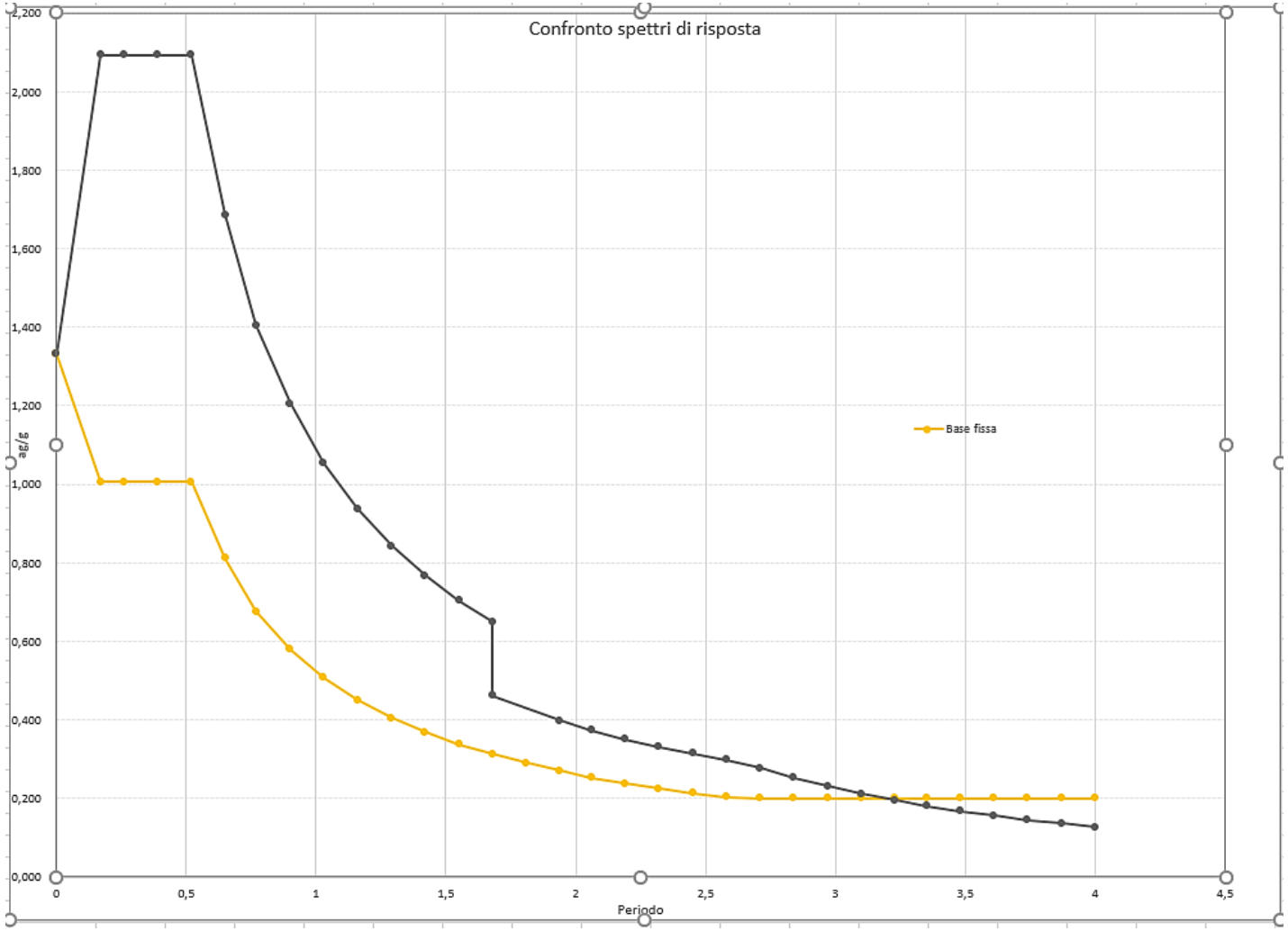
– limitazioni geometriche,

– limitazioni di armatura.

Principi di base-isolamento

Confronto tra strutture progettate con alto fattore di struttura e strutture isolate:

- Basso danneggiamento degli elementi non strutturali con minori costi di riparazione e minore durata interruzione utilizzo
- basse deformazioni anelastiche senza fessurazioni su elementi strutturali
- Dettagli costruttivi meno difficoltosi da realizzare.



Principi di base-isolamento

L'isolamento permette di risolvere problematiche inerenti le irregolarità in pianta dei fabbricati riducendo effetti torsionali



MITIGAZIONE DEL RISCHIO SISMICO CON DISPOSITIVI D'ISOLAMENTO:

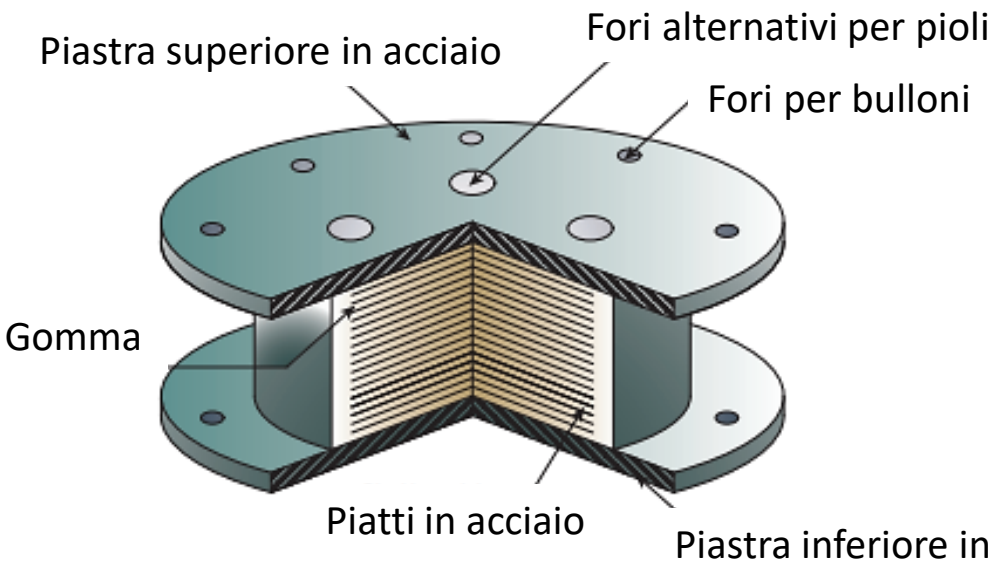
TIPOLOGIE DI ISOLATORI

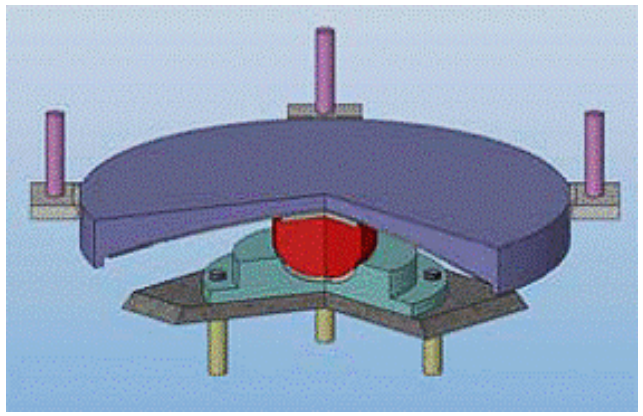
Tipologie di isolatori

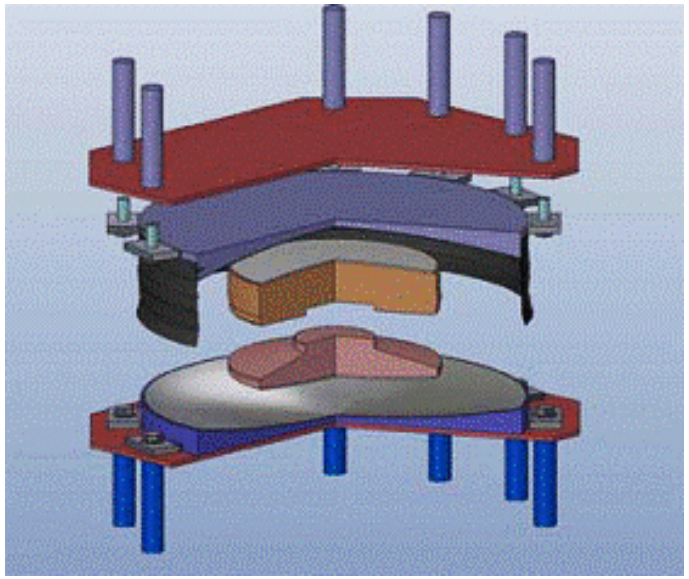
Gli isolatori sono apparecchi di appoggio di elevata rigidezza verticale e di bassa rigidezza orizzontale in modo che sia possibile il disaccoppiamento tra il moto del suolo e la sovrastruttura riducendo notevolmente la trasmissione di energia cinetica.

Due categorie principali di isolatori:

- Isolatori in materiale elastomerico ed acciaio
- Isolatori a scorrimento o rotolamento

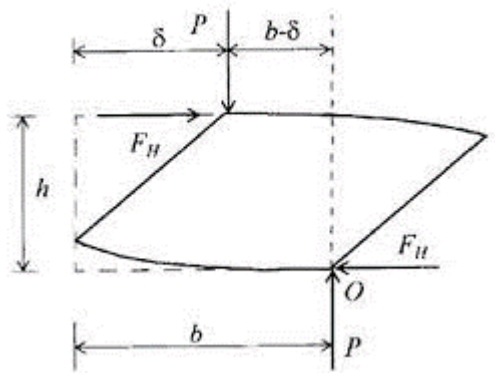






Tipologie di isolatori: isolatori in materiale elastomerico

- Strati di gomma confinati da acciaio. Generalmente la parte in gomma è più estesa di quella in acciaio ma non deve essere considerata nella dimensione di calcolo perché non confinata, serve solo per protezione.
- Rigidezza verticale 100 volte quella orizzontale con accorciamenti massimi di circa 1-3 mm.
- Modulo elasticità tangenziale G (0.4-1.4 Mpa), smorzamento equivalente x=2%-20%.



Tre tipologie principali:
- Isolatori a basso smorzamento
- Isolatori ad alto smorzamento
- Isolatori gomma-piombo



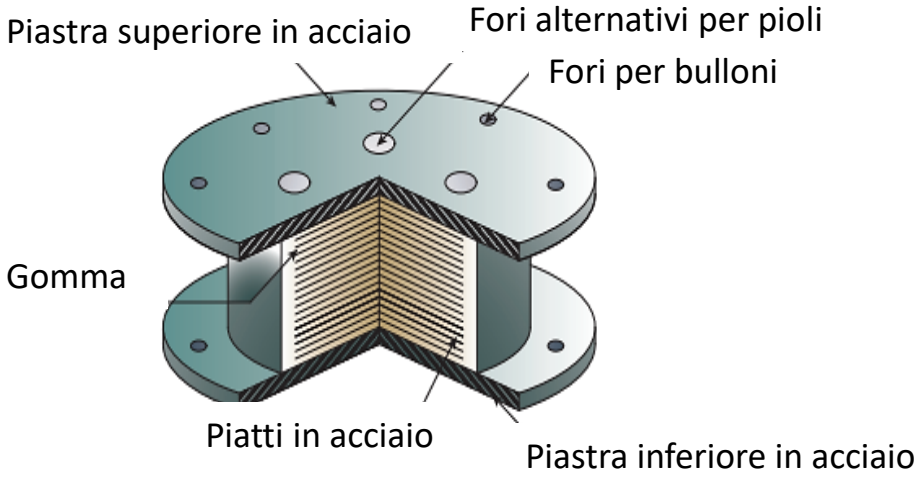
Una caratteristica comune a tutte le tipologie è la riduzione della capacità verticale all'aumentare della deformazione orizzontale poiché si riduce l'area di impronta e possono manifestarsi fenomeni d'instabilità

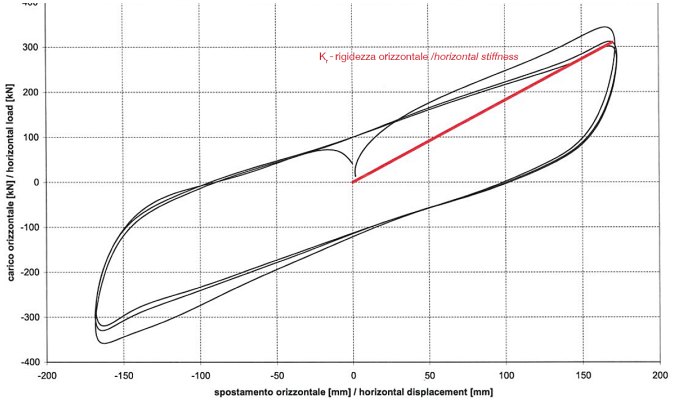
Tipologie di isolatori: isolatori in materiale elastomerico

Gli isolatori **a basso smorzamento** sono generalmente in gomma naturale. Comunque hanno come caratteristica una ottima stabilità nel tempo senza risentire di fenomeni viscosi.
Presentano un comportamento sostanzialmente elastico e lineare

Vantaggi:
- Bassi costi
- Costanza delle caratteristiche meccaniche nel tempo
- Stabilità con temperature e no creep
- Facilità di modellazione perché comportamento lineare

Svantaggi:
- Basso smorzamento 2-3%, quindi necessita di disporre sistemi
- dissipativi ausiliari per contenere spostamenti anche in condizioni di esercizio



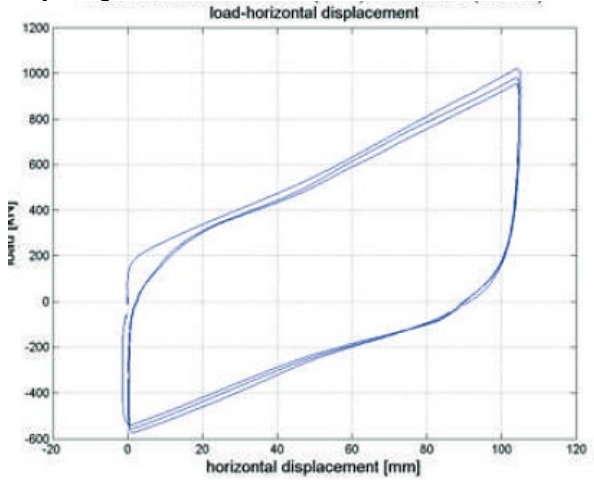


Tipologie di isolatori: isolatori in materiale elastomerico

Gli isolatori **ad alto smorzamento** sono mescole, ma ora si trovano anche in gomma naturale . Presentano un comportamento fortemente non lineare. Sia la rigidezza che lo smorzamento variano con la deformazione tagliante. La rigidezza iniziale è di un ordine di grandezza superiore rispetto a quella di progetto, peraltro si ha anche un successivo incrudimento.

Vantaggi:

- Limitazione spostamenti per carichi orizzontali frequenti (vento e sisma bassa intensità). Quindi non è necessario integrare con altri dispositivi.
- Buon smorzamento
- Comportamento quasi elastico, quindi buona capacità di ricentraggio
- Limitazione spostamenti di progetto



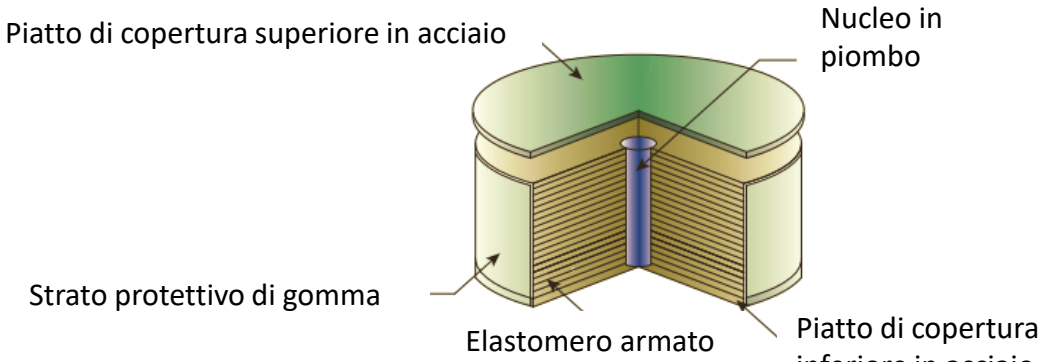
Svantaggi:

- Maggiore difficoltà nella modellazione

Tipologie di isolatori: isolatori in materiale elastomerico

Gli isolatori **a nucleo di piombo**

L'elemento di piombo viene realizzato con dimensioni di poco maggiori di quelle del foro in modo che ci sia un collegamento serrato tra nucleo ed appoggio elastomerico. Si ha una combinazione del comportamento elastico lineare dell'elastomero e quello elasto-plastico del nucleo in piombo. Lo smorzamento può superare il 30%. La rigidezza e lo smorzamento dipendono dallo spostamento.

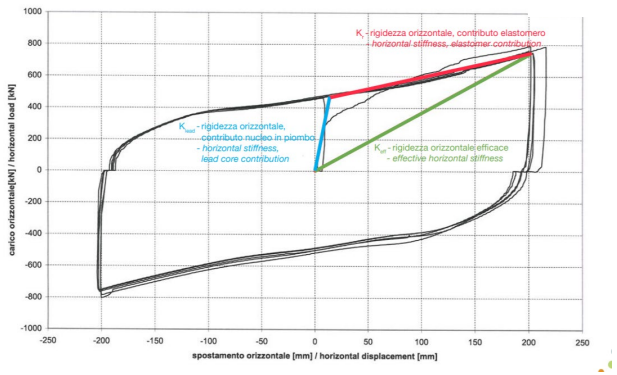


Vantaggi:

- Elevata rigidezza iniziale (9-15 isolatore elastomerico armato) quindi limitazione spostamenti per carichi orizzontali frequenti (vento e sisma bassa intensità).
- Ottimo smorzamento
- Limitazione spostamenti di progetto

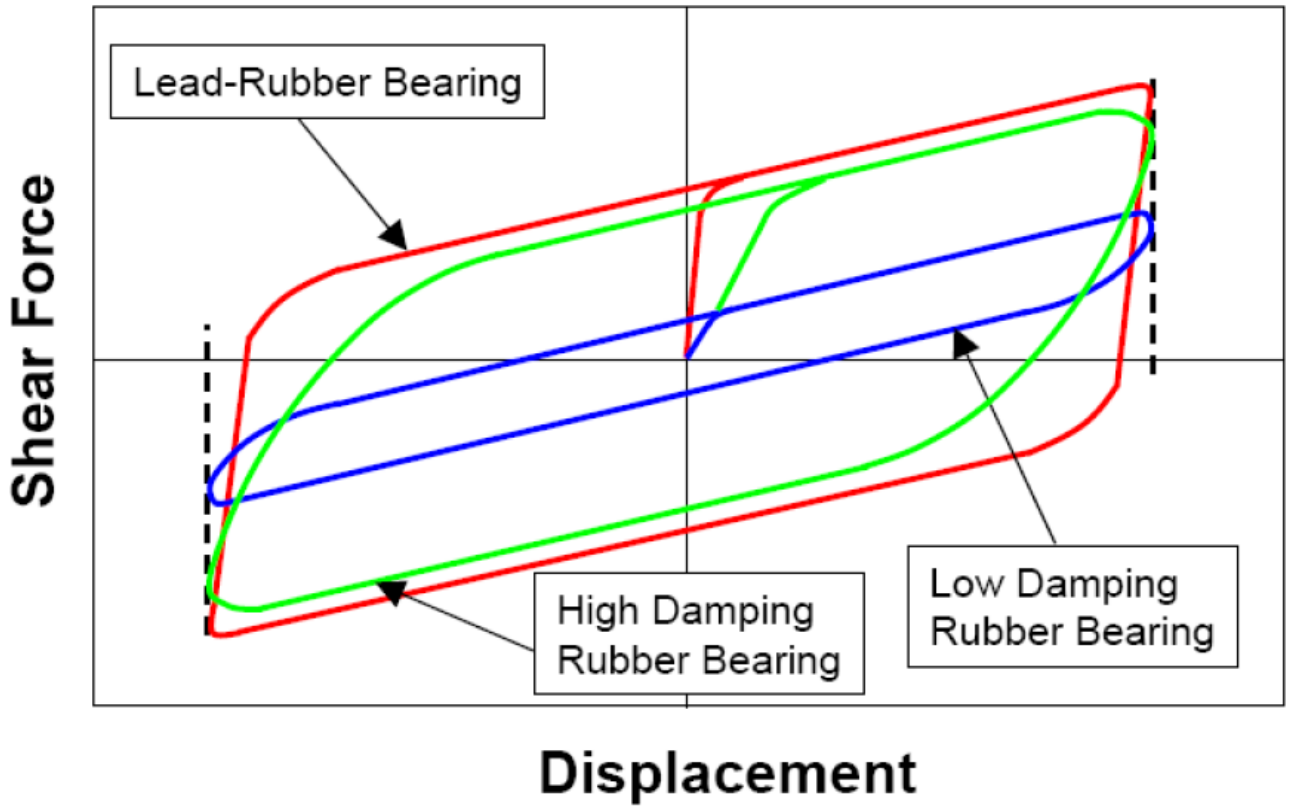
Svantaggi:

- Il superamento dello spostamento di progetto se provoca plasticizzazione del nucleo impedisce un ricentraggio con deformazioni permanenti non trascurabili



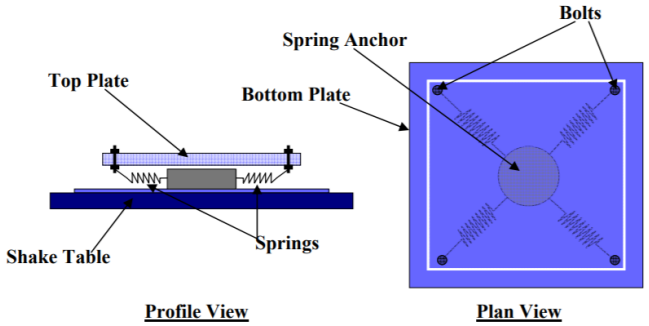
Tipologie di isolatori: isolatori in materiale elastomerico

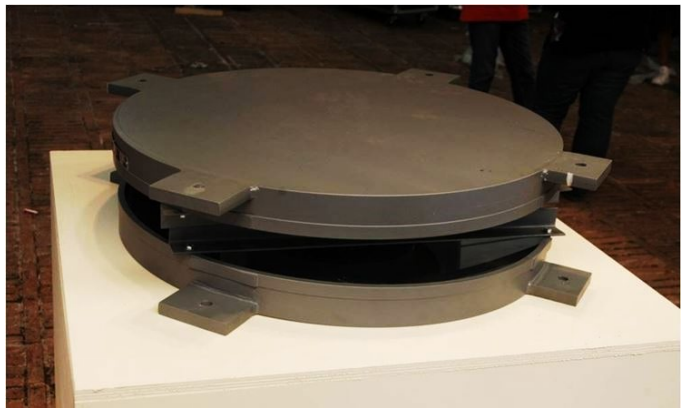
Confronto tra cicli di isteresi per i diversi ISOLATORI ELASTOMERICI

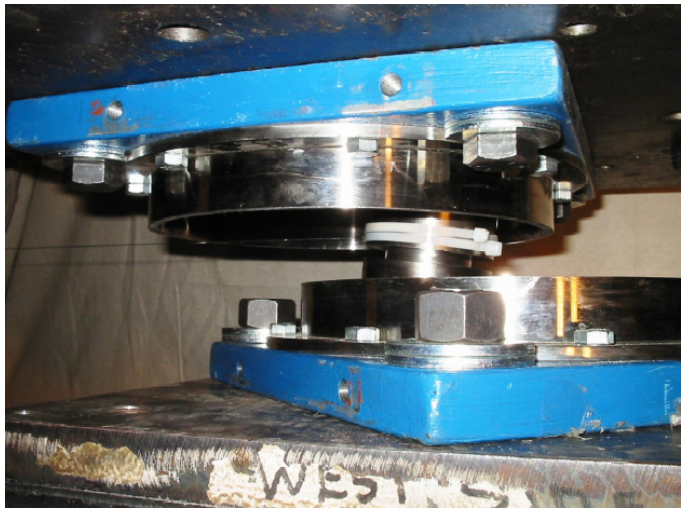


Tipologie di isolatori: isolatori a scorrimento o a rotolamento

- Sono costituiti da appoggi a scorrimento o da rulli o sfere
- Le superfici di scorrimento possono essere piane (*friction base isolation system*) oppure curve (*friction pendulum system*). Gli isolatori a scorrimento sono costituiti da blocchi che scorrono uno sull'altro con basso coefficiente di attrito.









Tipologie di isolatori: isolatori a scorrimento o a rotolamento

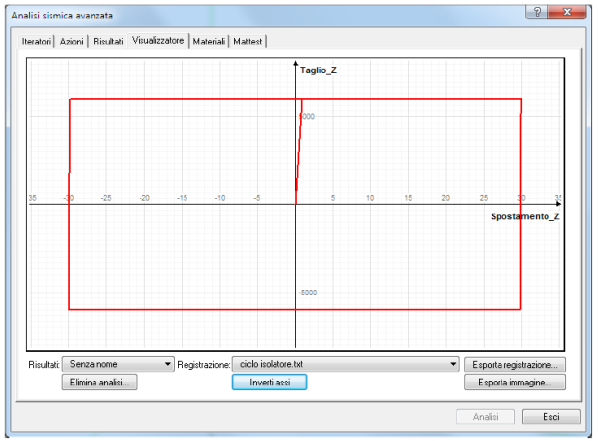
- Hanno un ciclo di isteresi elastico-perfettamente plastico.

Il massimo taglio è pari al F=m*(coefficiente di attrito dinamico)*W(carico verticale)*
Il coefficiente di attrito dinamico assume valori tra 6 e12%.
Tale valore non si mantiene costante ma varia in funzione della pressione, della velocità di scorrimento e della temperatura.

Ad ogni modo in caso di analisi lineare si può assumere un valore costante, da verificare eventualmente con analisi Non lineare. Oppure nel caso di lubrificazione m= *1-2%* si trascura la dissipazione di energia

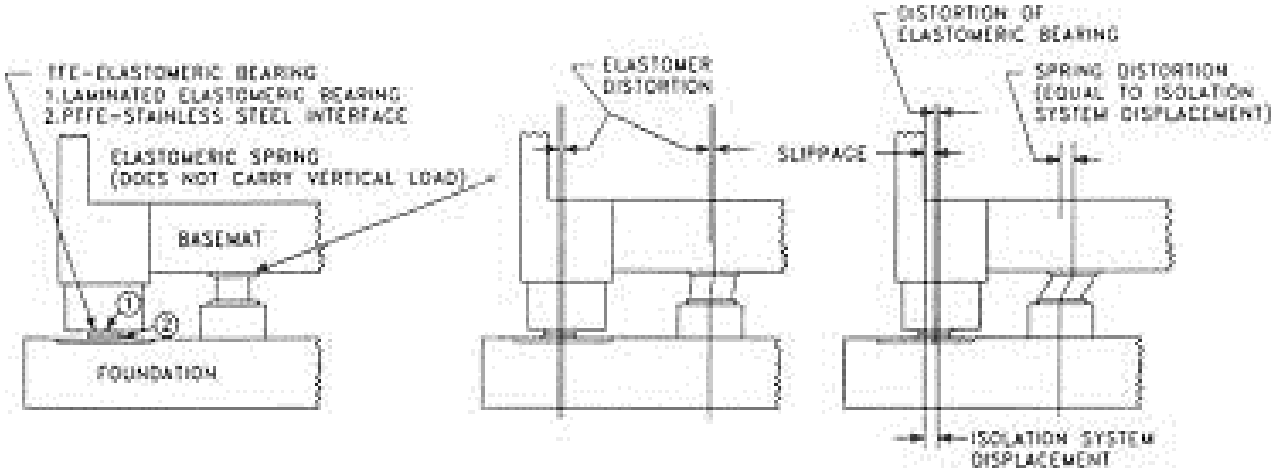
Isolatore ad attrito

La curva che vediamo rappresentata qui sotto, è il risultato dell'analisi.



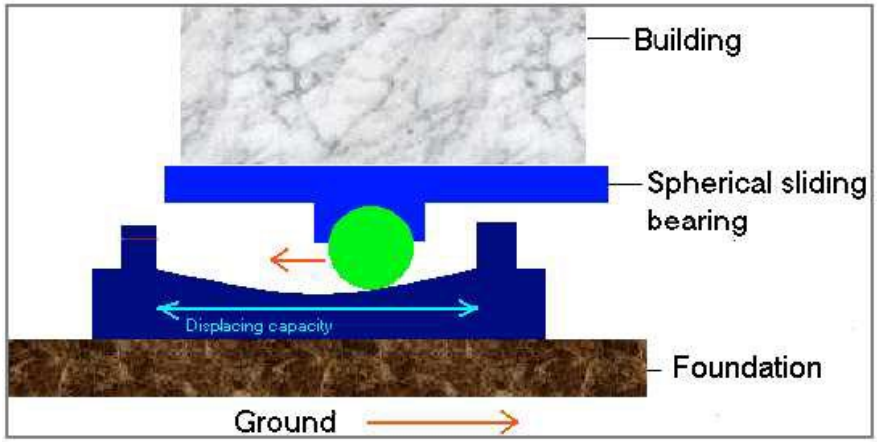
Tipologie di isolatori: isolatori a scorrimento o a rotolamento

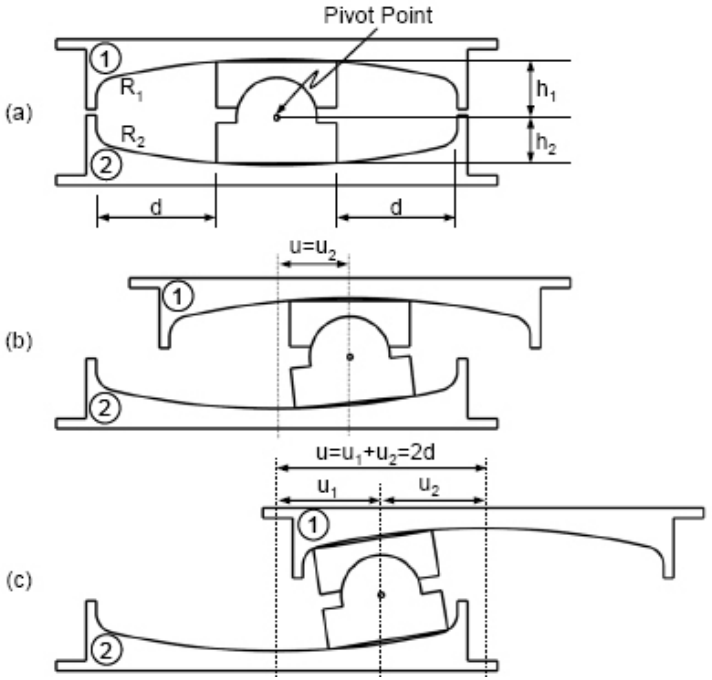
- I dispositivi a superficie piana sono sprovvisti di capacità ricentrante e vengono usati con altri dispositivi anche in accoppiamento (sistema TASS) . In questo caso l'isolatore ad attrito ha la funzione di contrastare i carichi verticali, l'isolatore elastomerico ha funzione di richiamo



Tipologie di isolatori: isolatori a scorrimento o a rotolamento

- Gli isolatori con funzione ricentrante sono i friction pendulum system. La funzione dissipativa viene esplicata attraverso l'attrito .





Tipologie di isolatori: isolatori a scorrimento o a rotolamento

Per definire rigidezza e smorzamento, oltre l'attrito dinamico occorre definire anche il raggio di curvatura R. Hanno un ciclo di isteresi con rigidezza iniziale molto elevata (attrito statico) ed un tratto incrudente dipendente dal carico verticale e da R

Vantaggi:
- Profilo basso rispetto agli isolatori gomma
- Periodo non dipendente dalla massa della struttura ma solo da R
- Coincidenza tra centro di massa e di rigidezza

Svantaggi:
- Dimensioni di ingombro
- Presenza di componenti verticali
- Necessità di protezione delle superfici da polvere e detriti

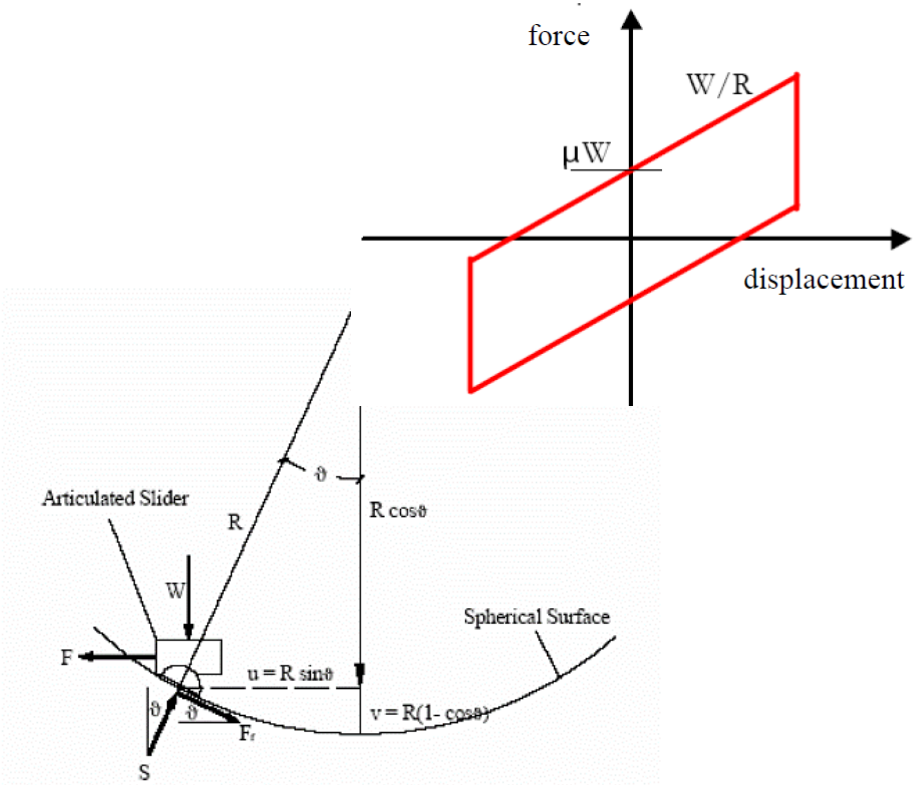
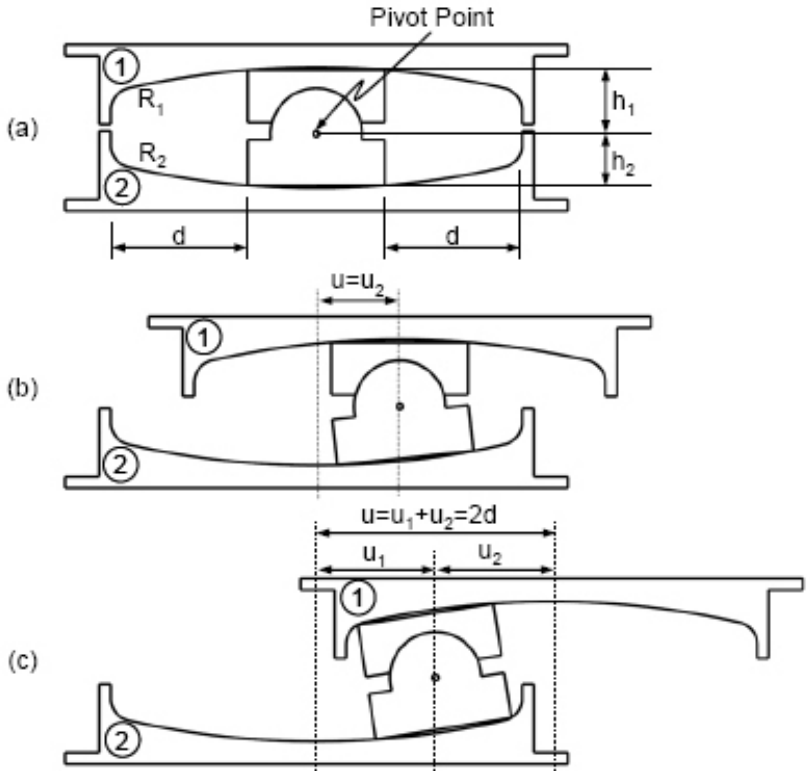
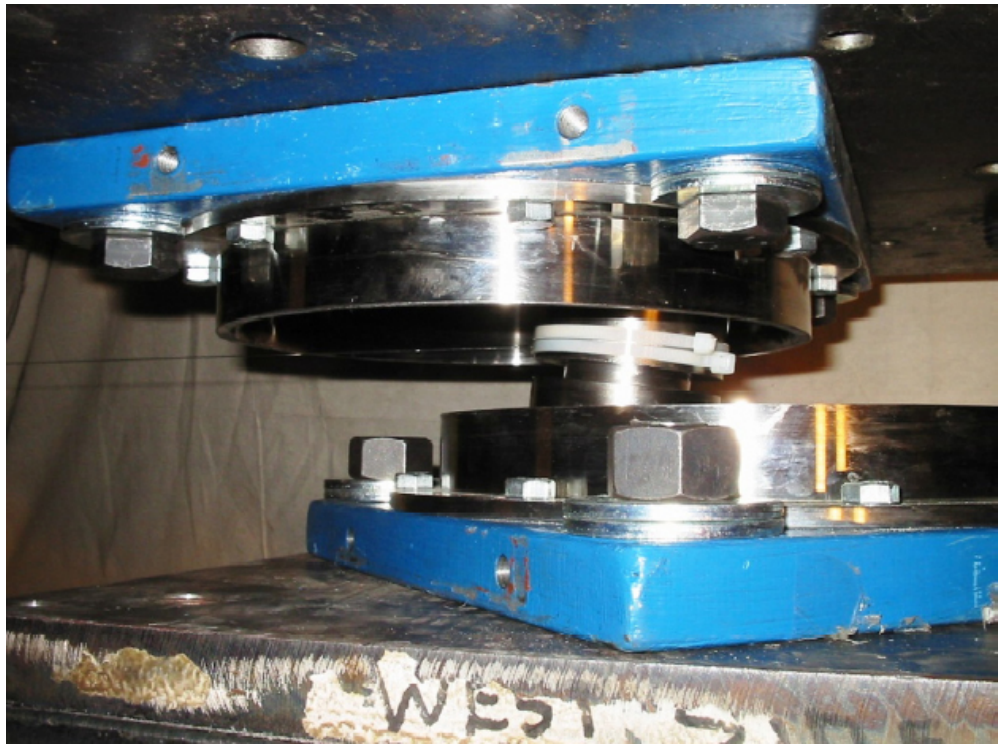


Fig. 6- 13. Static equilibrium scheme of the FPS device.

Tipologie di isolatori: isolatori a scorrimento o a rotolamento

- L'isolatore a doppio pendolo scorrevole ha il vantaggio a parità di dimensioni ho spostamento doppio.

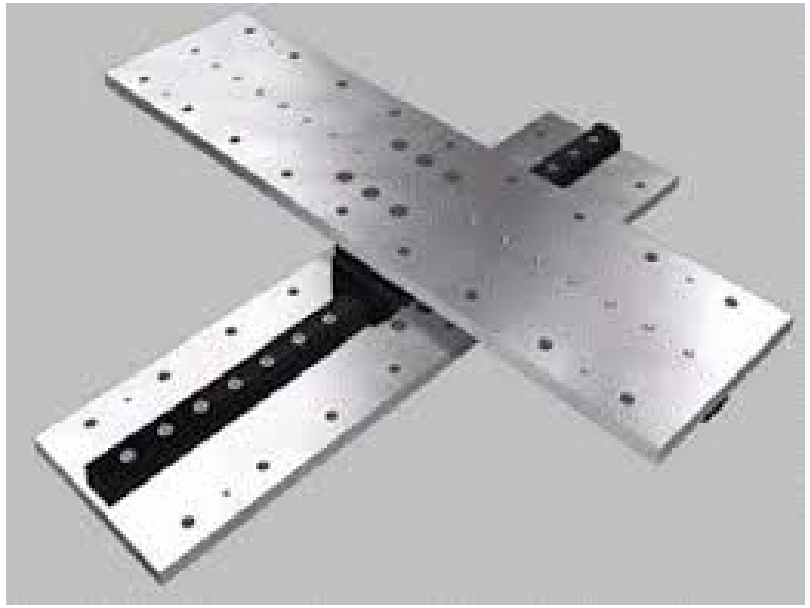


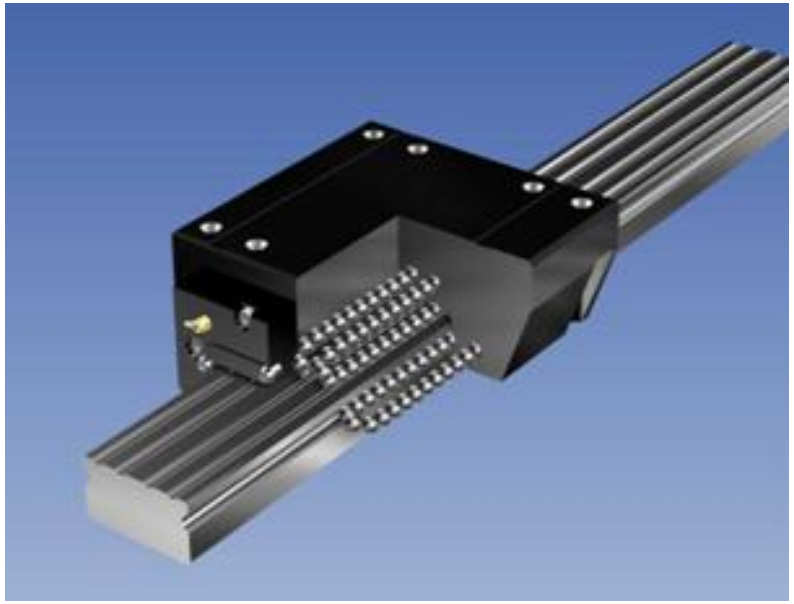


Tipologie di isolatori: isolatori a scorrimento o a rotolamento

L'isolatore a rotolamento disaccoppiano il moto attraverso elementi rotanti. Ad esempio isolatori a ricircolo di sfere d'acciaio, basati sul rotolamento di sfere di acciaio in apposite guide.

Vengono utilizzati anche per masse molto piccole e sono in grado di resistere a eventuali sforzi di trazione verticale quindi posso trovare impiego per edifici alti



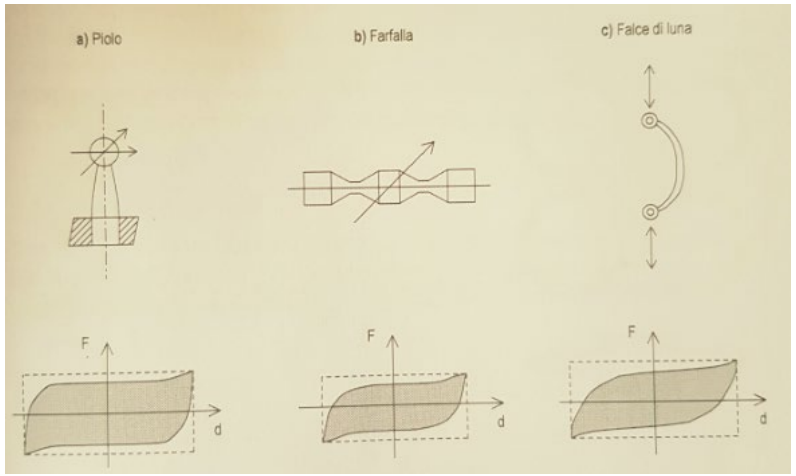


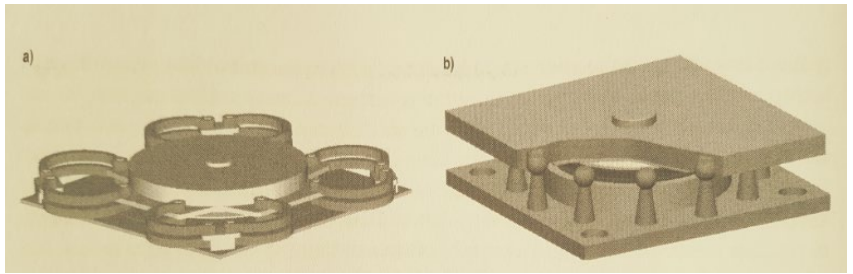
MITIGAZIONE DEL RISCHIO SISMICO CON DISPOSITIVI D'ISOLAMENTO:

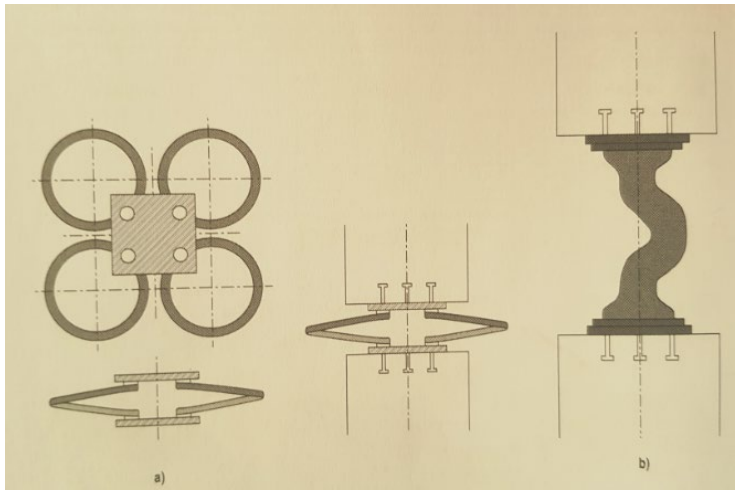
SISTEMI DI ISOLAMENTO

Sistemi di isolamento

Esistono molti altri dispositivi in commercio che possono essere abbinati ad isolatori a scorrimento che rimangono in campo elastico per carichi verticali o azioni orizzontali di esercizio, ma si plasticizzano per azioni orizzontali superiori ad una soglia prefissata (isolatori elastoplastici).







Permettono di ridurre la rigidezza secante e di aumentare il coefficiente di smorzamento del sistema di isolamento.
Rispetto agli elastomerici mostrano una dissipazione molto più elevata quindi minore spostamento.
Hanno il vantaggio di essere molto stabili nel tempo però accusano spostamenti residui maggiori degli altri isolatori elastomerici

Parametri progettuali

Grandezze fisiche che intervengono nelle definizioni progettuali :

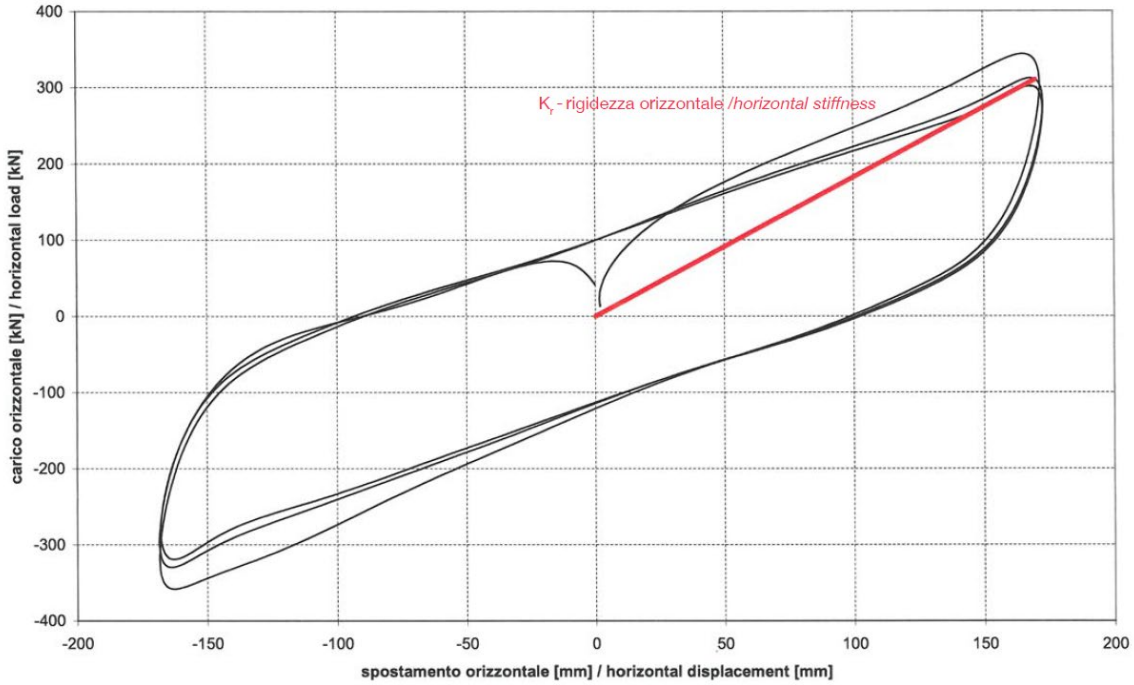
- **Isolatore elastomerico e a nucleo di piombo**
- rigidezze orizzontali e verticali
- Spostamento di progetto
- Carico massimo verticale in condizioni statiche
- Carico massimo verticale in condizioni sismiche
- Smorzamento viscoso equivalente

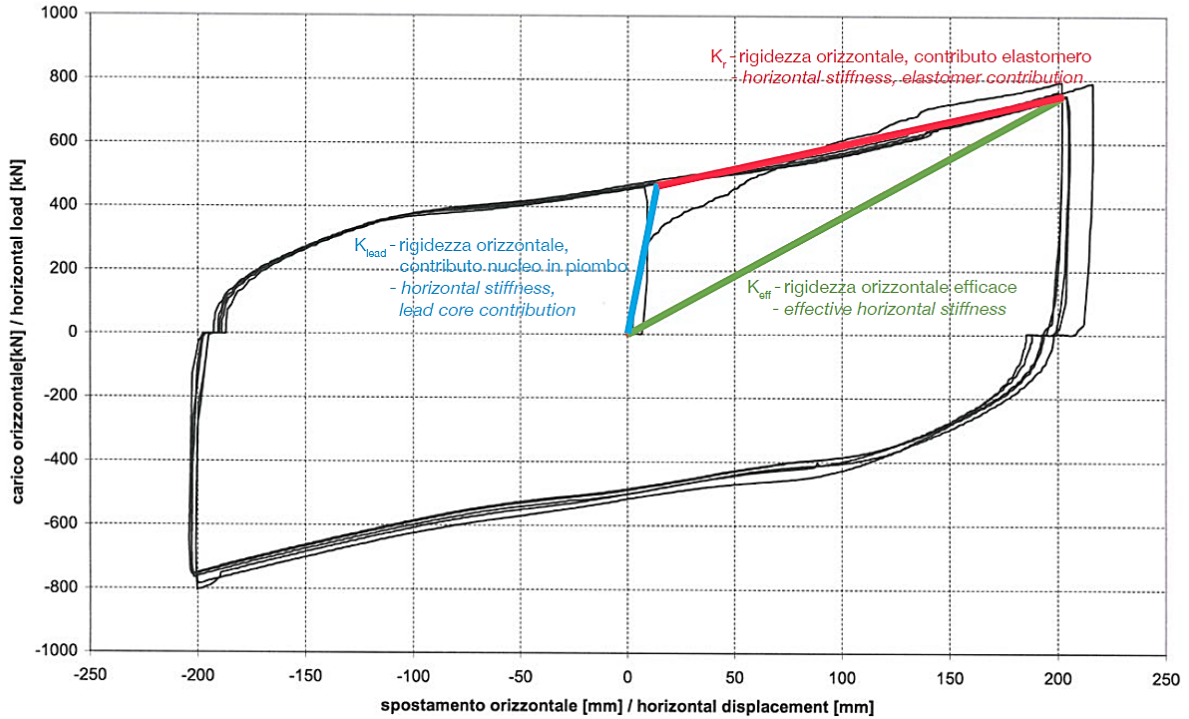
Caratteristiche fisico-meccaniche delle mescole ***Rubber compound phisical-mechanical characteristic***		Mescola / *Compound*			
		Normale nd / *Normal nd*	Morbida / *Soft*	Normale / *Normal*	Dura / *Hard*
Durezza / *Hardness*	Shore A3	50±3	40±3	60±3	75±3
Resistenza a rottura / *Tensile strength*	N/mm²	20	20	20	18
Allungamento a rottura / *Tensile strain*	%	600	750	600	500
Modulo di elasticità G / *G Modulus*	N/mm²	0,9	0,4	0,8	1,4
Smorzamento viscoso equivalente del solo elastomero/ *Viscous damping of the rubber*	%	4	10	10	16
Smorzamento viscoso equivalente dell'intero isolatore / *Equivalent viscous damping*	%	20%-40%	20%-40% (LRS) 10% (HDS)	10	16
Isolatore corrispondente / *Corresponding Isolator*		LRN	LRS / HDS	HDN	HDH

Parametri progettuali

In questa pagina sono rappresentati i tipici diagrammi di isteresi di un HDRB (sopra) e di un LRB (sotto). I relativi parametri di riferimento indicati sono specificati nelle tabelle prestazionali delle pagine seguenti.
Nel diagramma del LRB si può apprezzare in particolare il contributo del nucleo in piombo e della gomma.

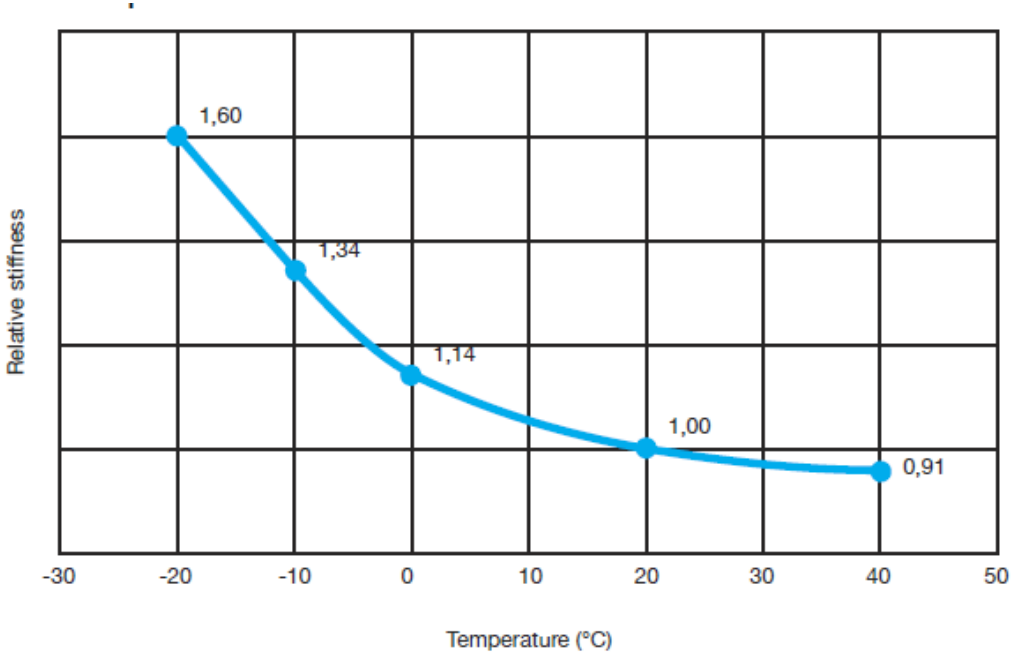
In this page are represented the typical hysteresis diagrams for an HDRB (above) and an LRB (below). The technical parameters are indicated in the dimensional tables in the following pages.
In the LRB diagram you may notice the lead core and the rubber's contribution.



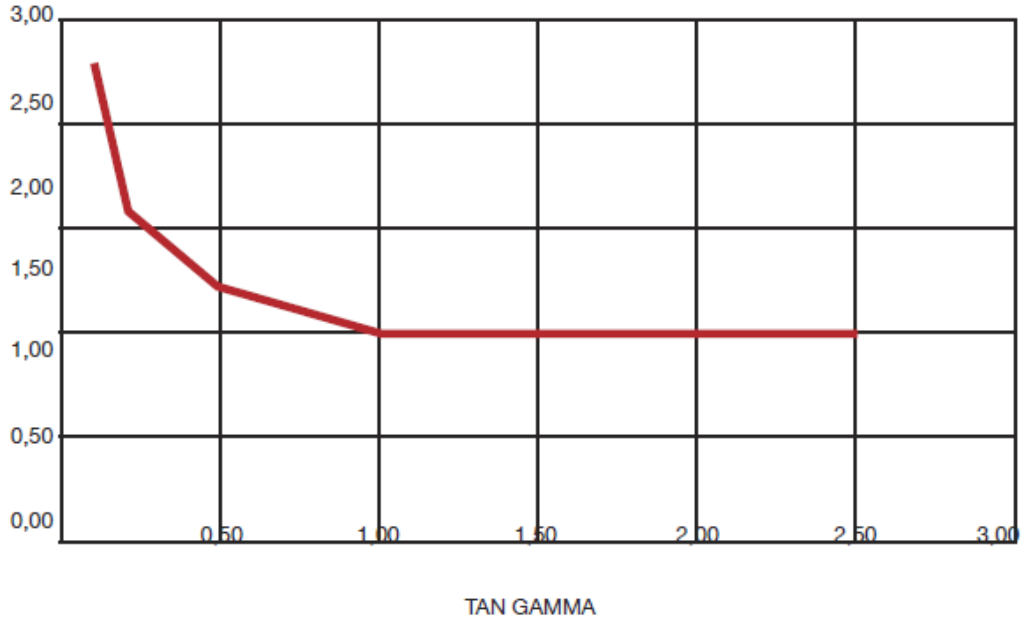


Parametri progettuali

Isolatore elastomerico



Variazione relativa della rigidezza in funzione della temperatura
Relative variation of stiffness as a function of temperature



Variazione relativa della rigidezza in funzione della deformazione tangenziale
Relative variation of stiffness as a function of shear strain (shear deformation)

Parametri progettuali elastomerico da Diametro D=300mm a D=1600 mm.

HDS	V_{max} [kN]	V_{sism} [kN]	K_r [kN/mm]	HDN	V_{max} [kN]	V_{sism} [kN]	K_r [kN/mm]	HDH	V_{max} [kN]	V_{sism} [kN]	K_r [kN/mm]	H [mm]	te [mm]	S_{max} [mm]
Diametro elastomero / Elastomer diameter D = 300mm														
HDS300X48	800	650	0,59	HDN300X48	1650	1400	1,18	HDH300X48	2900	2500	2,06	132	48	100
HDS300X54	800	600	0,52	HDN300X54	1700	1200	1,05	HDH300X54	3050	2100	1,83	140	54	110
HDS300X60	800	520	0,47	HDN300X60	1750	1000	0,94	HDH300X60	3100	1800	1,65	148	60	120
HDS300X66	750	430	0,43	HDN300X66	1550	850	0,86	HDH300X66	2750	1500	1,50	156	66	140
HDS300X72	700	370	0,39	HDN300X72	1400	750	0,79	HDH300X72	2500	1300	1,37	164	72	150
HDS300X78	650	330	0,36	HDN300X78	1300	650	0,72	HDH300X78	2250	1150	1,27	172	78	160
HDS300X84	550	290	0,34	HDN300X84	1150	550	0,67	HDH300X84	1050	1000	1,18	180	84	170
HDS300X90	550	250	0,31	HDN300X90	1100	500	0,63	HDH300X90	1900	900	1,10	188	90	180
HDS300X96	500	210	0,29	HDN300X96	1000	400	0,59	HDH300X96	1750	750	1,03	196	96	200
Diametro elastomero / Elastomer diameter D = 350														
HDS350X49	1100	1100	0,79	HDN350X49	2200	2200	1,57	HDH350X49	3850	3850	2,75	143	49	100
HDS350X56	1150	950	0,69	HDN350X56	2300	1950	1,37	HDH350X56	4000	3400	2,41	154	56	120
HDS350X63	1200	800	0,61	HDN350X63	2350	1650	1,22	HDH350X63	4200	2800	2,14	165	63	130
HDS350X70	1200	700	0,55	HDN350X70	2450	1450	1,10	HDH350X70	4300	2550	1,92	176	70	140
HDS350X77	1100	600	0,50	HDN350X77	2200	1200	1,00	HDH350X77	3850	2100	1,75	187	77	160
HDS350X84	1000	500	0,46	HDN350X84	2000	1050	0,92	HDH350X84	3500	1750	1,60	198	84	170
HDS350X91	900	450	0,42	HDN350X91	1800	900	0,85	HDH350X91	3150	1550	1,48	197	91	190
HDS350X98	800	400	0,39	HDN350X98	1650	800	0,79	HDH350X98	2900	1400	1,37	207	98	200
HDS350X105	750	350	0,37	HDN350X105	1500	700	0,73	HDH350X105	2650	1250	1,28	217	105	210
HDS350X112	700	300	0,34	HDN350X112	1400	600	0,69	HDH350X112	2450	1050	1,20	227	112	230
Diametro elastomero / Elastomer diameter D = 400														
HDS400X48	1300	1300	1,05	HDN400X48	2650	2650	2,09	HDH400X48	4650	4650	3,67	138	48	100
HDS400X56	1400	1400	0,90	HDN400X56	2850	2850	1,80	HDH400X56	5000	5000	3,14	150	56	120
HDS400X64	1500	1300	0,79	HDN400X64	3050	2650	1,57	HDH400X64	5350	4650	2,75	162	64	130
HDS400X72	1550	1100	0,70	HDN400X72	3150	2200	1,40	HDH400X72	5500	3850	2,44	174	72	150
HDS400X80	1600	950	0,63	HDN400X80	3250	1900	1,26	HDH400X80	5650	3350	2,20	195	80	160
HDS400X88	1450	800	0,57	HDN400X88	2900	1600	1,14	HDH400X88	5100	2800	2,00	198	88	180
HDS400X96	1300	650	0,52	HDN400X96	2600	1350	1,05	HDH400X96	4600	2400	1,83	210	96	200
HDS400X104	1200	600	0,48	HDN400X104	2400	1200	0,97	HDH400X104	4200	2150	1,69	222	104	210
HDS400X112	1050	500	0,45	HDN400X112	2150	1050	0,90	HDH400X112	3800	1850	1,57	221	112	230
HDS400X120	1000	450	0,42	HDN400X120	2000	950	0,84	HDH400X120	3550	1650	1,47	232	120	240
HDS400X128	900	400	0,39	HDN400X128	1850	800	0,79	HDH400X128	3250	1400	1,37	243	128	260
Diametro elastomero / Elastomer diameter D = 450														
HDS450X48	1550	1550	1,33	HDN450X48	3150	3150	2,65	HDH450X48	5500	5500	4,64	133	48	100
HDS450X56	1750	1750	1,14	HDN450X56	3550	3550	2,27	HDH450X56	6250	6250	3,98	150	56	120
HDS450X64	1950	1950	0,99	HDN450X64	3900	3900	1,99	HDH450X64	6850	6850	3,48	162	64	130
HDS450X72	2050	1900	0,88	HDN450X72	4100	3800	1,77	HDH450X72	7200	6650	3,09	182	72	150
HDS450X80	2150	1650	0,80	HDN450X80	4300	3300	1,59	HDH450X80	7550	5800	2,78	195	80	160
HDS450X88	2200	1400	0,72	HDN450X88	4400	2850	1,45	HDH450X88	7700	5000	2,53	208	88	180
HDS450X96	2150	1200	0,66	HDN450X96	4350	2450	1,33	HDH450X96	7650	4200	2,32	221	96	200
HDS450X104	2000	1100	0,61	HDN450X104	4000	2200	1,22	HDH450X104	7000	3850	2,14	234	104	210
HDS450X112	1800	950	0,57	HDN450X112	3650	1900	1,14	HDH450X112	6350	3300	1,99	234	112	230
HDS450X120	1650	850	0,53	HDN450X120	3350	1700	1,06	HDH450X120	5800	3000	1,86	246	120	240
HDS450X128	1550	750	0,50	HDN450X128	3100	1500	0,99	HDH450X128	5450	2600	1,74	258	128	260
HDS450X136	1400	650	0,47	HDN450X136	2850	1300	0,94	HDH450X136	5000	2300	1,64	270	136	280

Legenda | *Legend*

HDS (High Damping Soft)
G=0,4N/mm2 – ξ=10%.
HDN (High Damping Normal)
G=0,8N/mm2 – ξ=10%
HDH (High Damping Hard)
G=1,4N/mm2 – ξ=16%

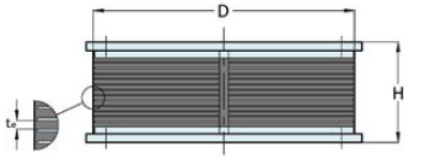
Dati tecnici | *Technical Data*

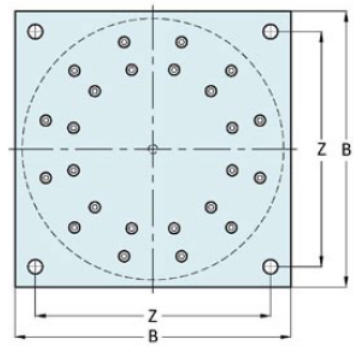
V_{max} Carico verticale massimo allo SLU con spostamento nullo
Max vertical load at ULS (Ultimate Limit State) with zero displacement
V_{sism} Carico verticale in condizione sismica
Vertical load under seismic conditions
K_r Rigidezza orizzontale
Horizontal stiffness
S_{max} Spostamento di progetto
Design displacement
ξ Smorzamento viscoso della gomma
Viscous damping of the rubber

Dati geometrici | *Geometrical Data*

D Diametro elastomero
Diameter of the elastomer
H Altezza totale isolatore
Overall height of the isolator
te Spessore elastomero
Thickness of the elastomer
B Dimensione d'ingombro dell'isolatore (nelle due direzioni)
Overall dimensions (space requirement) of the isolator (in two directions)
Z Interasse degli ancoraggi (nelle due direzioni)
Distance between centers of anchorages (in two directions)

B = D + 50
Z = 0,75 x B





HDS	V_{max} [kN]	V_{sism} [kN]	K_r [kN/mm]	HDN	V_{max} [kN]	V_{sism} [kN]	K_r [kN/mm]	HDH	V_{max} [kN]	V_{sism} [kN]	K_r [kN/mm]	H [mm]	te [mm]	S_{max} [mm]
Diametro elastomero / Elastomer diameter D = 300mm														
HDS300X48	800	650	0,59	HDN300X48	1650	1400	1,18	HDH300X48	2900	2500	2,06	132	48	100
HDS300X54	800	600	0,52	HDN300X54	1700	1200	1,05	HDH300X54	3050	2100	1,83	140	54	110
HDS300X60	800	520	0,47	HDN300X60	1750	1000	0,94	HDH300X60	3100	1800	1,65	148	60	120
HDS300X66	750	430	0,43	HDN300X66	1550	850	0,86	HDH300X66	2750	1500	1,50	156	66	140
HDS300X72	700	370	0,39	HDN300X72	1400	750	0,79	HDH300X72	2500	1300	1,37	164	72	150
HDS300X78	650	330	0,36	HDN300X78	1300	650	0,72	HDH300X78	2250	1150	1,27	172	78	160
HDS300X84	550	290	0,34	HDN300X84	1150	550	0,67	HDH300X84	1050	1000	1,18	180	84	170
HDS300X90	550	250	0,31	HDN300X90	1100	500	0,63	HDH300X90	1900	900	1,10	188	90	180
HDS300X96	500	210	0,29	HDN300X96	1000	400	0,59	HDH300X96	1750	750	1,03	196	96	200

Parametri progettuali a nucleo da D=300 a 1400 mm.

Legenda | *Legend*
LRS
LRS ξ_r= 10% - G = 0,4 MPa
LRN
LRN ξ_r= 4% - G = 0,9 MPa

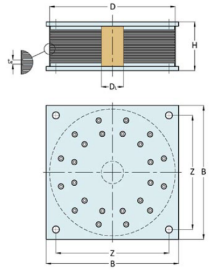
Dati tecnici | *Technical Data*
V_{max} Carico verticale massimo allo SLU con spostamento nullo
Max vertical load at ULS (Ultimate Limit State) with zero displacement
V_{sism} Carico verticale in condizione sismica
Vertical load under seismic conditions
Kr Rigidezza orizzontale (contributo elastomero)
Horizontal stiffness (elastomer contribution)
K_{lead} Rigidezza orizz. (contr. nucleo in piombo)
Horizontal stiffness (lead core contribution)
F_y Carico di snervamento del nucleo
Yield point load for lead core
K_{eff} Rigidezza orizzontale efficace
Effective horizontal stiffness
S_{max} Spostamento di progetto | *Design displacement*

ξ_r Smorzamento viscoso della gomma
Viscous damping of the rubber
β_{eff} Smorzamento efficace | *Effective damping*

Dati geometrici | *Geometrical Data*
te Spessore elastomero
Thickness of the elastomer
H Altezza totale isolatore
Overall height of the isolator
D Diametro elastomero
Diameter of the elastomer
B Dimensione d'ingombro dell'isolatore (nelle due direzioni)
Overall dimensions (space requirement) of the isolator (in two directions)
Z Interasse degli ancoraggi (nelle due direzioni)
Distance between centers of anchorages (in two directions)

β_{eff} = 28% per tutti gli isolatori *for all isolators*

B = D + 50
Z = 0,75 x B



LRS	V_{max} [kN]	V_{sism} [kN]	Kr [kN/mm]	K_{lead} [kN/mm]	F_y [kN]	K_{eff} [kN/mm]	LRN	V_{max} [kN]	V_{sism} [kN]	Kr [kN/mm]	K_{lead} [kN/mm]	F_y [%]	K_{eff} [kN/mm]	H [mm]	te [mm]	S_{max} [mm]
Diametro elastomero / Elastomer diameter D = 300																
LRS300X48	750	650	0,57	6,43	26	0,81	LRN300X48	1450	1250	1,18	21,27	83	1,96	146	48	100
LRS300X54	800	550	0,51	5,72	26	0,72	LRN300X54	1550	1050	1,06	17,06	75	1,70	156	54	110
LRS300X60	800	450	0,46	4,25	22	0,62	LRN300X60	1600	900	0,95	15,36	75	1,54	166	60	120
LRS300X66	700	400	0,41	4,68	26	0,58	LRN300X66	1350	750	0,86	15,47	83	1,42	176	66	140
LRS300X72	650	350	0,38	4,29	26	0,54	LRN300X72	1250	650	0,79	14,18	83	1,31	175	72	150
LRS300X78	600	300	0,35	3,96	26	0,50	LRN300X78	1150	550	0,73	11,81	75	1,18	184	78	160
LRS300X84	550	250	0,33	3,68	26	0,47	LRN300X84	1050	500	0,68	10,97	75	1,10	193	84	170
LRS300X90	500	200	0,31	2,84	22	0,41	LRN300X90	950	450	0,64	10,24	75	1,03	202	90	180
LRS300X96	450	0	0,28	3,22	26	0,40	LRN300X96	850	350	0,59	10,64	83	0,98	211	96	200
Diametro elastomero / Elastomer diameter D = 350																
LRS350X56	1050	900	0,66	7,70	36	0,94	LRN350X56	2000	1700	1,38	24,11	110	2,24	154	56	120
LRS350X63	1100	750	0,59	5,83	31	0,81	LRN350X63	2100	1450	1,23	21,43	110	2,03	165	63	130
LRS350X70	1150	650	0,53	5,25	31	0,74	LRN350X70	2100	1250	1,10	19,29	110	1,85	176	70	140
LRS350X77	1000	550	0,48	5,60	36	0,69	LRN350X77	1900	1050	1,00	17,54	110	1,65	187	77	160
LRS350X84	850	450	0,44	4,38	31	0,61	LRN350X84	1750	900	0,92	16,07	110	1,53	198	84	170
LRS350X91	800	400	0,41	4,74	36	0,58	LRN350X91	1550	800	0,85	14,84	110	1,40	197	91	190
LRS350X98	750	350	0,38	3,75	31	0,52	LRN350X98	1450	700	0,79	13,78	110	1,31	207	98	200
LRS350X105	700	300	0,36	3,50	31	0,49	LRN350X105	1350	600	0,74	12,86	110	1,23	217	105	210
LRS350X112	650	0	0,33	3,28	31	0,46	LRN350X112	1200	500	0,69	12,06	110	1,14	227	112	230
Diametro elastomero / Elastomer diameter D = 400																
LRS400X48	1250	1250	1,02	10,42	42	1,40	LRN400X48	2350	2350	2,11	35,95	141	3,43	165	138	100
LRS400X56	1300	1250	0,87	10,26	48	1,23	LRN400X56	2500	2500	1,79	33,23	151	2,98	181	150	120
LRS400X64	1400	1250	0,76	7,82	42	1,06	LRN400X64	2700	2350	1,58	26,96	141	2,60	203	169	130
LRS400X72	1450	1000	0,68	6,95	42	0,93	LRN400X72	2800	1950	1,40	23,97	141	2,29	220	182	150
LRS400X80	1500	900	0,61	6,25	42	0,85	LRN400X80	2850	1700	1,26	21,57	141	2,09	245	195	160
LRS400X88	1350	750	0,55	5,69	42	0,77	LRN400X88	2600	1450	1,15	19,61	141	1,89	263	208	180
LRS400X96	1200	650	0,51	5,21	42	0,70	LRN400X96	2300	1200	1,05	17,97	141	1,72	281	210	200
LRS400X104	1100	550	0,47	4,81	42	0,65	LRN400X104	2100	1100	0,97	16,59	141	1,60	288	222	210
LRS400X112	1000	450	0,44	4,47	42	0,60	LRN400X112	1950	900	0,90	15,41	141	1,48	305	234	230
LRS400X120	950	400	0,41	4,17	42	0,57	LRN400X120	1800	800	0,84	14,38	141	1,40	309	246	240
Diametro elastomero / Elastomer diameter D = 450																
LRS450X48	1450	1450	1,28	13,61	55	1,79	LRN450X48	2750	2750	2,65	47,86	187	4,42	138	48	100
LRS450X56	1650	1650	1,10	13,17	61	1,57	LRN450X56	3100	3100	2,27	41,02	187	3,74	150	56	120
LRS450X64	1800	1800	0,96	10,21	55	1,35	LRN450X64	3500	3500	2,00	33,54	175	3,27	169	64	130
LRS450X72	1900	1900	0,86	9,08	55	1,19	LRN450X72	3600	3350	1,77	31,91	187	2,95	182	72	150
LRS450X80	2000	1450	0,77	8,17	55	1,08	LRN450X80	3850	2950	1,60	26,83	175	2,64	195	80	160
LRS450X88	2050	1300	0,70	7,43	55	0,98	LRN450X88	3950	2550	1,46	24,39	175	2,38	218	88	180
LRS450X96	2000	1150	0,64	6,81	55	0,89	LRN450X96	3800	2150	1,33	23,93	187	2,21	221	96	200
LRS450X104	1850	1000	0,59	6,28	55	0,83	LRN450X104	3550	1950	1,23	20,64	175	2,02	234	104	210
LRS450X112	1700	850	0,55	5,83	55	0,77	LRN450X112	3250	1700	1,15	19,17	175	1,86	247	112	230
LRS450X120	1550	800	0,51	5,45	55	0,72	LRN450X120	3000	1500	1,07	17,89	175	1,76	260	120	240
LRS450X128	1450	700	0,48	5,11	55	0,67	LRN450X128	2750	1300	1,00	16,77	175	1,64	258	128	260
LRS450X136	1300	0	0,45	4,80	55	0,63	LRN450X136	2600	1150	0,95	14,71	164	1,50	270	136	280

Legenda | *Legend*
LRS
LRS ξ_r= 10% - G = 0,4 MPa
LRN
LRN ξ_r= 4% - G = 0,9 MPa

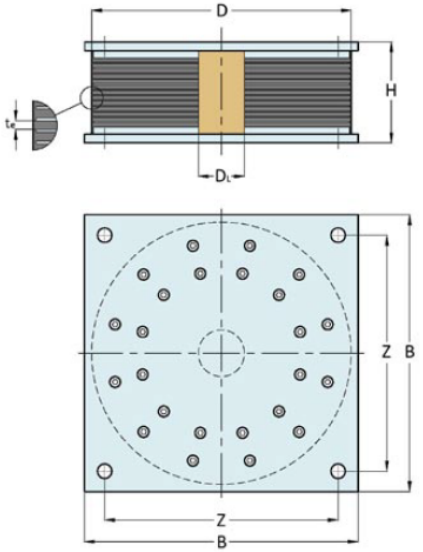
Dati tecnici | *Technical Data*
V_{max} Carico verticale massimo allo SLU con spostamento nullo
Max vertical load at ULS (Ultimate Limit State) with zero displacement
V_{sism} Carico verticale in condizione sismica
Vertical load under seismic conditions
Kr Rigidezza orizzontale (contributo elastomero)
Horizontal stiffness (elastomer contribution)
K_{lead} Rigidezza orizz. (contr. nucleo in piombo)
Horizontal stiffness (lead core contribution)
F_y Carico di snervamento del nucleo
Yield point load for lead core
K_{eff} Rigidezza orizzontale efficace
Effective horizontal stiffness
S_{max} Spostamento di progetto | *Design displacement*

ξ_r Smorzamento viscoso della gomma
Viscous damping of the rubber
β_{eff} Smorzamento efficace | *Effective damping*

Dati geometrici | *Geometrical Data*
te Spessore elastomero
Thickness of the elastomer
H Altezza totale isolatore
Overall height of the isolator
D Diametro elastomero
Diameter of the elastomer
B Dimensione d'ingombro dell'isolatore (nelle due direzioni)
Overall dimensions (space requirement) of the isolator (in two directions)
Z Interasse degli ancoraggi (nelle due direzioni)
Distance between centers of anchorages (in two directions)

β_{eff} = 28% per tutti gli isolatori *for all isolators*

B = D + 50
Z = 0,75 x B



LRS	V_{max} [kN]	V_{sism} [kN]	Kr [kN/mm]	K_{lead} [kN/mm]	F_y [kN]	K_{eff} [kN/mm]	LRN	V_{max} [kN]	V_{sism} [kN]	Kr [kN/mm]	K_{lead} [kN/mm]	F_y [%]	K_{eff} [kN/mm]	H [mm]	te [mm]	S_{max} [mm]
Diametro elastomero / Elastomer diameter D = 300																
LRS300X48	750	650	0,57	6,43	26	0,81	LRN300X48	1450	1250	1,18	21,27	83	1,96	146	48	100
LRS300X54	800	550	0,51	5,72	26	0,72	LRN300X54	1550	1050	1,06	17,06	75	1,70	156	54	110
LRS300X60	800	450	0,46	4,25	22	0,62	LRN300X60	1600	900	0,95	15,36	75	1,54	166	60	120
LRS300X66	700	400	0,41	4,68	26	0,58	LRN300X66	1350	750	0,86	15,47	83	1,42	176	66	140
LRS300X72	650	350	0,38	4,29	26	0,54	LRN300X72	1250	650	0,79	14,18	83	1,31	175	72	150
LRS300X78	600	300	0,35	3,96	26	0,50	LRN300X78	1150	550	0,73	11,81	75	1,18	184	78	160
LRS300X84	550	250	0,33	3,68	26	0,47	LRN300X84	1050	500	0,68	10,97	75	1,10	193	84	170
LRS300X90	500	200	0,31	2,84	22	0,41	LRN300X90	950	450	0,64	10,24	75	1,03	202	90	180
LRS300X96	450	0	0,28	3,22	26	0,40	LRN300X96	850	350	0,59	10,64	83	0,98	211	96	200

Parametri progettuali friction pendolum system

CARATTERISTICHE

MATERIALI

La scelta del materiale di scorrimento è essenziale per dare agli isolatori a scorrimento a superficie curva un comportamento ottimale in termini di: **i)** capacità portante; **ii)** coefficiente d'attrito e conseguente dissipazione d'energia; **iii)** stabilità del ciclo isteretico forza-spostamento sia con la temperatura che durante cicli ripetuti; **iv)** durabilità; **v)** resistenza all'usura.

Il materiale di scorrimento usato nella superficie di scorrimento primaria degli isolatori serie **FIP** ed in entrambe le superfici di scorrimento degli isolatori serie **FIP-D** è il **FFM** (**F**IP **F**riction **M**aterial), un polietilene ad altissimo peso molecolare (**U**ltra-**H**igh **M**olecular **W**eight **P**oly-**E**thylene - **UHMWPE**) caratterizzato da proprietà eccezionali per quanto concerne la capacità di carico, la resistenza all'usura, la stabilità e la durabilità. Altre importanti caratteristiche del **FFM** sono l'assenza del fenomeno di stick-slip ed il basso rapporto tra attrito di primo distacco ed attrito dinamico. Tali proprietà sono state verificate attraverso numerose prove sperimentali, tra cui quelle richieste dalla Norma Europea UNI EN 15129, eseguite sia nel laboratorio di **FIP Industriale** che in laboratori indipendenti italiani e stranieri.

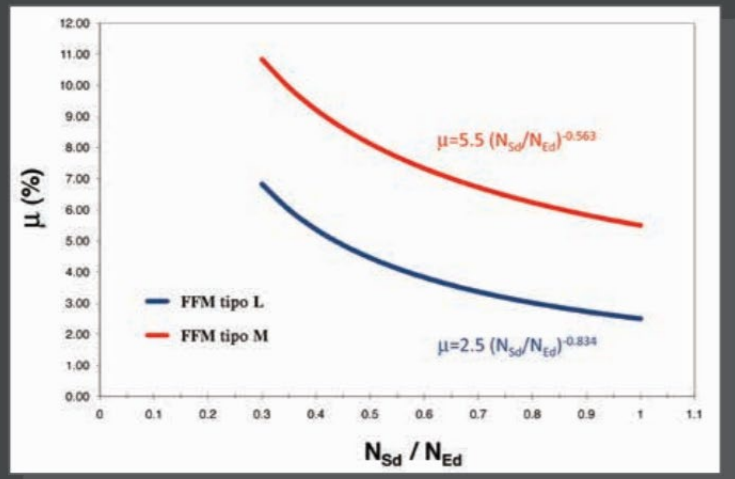
Il **FFM** viene utilizzato senza lubrificazione. Il materiale usato nella superficie di scorrimento secondaria dei dispositivi della serie **FIP** è il **SMF** (**S**liding **M**aterial **F**IP), che è anch'esso **UHMWPE**, ma nicchiato e lubrificato.

Il coefficiente di attrito dinamico è il parametro più importante che l'Ingegnere Strutturista deve conoscere per modellare una struttura con isolatori a scorrimento a superficie curva. Per qualsiasi materiale di scorrimento il coefficiente di attrito è dipendente sia dalla velocità che dalla pressione. La dipendenza dalla velocità solitamente non è significativa nel campo di velocità associate all'eccitazione sismica di una struttura isolata. Al contrario, è risaputo dalla letteratura, e confermato dai risultati sperimentali, che la dipendenza dalla pressione (carico verticale) non è trascurabile: in particolare il coefficiente d'attrito diminuisce all'aumento del carico verticale. In tabella sono riportati i valori tipici del coefficiente di attrito dinamico del **FFM**, rispettivamente per **FFM** tipo L (basso attrito) e **FFM** tipo M (attrito medio).

tipo di FFM	L (basso attrito)	M (attrito medio)
Coefficiente d'attrito minimo (%)	2.5	5.5

I valori del coefficiente di attrito riportati in tabella sono i valori minimi e corrispondono al carico verticale massimo di progetto N_{Ed} dell'isolatore a scorrimento a superficie curva; il valore di N_{Ed} per gli isolatori **FIP-D** standard è riportato nelle tabelle a partire da pag. 12 del presente catalogo.

Il grafico sottostante mostra come il coefficiente di attrito dinamico cambi con il carico verticale, in particolare con il rapporto tra il carico verticale N_{Sd} agente sull'isolatore (solitamente considerato costante ed uguale al carico quasi-permanente) ed il carico verticale massimo di progetto N_{Ed}. Quest'ultimo è il carico verticale massimo che l'isolatore può sopportare nelle combinazioni di carico SLU comprensive del sisma, o comunque in qualsiasi combinazione di carico che includa spostamento orizzontale.



Al materiale di scorrimento viene accoppiata una superficie di acciaio inossidabile lucidata a specchio secondo le prescrizioni della Norma Europea UNI EN 10088-2.

FIP INDUSTRIALE

Parametri progettuali friction pendolum system

MODELLAZIONE

Il modello matematico che meglio rappresenta il funzionamento degli isolatori a scorrimento a superficie curva della serie **FIP** e **FIP-D** è la curva bilineare Forza-Spostamento mostrata nel grafico sottostante, dove:

$F_0 = \mu \cdot N_{Sd}$ ➡ forza di attrito sviluppata dall'isolatore

$F_{max} = F_0 + K_r \cdot d = \mu \cdot N_{Sd} + \frac{N_{Sd}}{R} \cdot d$ ➡ forza orizzontale massima

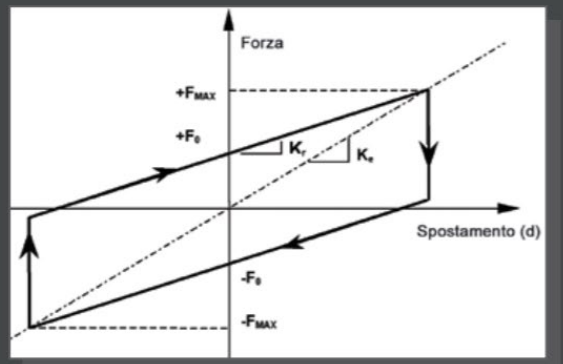
$K_r = \frac{N_{Sd}}{R}$ ➡ rigidezza di richiamo

μ ➡ coefficiente di attrito

N_{Sd} ➡ carico verticale agente sull'isolatore

R ➡ raggio di curvatura equivalente

d ➡ spostamento



Il carico verticale N_{Sd}, utilizzato per modellare il comportamento degli isolatori a superficie curva sotto l'azione sismica, corrisponde abitualmente al carico verticale quasi-permanente, ossia alla massa moltiplicata per l'accelerazione di gravità, che è il carico verticale medio agente sull'isolatore durante il sisma. Talvolta vengono utilizzati modelli dinamici non lineari che prendono in considerazione la variazione del carico verticale durante il terremoto.

Il coefficiente d'attrito μ è funzione del carico verticale, come descritto in precedenza. Normalmente viene calcolato in corrispondenza del carico quasi-permanente, secondo la legge $\mu(N_{Sd}/N_{Ed})$, sopra riportata.

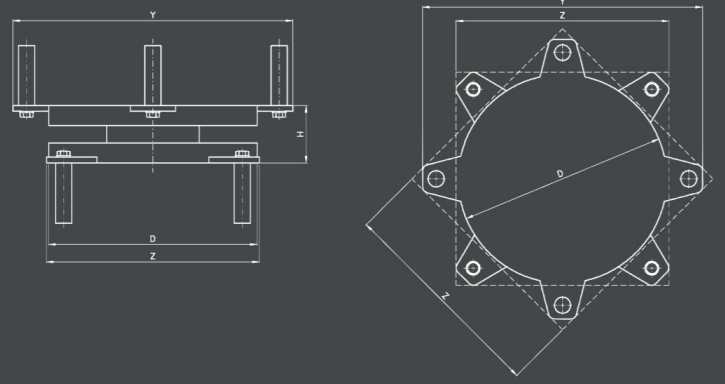
Negli isolatori della serie **FIP**, il raggio di curvatura equivalente R è quasi coincidente con il raggio geometrico di curvatura della superficie primaria, mentre negli isolatori della serie **FIP-D**, R equivale approssimativamente a due volte il raggio geometrico di curvatura di ognuna delle due superfici curve.

Qualora le norme utilizzate per la progettazione strutturale consentano di modellare il comportamento non lineare sopra descritto con un modello lineare equivalente, la rigidezza equivalente e lo smorzamento viscoso equivalente possono essere calcolati con le seguenti formule:

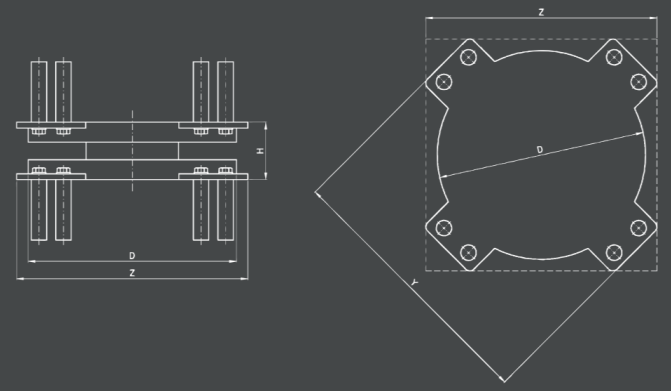
$$K_e = N_{Sd} \cdot \left(\frac{1}{R} + \frac{\mu}{d} \right) \qquad \xi_e = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{1}{\frac{d}{\mu \cdot R} + 1}$$

Parametri progettuali friction pendolum system

SCHEMA FIP-D



Disegno schematico di un isolatore serie **FIP-D** con 4 zanche superiori e 4 inferiori.



Disegno schematico di un isolatore serie **FIP-D** con 8 o più zanche superiori e 8 o più inferiori.

Attrito minimo		Attrito medio		SPOSTAMENTO ±100 mm					
Sigla Isolatore	N_{Ed} kN	Sigla Isolatore	N_{Ed} kN	D mm	Y mm	Z mm	H mm	n	W kg
FIP-D L 250/200 (2500)	1000	FIP-D M 250/200 (2500)	220	350	460	350	98	4	50
FIP-D L 340/200 (2500)	1500	FIP-D M 340/200 (2500)	560	380	490	380	104	4	65
FIP-D L 440/200 (2500)	2000	FIP-D M 440/200 (2500)	990	410	520	410	99	4	75
FIP-D L 510/200 (2500)	2500	FIP-D M 510/200 (2500)	1330	430	600	470	96	4	85
FIP-D L 590/200 (2500)	3000	FIP-D M 590/200 (2500)	1690	450	620	480	117	4	110
FIP-D L 670/200 (2500)	3500	FIP-D M 670/200 (2500)	2100	470	640	490	113	4	120
FIP-D L 760/200 (2500)	4000	FIP-D M 760/200 (2500)	2540	490	660	510	110	4	130
FIP-D L 910/200 (2500)	5000	FIP-D M 910/200 (2500)	3270	520	690	530	136	4	180
FIP-D L 1100/200 (2500)	6000	FIP-D M 1100/200 (2500)	4380	560	810	630	138	4	230
FIP-D L 1200/200 (2500)	7000	FIP-D M 1200/200 (2500)	4980	580	830	650	144	4	260
FIP-D L 1400/200 (2500)	8000	FIP-D M 1400/200 (2500)	5960	610	860	670	156	4	300
FIP-D L 1600/200 (2500)	9000	FIP-D M 1600/200 (2500)	7030	640	890	690	158	4	340
FIP-D L 1750/200 (2500)	10000	FIP-D M 1750/200 (2500)	7780	660	910	700	164	4	380
FIP-D L 2100/200 (2500)	12500	FIP-D M 2100/200 (2500)	9830	710	1040	810	202	4	560
FIP-D L 2500/200 (2500)	15000	FIP-D M 2500/200 (2500)	12120	760	1090	850	208	4	680
FIP-D L 2950/200 (2500)	17500	FIP-D M 2950/200 (2500)	14630	810	1050	970	213	8	800
FIP-D L 3450/200 (2500)	20000	FIP-D M 3450/200 (2500)	17360	860	1100	1000	259	8	1100
FIP-D L 4150/200 (2500)	25000	FIP-D M 4150/200 (2500)	21600	930	1210	1120	253	8	1300
FIP-D L 4950/200 (2500)	30000	FIP-D M 4950/200 (2500)	26250	1000	1280	1340	332	12	2000
FIP-D L 6500/200 (2500)	40000	FIP-D M 6500/200 (2500)	35300	1120	1400	1430	344	12	2650
FIP-D L 8050/200 (2500)	50000	FIP-D M 8050/200 (2500)	44700	1230	1510	1670	433	16	4000
FIP-D L 9650/200 (2500)	60000	FIP-D M 9650/200 (2500)	54250	1330	1610	1910	424	20	4800

MITIGAZIONE DEL RISCHIO SISMICO CON DISPOSITIVI D'ISOLAMENTO:

MODELLAZIONE DEL COMPORTAMENTO

Modellazione del comportamento

La modellazione dipende dal tipo di isolatore ma anche dal tipo di analisi che si vuole condurre.
NTC2018 consentono analisi lineari e non lineari

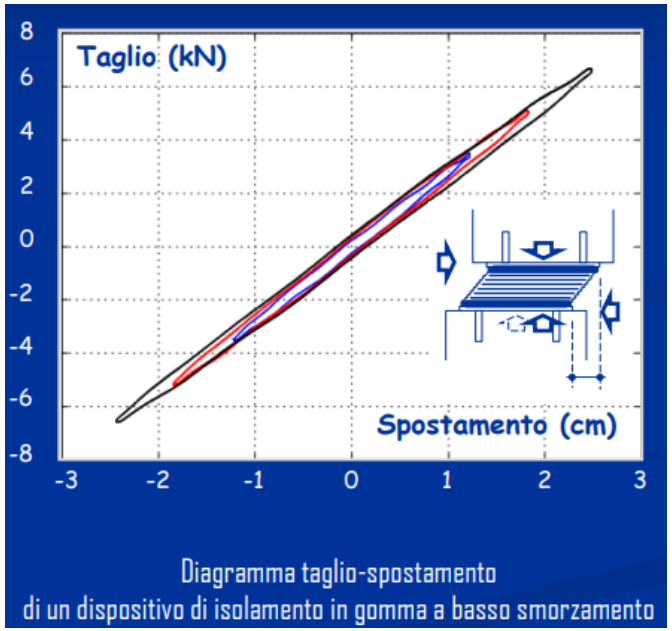
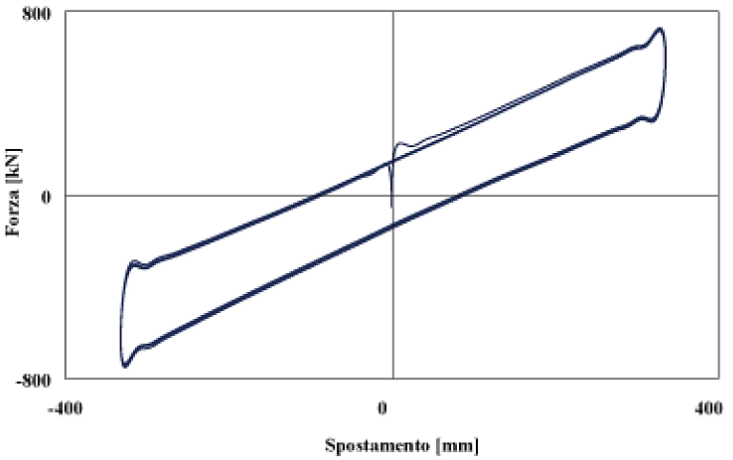
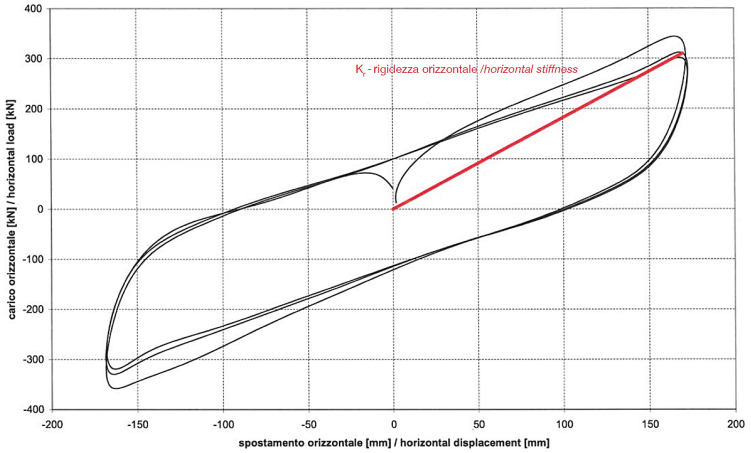


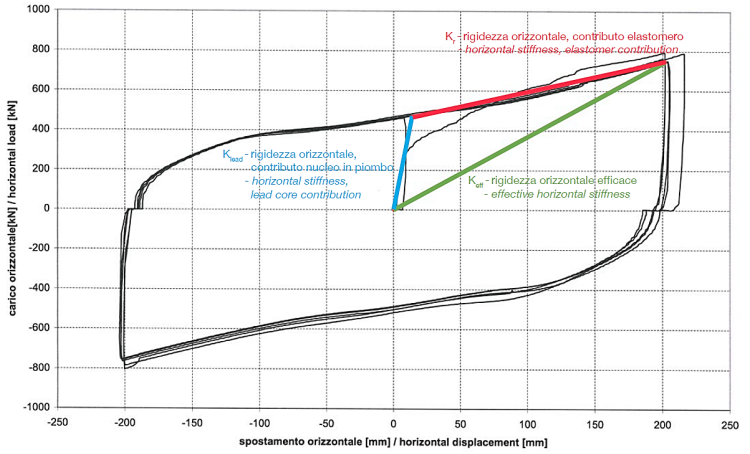
Diagramma taglio-spostamento
di un dispositivo di isolamento in gomma a basso smorzamento



In questa pagina sono rappresentati i tipici diagrammi di isteresi di un HDRB (sopra) e di un LRB (sotto). I relativi parametri di riferimento indicati sono specificati nelle tabelle prestazionali delle pagine seguenti.
Nel diagramma del LRB si può apprezzare in particolare il contributo del nucleo in piombo e della gomma.

In this page are represented the typical hysteresis diagrams for an HDRB (above) and an LRB (below). The technical parameters are indicated in the dimensional tables in the following pages.
In the LRB diagram you may notice the lead core and the rubber's contribution.

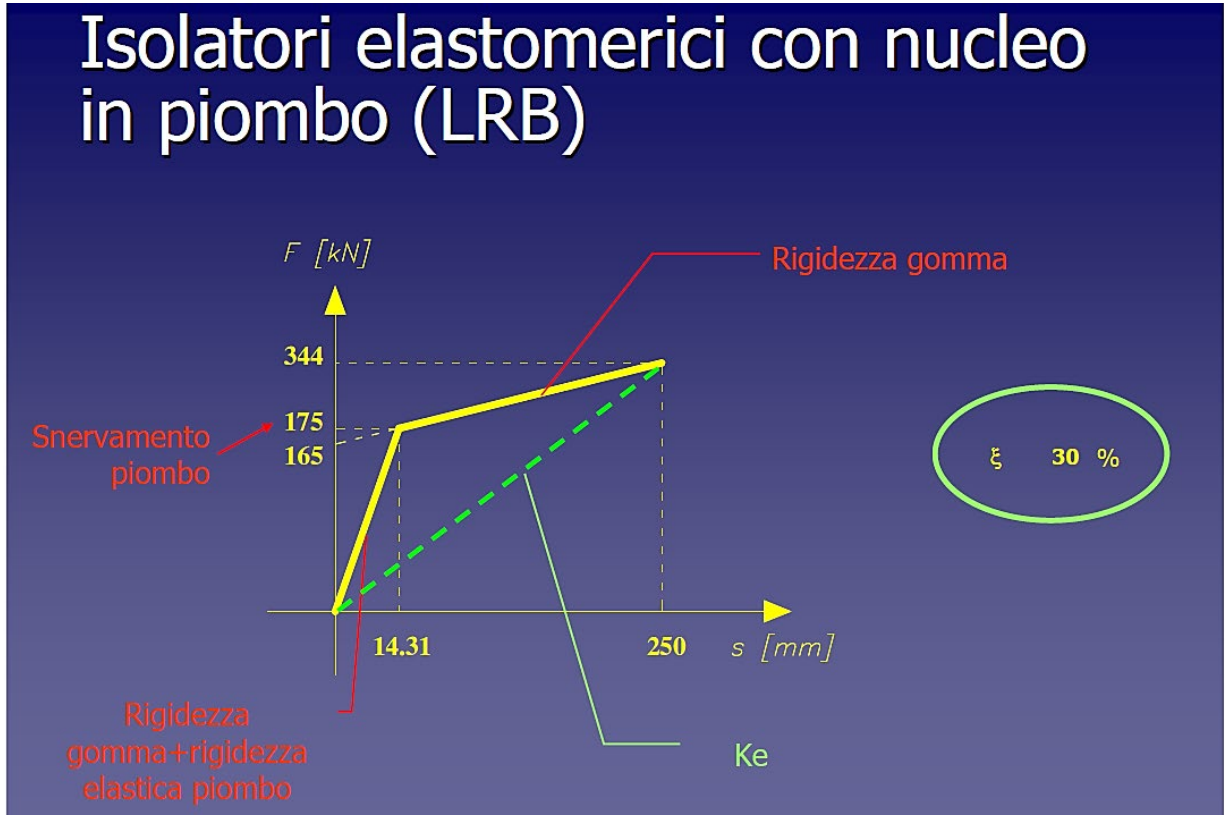




Modellazione del comportamento: Lineare

NTC2018-Nel caso di analisi lineare occorre definire due parametri:

- Rigidezza totale equivalente orizzontale K_{esi}
- L'energia dissipata deve essere espressa in termini di coefficiente di smorzamento viscoso x_{esi}



Modellazione del comportamento:Lineare

NTC2018-Nel caso di analisi lineare occorre definire due parametri:

- Rigidezza totale equivalente orizzontale K_{esi}
- L'energia dissipata deve essere espressa in termini di coefficiente di smorzamento viscoso x_{esi}

Legenda | *Legend*
LRS
LRS ξ_r= 10% - G = 0,4 MPa
LRN
LRN ξ_r= 4% - G = 0,9 MPa

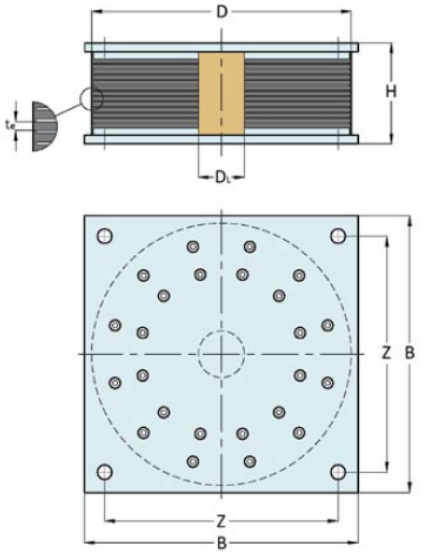
Dati tecnici | *Technical Data*
V_{max} Carico verticale massimo allo SLU con spostamento nullo
Max vertical load at ULS (Ultimate Limit State) with zero displacement
V_{sism} Carico verticale in condizione sismica
Vertical load under seismic conditions
Kr Rigidezza orizzontale (contributo elastomero)
Horizontal stiffness (elastomer contribution)
K_{lead} Rigidezza orizz. (contr. nucleo in piombo)
Horizontal stiffness (lead core contribution)
F_y Carico di snervamento del nucleo
Yield point load for lead core
K_{eff} Rigidezza orizzontale efficace
Effective horizontal stiffness
S_{max} Spostamento di progetto | *Design displacement*

ξ_r Smorzamento viscoso della gomma
Viscous damping of the rubber
β_{eff} Smorzamento efficace | *Effective damping*

Dati geometrici | *Geometrical Data*
te Spessore elastomero
Thickness of the elastomer
H Altezza totale isolatore
Overall height of the isolator
D Diametro elastomero
Diameter of the elastomer
B Dimensione d'ingombro dell'isolatore (nelle due direzioni)
Overall dimensions (space requirement) of the isolator (in two directions)
Z Interasse degli ancoraggi (nelle due direzioni)
Distance between centers of anchorages (in two directions)

β_{eff} = 28%
per tutti gli isolatori
for all isolators

B = D + 50
Z = 0,75 x B



LRS	Vmax [kN]	Vsism [kN]	Kr [kN/mm]	Klead [kN/mm]	Fy [kN]	Keff [kN/mm]	LRN	Vmax [kN]	Vsism [kN]	Kr [kN/mm]	Klead [kN/mm]	Fy [%]	Keff [kN/mm]	H [mm]	te [mm]	Smax [mm]
Diametro elastomero / Elastomer diameter D = 300																
LRS300X48	750	650	0,57	6,43	26	0,81	LRN300X48	1450	1250	1,18	21,27	83	1,96	146	48	100
LRS300X54	800	550	0,51	5,72	26	0,72	LRN300X54	1550	1050	1,06	17,06	75	1,70	156	54	110
LRS300X60	800	450	0,46	4,25	22	0,62	LRN300X60	1600	900	0,95	15,36	75	1,54	166	60	120
LRS300X66	700	400	0,41	4,68	26	0,58	LRN300X66	1350	750	0,86	15,47	83	1,42	176	66	140
LRS300X72	650	350	0,38	4,29	26	0,54	LRN300X72	1250	650	0,79	14,18	83	1,31	175	72	150
LRS300X78	600	300	0,35	3,96	26	0,50	LRN300X78	1150	550	0,73	11,81	75	1,18	184	78	160
LRS300X84	550	250	0,33	3,68	26	0,47	LRN300X84	1050	500	0,68	10,97	75	1,10	193	84	170
LRS300X90	500	200	0,31	2,84	22	0,41	LRN300X90	950	450	0,64	10,24	75	1,03	202	90	180
LRS300X96	450	0	0,28	3,22	26	0,40	LRN300X96	850	350	0,59	10,64	83	0,98	211	96	200

Modellazione del comportamento:Lineare

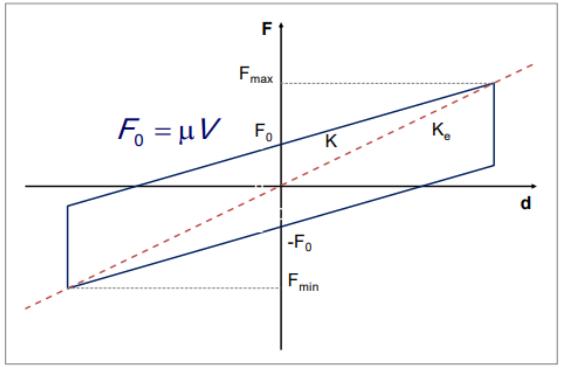
Pendulum friction determinazione delle grandezze fisiche in maniera iterativa

CSS: LINEARIZZAZIONE

Modello lineare equivalente:

$$k_{eff} = \frac{F_{max}}{d} = \frac{V}{R} + \frac{\mu V}{d} = V\left(\frac{1}{R} + \frac{\mu}{d}\right)$$

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

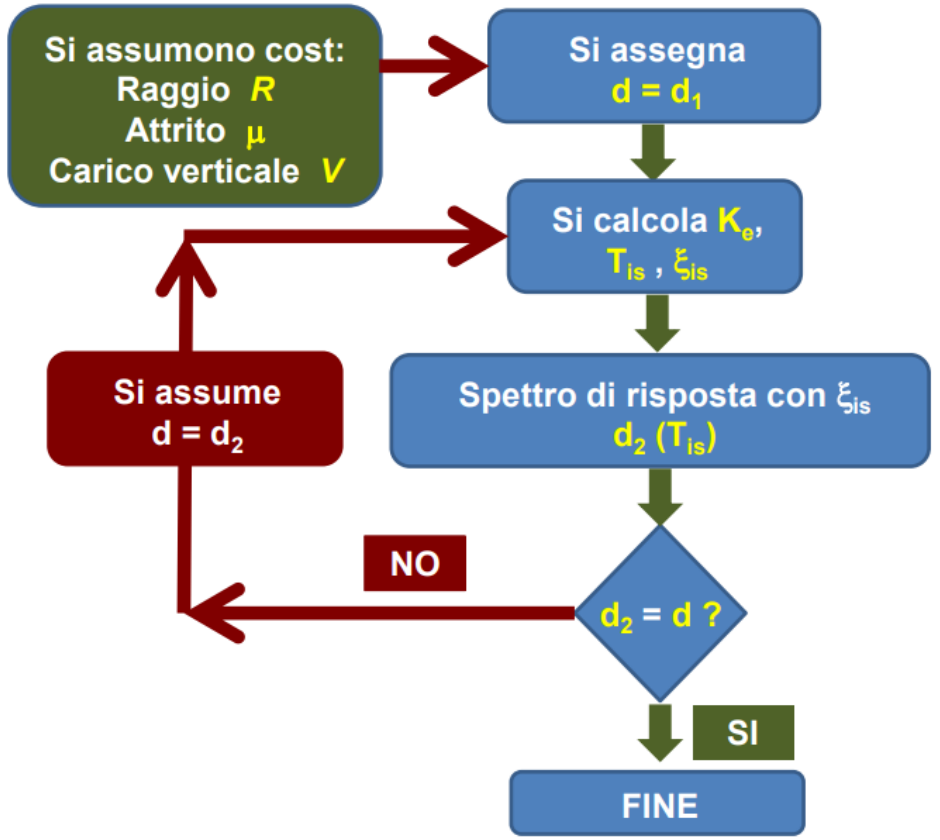


Smorzamento legato a
- attrito dinamico
- raggio R (e quindi al periodo T)

$$\xi = \frac{2}{\pi} \frac{\mu}{\left(\frac{d}{\mu R} + 1\right)}$$

- L'attrito non deve essere eccessivo, altrimenti il sistema potrebbe non ricentrarsi ► $\xi \leq 20\%$
- **Attrito statico > attrito dinamico** ► garantisce una rigidezza nei confronti dei carichi statici e sismi di piccola entità

CSS: DIMENSIONAMENTO PRELIMINARE

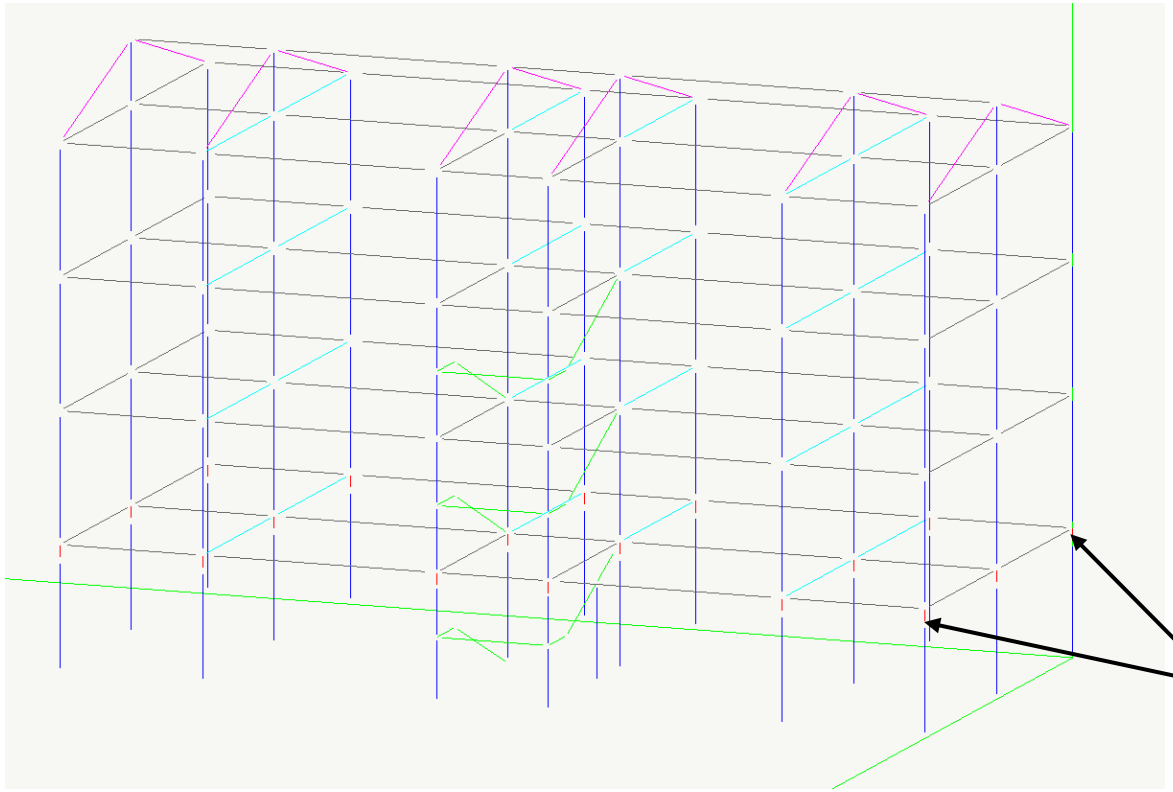


$$T_{is} = 2\pi \sqrt{\frac{1}{\left(\frac{1}{R} + \frac{\mu}{d}\right) g}}$$

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

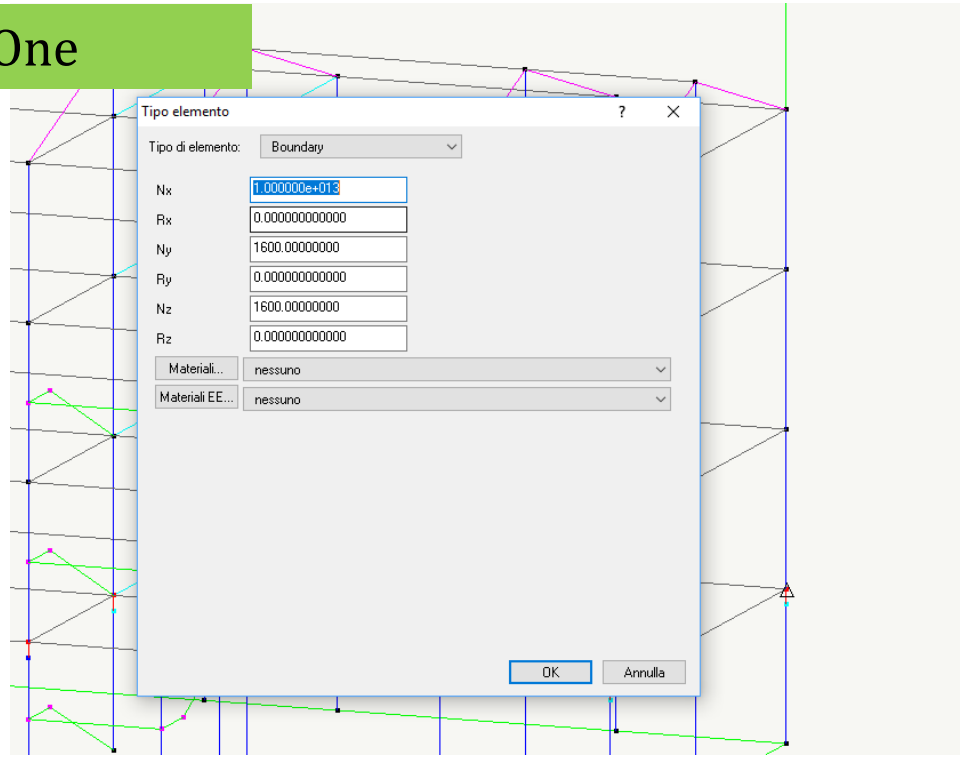
Modellazione del comportamento:Lineare

- Nel modello di calcolo vengono inserite molle lineari



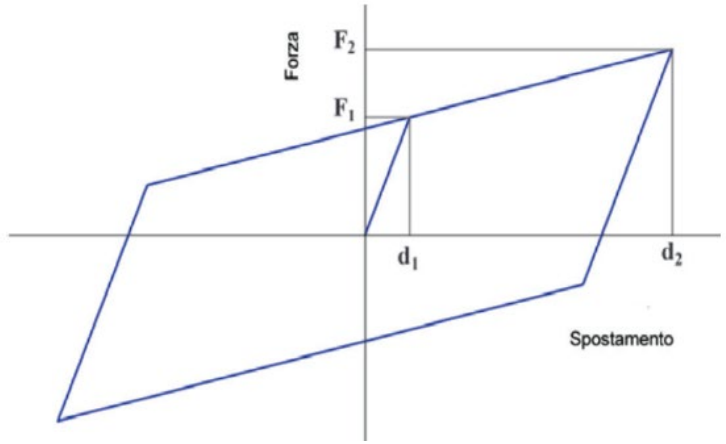
Boundary lineari

Nòlian All In One



Modellazione del comportamento:Non-Lineare

- Nel modello di calcolo vengono inserite le grandezze che descrivono un legame costitutivo Non Lineare



LRB-S	V	F_{zd}	K_e	ξ_e	F_2	F_1	d_1	K_v	D_g	t_e	h	H	Z
	kN	kN	kN/mm	%	KN	KN	mm	kN/mm	mm	mm	mm	mm	mm
			per d_2^{SLV} = 83 mm										
LRB-S 500/100-110	2700	3630	1.94	35	162	106	8	1164	500	100	197	247	550
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	2.49	33	207	128	8	1715	600	102	190	240	650
LRB-S 650/102-120	6440	9190	2.68	30	223	129	8	2235	650	102	200	260	700
LRB-S 700/105-115	7250	10570	2.74	27	228	121	8	2374	700	105	197	257	750
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	283	850
LRB-S 850/128-130	12660	17040	3.40	27	284	157	10	3130	850	128	223	283	900
LRB-S 900/126-140	13490	19250	3.91	28	326	182	10	3359	900	126	228	288	950
LRB-S 1000/135-150	19280	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	38760	5.42	25	452	247	12	5498	1200	154	266	346	1250

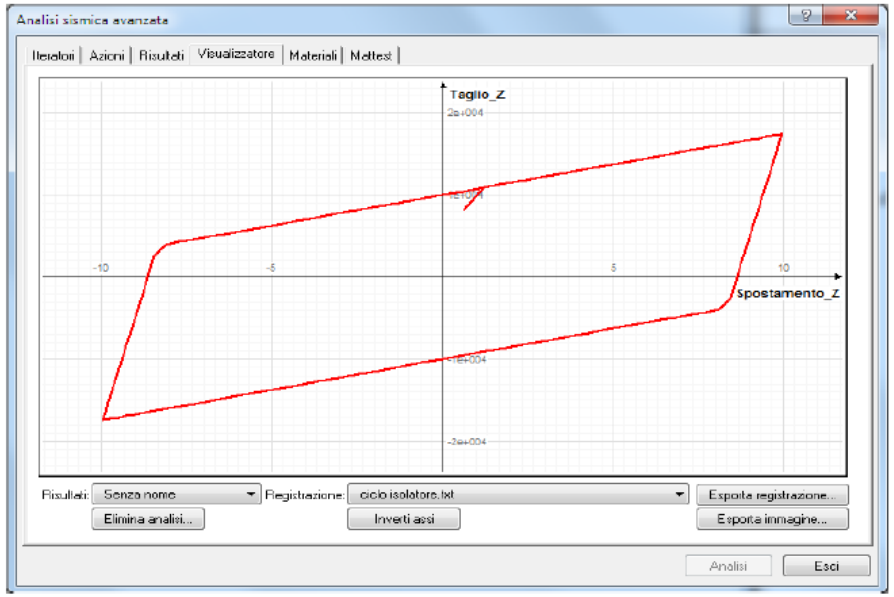
Isolatore elastomerico a nucleo

Modellazione del comportamento:Non-Lineare ELASTOMERICO

SOFTING-Nolian-All in One ambiente Earthquacke Engineering

Isolatore elastomerico con nucleo in piombo (LRB)

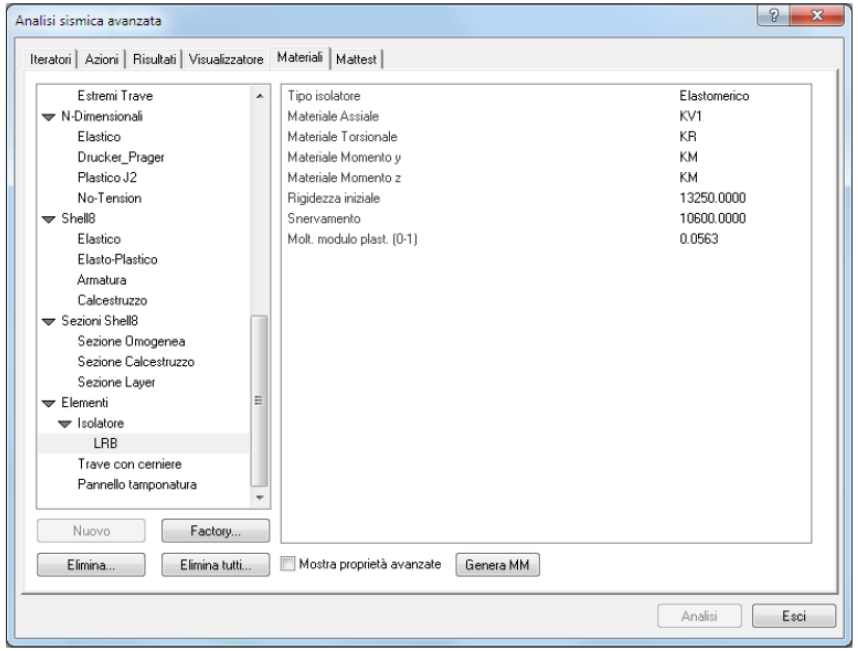
La curva che vediamo rappresentata qui sotto, è il risultato dell'analisi.



Isolatore Elastomerico

Per eseguire l'analisi non lineare è necessario utilizzare il materiale "isolatore" che si trova nella sezione "elementi" dei materiali di Earthquake Engineering.

Cliccando su Nuovo e cambiamo il nome dell'isolatore immesso da senza titolo 1 a LRB cliccando sul nome. Il seguente dialogo rappresenta le caratteristiche di un isolatore LRB-s 500/100 – 110 di FIP industriale che ha uno spostamento massimo di 100mm:

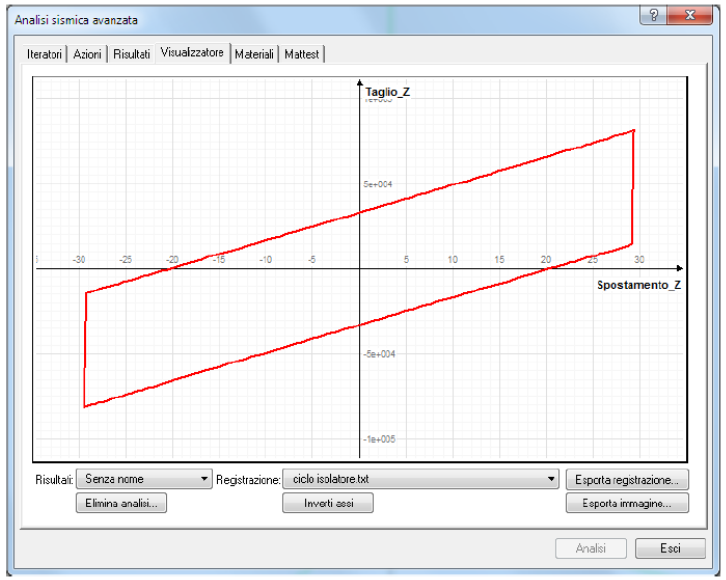


Modellazione del comportamento:Non-Lineare ISOLATORE A PENDOLO

SOFTING- Nolian-All in One ambiente Earthquacke Engineering

Isolatore a pendolo

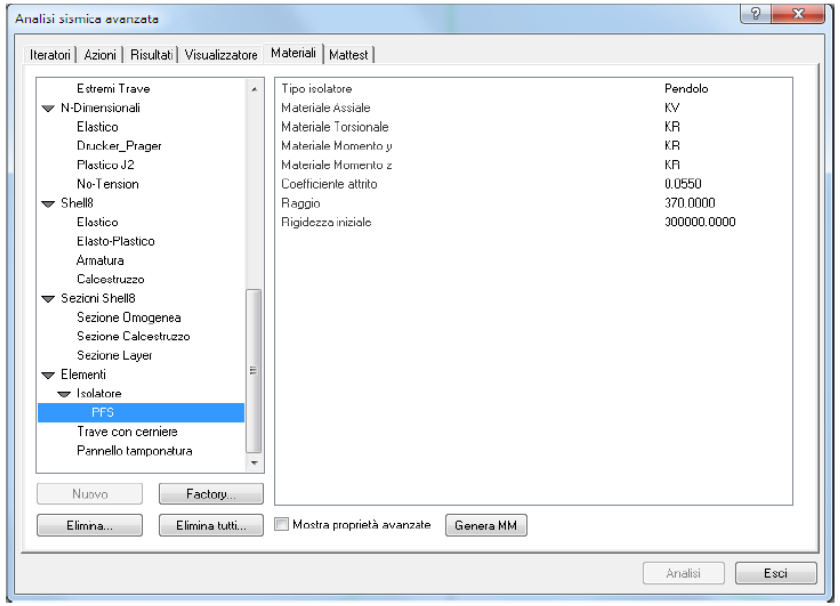
La curva che vediamo rappresentata qui sotto, è il risultato dell'analisi.



Isolatore a pendolo inverso

Per eseguire l'analisi non lineare è necessario utilizzare il materiale "isolatore" che si trova nella sezione "elementi" dei materiali di Earthquake Engineering.

Cliccando su Nuovo e cambiamo il nome dell'isolatore immesso da senza titolo 1 a PFS cliccando sul nome.



Modellazione del comportamento:Non-Lineare ISOLATORE AD ATTRITO

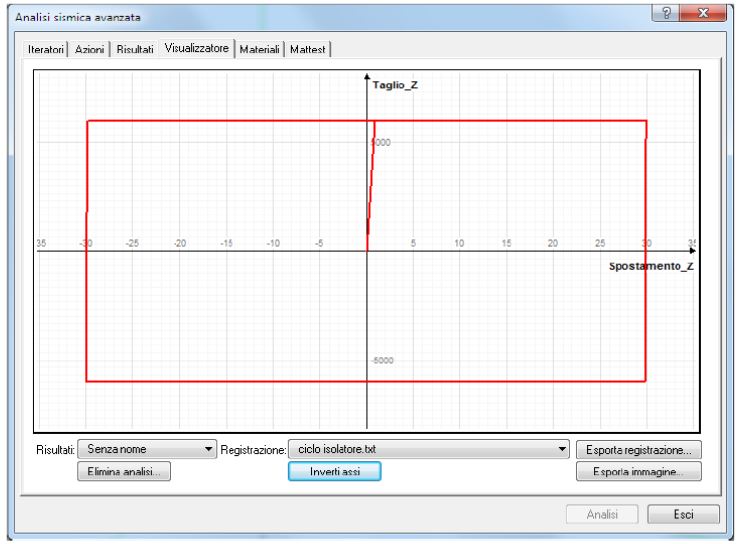
SOFTING- Nolian- All in One ambiente Earthquacke Engineering

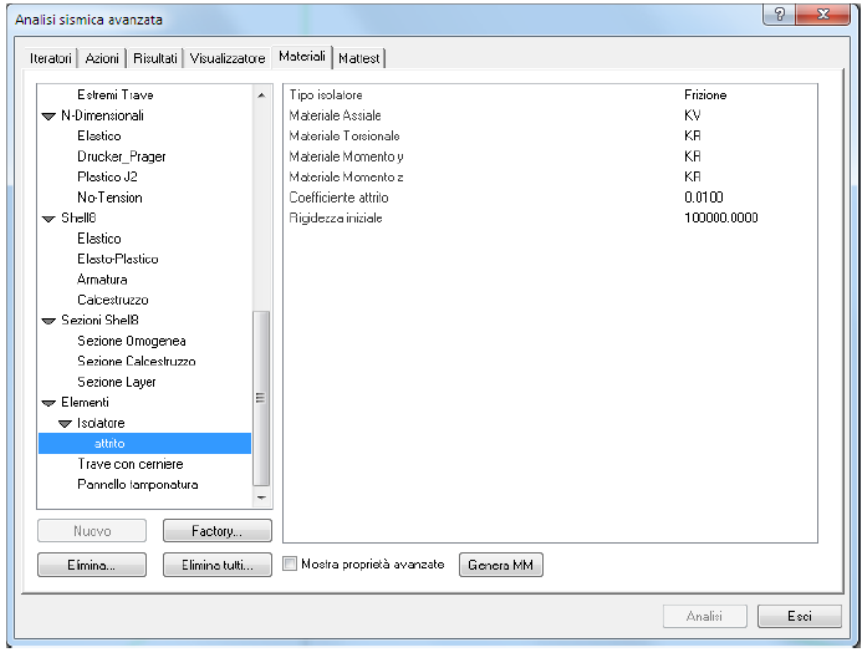
Isolatore ad attrito

Con questo tipo di isolatori non ci sono particolari calcoli da fare. È necessario sapere il valore del coefficiente di attrito, che solitamente è molto basso e la rigidezza iniziale dell'elemento che è molto alta. Il grafico riportato nel seguito è stato ottenuto con un isolatore avente un coefficiente di attrito dell'1% e uno spostamento imposto con legge sinusoidale di 30cm.

Isolatore ad attrito

La curva che vediamo rappresentata qui sotto, è il risultato dell'analisi.



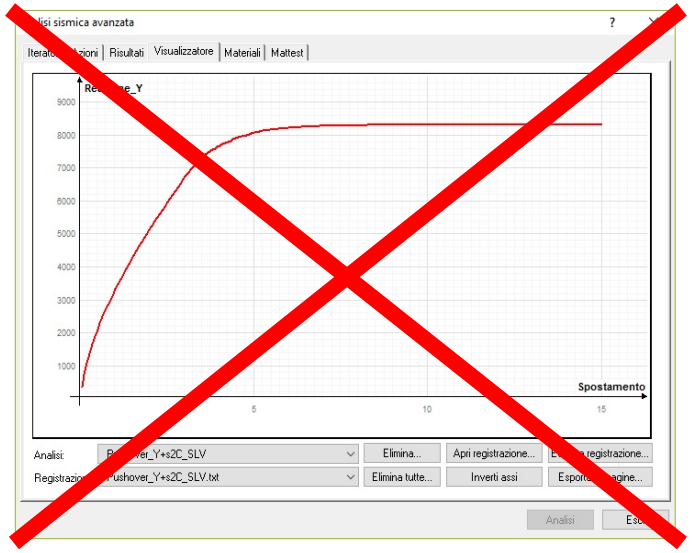


Metodi di analisi

NTC2018

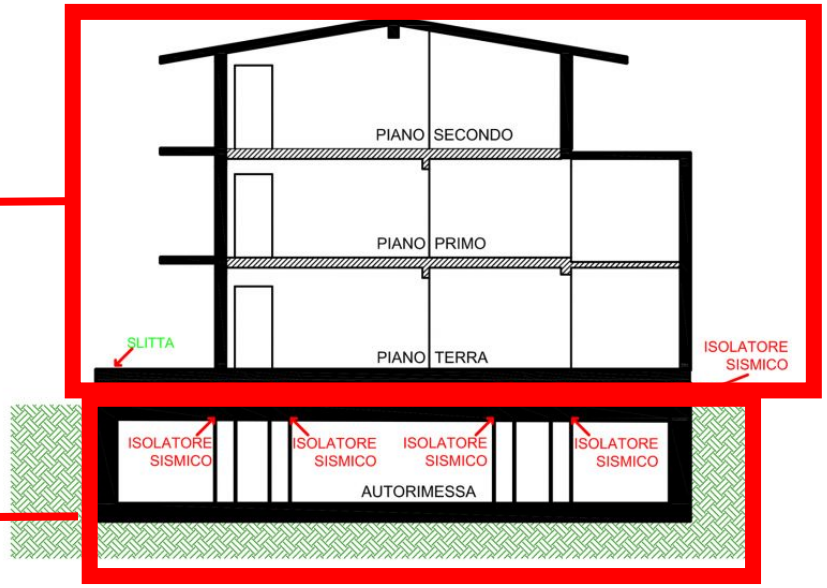
- Analisi statica lineare
- Analisi dinamica lineare
- Analisi dinamica non lineare
- **Non è possibile eseguire analisi statica non lineare perché la sovrastruttura deve rimanere in campo elastico senza cerniere Plastiche**

- **L'analisi statica lineare e dinamica lineare si possono applicare solo se il sistema di isolamento permette una schematizzazione con un modello lineare. Altrimenti è obbligatorio analisi dinamica non lineare. La sovrastruttura e la sottostruttura devono avere comportamento elastico lineare. Solo il sistema d'isolamento può avere una capacità dissipativa importante, con comportamento non lineare attraverso coeff. di smorzamento**



Sovrastruttura a comportamento lineare

Sottostruttura a comportamento lineare

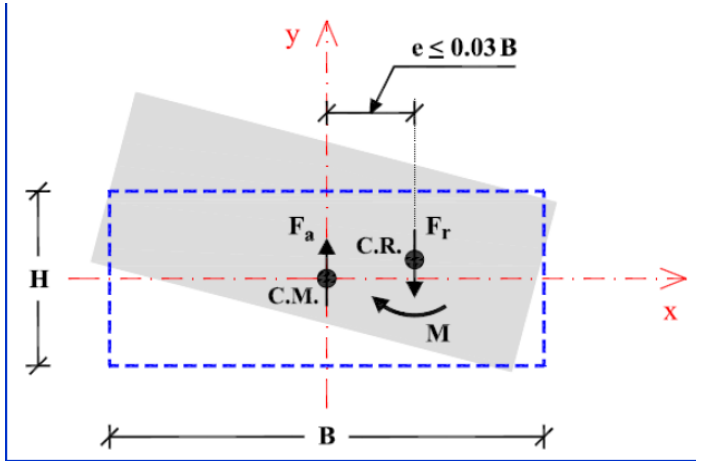


EDIFICIO ISOLATO SISMICAMENTE,
RESISTENTE A TERREMOTI DI OGNI ORDINE E GRADO

Metodi di analisi

NTC2018

- Analisi statica lineare
- **La norma pone alcune limitazioni indirizzate verso un comportamento sicuramente lineare della sovrastruttura, evitando trazioni (cavitazione negli elastomeri, alterazione del comportamento NL degli isolatori), favorendo comportamento di corpo rigido evitando spostamenti differenziati che aumentano insorgere di fenomeni NL**



- Analisi dinamica lineare
- **La dinamica lineare può essere condotta mediante spettro di risposta. Occorre definire smorzamento con spettro modificato**

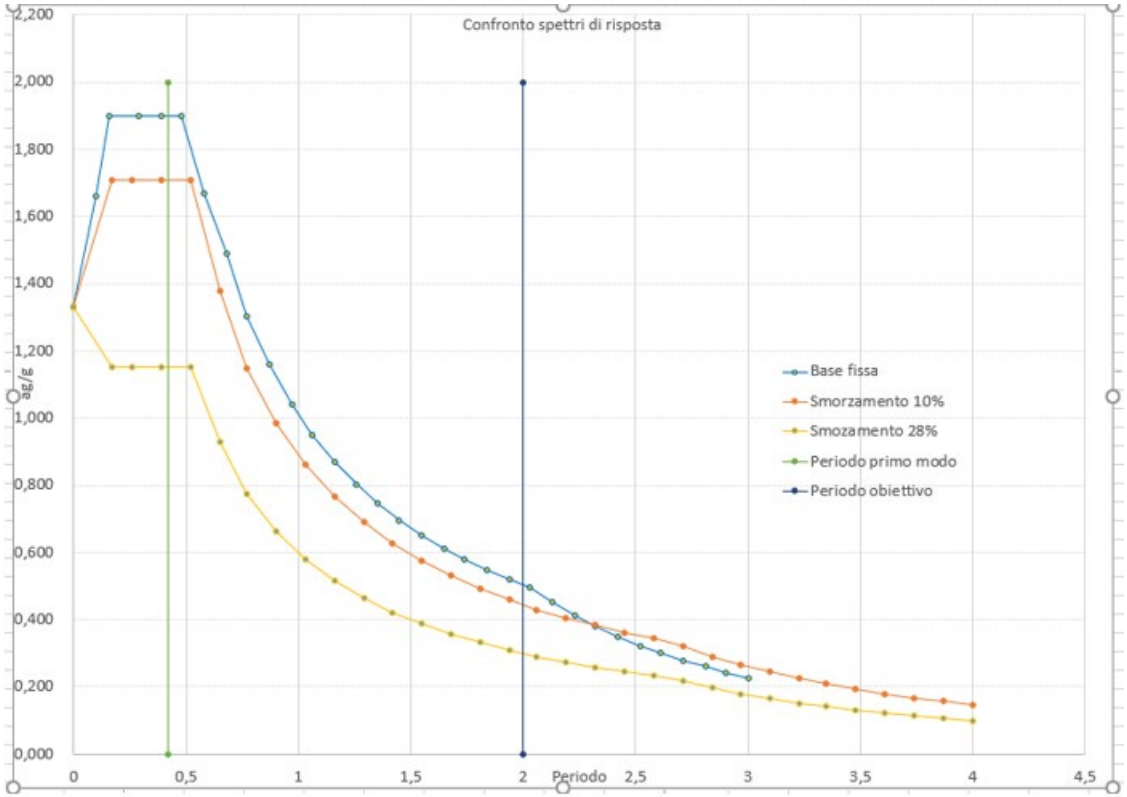
CONTROLLO DI AMMISSIBILITA' ANALISI LINEARE art. 7.10.5.2

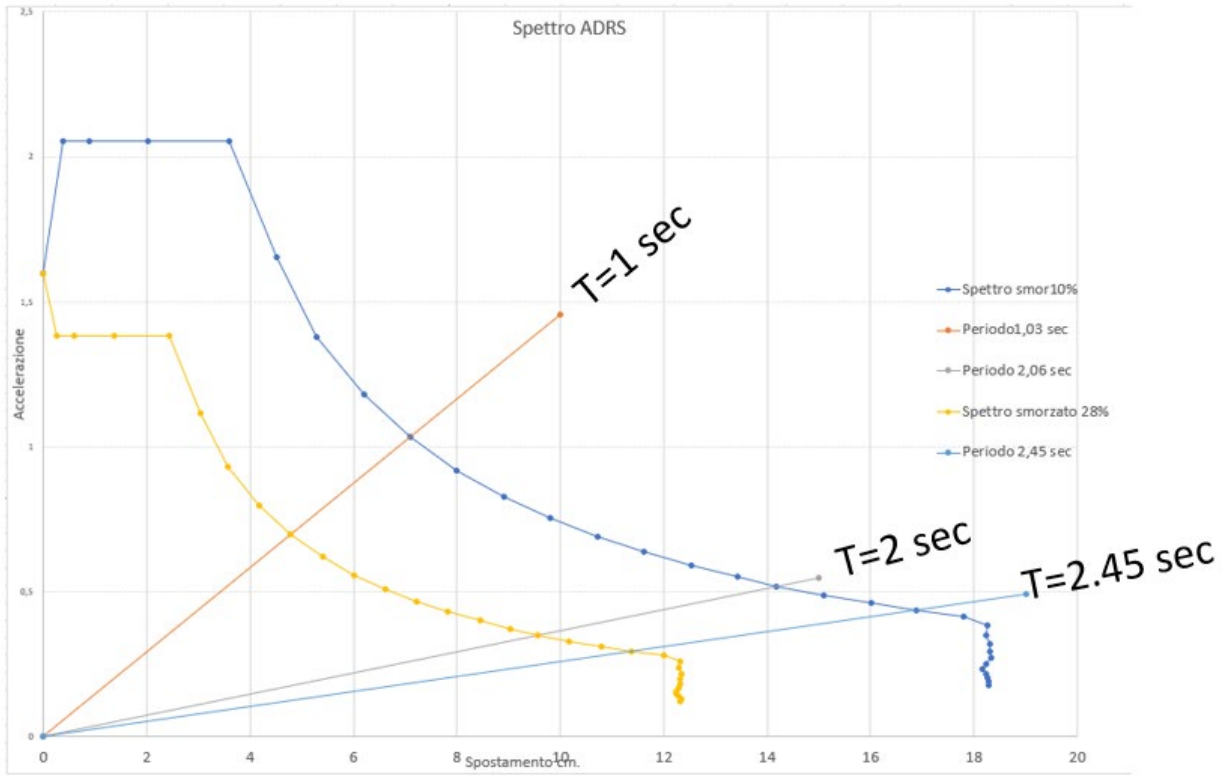
1) Requisito 1 : $K_{eff} > 50\% K_{sec}$ (al 20% dc)
2) Requisito 2 : ξ eff < 30%
3) Requisito 3 : Delta N < 10%
4) Requisito 4 : Delta F > 2,5% W tot (per d>0,5 dc)

- **La dinamica non lineare deve essere eseguita qualora non si verifichino le condizioni previste art.7.10.5.2 NTC2018**

Modellazione del comportamento: Lineare

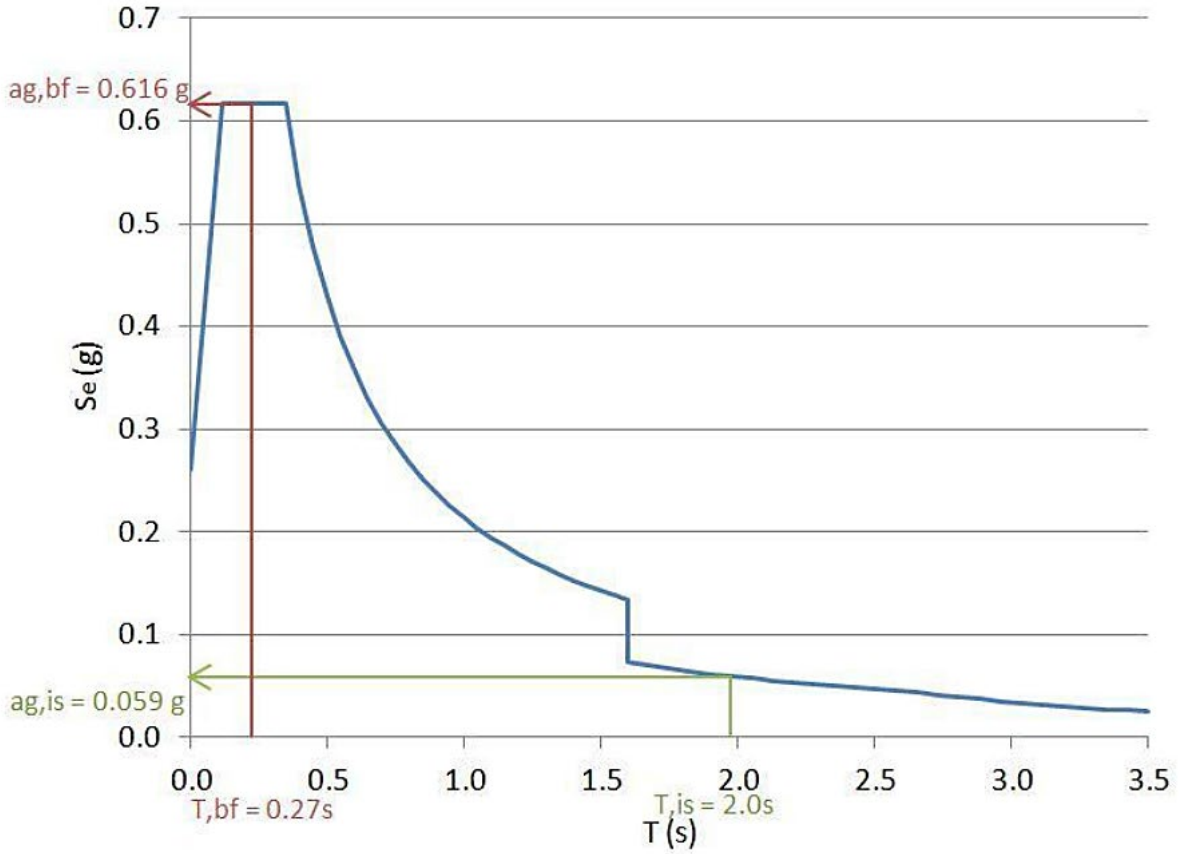
Modalità operativa:





Modellazione del comportamento: Lineare

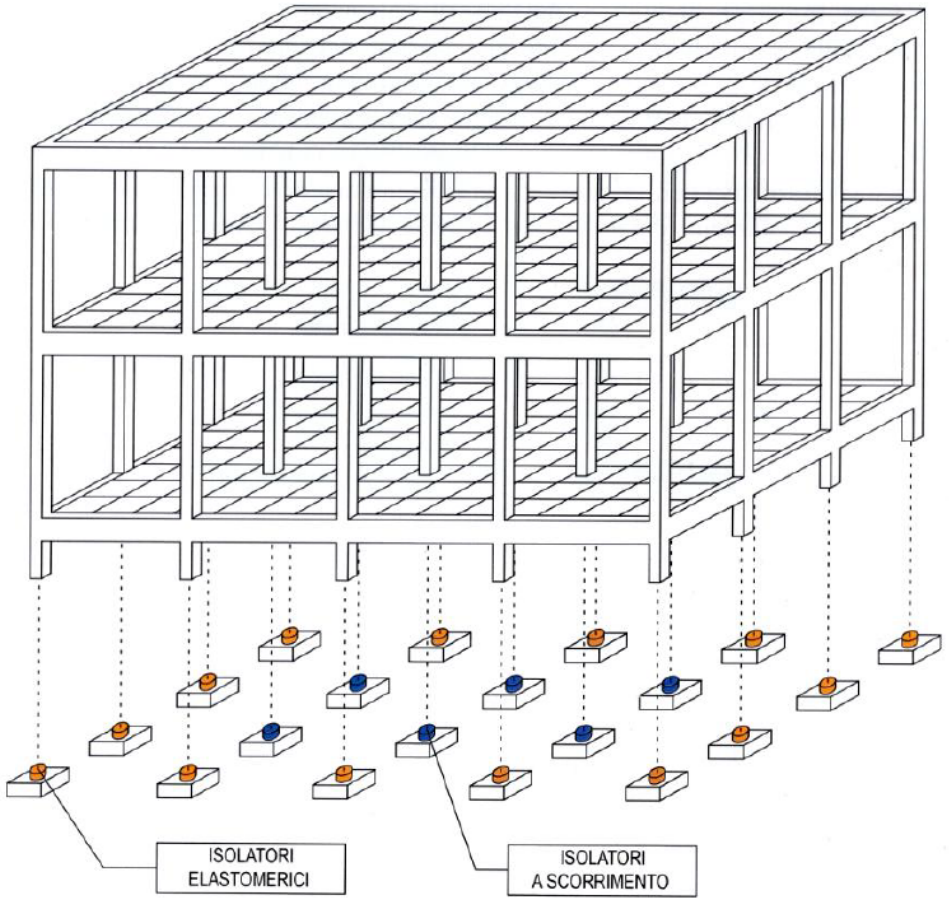
- il coefficiente di smorzamento viscoso x_{esi} riduce ulteriormente lo spettro di risposta ma poiché la dissipazione avviene solo nel dispositivo di protezione, tale abbattimento deve valere solo per un intervallo del periodo fondamentale del sistema di isolamento. Per i moti superiori il rapporto di smorzamento deve essere quello della struttura superiore nella condizione di base fissa.
- Periodo $T<0,8\ T_{is}$



Sistemi di isolamento

- In alcuni casi è necessario utilizzare più tipologie di dispositivi realizzando **sistemi di isolamento**

- Gli elastomeri lungo il perimetro permettono il ricentraggio ed eliminano effetti torsionali. Si riesce anche a ridurre i costi necessari alle prove di qualificazione se si riescono ad utilizzare isolatori elastomerici di uguale diametro

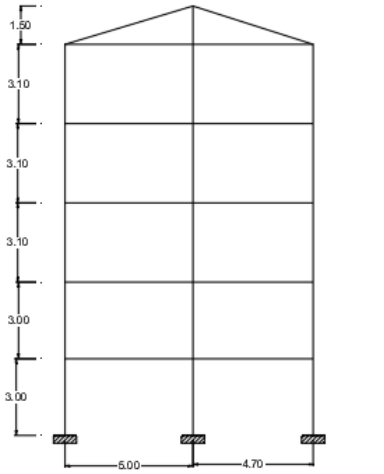


Concezione strutturale dell'edificio Isolato

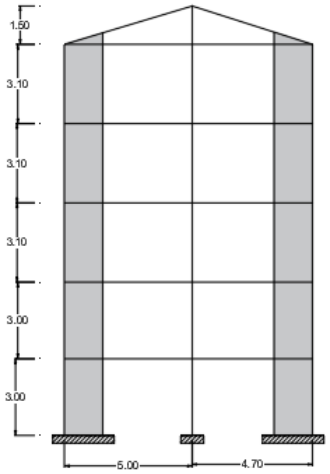
- Opportuno raggiungere un periodo obiettivo 3-5 volte quello della struttura a base fissa
- Comunque cercare di non superare 3 sec. per motivi di spostamento massimo

Appare evidente come i migliori benefici si hanno quando la struttura a base fissa ha periodi bassi, quindi edifici non troppo alti. Le pareti di taglio presentano periodi più bassi.

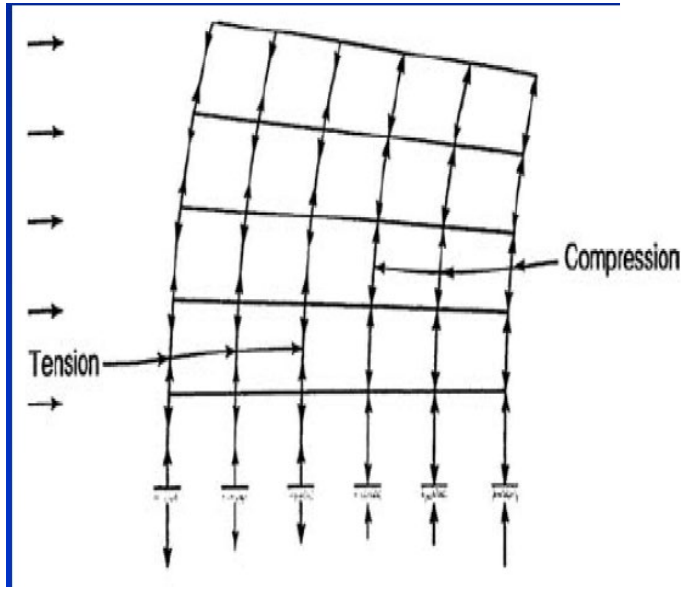
- Attenzione ad edifici snelli che provocano trazioni in alcuni isolatori



Telaio travi-pilastri
Numero di piani max 8-10



Pareti di tagio o controventi
Numero di piani max 12-15

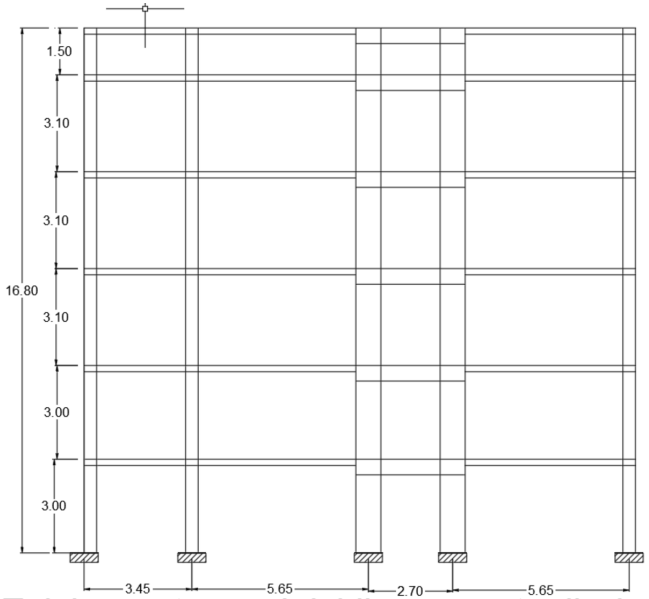


Edifici snelli

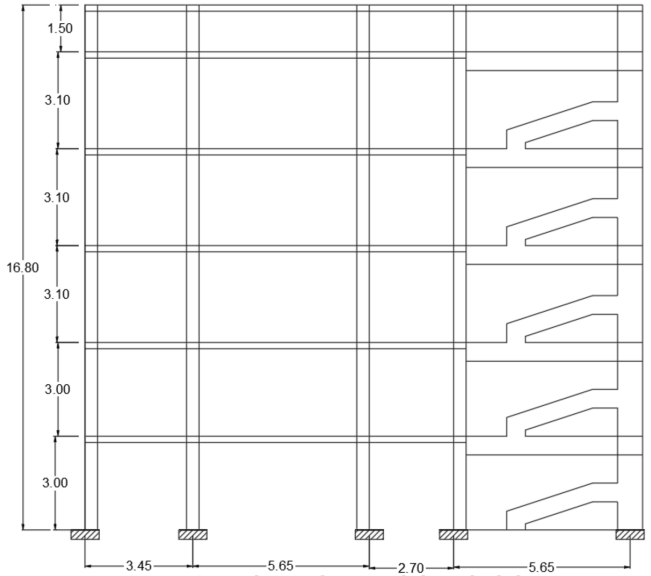
Concezione strutturale dell'edificio Isolato

- Attenzione all'insorgere di sforzi di trazione favoriti da:

- 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.



Telaio con traversi rigidi e campate dissimili



travi a ginocchio rigide

Concezione strutturale dell'edificio Isolato

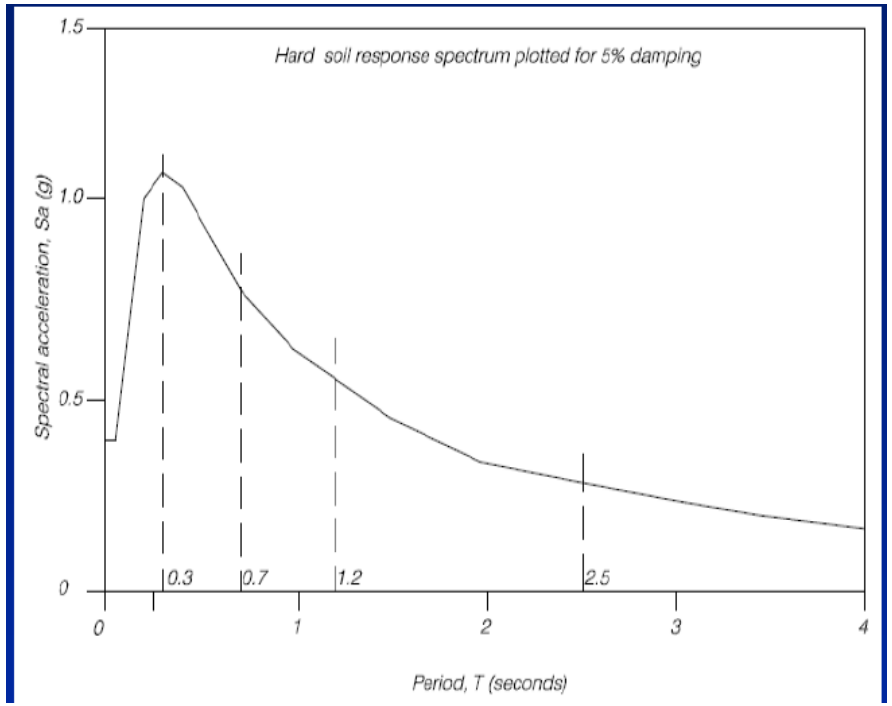
Occorre evitare gli sforzi di trazione eventualmente tramite:

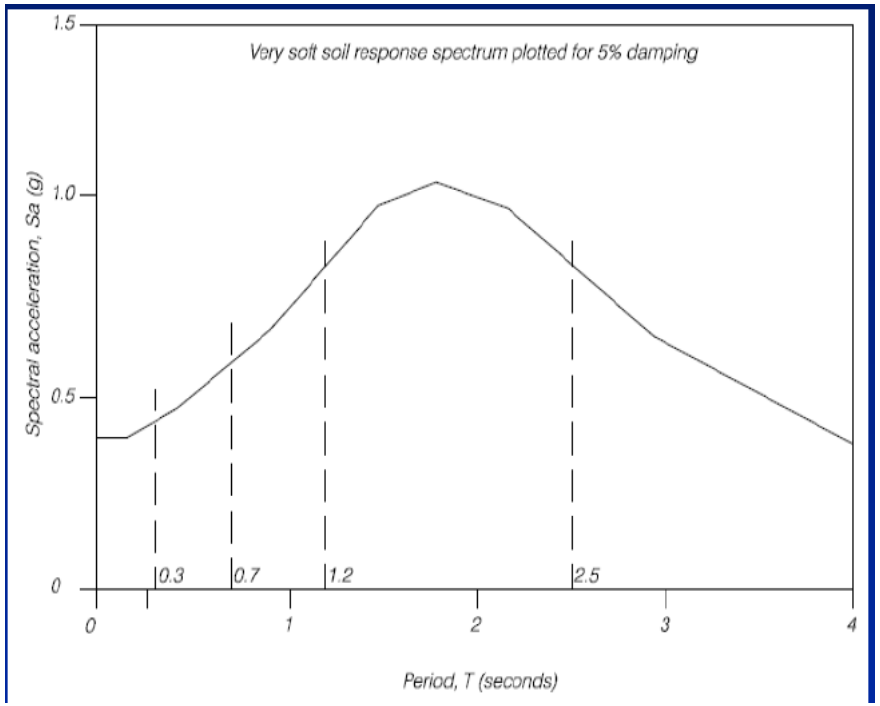
- **uso di catene (adatte a resistere a elevati sforzi di trazione)**
- **variare gli interassi della maglia strutturale in modo che N>0 sugli isolatori (D.M. 14.01.2008. pto. 7.10.4.2)**
- **Limitare gli sforzi di trazione nel rispetto delle NTC 2018 pto7.10.4.2**

Per evitare o limitare azioni di trazione nei dispositivi, gli interassi della maglia strutturale devono essere scelti in modo tale che il carico verticale "V" di progetto agente sul singolo isolatore sotto le azioni sismiche e quelle concomitanti risulti essere di compressione o, al più, nullo ($V \geq 0$). Nel caso in cui dall'analisi risultasse $V < 0$, occorre che la tensione di trazione sia in modulo inferiore al minore tra 2G (G modulo di taglio del materiale elastomerico) e 1 MPa, negli isolatori elastomerici, oppure, per i dispositivi di altro tipo, dimostrare, attraverso adeguate prove sperimentali, che il dispositivo è in grado di sostenere tale condizione, oppure predisporre opportuni vincoli in grado di assorbire integralmente la trazione.

Concezione strutturale dell'edificio Isolato

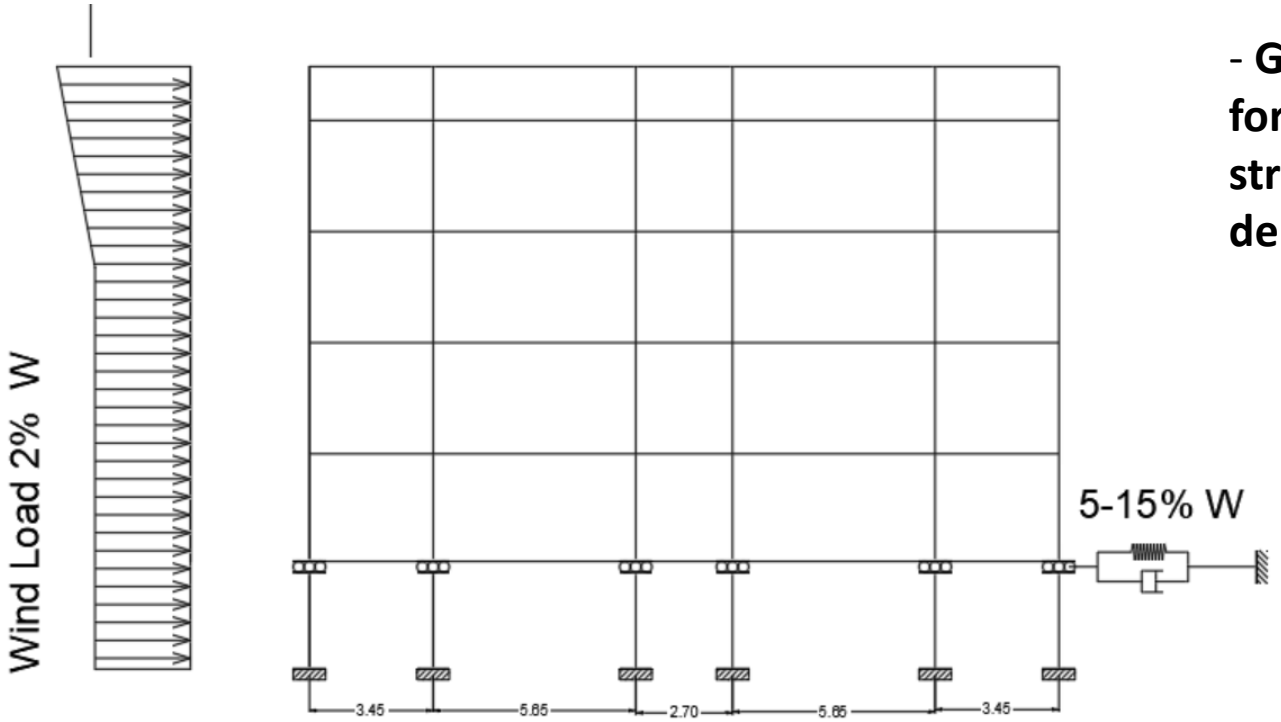
Occorre prestare particolare attenzione allo spettro di sito in caso di Risposta Sismica Locale:
Aumentando il periodo si rischia di amplificare le azioni. Spessori di terreni deformabili per decine o centinaia di metri con sorgente molto profonta





Concezione strutturale dell'edificio Isolato

- La rigidezza deve aumentare al diminuire delle azioni orizzontali in modo che non ci siano vibrazioni continue per azioni di esercizio (vento ed altro)



- **Gli isolatori sono progettati per resistere a forze variabili dal 5 al 15 % del peso della struttura. Se il carico di esercizio supera il 10% del peso entrerebbero in funzione gli isolatori**.

Analisi dinamica lineare:procedure operative isolatori elastomerici

1 Analisi dei carichi → **2** Pre-dimensionamento della struttura → **3** Analisi modale B.F. → **4** $T'_{is} = 3T_{BF}$ → **5** $K'_{esi} = M \Big/ \left(\frac{T'_{is}}{2\pi}\right)^2$ → **6** $\xi = x\ \%$ → **7** Isolatori dello stesso tipo → **8** Catalogo: $K''_{esi} < K'_{esi}$ → **9** Analisi modale B.I.

Primi tre modi accoppiati?

SI → Analisi dinamica con spettro ; **NO** → Inserire alcune slitte per minimizzare l'eccentricità C.M. – C.R. → **Ritorno al punto 8**

Isolatori in trazione?

SI → Modificare maglia strutturale → **Ritorno al punto 2** ; **NO** → SLC: d_2

Catalogo: d2 < dlim?

SI → SLV^{sisma}: N_{max} ; **NO** → Aumentare dimensioni isolatore → ***Catalogo: K''esi < K'esi ?***

- **SI** → **Ritorno al punto 9**
- **NO** → Aumentare ξ → **Ritorno al punto 6**

Catalogo: Nmax < Nlim?

SI → SLD: $\Delta_{interpiano}$; **NO** → Aumentare dimensioni isolatore → ***Catalogo: K''esi < K'esi ?***

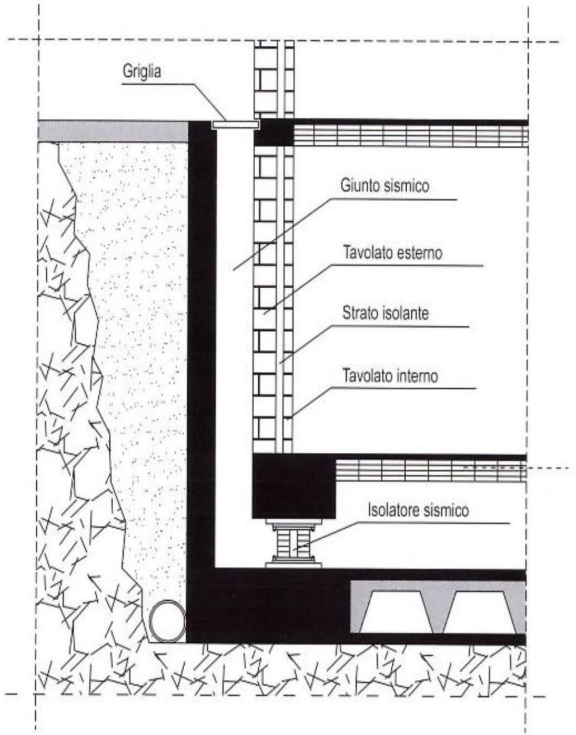
- **SI** → **Ritorno al punto 9**
- **NO** → Aumentare ξ → **Ritorno al punto 6**

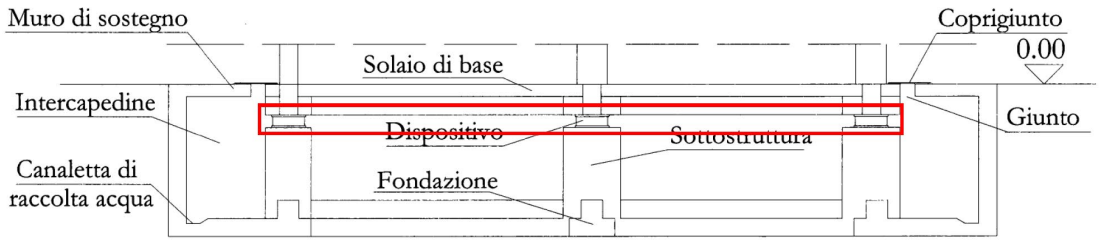
Δinterpiano < Δ lim ?

SI → Verifiche strutturali ; **NO** → Aumentare ξ → **Ritorno al punto 6**

Concezione strutturale dell'edificio Isolato

- Occorre studiare i particolari costruttivi opportunamente studiati e prestar attenzione a rendere facilmente sostituibili gli isolatori

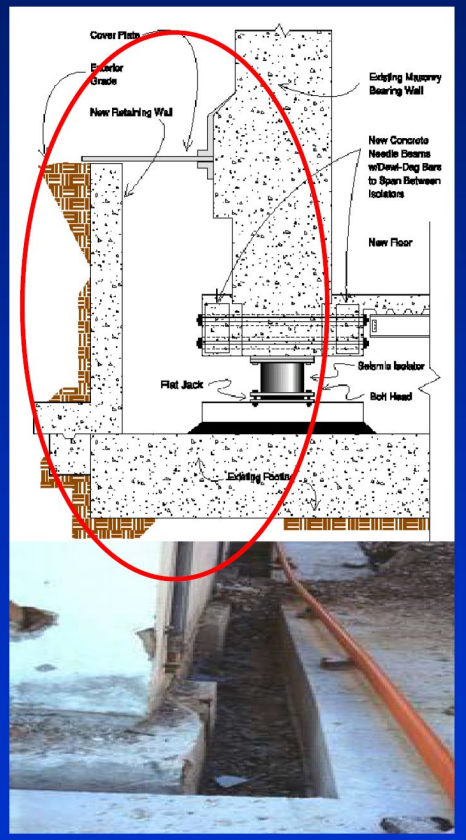




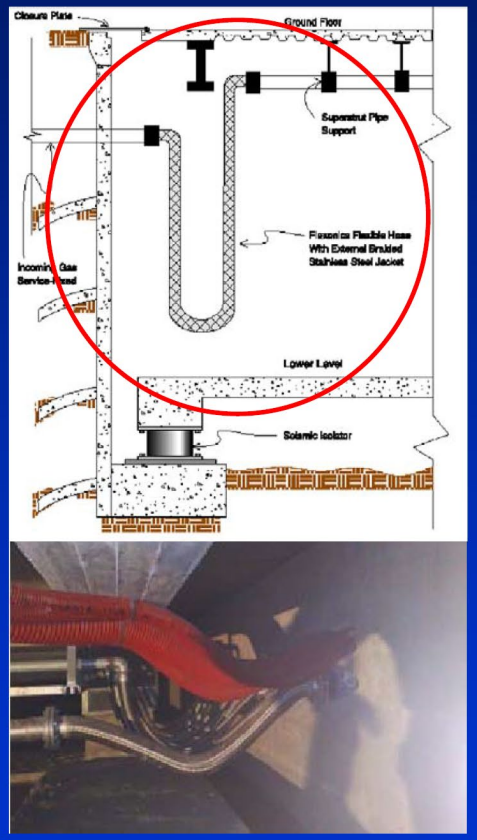
Concezione strutturale dell'edificio Isolato

- Occorre studiare i particolari costruttivi opportunamente studiati e prestar attenzione a rendere facilmente sostituibili gli isolatori

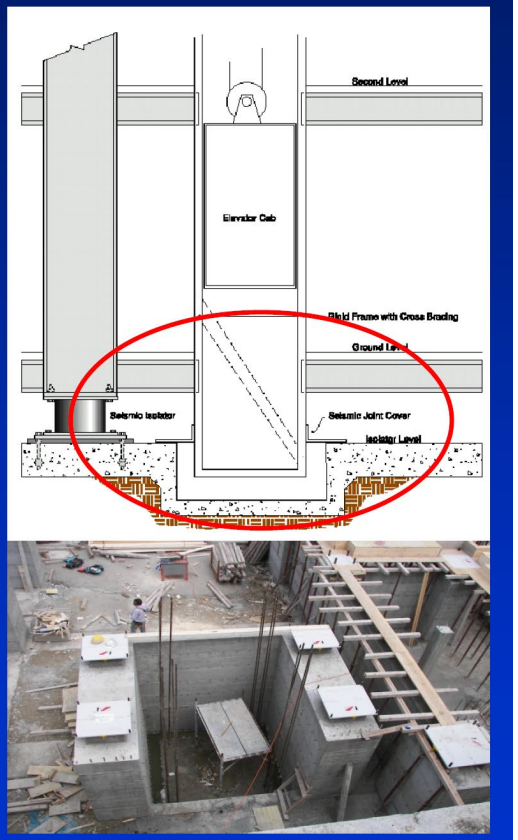
Giunto strutturale esterno



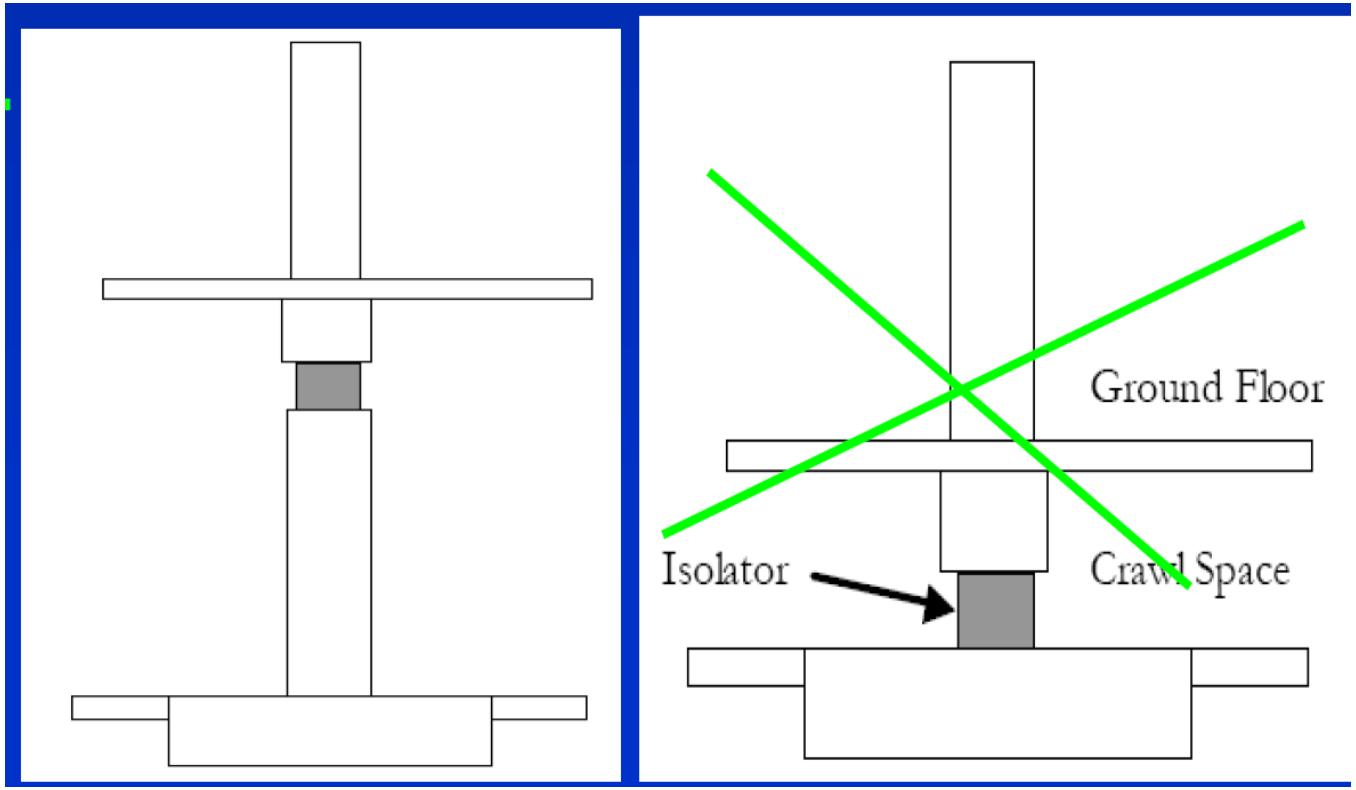
Tubi flessibili per impianti

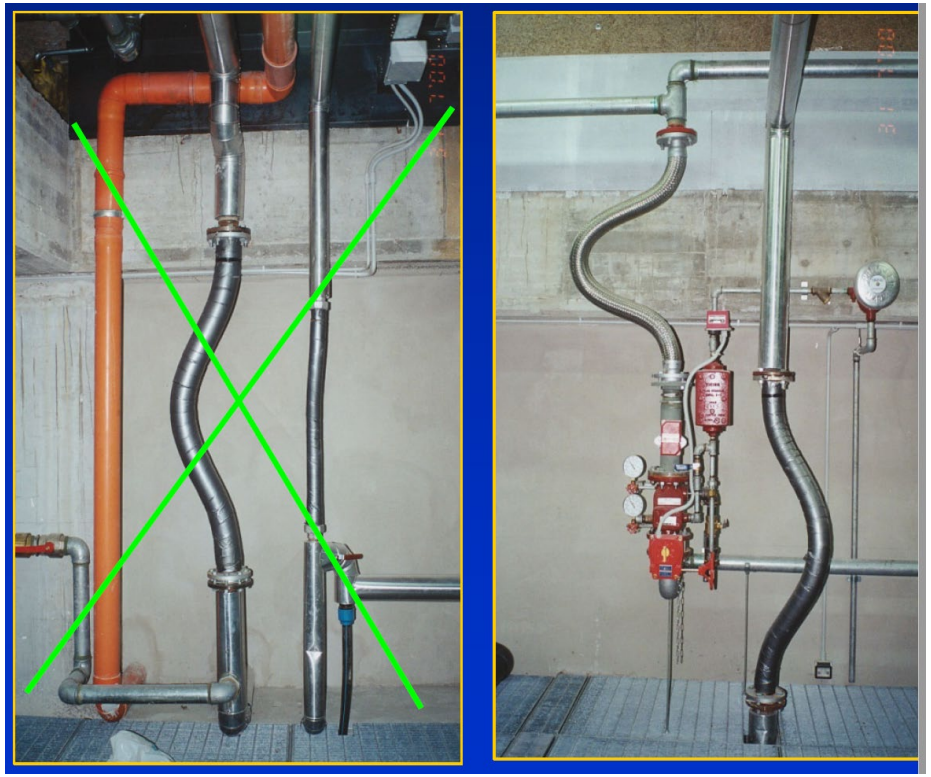


Particolare ascensore con giunto alla base



Concezione strutturale dell'edificio Isolato





Concezione strutturale dell'edificio Isolato







Concezione strutturale dell'edificio Isolato

Aspetti tecnologici: Alloggiamento isolatori e loro collegamento alla struttura concepiti per garantire ispezionabilità e sostituibilità.

Diaframmi rigidi: Le strutture del piano di posa degli isolatori e del piano su cui appoggia la sovrastruttura devono essere dimensionate in modo da assicurare un comportamento rigido nel piano suddetto. Condizione soddisfatta se un solaio in c.a. oppure un grigliato di travi è presente sia al di sopra che al di sotto del sistema di isolamento

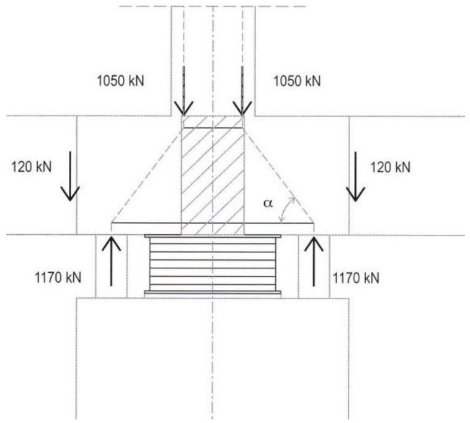
Resistenza: Baggioli progettati per rispondere in campo rigorosamente elastico.

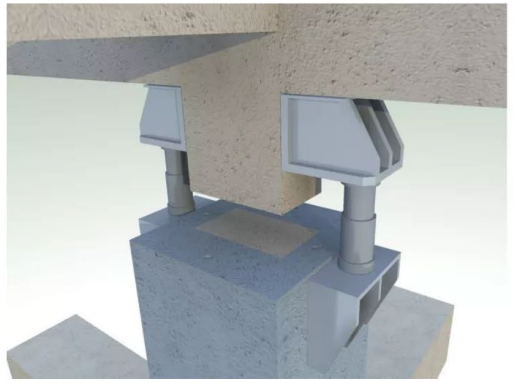
Deformabilità: Spostamento orizzontale baggioli ≤ 1/20 spostamento relativo sistema di isolamento
In rigidezza: $K_{bag} \geq 20 \cdot K_{iso}$

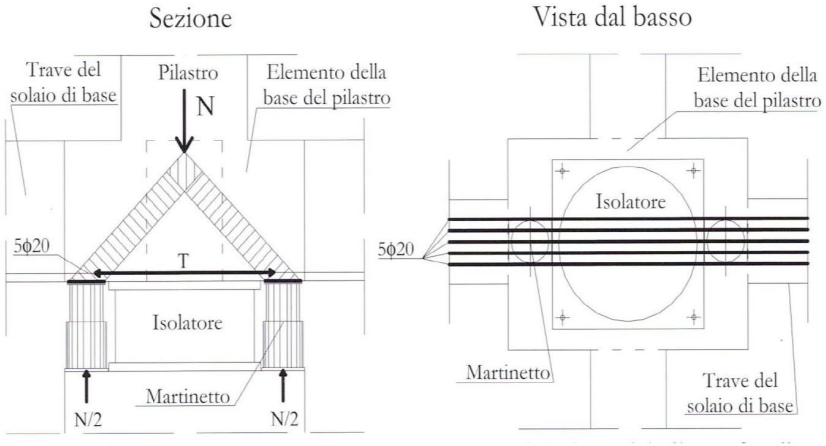
Rigidezza da schema a mensola: $$K_{bag} = \frac{3 \cdot E \cdot \left(\frac{bh^3}{12}\right)}{l^3} \gg 20 \cdot K_{iso}$$

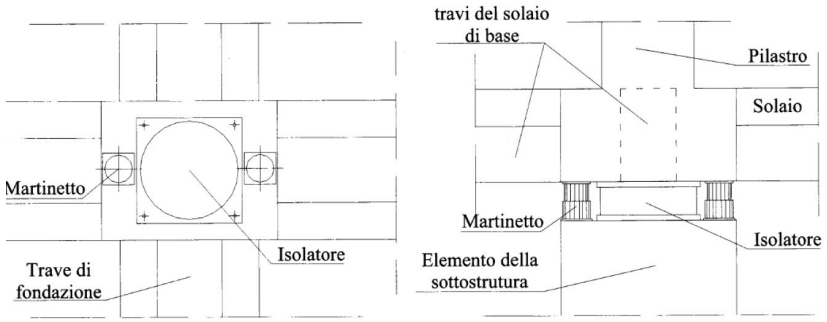
Dimensioni baggioli generalmente sovrabbondanti (dimensioni aumentate per alloggiamento martinetti)

Concezione strutturale dell'edificio Isolato-Verifica condizioni sollevamento per sostituzione isolatori











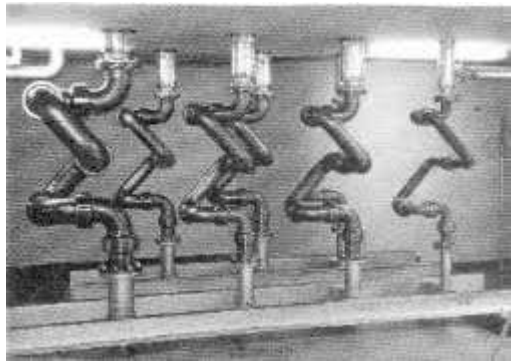
Concezione strutturale dell'edificio Isolato-Impianti

Devono assorbire gli spostamenti allo SL di progetto senza danni né limitazioni di uso

SLD: condutture in corrispondenza dei giunti (valutare opportunità se SLV)

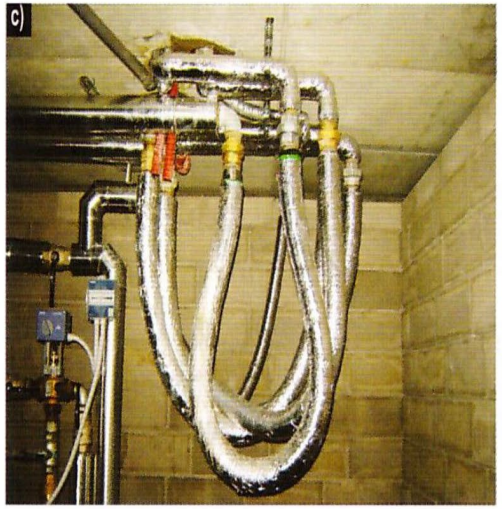
SLV: edifici classe IV (edifici con funzioni pubbliche o strategiche importanti)

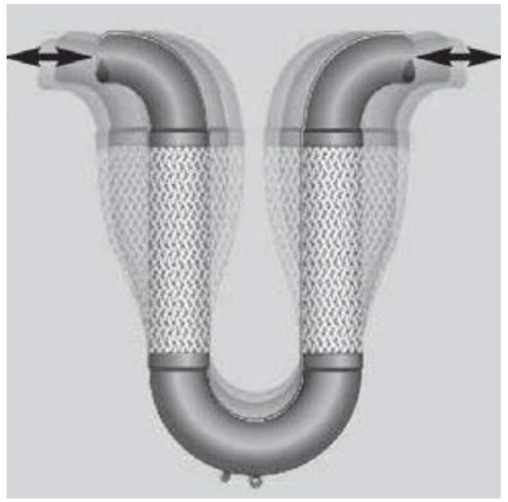
SLC: impianti pericolosi (gas)



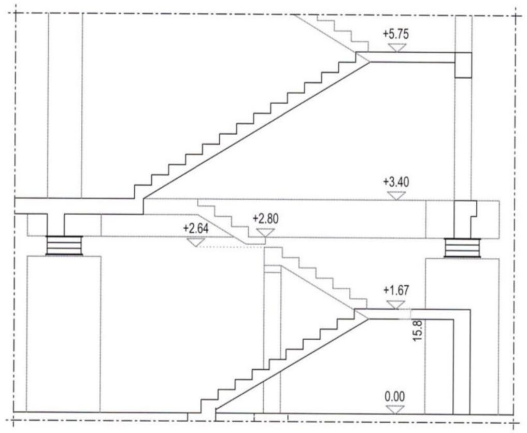
Giappone

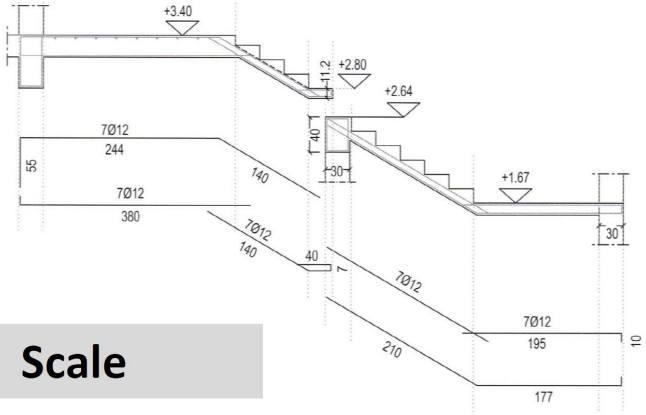




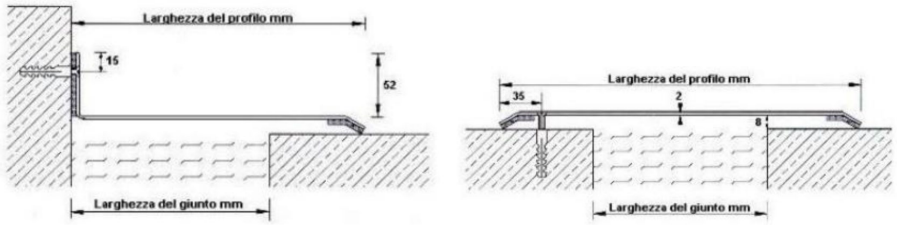


Concezione strutturale dell'edificio Isolato-Scale giunti coprigiunti



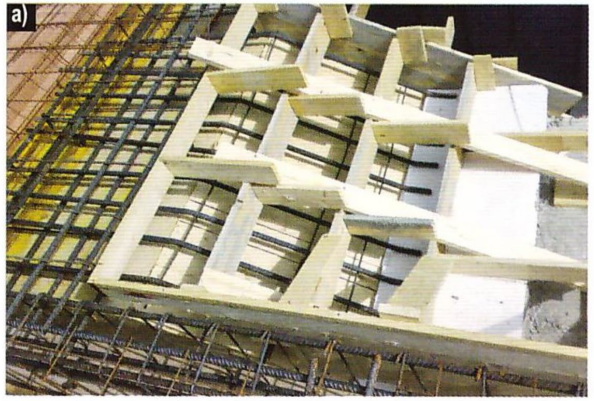


Scale









MITIGAZIONE DEL RISCHIO SISMICO CON DISPOSITIVI D'ISOLAMENTO:

NORMATIVA

7.10. COSTRUZIONI CON ISOLAMENTO E/O DISSIPAZIONE

7.10.2. REQUISITI GENERALI E CRITERI PER IL LORO SODDISFACIMENTO

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

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

Fanno parte integrante del sistema d'isolamento gli elementi di connessione, nonché eventuali vincoli supplementari disposti per limitare gli spostamenti orizzontali dovuti ad azioni non sismiche (ad es. vento).

Detta "interfaccia d'isolamento" la superficie di separazione sulla quale è attivo il sistema d'isolamento, si definiscono:

- "sottostruttura", la parte della struttura posta al di sotto dell'interfaccia del sistema d'isolamento e che include le fondazioni, avente in genere deformabilità orizzontale trascurabile e soggetta direttamente agli spostamenti imposti dal movimento sismico del terreno;
- "sovrastruttura", la parte della struttura posta al di sopra dell'interfaccia d'isolamento e, perciò, isolata.

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

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

7.10.4. INDICAZIONI PROGETTUALI

7.10.4.1 INDICAZIONI RIGUARDANTI I DISPOSITIVI

L'alloggiamento dei dispositivi d'isolamento e di dissipazione ed il loro collegamento alla struttura devono essere concepiti in modo da assicurarne l'accesso e rendere i dispositivi stessi ispezionabili e sostituibili. È necessario anche prevedere adeguati sistemi di contrasto, idonei a consentire l'eventuale ricentraggio dei dispositivi qualora, a seguito di un sisma, si possano avere spostamenti residui incompatibili con la funzionalità della costruzione e/o con il corretto comportamento del sistema d'isolamento.

Ove necessario, i dispositivi devono essere protetti da possibili effetti derivanti da attacchi del fuoco, chimici o biologici. In alternativa, occorre prevedere dispositivi che, in caso di distruzione degli isolatori, siano idonei a trasferire il carico verticale alla sottostruttura.

7.10.4.2 CONTROLLO DI MOVIMENTI INDESIDERATI

Per minimizzare gli effetti torsionali, la proiezione del centro di massa della sovrastruttura sul piano degli isolatori ed il centro di rigidezza dei dispositivi o, nel caso di sottostruttura flessibile, il centro di rigidezza del sistema sottostruttura-isolamento devono essere, per quanto possibile, coincidenti. Inoltre, nei casi in cui il sistema di isolamento affidi a pochi dispositivi le sue capacità dissipative e ricentranti rispetto alle azioni orizzontali, occorre che tali dispositivi siano, per quanto possibile, disposti in maniera da minimizzare gli effetti torsionali (ad esempio perimetralmente) e siano in numero staticamente ridondante. Nel caso dei ponti, si potranno trascurare gli effetti dell'eccentricità accidentale delle masse.

Per minimizzare le differenze di comportamento dei dispositivi, le tensioni di compressione a cui lavorano devono essere per quanto possibile uniformi. Nel caso di sistemi d'isolamento che utilizzino dispositivi di diverso tipo, particolare attenzione deve essere posta sui possibili effetti della differente deformabilità verticale sotto le azioni sia statiche che sismiche.

Per evitare o limitare azioni di trazione nei dispositivi, gli interassi della maglia strutturale devono essere scelti in modo tale che il carico verticale "V" di progetto agente sul singolo isolatore sotto le azioni sismiche e quelle concomitanti risulti essere di compressione o, al più, nullo ($V \geq 0$). Nel caso in cui dall'analisi risultasse $V < 0$, occorre che la tensione di trazione sia in modulo inferiore al minore tra 2G (G modulo di taglio del materiale elastomerico) e 1 MPa, negli isolatori elastomerici, oppure, per i dispositivi di altro tipo, dimostrare, attraverso adeguate prove sperimentali, che il dispositivo è in grado di sostenere tale condizione, oppure predisporre opportuni vincoli in grado di assorbire integralmente la trazione.

7.10.4.3 CONTROLLO DEGLI SPOSTAMENTI SISMICI DIFFERENZIALI DEL TERRENO

Negli edifici, sia le strutture del piano di posa dei dispositivi sia le strutture del piano da cui spicca la sovrastruttura devono essere dimensionate in modo da assicurare un comportamento rigido nel piano suddetto, così da limitare gli effetti di spostamenti sismici differenziali. Altrimenti la variabilità spaziale del moto del terreno deve essere messa in conto secondo quanto specificato nel § 3.2.4.

La condizione precedente si considera soddisfatta se un diaframma rigido costituito da un solaio in c.a., oppure da una griglia di travi progettata tenendo conto di possibili fenomeni di instabilità, è presente sia al di sopra sia al di sotto del sistema di isolamento e se i dispositivi del sistema di isolamento sono fissati ad entrambi i diaframmi o direttamente o attraverso elementi verticali il cui spostamento orizzontale in condizioni sismiche sia minore di 1/20 dello spostamento relativo del sistema di isolamento. Tali elementi devono essere progettati per rispondere in campo rigorosamente elastico, tenendo anche conto della maggiore affidabilità richiesta ai dispositivi di isolamento e dissipazione.

7.10.4.4 CONTROLLO DEGLI SPOSTAMENTI RELATIVI AL TERRENO E ALLE COSTRUZIONI CIRCOSTANTI

Adeguato spazio deve essere previsto tra la sovrastruttura isolata e il terreno o le costruzioni circostanti, per consentire liberamente gli spostamenti sismici in tutte le direzioni. Per i ponti, i giunti di separazione tra le diverse porzioni di impalcato e tra l'impalcato e la sottostruttura devono essere dimensionati in modo da permettere il corretto funzionamento del sistema d'isolamento, senza impedimenti al libero spostamento delle parti isolate.

Occorre anche attuare adeguati accorgimenti affinché l'eventuale malfunzionamento delle connessioni a cavallo dei giunti non possa compromettere l'efficienza dell'isolamento.

7.10.5.2 MODELLAZIONE

La sovrastruttura e la sottostruttura devono essere modellate come sistemi a comportamento elastico lineare aventi rigidezza corrispondente al comportamento strutturale non dissipativo. Il sistema di isolamento può essere modellato, in relazione alle sue caratteristiche meccaniche, come avente comportamento visco-elastico lineare oppure con legame costitutivo non lineare. La deformabilità verticale degli isolatori dovrà essere messa in conto quando il rapporto tra la rigidezza verticale del sistema di isolamento K_V e la rigidezza equivalente orizzontale K_{esi} è inferiore a 800.

Se è utilizzato un modello lineare, si deve adottare una rigidezza equivalente riferita allo spostamento totale di progetto per lo stato limite in esame di ciascun dispositivo facente parte del sistema di isolamento. La rigidezza totale equivalente del sistema di isolamento, K_{esi}, è pari alla somma delle rigidezze equivalenti dei singoli dispositivi. L'energia dissipata dal sistema d'isolamento deve essere espressa in termini di coefficiente di smorzamento viscoso equivalente del sistema d'isolamento ξ_{esi}, valutato con riferimento all'energia dissipata dal sistema di isolamento in cicli con frequenza nell'intervallo delle frequenze naturali dei modi considerati. Per i modi superiori della struttura, al di fuori di tale intervallo, il rapporto di smorzamento del modello completo deve essere quello della sovrastruttura nella condizione di base fissa.

Quando la rigidezza e/o lo smorzamento equivalenti del sistema di isolamento dipendono significativamente dallo spostamento di progetto, deve applicarsi una procedura iterativa fino a che la differenza tra il valore assunto e quello calcolato non sia inferiore al 5%.

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

a) la rigidezza equivalente del sistema d'isolamento è almeno pari al 50% della rigidezza secante per cicli con spostamento pari al 20% dello spostamento di riferimento;

b) lo smorzamento lineare equivalente del sistema di isolamento, come definito in precedenza, è inferiore al 30%;

c) le caratteristiche forza-spostamento del sistema d'isolamento non variano di più del 10% per effetto di variazioni della velocità di deformazione in un campo del ±30% intorno al valore di progetto, e dell'azione verticale sui dispositivi, nel campo di variabilità di progetto;

d) l'incremento della forza nel sistema d'isolamento per spostamenti tra 0,5 d_c e d_{dc}, essendo d_{dc} lo spostamento del centro di rigidezza dovuto all'azione sismica, è almeno pari al 2,5% del peso totale della sovrastruttura.

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

Se ritenuta rilevante ai fini della risposta sismica della struttura isolata, è opportuno tenere in conto l'eventuale interazione terreno-struttura come indicato al § 7.9.3.1.

7.10.5.3.2 Analisi lineare dinamica

Per le costruzioni con isolamento alla base l'analisi dinamica lineare è ammessa quando risulta possibile modellare elasticamente il comportamento del sistema di isolamento, nel rispetto delle condizioni di cui al § 7.10.5.2. Per il sistema complessivo, formato dalla sottostruttura, dal sistema d'isolamento e dalla sovrastruttura, si assume un comportamento elastico lineare. Qualora il sistema di isolamento non sia immediatamente al di sopra delle fondazioni, il modello deve comprendere sia la sovrastruttura sia la sottostruttura, a meno che la sottostruttura non sia assimilabile ad una struttura scatolare rigida come definita al § 7.2.1. L'analisi può essere svolta mediante analisi modale con spettro di risposta o mediante integrazione al passo delle equazioni del moto, eventualmente previo disaccoppiamento modale, considerando un numero di modi tale da portare in conto anche un'aliquota significativa della massa della sottostruttura, se inclusa nel modello.

Nel caso si adotti l'analisi modale con spettro di risposta, questa deve essere svolta secondo quanto specificato in § 7.3.3.1, salvo diverse indicazioni fornite nel presente paragrafo. Le due componenti orizzontali dell'azione sismica si considerano in generale agenti simultaneamente, adottando, ai fini della combinazione degli effetti, le regole riportate in § 7.3.3.1. La componente verticale deve essere messa in conto nei casi previsti in § 7.2.2 e, in ogni caso, quando il rapporto tra la rigidezza verticale del sistema di isolamento K_V e la rigidezza equivalente orizzontale K_{esi} risulti inferiore a 800. In tali casi si avrà cura che la massa eccitata dai modi in direzione verticale considerati nell'analisi sia significativa.

Lo spettro elastico definito in § 3.2.3.2 va ridotto per tutto il campo di periodi $T \geq 0{,}8\ T_{is}$, assumendo per il coefficiente riduttivo η il valore corrispondente al coefficiente di smorzamento viscoso equivalente ξ_{esi} del sistema di isolamento.

Nel caso di analisi lineare con integrazione al passo, la messa in conto del corretto valore del coefficiente di smorzamento viscoso equivalente ξ si ottiene, quando si opera sulle singole equazioni modali disaccoppiate, assegnando a ciascuna equazione il corrispondente valore modale di ξ o, quando si opera sul sistema completo, definendo in maniera appropriata la matrice di smorzamento del sistema.

7.10.6. VERIFICHE

7.10.6.1 VERIFICHE DEGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO

Il livello di protezione richiesto per la sottostruttura e le fondazioni nei confronti dello *SLD* è da ritenere conseguito se sono soddisfatte le relative verifiche nei confronti dello *SLV*, di cui al § 7.10.6.2.

La verifica dello *SLD* della sovrastruttura deve essere effettuata controllando che gli spostamenti d'interpiano ottenuti dall'analisi siano inferiori ai 2/3 dei limiti indicati per lo *SLD* nel § 7.3.6.1.

I dispositivi del sistema d'isolamento non devono subire danni che possano comprometterne il funzionamento nelle condizioni di servizio. Tale requisito si ritiene normalmente soddisfatto se sono soddisfatte le verifiche dello *SLV* dei dispositivi. In caso di sistemi a comportamento non lineare, eventuali spostamenti residui al termine dell'azione sismica allo *SLD* devono essere compatibili con la funzionalità della costruzione.

Le eventuali connessioni, strutturali e non, particolarmente quelle degli impianti, fra la struttura isolata e il terreno o le parti di strutture non isolate, devono assorbire gli spostamenti relativi corrispondenti allo *SLD* senza subire alcun danno o limitazione d'uso.

7.10.6.2 VERIFICHE DEGLI STATI LIMITE ULTIMI

Per le costruzioni particolarmente esposte all'azione del vento e per i ponti in generale sarà condotta la verifica dello *SLU* dei dispositivi di isolamento e/o dissipazione di energia sottoposti alle combinazioni inerenti le azioni variabili orizzontali.

7.10.6.2.1 Verifiche dello SLV

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

Gli elementi della sottostruttura devono essere verificati rispetto alle sollecitazioni ottenute direttamente dall'analisi quando il modello include anche la sottostruttura. In caso contrario, essi devono essere verificati rispetto alle sollecitazioni prodotte dalle forze trasmesse dal sistema d'isolamento combinate con le sollecitazioni prodotte dalle accelerazioni di risposta direttamente applicate alla sottostruttura. Nel caso in cui la sottostruttura possa essere assunta infinitamente rigida (periodo proprio inferiore a 0,05s) le forze d'inerzia direttamente applicate ad essa possono essere assunte pari al prodotto delle masse della sottostruttura per l'accelerazione del terreno a_gS. La combinazione delle sollecitazioni deve essere eseguita adottando le regole riportate in § 7.3.5, tenendo in conto gli effetti pseudo-statici indotti dagli spostamenti relativi prodotti dalla variabilità spaziale del moto unicamente nei casi previsti ai §§ 3.2.4.1 e 3.2.4.2.

La domanda sugli elementi strutturali della sovrastruttura e della sottostruttura e sul terreno deve essere valutata, nel caso di analisi lineare, considerando un fattore di comportamento $q \leq 1{,}50$ nel caso degli edifici e $q = 1$ nel caso dei ponti ed adottando le regole di combinazione di cui al § 2.5.3.

7.10.6.2.2 Verifiche dello SLC

I dispositivi del sistema d'isolamento devono essere in grado di sostenere, senza rotture, gli spostamenti d_2, valutati per una azione sismica riferita allo *SLC*. Nel caso di sistemi a comportamento non lineare, allo spostamento ottenuto con l'azione sismica detta occorre aggiungere il maggiore tra lo spostamento residuo allo *SLD* e il 50% dello spostamento corrispondente all'annullamento della forza, seguendo il ramo di scarico a partire dal punto di massimo spostamento raggiunto allo *SLD*.

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

Per i ponti e le costruzioni dotate anche di appoggi mobili devono essere rispettati i requisiti enunciati rispettivamente nei §§ 7.9.5.3.2 e 7.2.1.

I dispositivi di fine corsa, se previsti, devono permettere liberamente gli spostamenti massimi dei dispositivi di isolamento e/o dissipazione di energia e devono essere dimensionati secondo i criteri indicati nel § 7.9.5.3.3. Gli spostamenti massimi sono definiti al primo capoverso del presente paragrafo.

7.10.7. ASPETTI COSTRUTTIVI, MANUTENZIONE, SOSTITUIBILITÀ

Il progetto deve contenere la descrizione delle modalità di messa in opera dei dispositivi ed il relativo piano di manutenzione. I documenti di progetto devono indicare i dettagli, le dimensioni e le prescrizioni sulla qualità, come pure eventuali dispositivi di tipo speciale e le tolleranze concernenti la messa in opera. Elementi di elevata importanza, che richiedano particolari controlli durante le fasi di costruzione e messa in opera, devono essere indicati negli elaborati grafici di progetto, insieme alle procedure di controllo da adottare.

Il piano di qualità deve prevedere, inoltre, la descrizione delle modalità di installazione dei dispositivi durante la fase di costruzione dell'opera da isolare, nonché il programma dei controlli periodici, degli interventi di manutenzione e di sostituzione, durante la vita nominale della struttura, la cui durata deve essere specificata nei documenti di progetto.

Ai fini della qualità della posa in opera, gli isolatori devono essere installati da personale specializzato, sulla base di un disegno planimetrico recante le coordinate e la quota di ciascun dispositivo, l'entità e la preregolazione degli eventuali dispositivi mobili a rotolamento, le dimensioni delle eventuali nicchie predisposte nei getti di calcestruzzo per accogliere staffe o perni di ancoraggio, le caratteristiche delle malte di spianamento e di sigillatura.

11.9.4.1 PROVE DI ACCETTAZIONE SUI DISPOSITIVI

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

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

Qualora il dispositivo abbia caratteristiche costruttive analoghe a quelle di un isolatore elastomerico, geometricamente simile e soggetto ad azione tagliante senza però svolgere funzione portante dei carichi verticali, le prove di accettazione dovranno essere condotte secondo le modalità e numerosità previste per le prove su isolatori elastomerici, ma con la seguente variante:

– caratterizzazione dei dispositivi in assenza di carico iniziale, riproducendo le condizioni di vincolo sulle facce, superiori ed inferiori del dispositivo in opera.