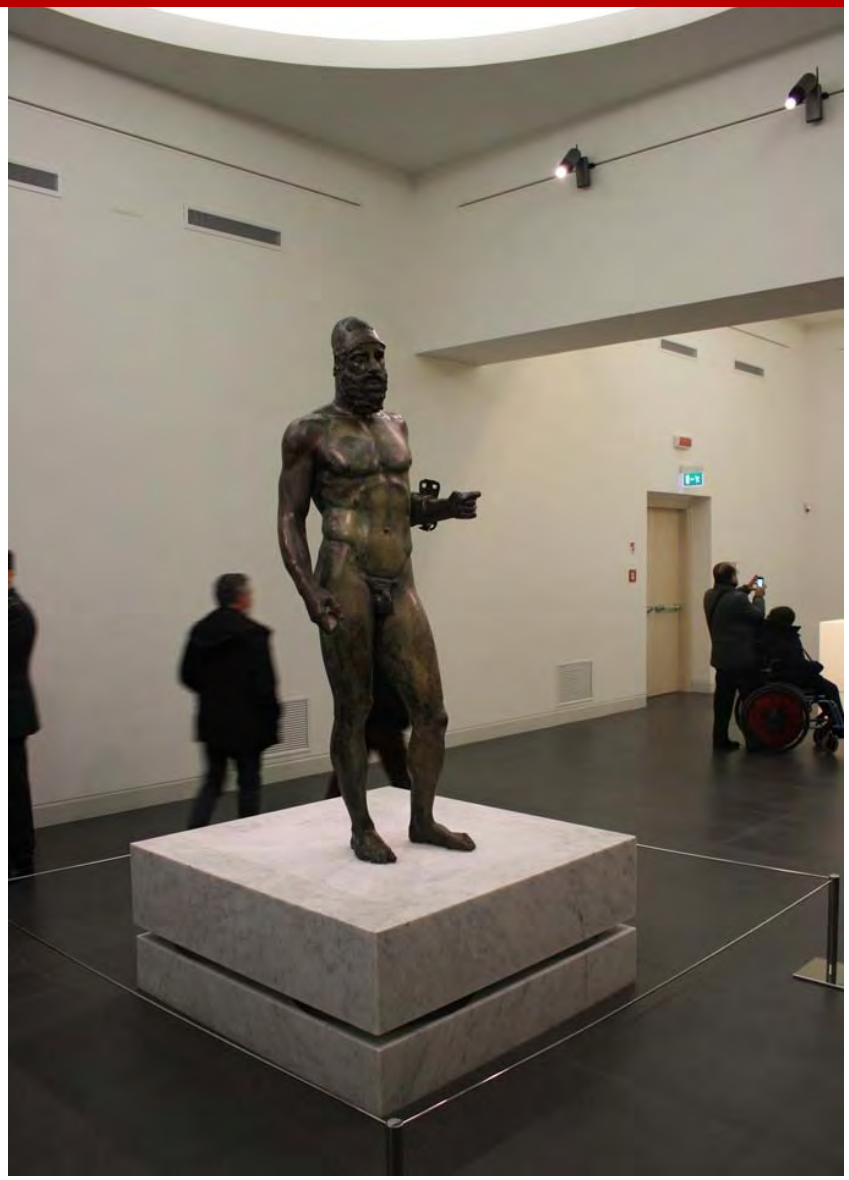
TECNOLOGIE INNOVATIVE DI ISOLAMENTO SISMICO

un cambio di mentalità per la sicurezza non più rinviabile

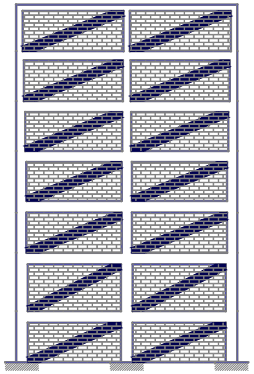
Ascoli Piceno, 22 maggio 2018

L'isolamento sismico: uno strumento per la sicurezza e la riduzione del danno



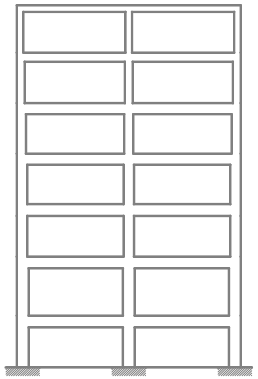
Prof. Ing. Andrea Dall'Asta
Università degli Studi di Camerino
Scuola di Architettura e Design
andrea.dallasta@unicam.it

Edifici a telaio (incluse nuove costruzioni)



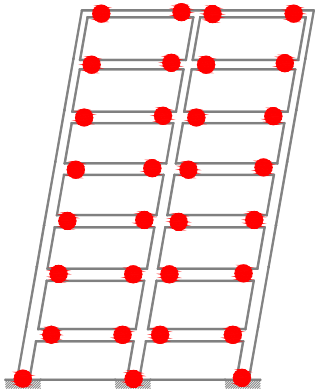
FASE 1 – Edificio integro

Ripartizione azioni tra struttura ed elementi non strutturali



FASE 2 - Danneggiamento elementi non strutturali

Danneggiamento progressivo degli elementi strutturali.
Pericolo di irregolarità di rigidezza in pianta e in elevazione (piano soffice)



FASE 3 – Danneggiamento elementi strutturali

Duttilità legata alla gerarchia delle resistenze

Edifici c.a.

Amatrice
Residenze

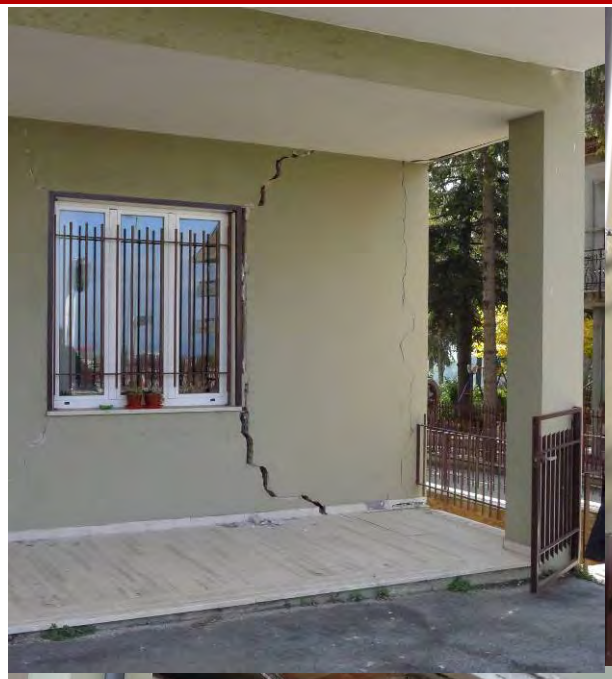
Edifici c.a.

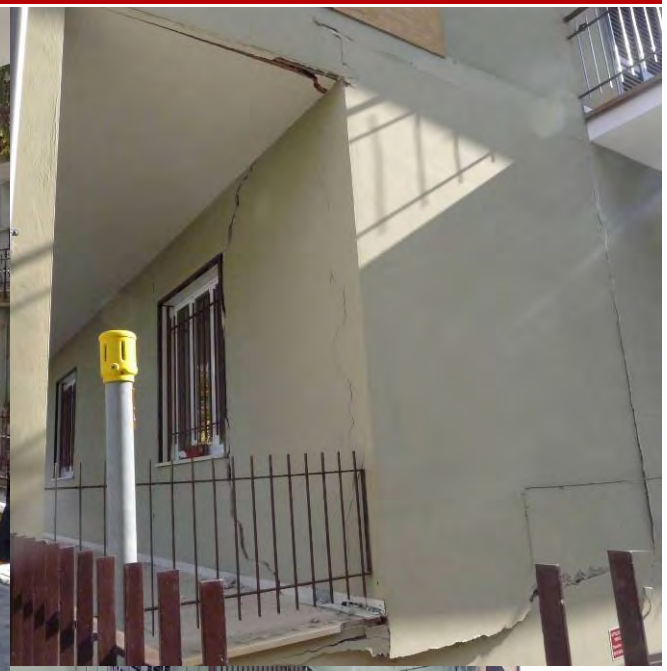
Amatrice
Residenze

Edifici c.a.

Camerino
Collegi e PCMarche

Evento 26 ottobre





Evento 30 ottobre

Edifici c.a.

Amandola
Ospedale

Edifici c.a.

Amandola
Ospedale

Edifici c.a.

Amatrice
Residenze

Moto Sdof interpretezione energetica

Potenza in ingresso
(dipende dal percorso)

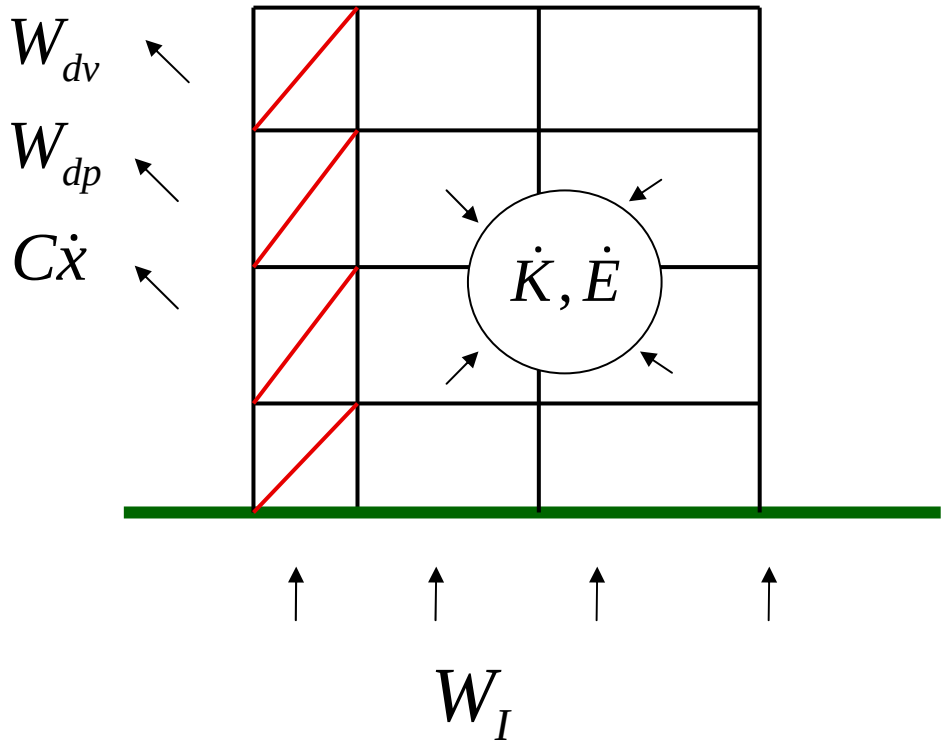
$$W_I$$

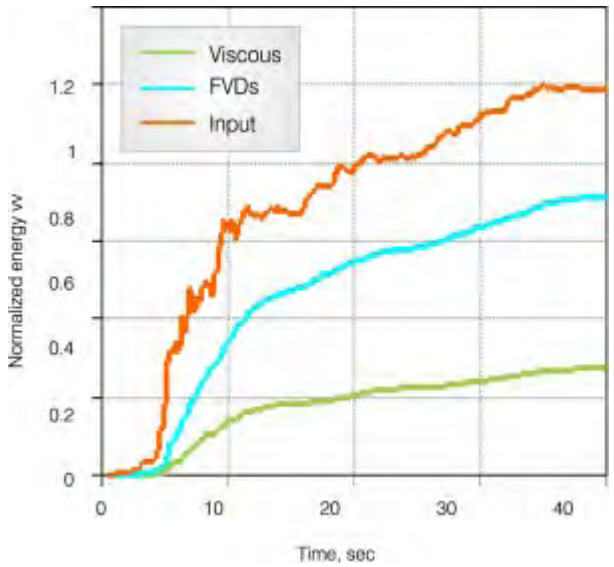
$$\dot{K} + \dot{E}$$

Variazione energia potenziale (sollecitazioni)

$$W_{dv} + W_{dp} + C\dot{x}$$

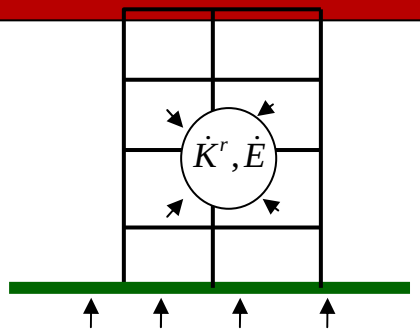
Potenza dissipata



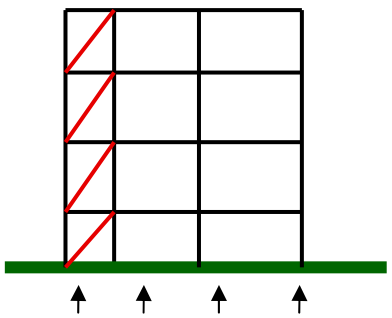


Strategie di protezione sismica

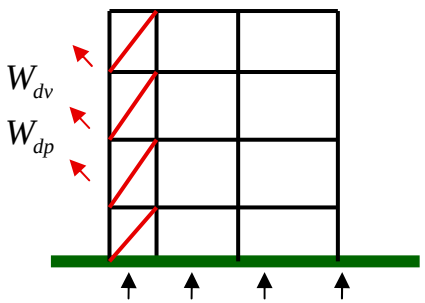
- Incremento prestazioni degli elementi strutturali esistenti



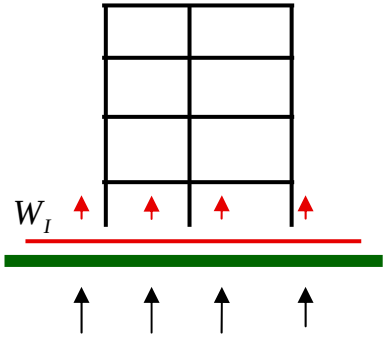
- Inserimento di nuove strutture resistenti



- Inserimento di nuovi componenti dissipativi (diss. isteretica/viscosa)



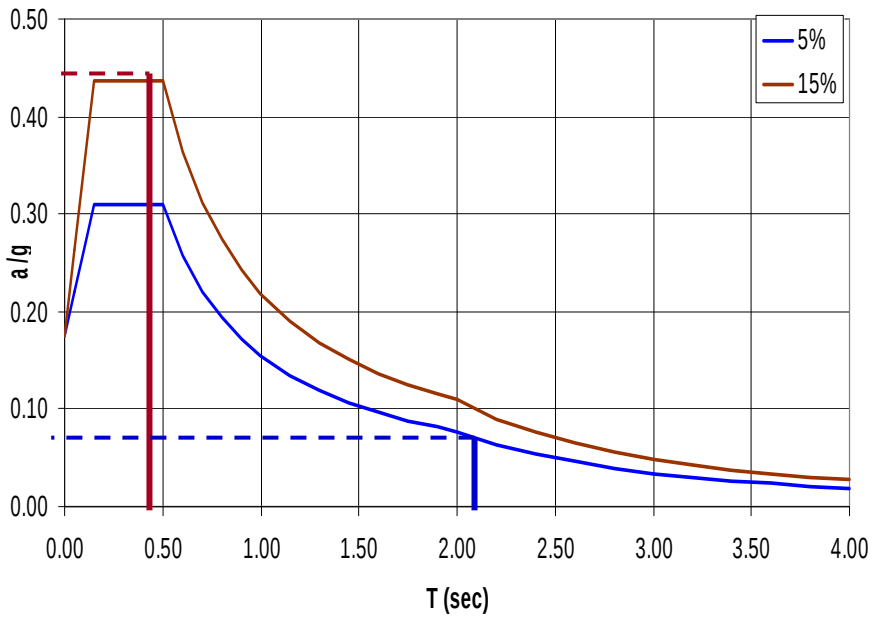
- Riduzione dell'energia in ingresso (isolamento sismico)

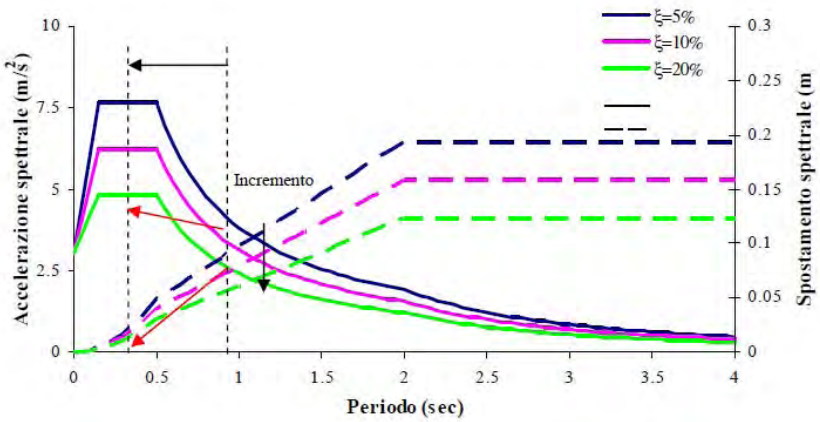


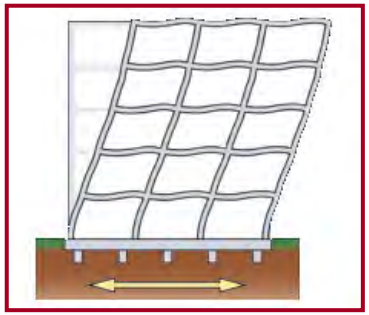
Isolamento Sismico:

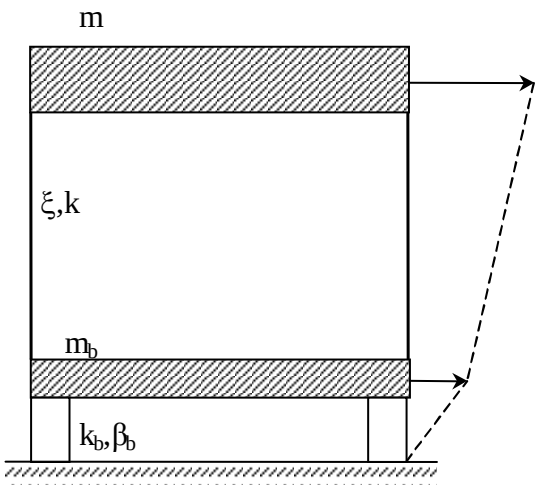
- Aspetti generali
- Dispositivi
- Dimensionamento
- Progettazione

Riduzione forze – incremento spostamenti



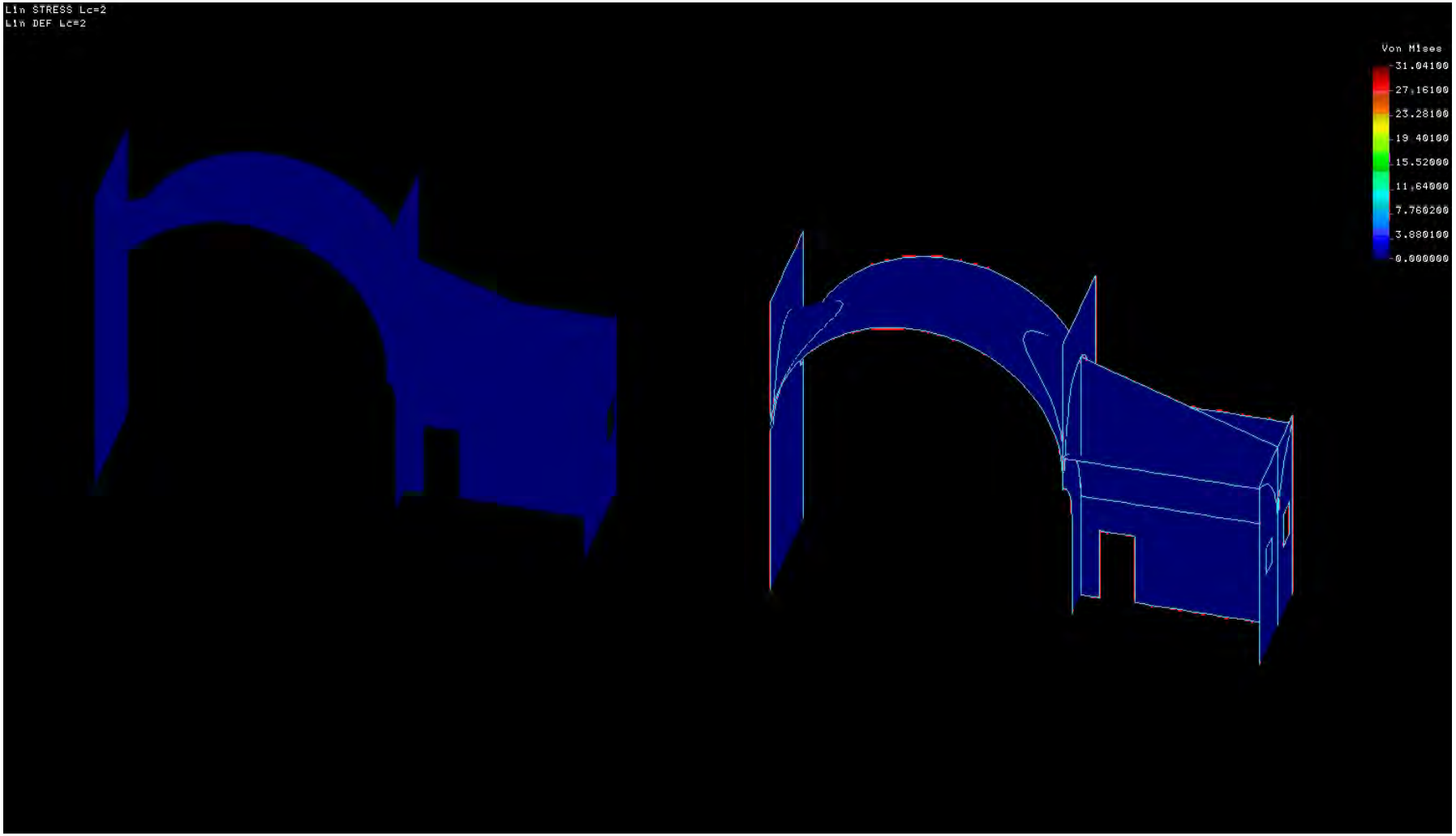






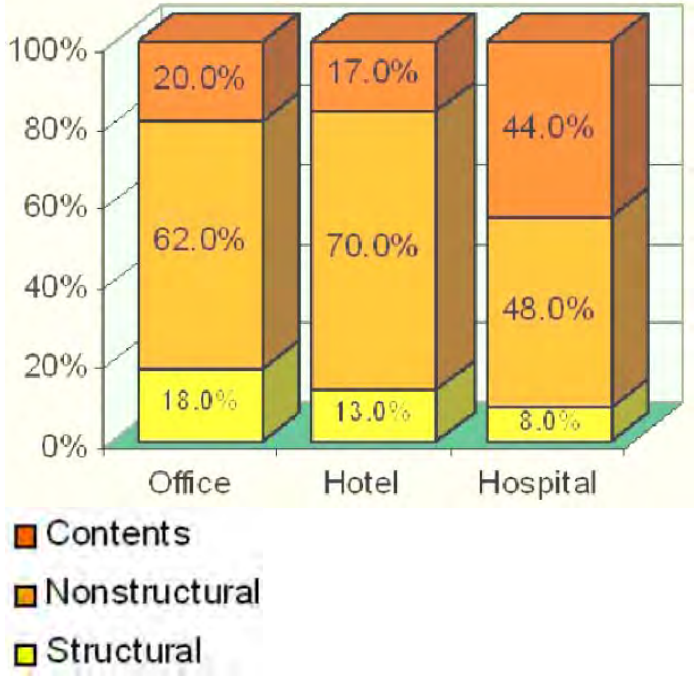
Riduzione accelerazioni assolute

Aumento spostamenti - Riduzione deformazione/tensione



Vantaggi

- Riduzione danneggiamento struttura e contenuto
- Regolarizzazione risposta
  - Irregolarità geometriche/strutturali in pianta (rid. torsione)
- Semplificazioni progettuali
  - Progetto convenzionale sottostrutture (no G.R.)
  - No prescrizioni dettagli costruttivi
- Affidabilità dispositivi (Manutenzione / ispezionabilità /collaudo)
- Possibilità di aggiungere/calibrare dissipazione



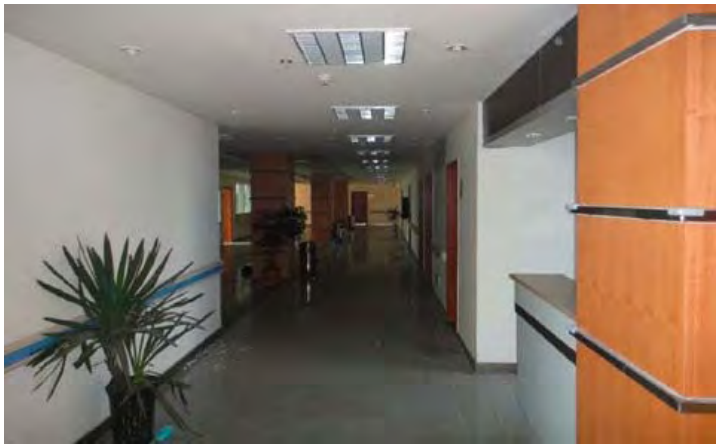
Limiti

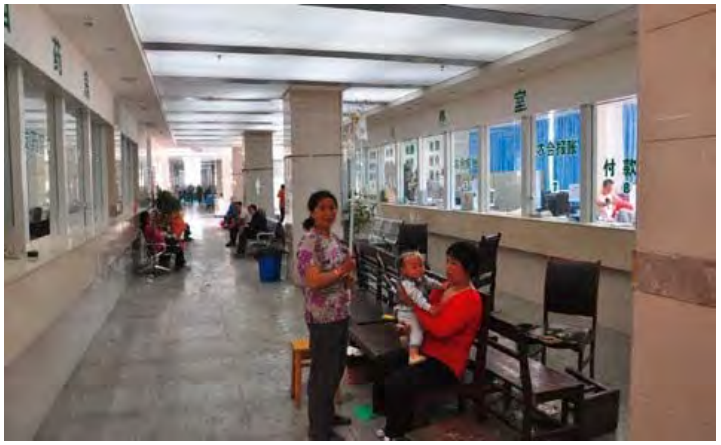
- Applicabile ad edifici separati (o separabili) da quelli vicini
- Efficace per edifici tozzi (over-turning)
- Problemi progettuali con edifici leggeri (acciaio-legno)
- Poco efficace per edifici deformabili (alti)
- Giunti costosi (ponti)
- Compatibilità con caratteristiche del terreno

Lu Shan county hospital

Edifici non isolati

Edificio isolato





Isolamento Sismico:

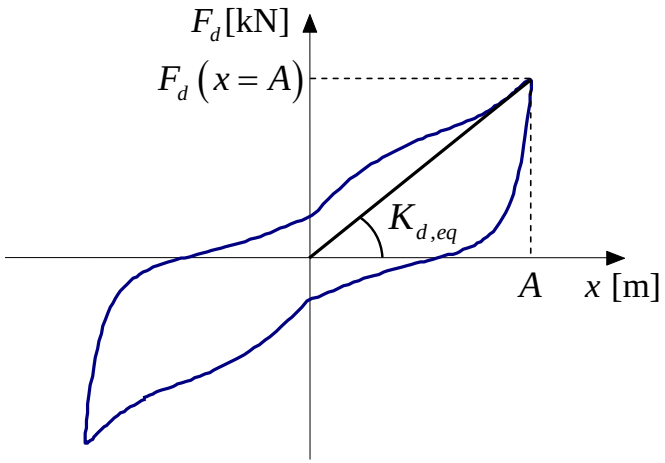
- Aspetti generali
- Dispositivi
- Dimensionamento
- Progettazione

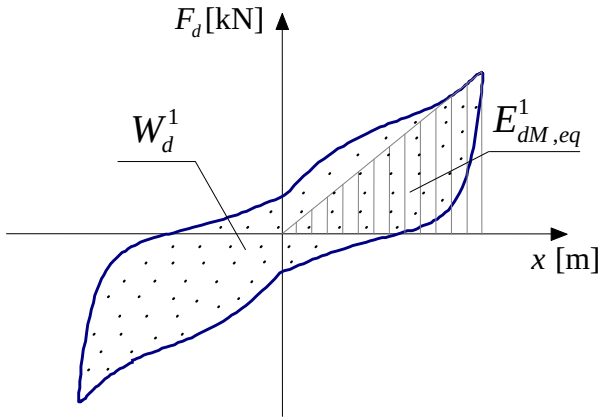
Definizioni

- Isolatore: rigidezza verticale – deformabilità laterale
- Interfaccia d'isolamento: separazione sottostruttura-sovrastruttura
- Funzioni ausiliarie
  - Ricentraggio
  - Dissipazione energia
  - Vincolo temporaneo
- Sistemi di isolamento/dissipazione
  - Isolatori a scorrimento (pendolo, slitte)
  - Isolatori elastomerici (HDRB-LRB)
  - Isolatori con dissipazione isteretica
  - Dissipatori viscosi/viscoelastici

Descrizione sintetica del comportamento ciclico - definizione

Prova a controllo di spostamenti $x(t) = Asen(\omega t)$





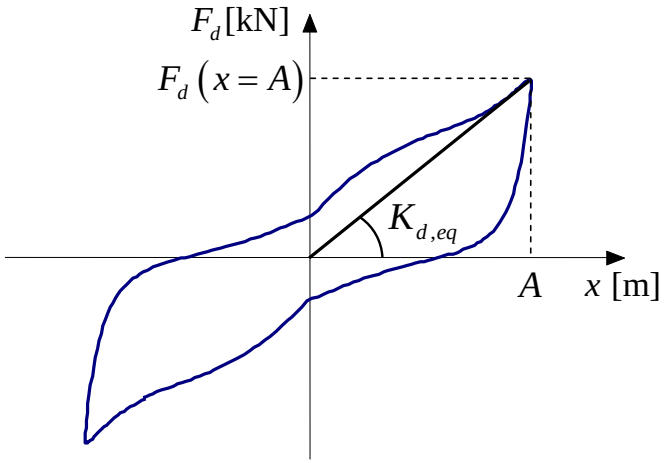
Rigidezza equivalente $K_{d,eq} = \dfrac{F_d(x = A)}{A}$

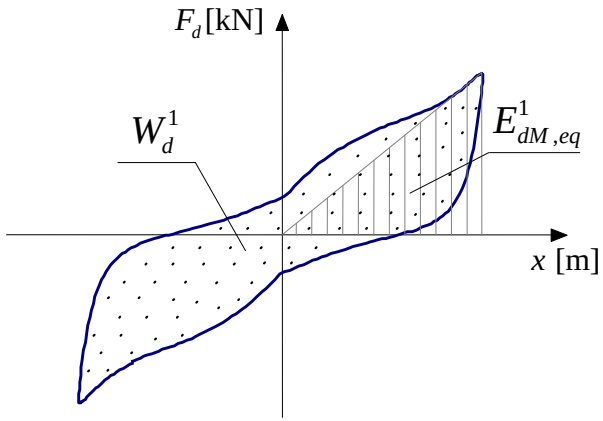
Smorzamento equivalente $\xi_{d,eq} = \dfrac{W_d^1}{4\pi E_{dM,eq}^1}$

Energia dissipata W_d^1

Max. en. Elastica convenzionale $E_{dM,eq}^1 = K_{d,eq} A^2 / 2$

Descrizione sintetica del comportamento ciclico - limiti



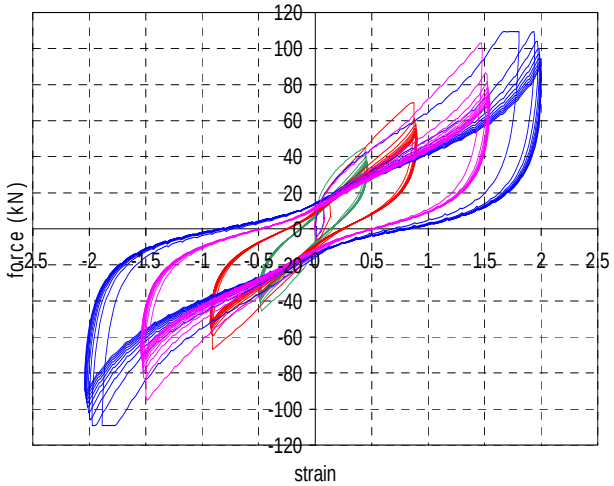


$$K_{d,eq} = \frac{F_d(x=A)}{A}$$

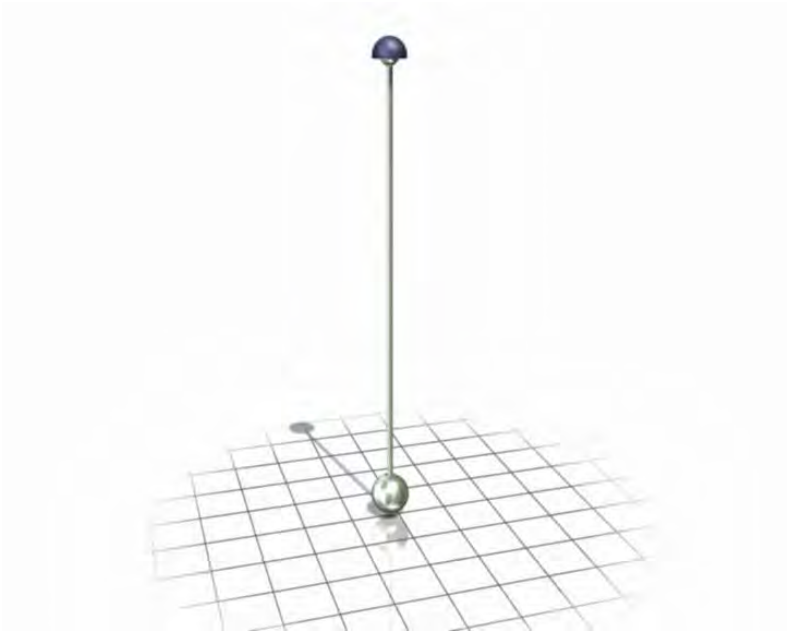
$$\xi_{d,eq} = \frac{W_d^1}{4\pi E_{dM,eq}^1}$$

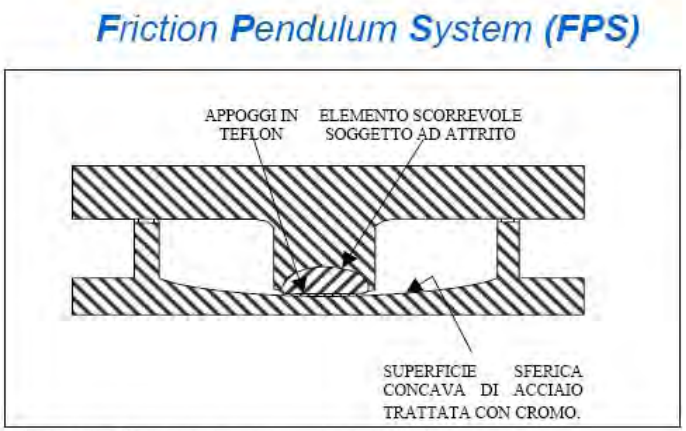
Parametri possono variare con

Ampiezza e pulsazione
Forma del ciclo di spostamenti
Danneggiamento progressivo



Isolatori a pendolo (senza attrito)



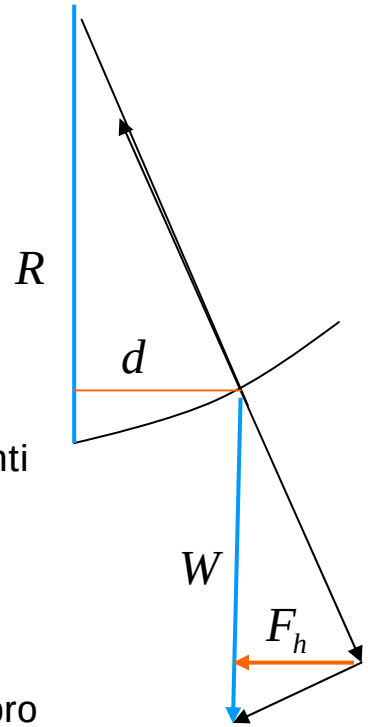


Dispositivo ad attrito con meccanismo a pendolo (FPS)

$$F_h = W tg\alpha = W\frac{d}{R}$$

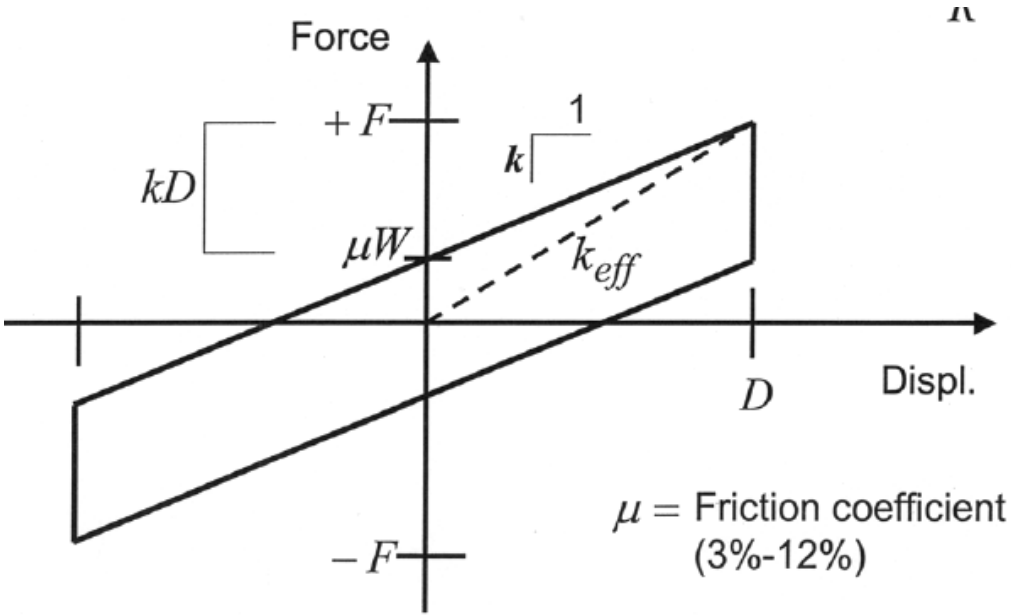
$$K = \frac{W}{R} = \frac{Mg}{R}$$

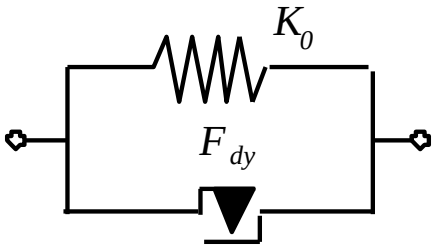
$$\omega^2 = \frac{K}{M} = \frac{g}{R}$$



- Ricentranti - Forza di richiamo lineare / Rigidezza costante con gli spostamenti
- Rigidezza proporzionale alle masse (CR-CG)
- Periodo fisso, dipende solo da dispositivo e non dalla struttura
- Possibilità periodi diversi in X e Y (sup. ellissoidiche)
- Ingombro piccolo nella parte in movimento, grande nella parte fissa (ingombro dimezzato con doppia superficie)

Isolatori a pendolo (con attrito)





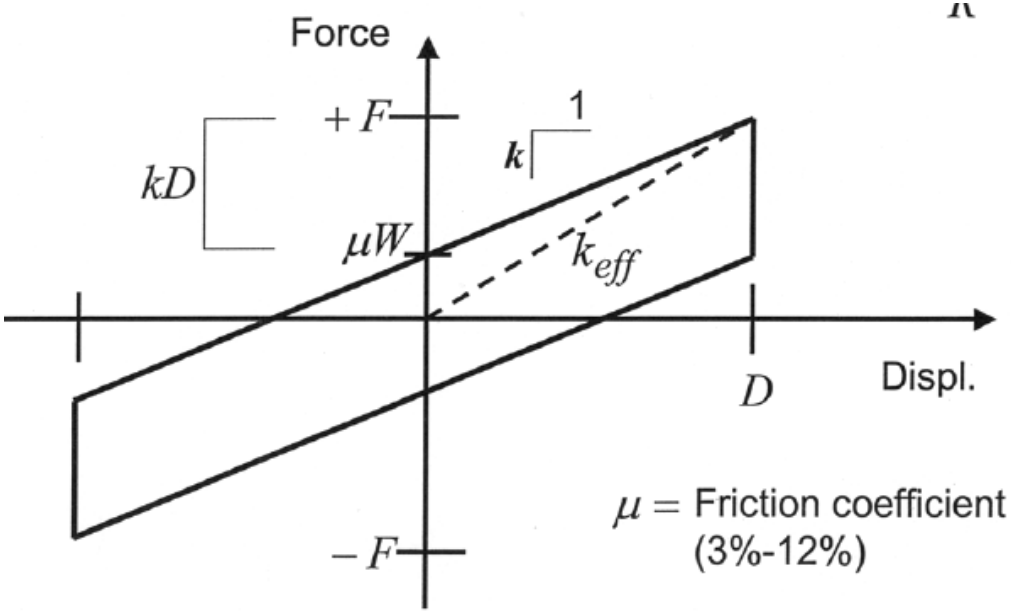
$$F_h = W\frac{d}{R} + \mu W$$

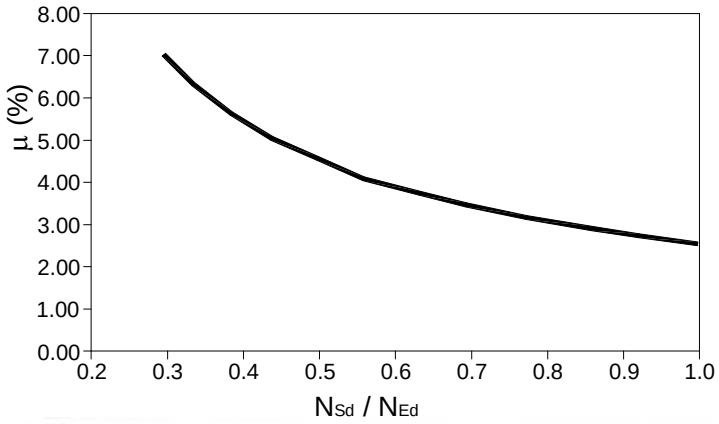
$$K = W\left(\frac{1}{R} + \mu\frac{1}{d}\right)$$

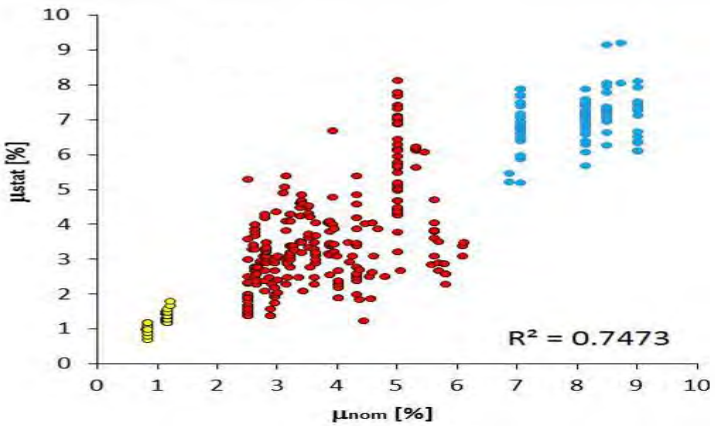
$$\omega^2 = \frac{K}{M} = g\left(\frac{1}{R} + \frac{\mu}{d}\right)$$

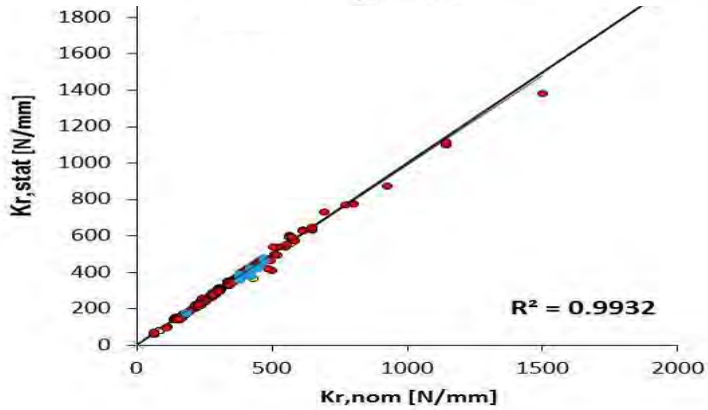
- Capacità dissipativa del meccanismo ad attrito (rigido plastico incrudente)
- Forza di richiamo non lineare / Rigidezza variabile con gli spostamenti
- Parzialmente ricentranti
- Rigidezza ancora proporzionale alle masse (CR-CG)
- Periodo ancora indipendente dalla struttura (variabile con gli spostamenti)
- Rigidezza e smorzamento variabili con gli spostamenti (eccessivi per SLE)
- Possibili problemi con attrito ...

Isolatori a pendolo (con attrito)

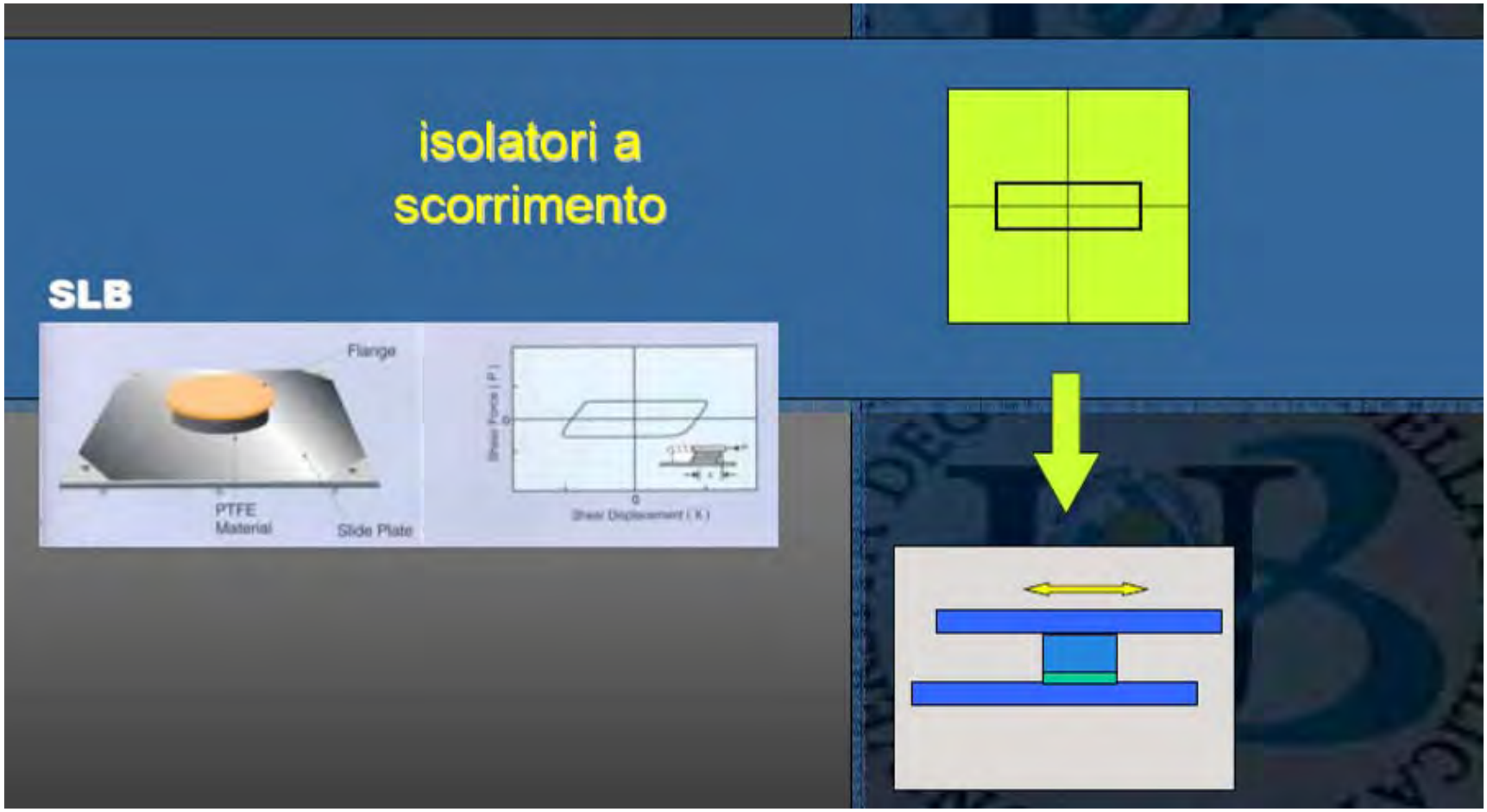




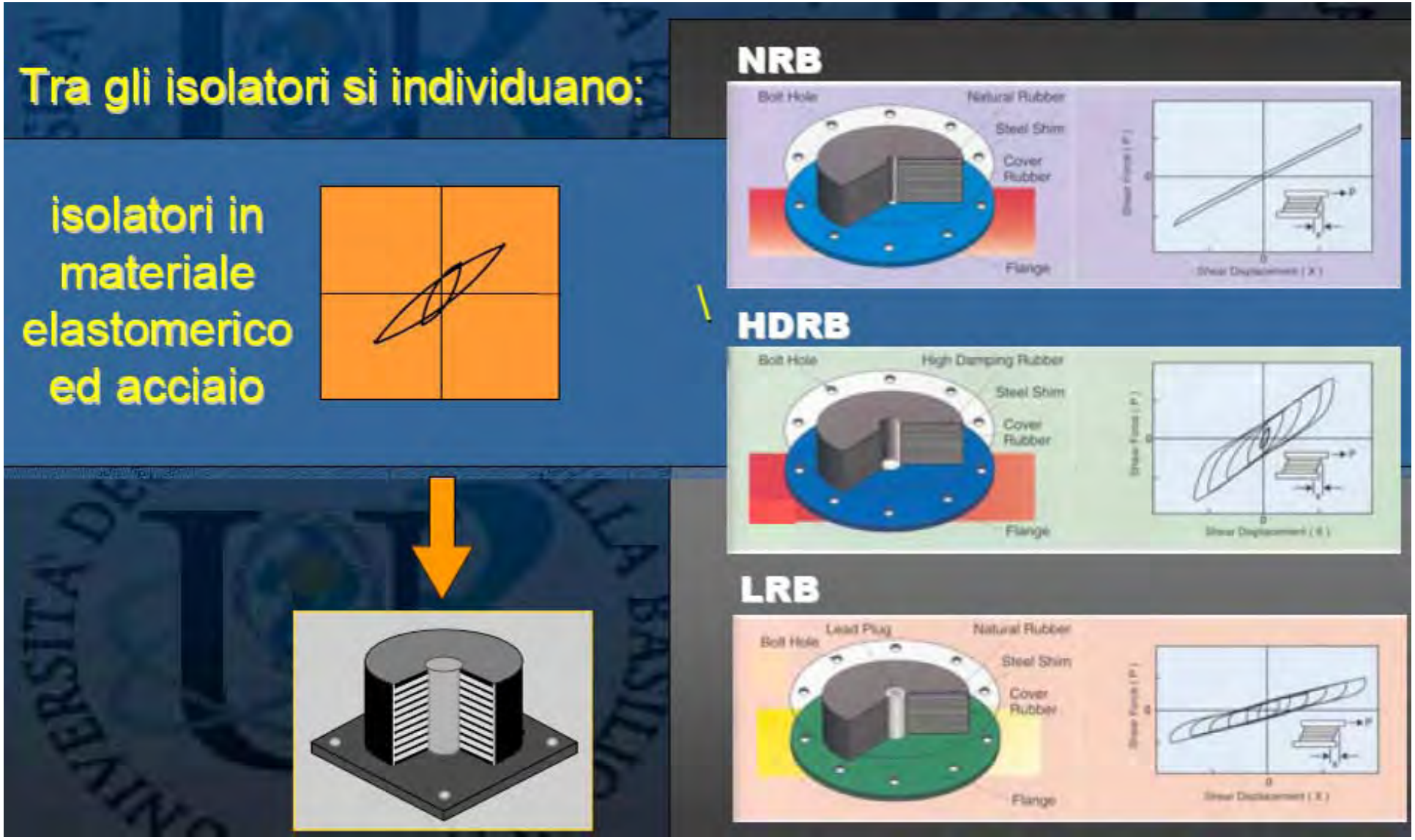




- Attrito
  - Dispersione risultati attrito (poco rilevante per spostamenti grandi)
  - Coefficiente variabile con la forza

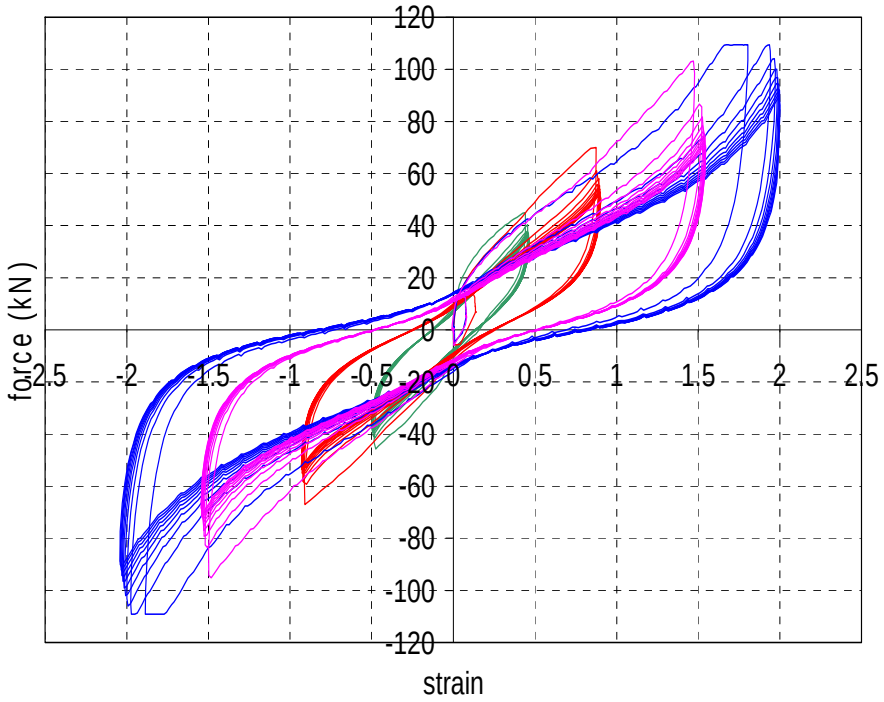


Fonte: Isolamento sismico edifici e ponti, prof. M. Dolce



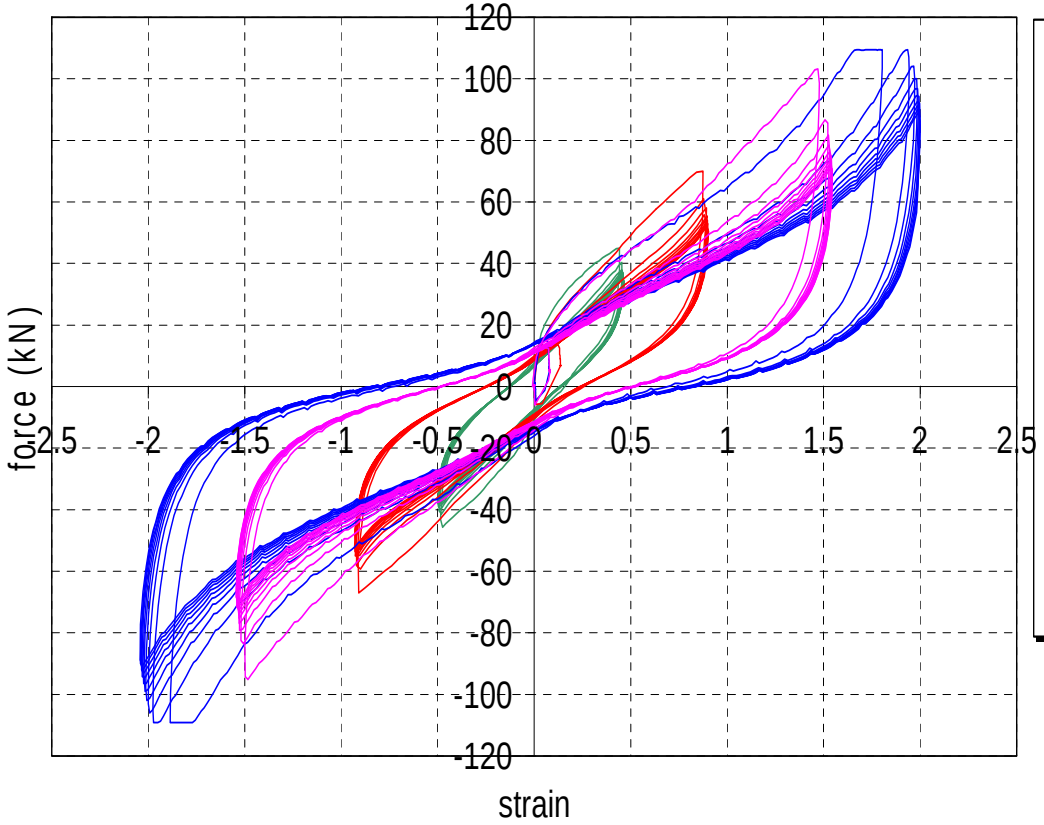
Fonte: Isolamento sismico edifici e ponti, prof. M. Dolce

Isolatori in gomma

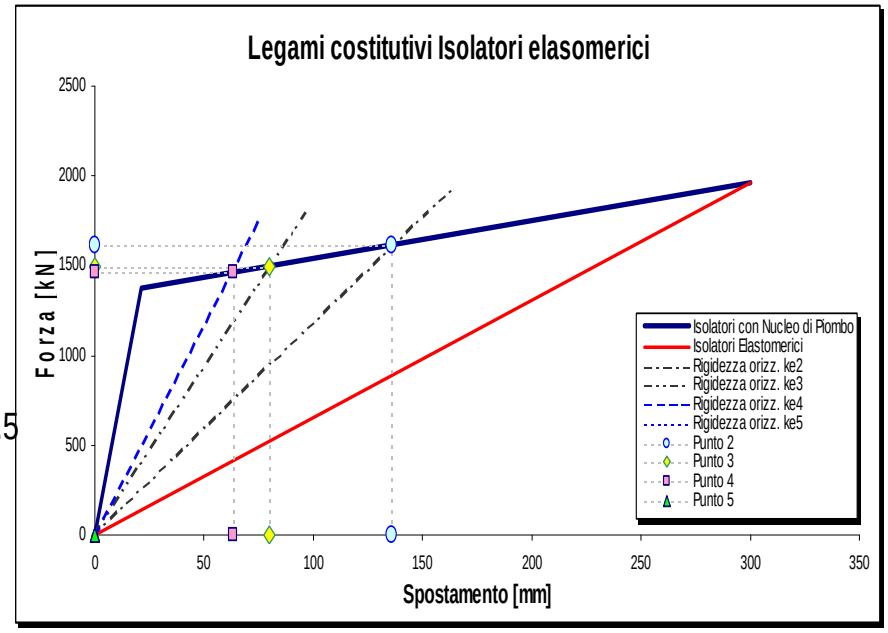


- Ricentranti - Forza di richiamo non lineare
- Rigidezza elevata in esercizio
- Stessa rigidezza nelle due direzioni
- Possibilità di controllare la distribuzione di rigidezza (es. rig. Torsionale)
- Durevoli
- Ingombro dipende dall'azione assiale e dai rapporti geometrici

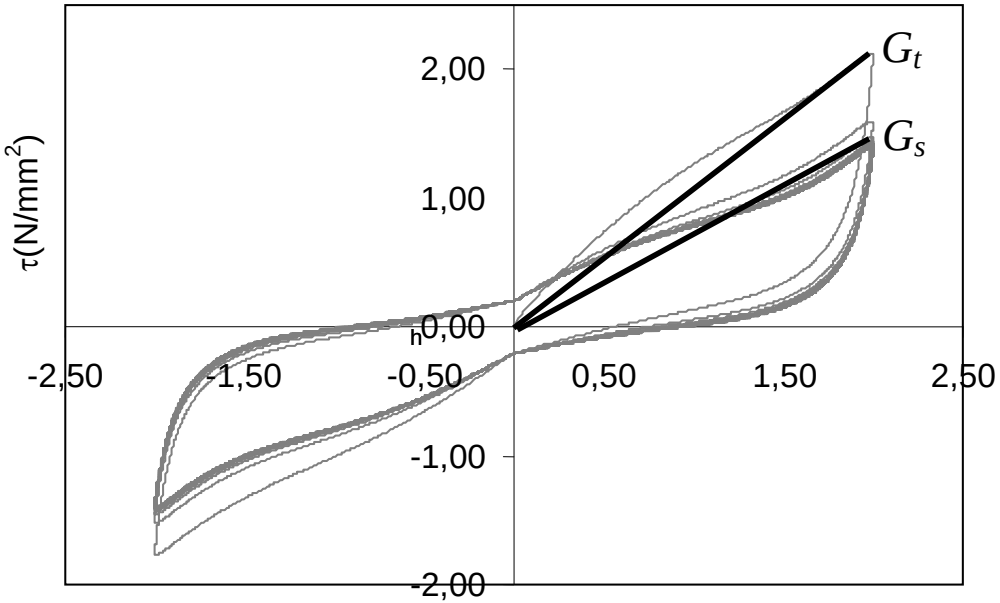
Isolatori in gomma dissipativa

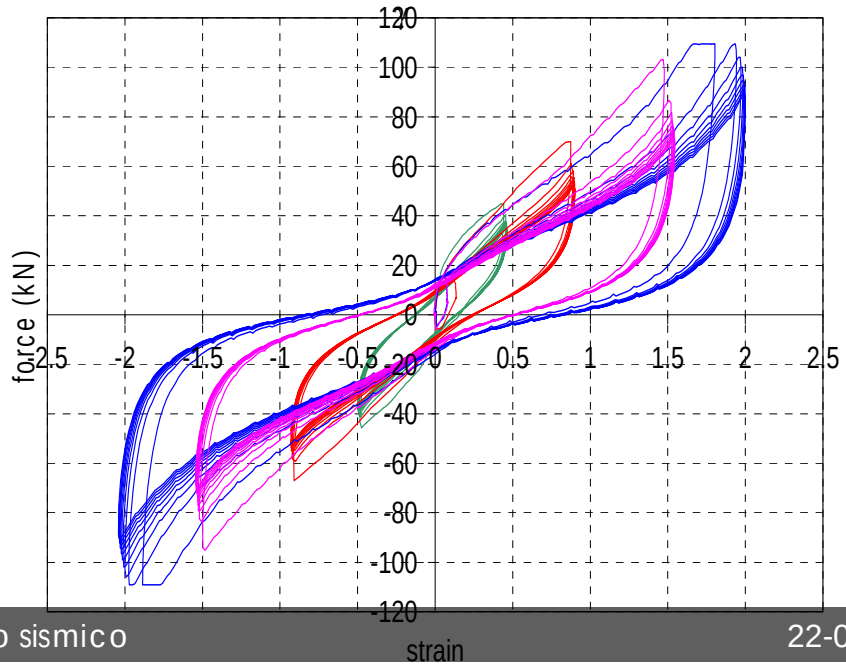


Isolatori in gomma con nucleo in piombo

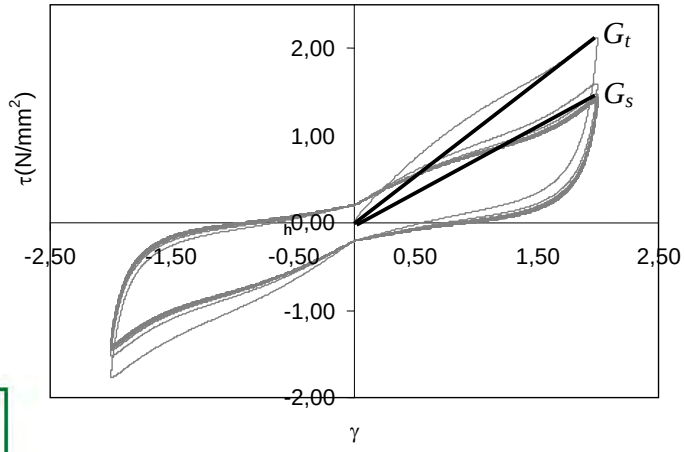


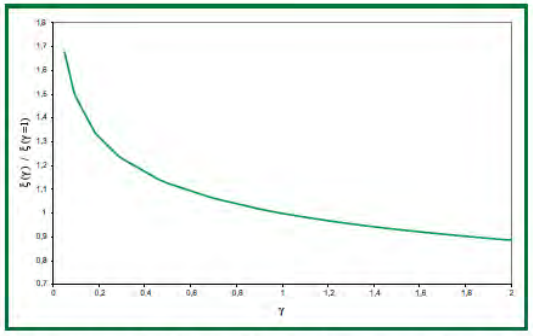
- Isolatori in gomma
  - Dipendenza ampiezza
  - Dipendenza spostamenti
  - Mullins effect



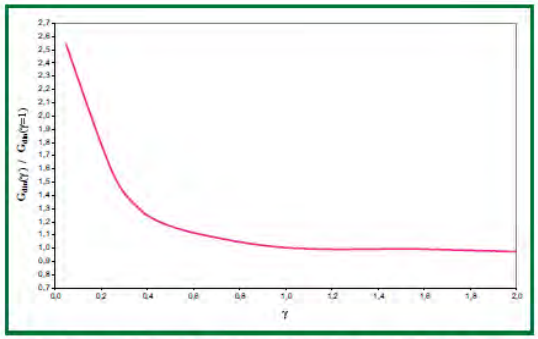


- Linearizzazione
  - Valori di riferimento linearizzazione
  - K=GA/h
  - Procedura iterativa (ass. G,ξ, determino T,γ, riassegno G,ξ)





Variazione media del coefficiente di smorzamento viscoso equivalente ξ in funzione della deformazione di taglio γ.



Variazione media del modulo dinamico equivalente a taglio G_{din} in funzione della deformazione di taglio γ.

Linearizzazione transitorio

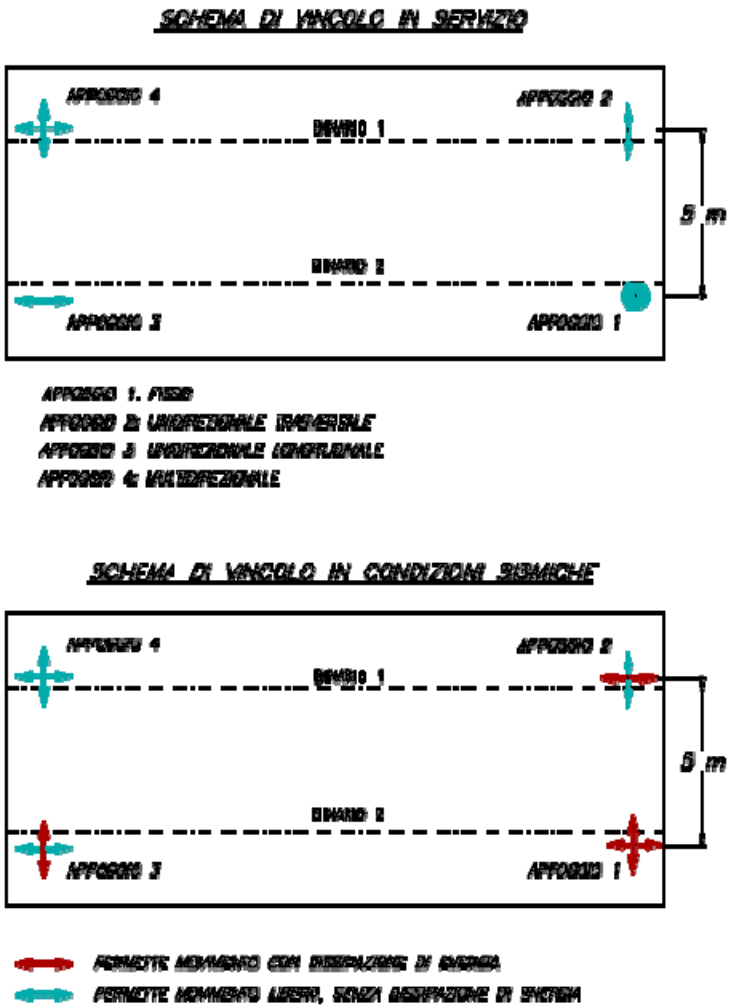
	γ=2		γ=1.5		γ=1	
	G_t Nmm^{-2}	ξ_t	G_t Nmm^{-2}	ξ_t	G_t Nmm^{-2}	ξ_t
Case *a*	1.202	0.16	1.119	0.14	1.170	0.14
Case *b*	1.087	0.19	1.005	0.17	1.074	0.16
Case *c*	0.972	0.18	0.895	0.17	0.972	0.15

Linearizzazione stabile

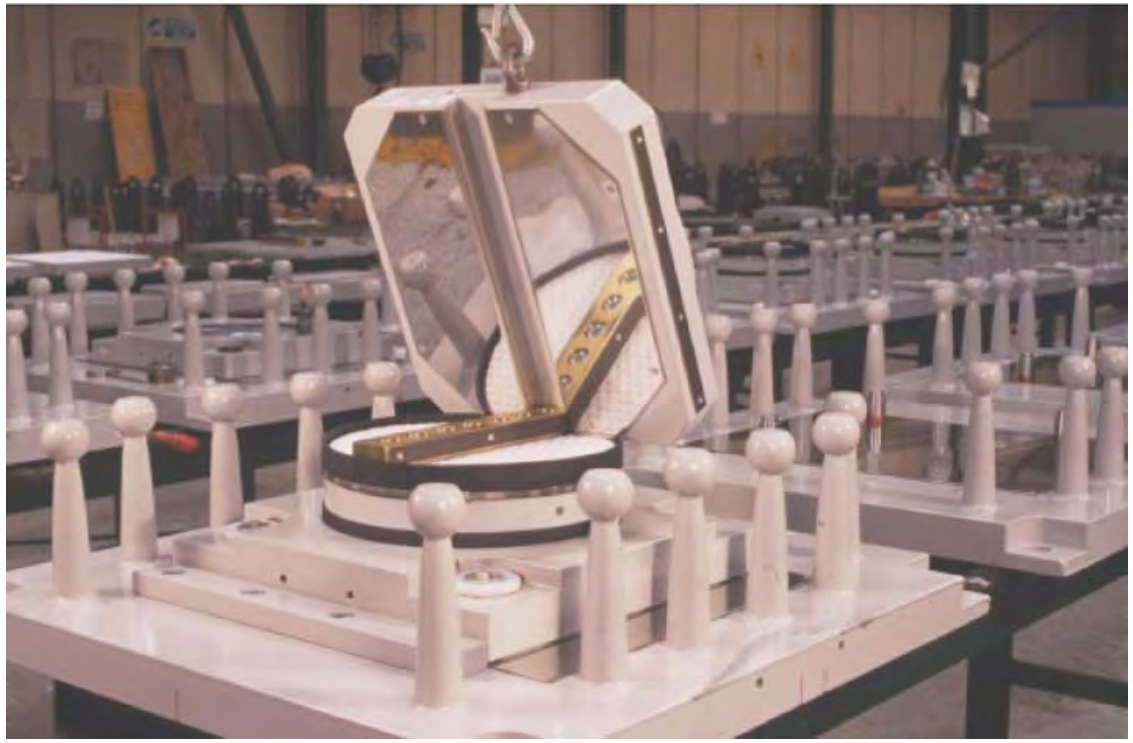
	γ=2		γ=1.5		γ=1	
	G_s Nmm^{-2}	ξ_s	G_s Nmm^{-2}	ξ_s	G_s Nmm^{-2}	ξ_s
Case *a*	0.866	0.15	0.857	0.18	1.010	0.18
Case *b*	0.753	0.16	0.746	0.19	0.939	0.18
Case *c*	0.672	0.16	0.660	0.19	0.883	0.18

Case a – Tr=0.5s Case b – Tr=1.0s Case c – Tr=2.0s

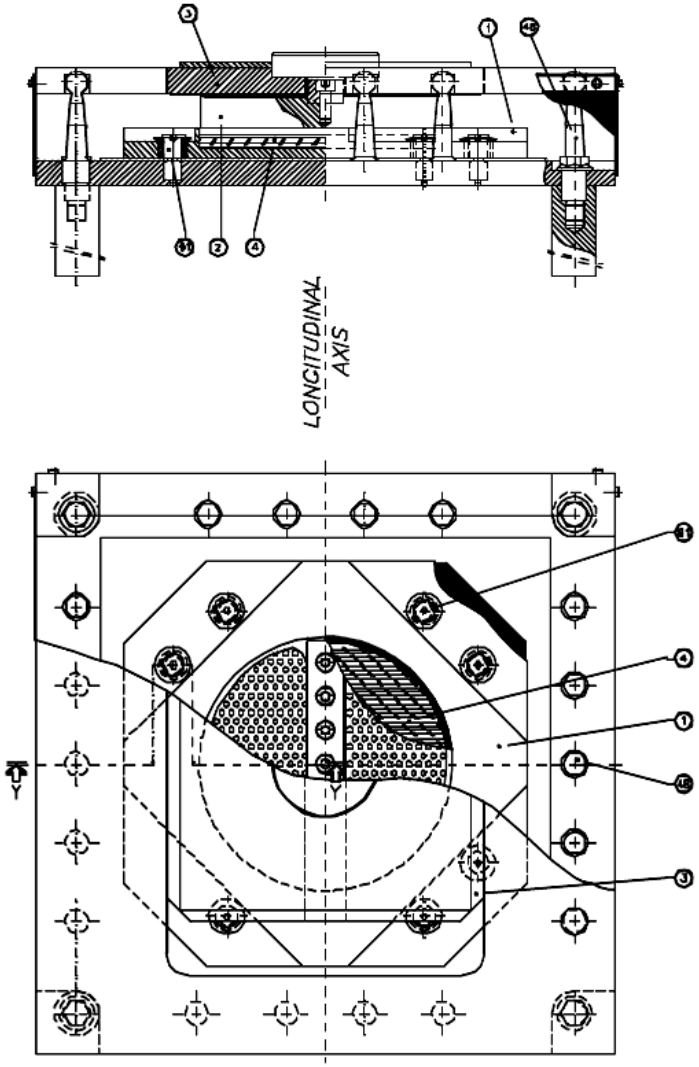
Isolatori con vincolo temporaneo + dissipazione isteretica

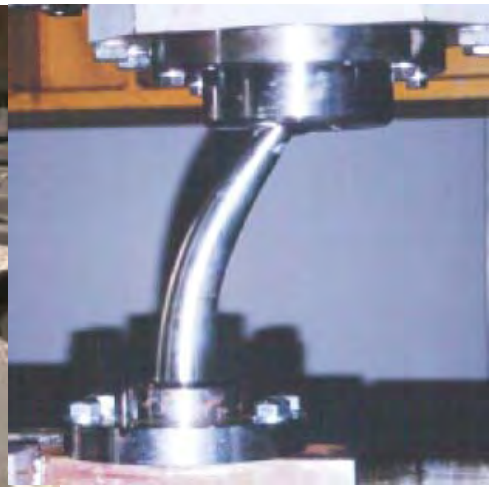


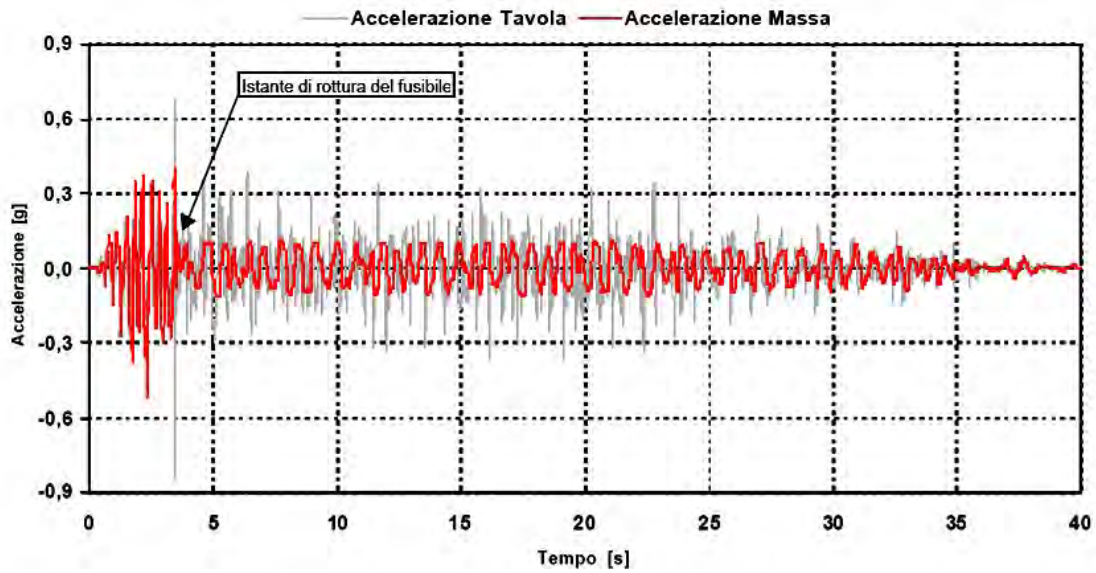
- Limitazione massima forza trasmissibile
- Dissipazione elevata
- Necessita sostituzione
- Spostamenti residui
- Spine a rottura in servizio



Isolatori isteretici



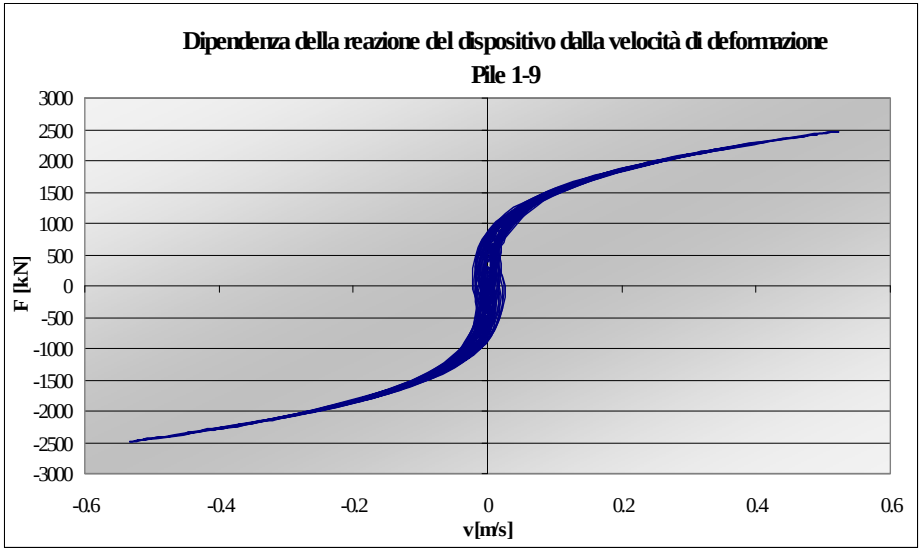


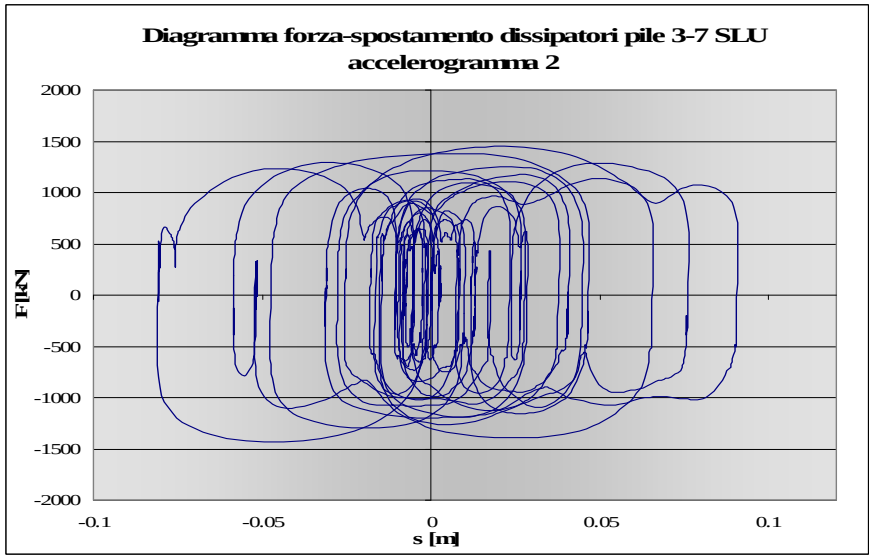


Dissipatori viscosi/viscoelastici

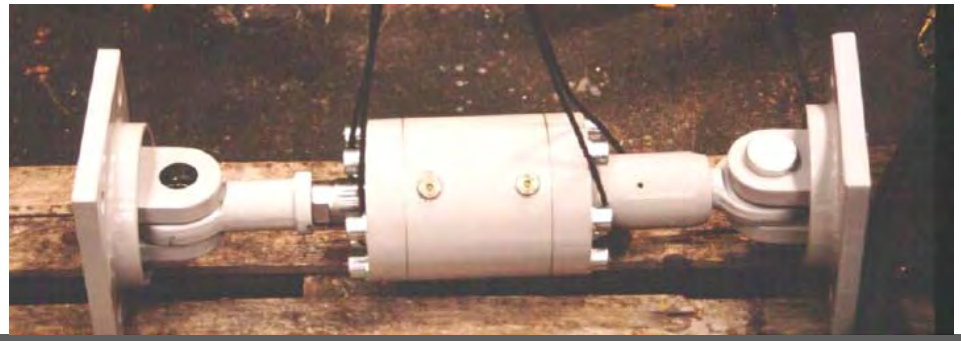
$$F = cv^{\alpha}$$

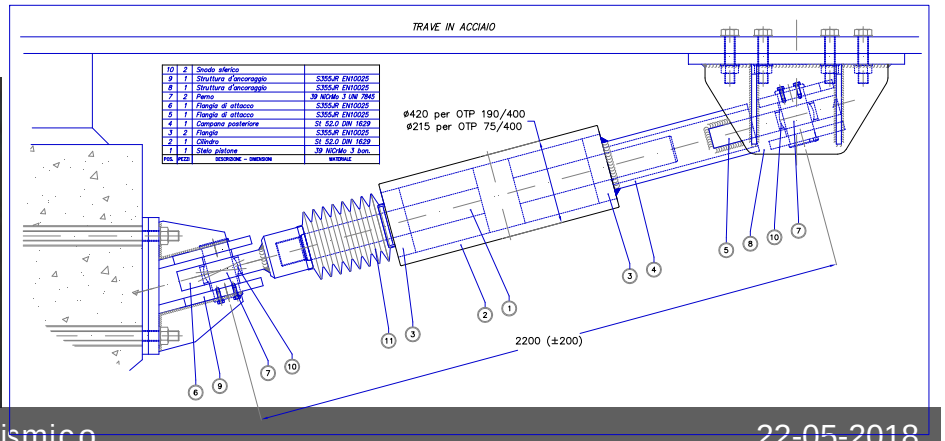
$$F = F_0 + kx + cv^{\alpha}$$





DISSIPATORE VISCOSO TIPO OPT 190/400 e OPT 75/400

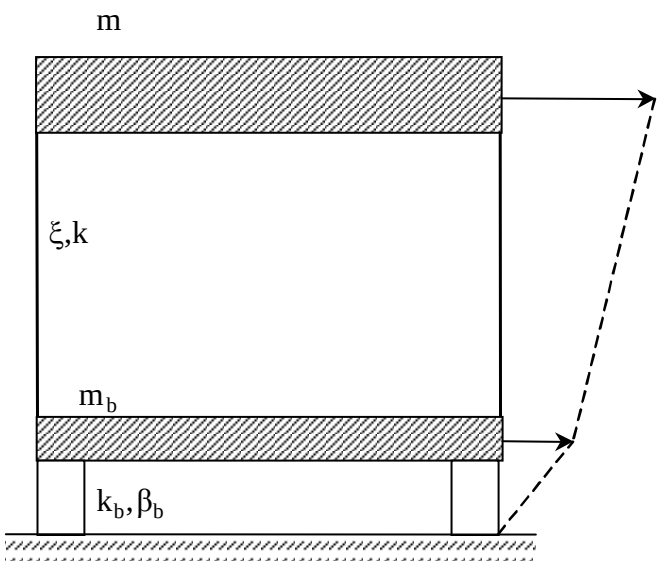




Isolamento Sismico:

- Aspetti generali
- Dispositivi
- Dimensionamento
- Progettazione

Base fissa (1 dof) -> Sistema isolato (2 dof)



Situazioni limite

Struttura fissa

$$\omega_s^2 = \frac{k_s}{m}$$

Struttura rigida isolata

$$\omega_b^2 = \frac{k_b}{m + m_b}$$

Parametri di controllo

Rapporto masse

$$\gamma = \frac{m}{m + m_b}$$

Rapporto pulsazioni

$$\varepsilon = \frac{\omega_b^2}{\omega_s^2} = \gamma \frac{k_b}{k_s}$$

Caratteristiche modali

Pulsazioni proprie (appr.)

$$\omega_1^2 = \omega_b^2 (1 - \gamma\varepsilon)$$

$$\omega_2^2 = \omega_s^2 \frac{1 + \gamma\varepsilon}{1 - \gamma}$$

Forme modali (sp. relativi)

$$\varphi_1 = [1, \varepsilon]$$

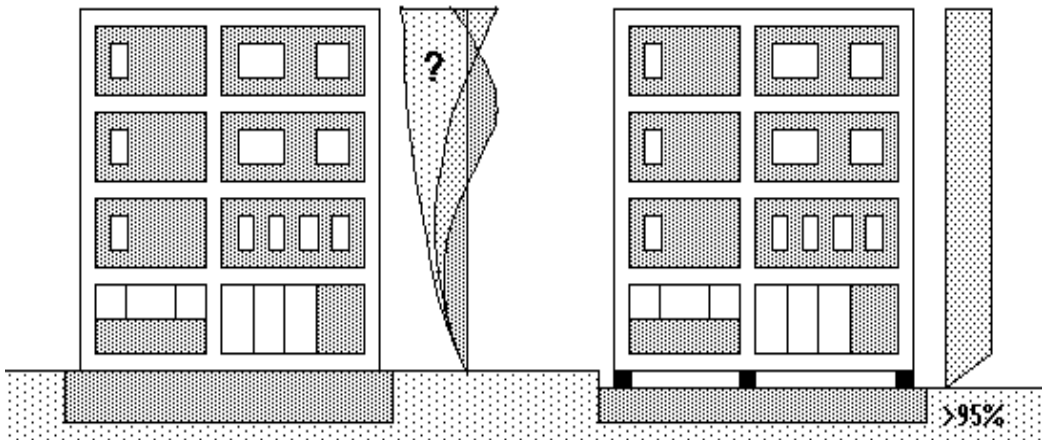
$$\varphi_2 = [1, -(1 - (1 - \gamma)\varepsilon)/\gamma]$$

Fattori partecipazione

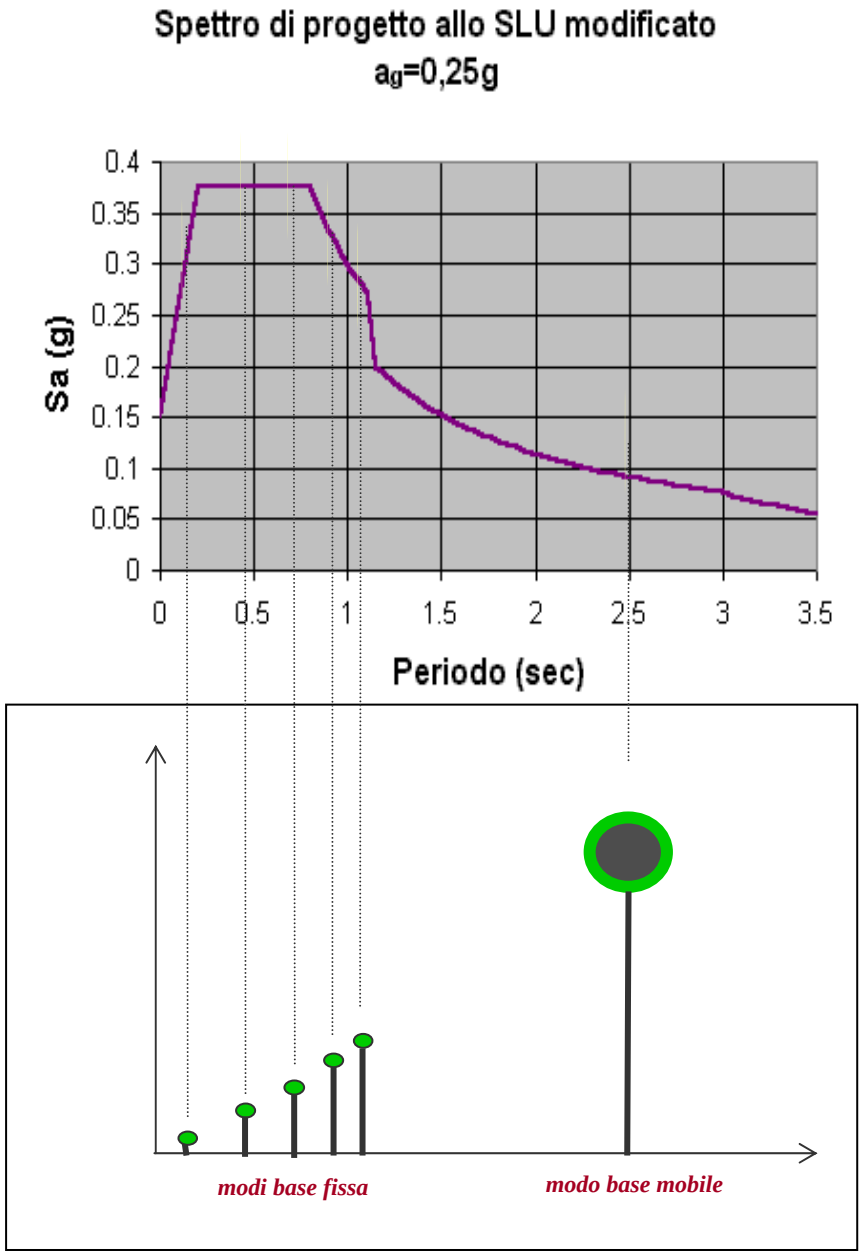
$$\pi_1 = 1 - \gamma\varepsilon$$

$$\pi_2 = \gamma\varepsilon$$

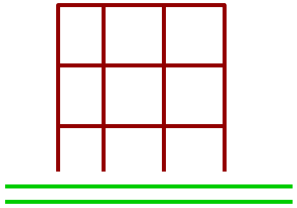
- Sistemi N-dof



$$T_s \rightarrow T_{is} = (2 \cdots 3) T_s$$

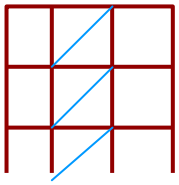


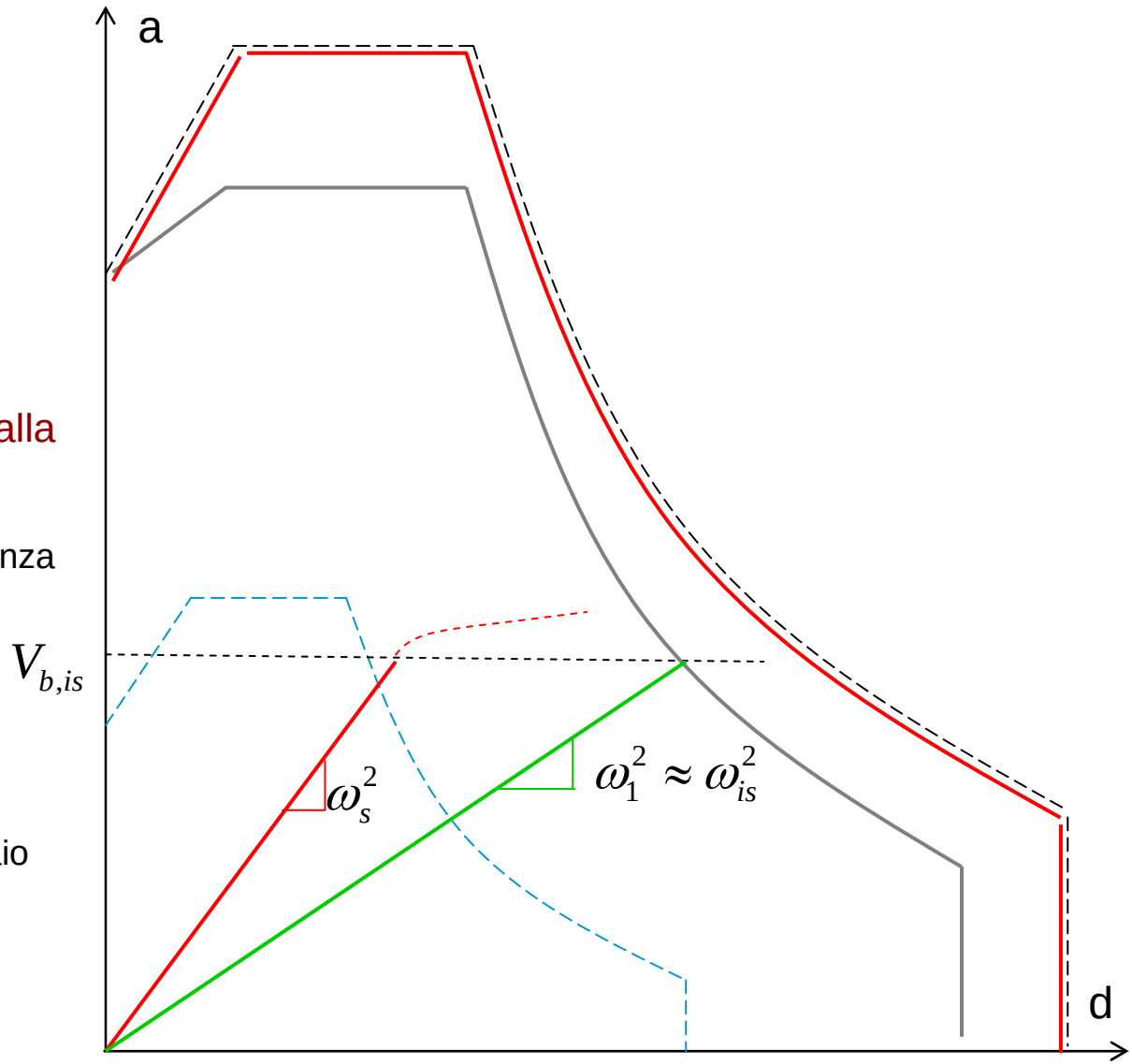
Strategie di miglioramento delle prestazioni di edifici esistenti



Miglioramento mediante isolamento alla base

- Dimensionamento in base alla resistenza disponibile Vb,is
- Danneggiamento post evento drasticamente ridotto
- Lavorazioni complesse
- Tis=2-3Ts, se serve, irrigidimento telaio

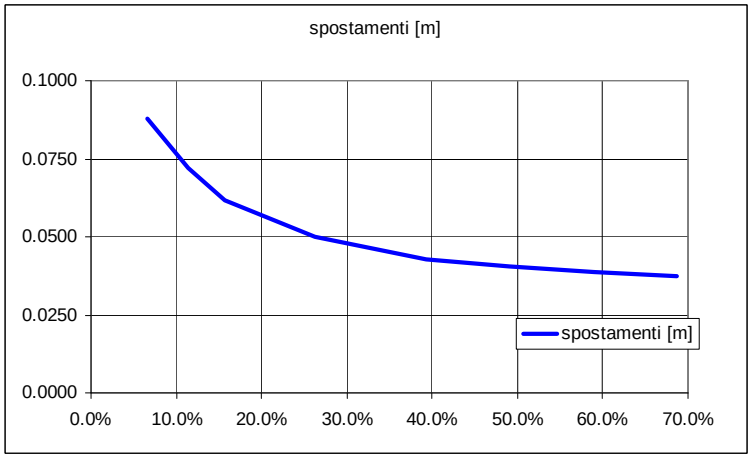




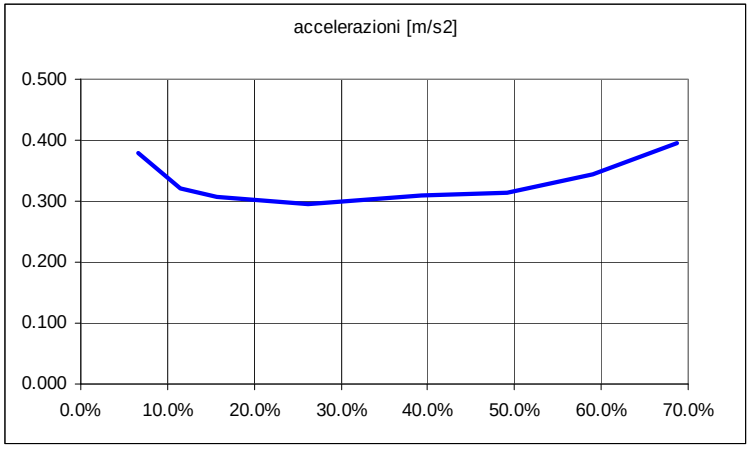
Smorzamento

Sistemi 1-dof

Spostamenti



Taglio alla base e accelerazioni assolute



Sistemi n-dof

Taglio alla base e accelerazioni assolute

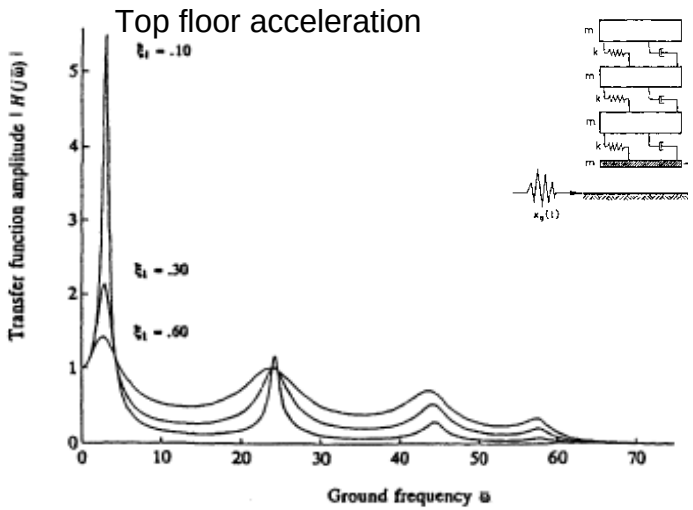


Figure 2. Acceleration frequency response: Model I.

Inaudi & Kelly, 1993

Verifiche (sismiche)

- Dispositivi di isolamento
  - SLC: spostamento (sisma+spostamenti residui+termica)

    Azione verticale sismica (trazione/compressione)

    SLV->SLC sostituisce il coefficiente di sicurezza di EN15129
  - SLV: resistenza componenti
  - SLD: spostamenti residui

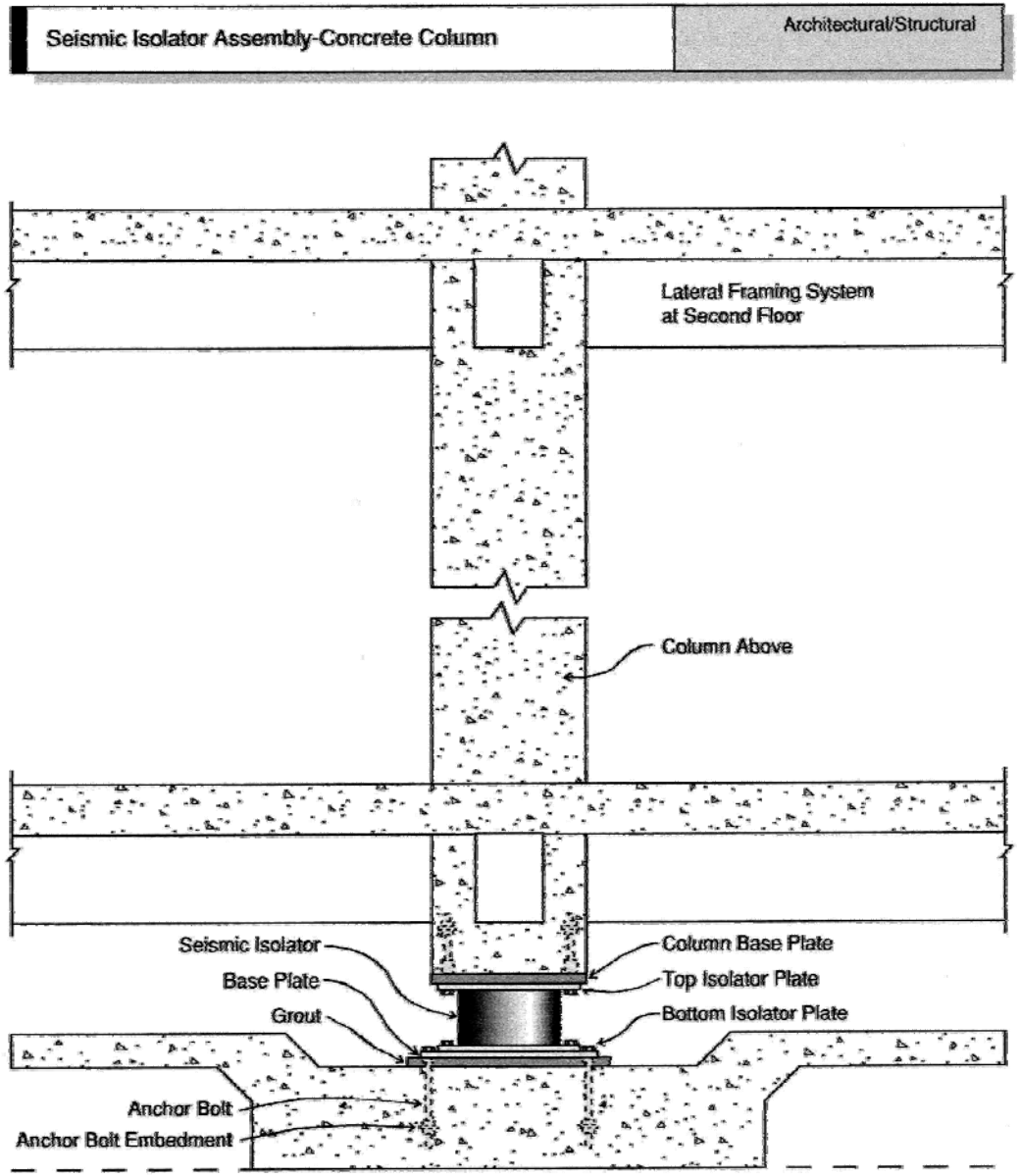
- Sovrastruttura e fondazioni
  - SLV: resistenza con q=1.5 (sovraresistenza)
  - SLD: spostamento interpiano (2/3 limiti normali)
- Pilastri sottostruttura (eventuali)
  - SLC: resistenza (come isolatori)
- Connessioni gas e impianti pericolosi
  - SLV

Isolamento Sismico:

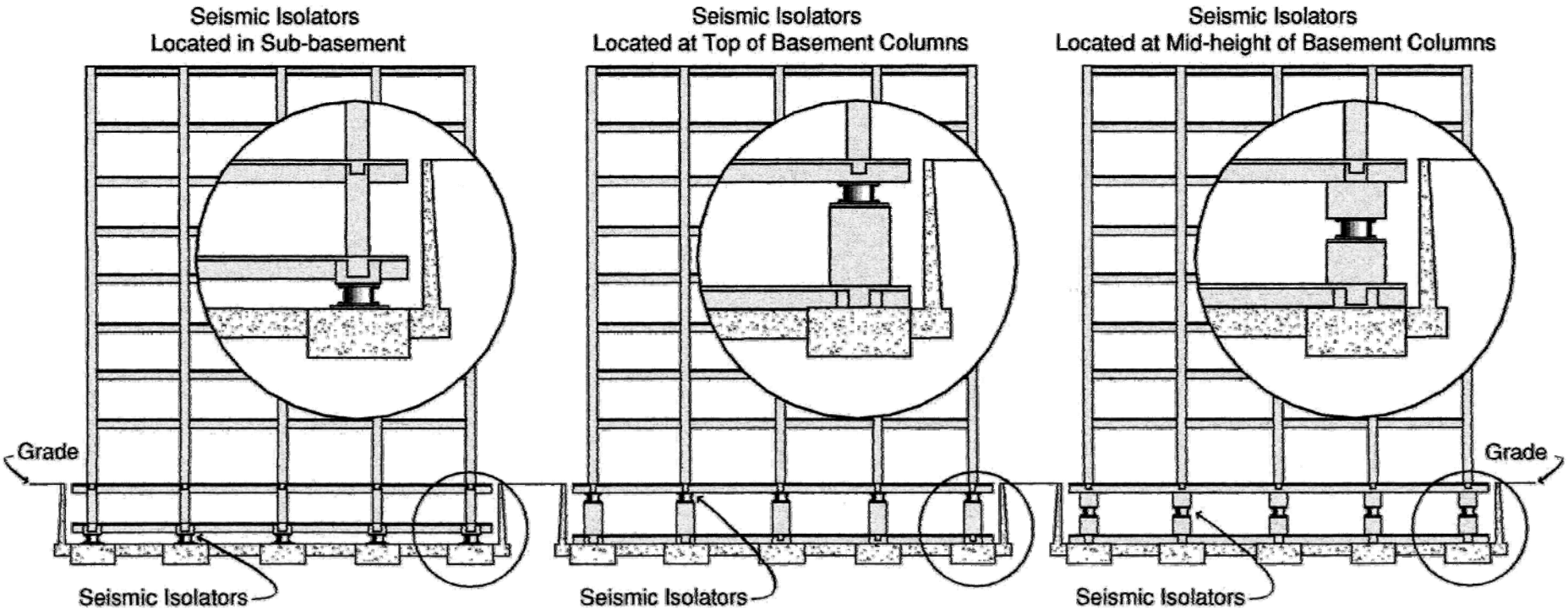
- Aspetti generali
- Dispositivi
- Dimensionamento
- Progettazione

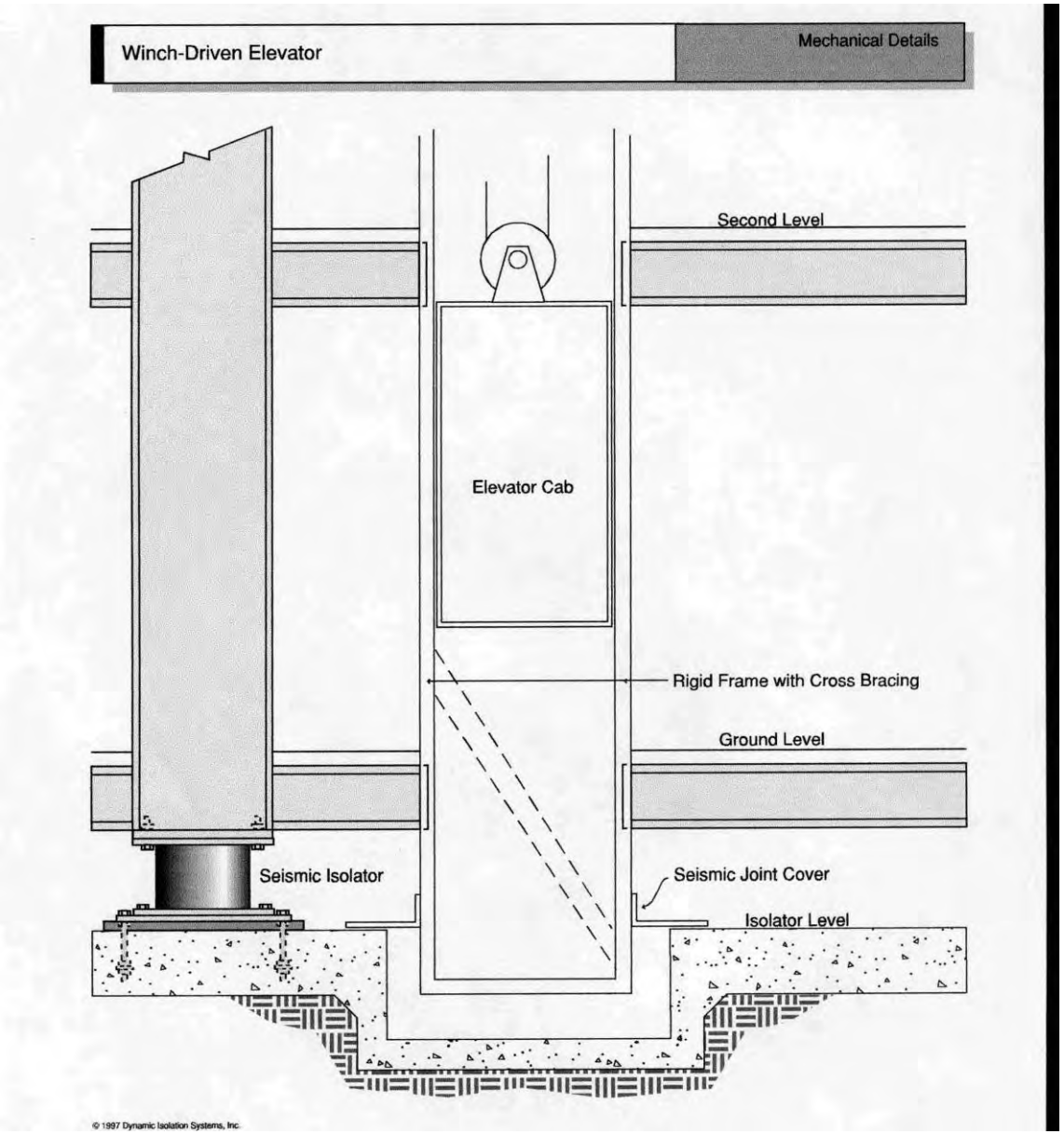
Requisiti

- Rigidezza sottostruttura
- Rigidezza sovrastruttura (piano rigido)
- Accessibilità
- Sostituibilità (punti di forza per martinetti)
- Contrasto per ricentraggio (se necessario)
- Protezione incendio (appoggi di sicurezza)
- Continuità del giunto
- Flessibilità impianti

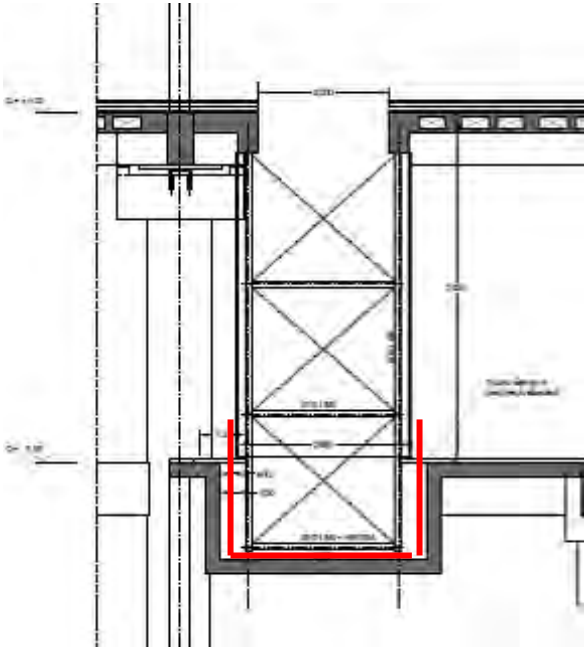


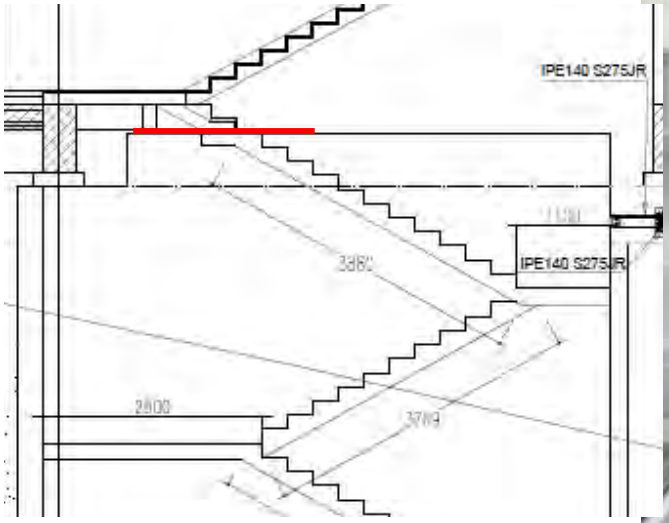
Posizione


Seismic Isolators
Located in Sub-basement
Seismic Isolators
Located at Top of Basement Columns
Seismic Isolators
Located at Mid-height of Basement Columns
Grade
Grade
Seismic Isolators
Seismic Isolators
Seismic Isolators

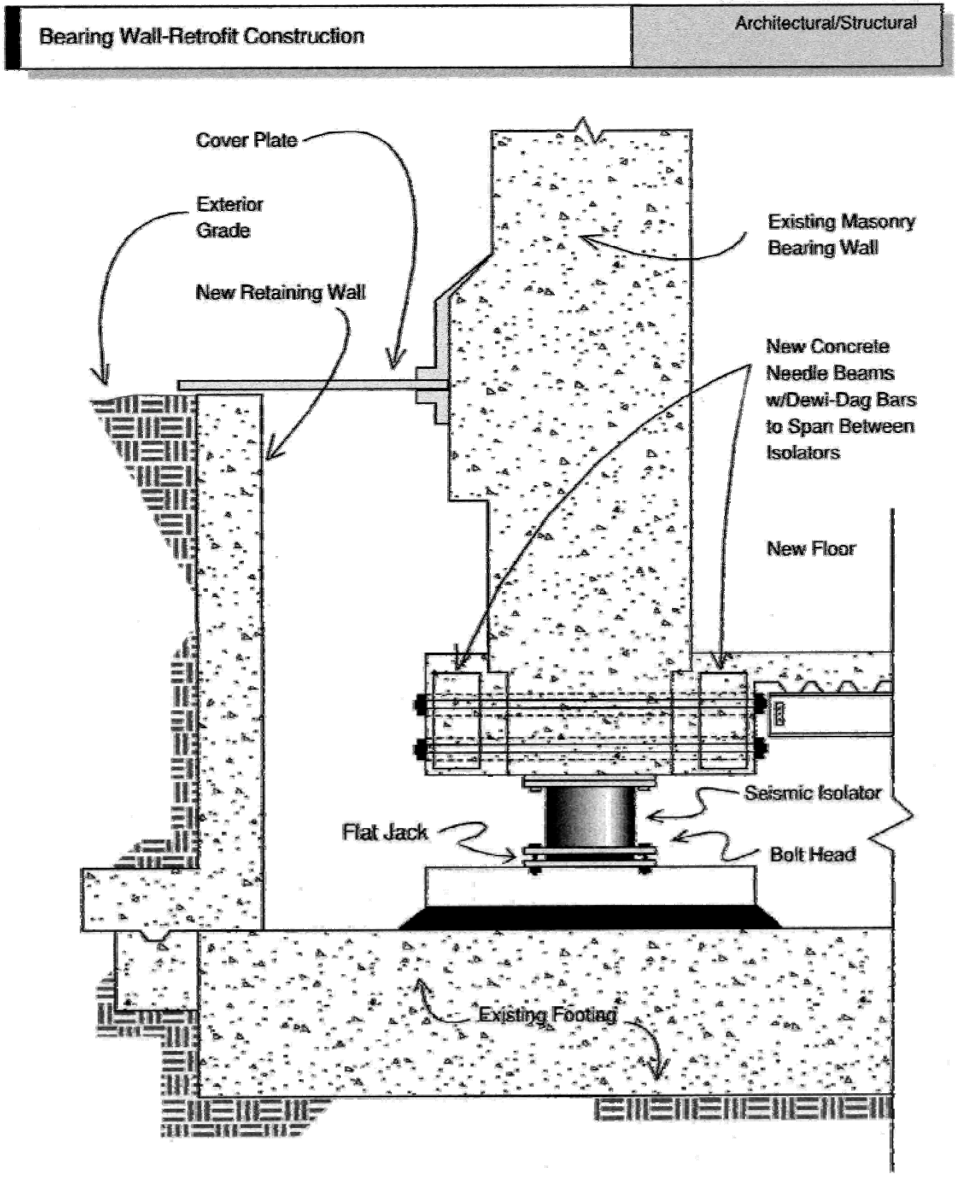

Winch-Driven Elevator
Mechanical Details
Second Level
Elevator Cab
Rigid Frame with Cross Bracing
Ground Level
Seismic Isolator
Seismic Joint Cover
Isolator Level
© 1997 Dynamic Isolation Systems, Inc.

Interfaccia di isolamento





Isolamento edifici esistenti

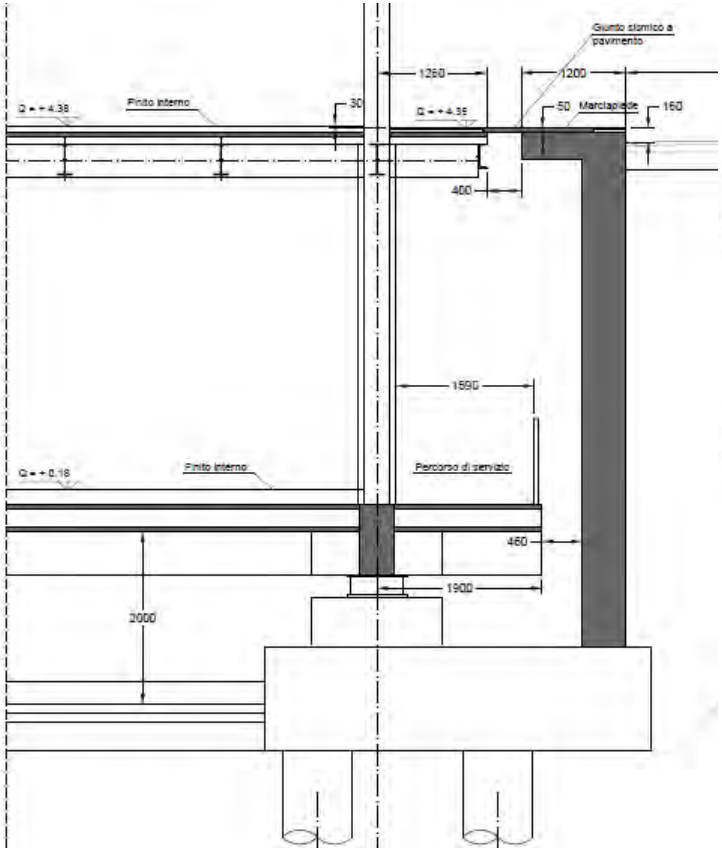


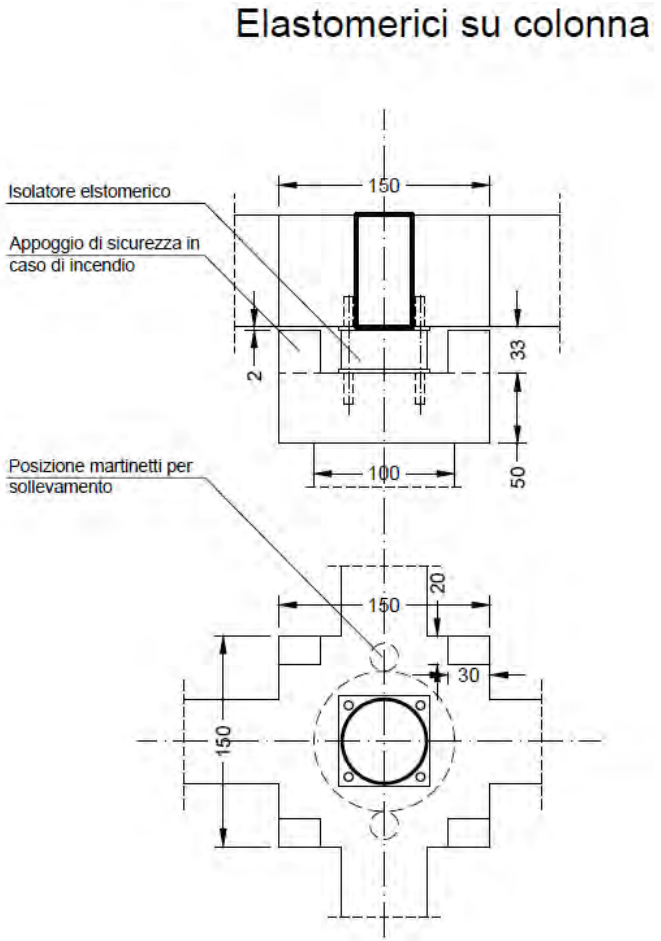
Requisiti accessori

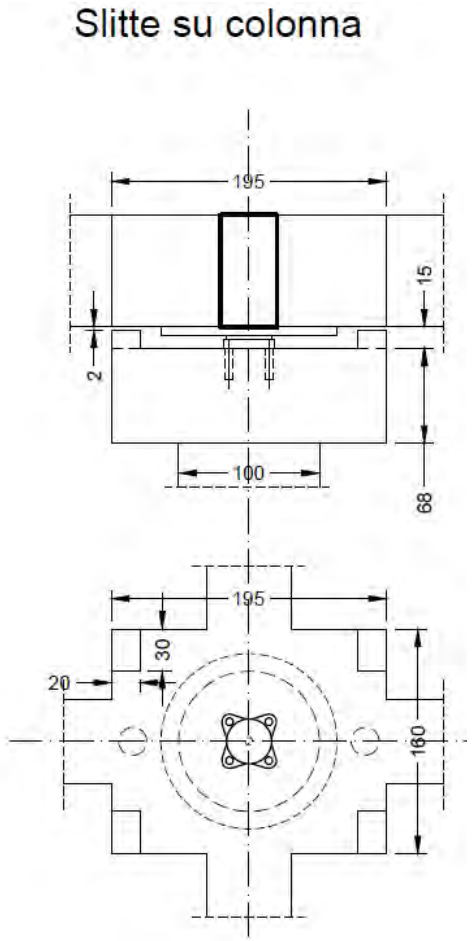
Sostituzione

Accesso per ispezione

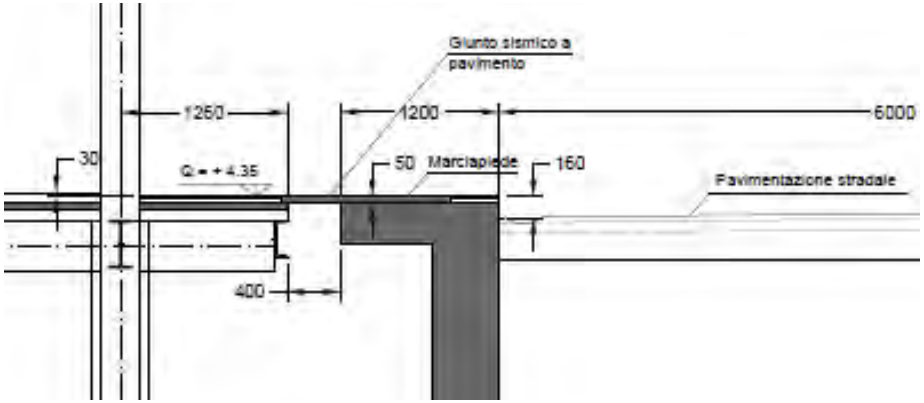
Appoggi di sicurezza e ritegni (fine corsa)



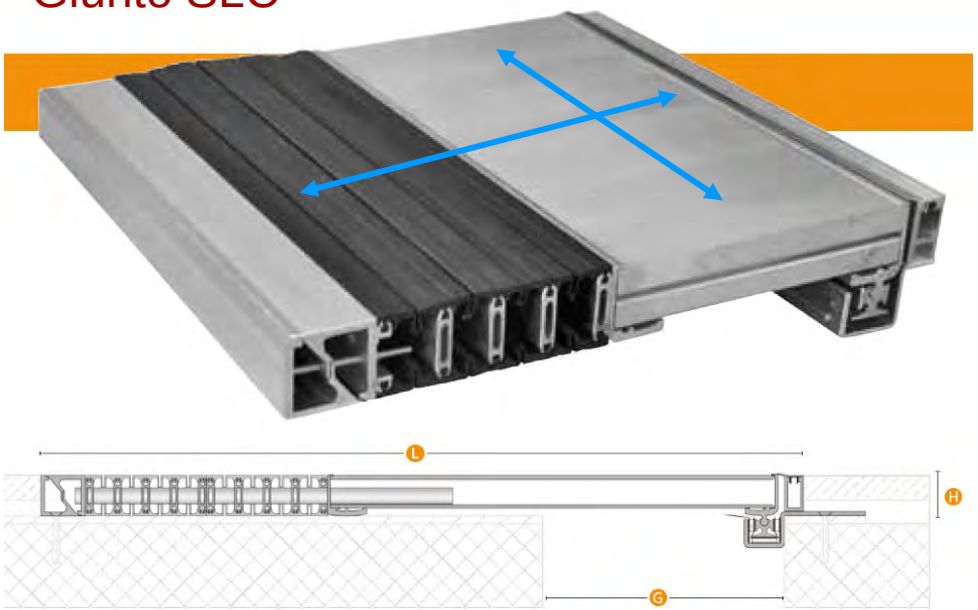




Giunti

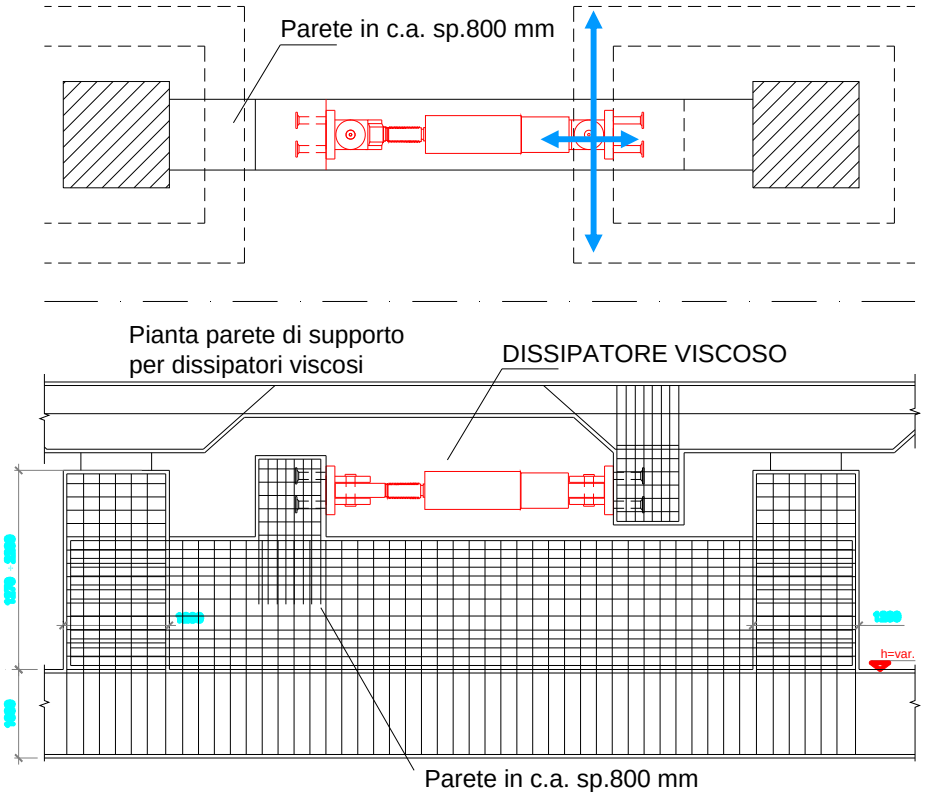


Giunto SLC

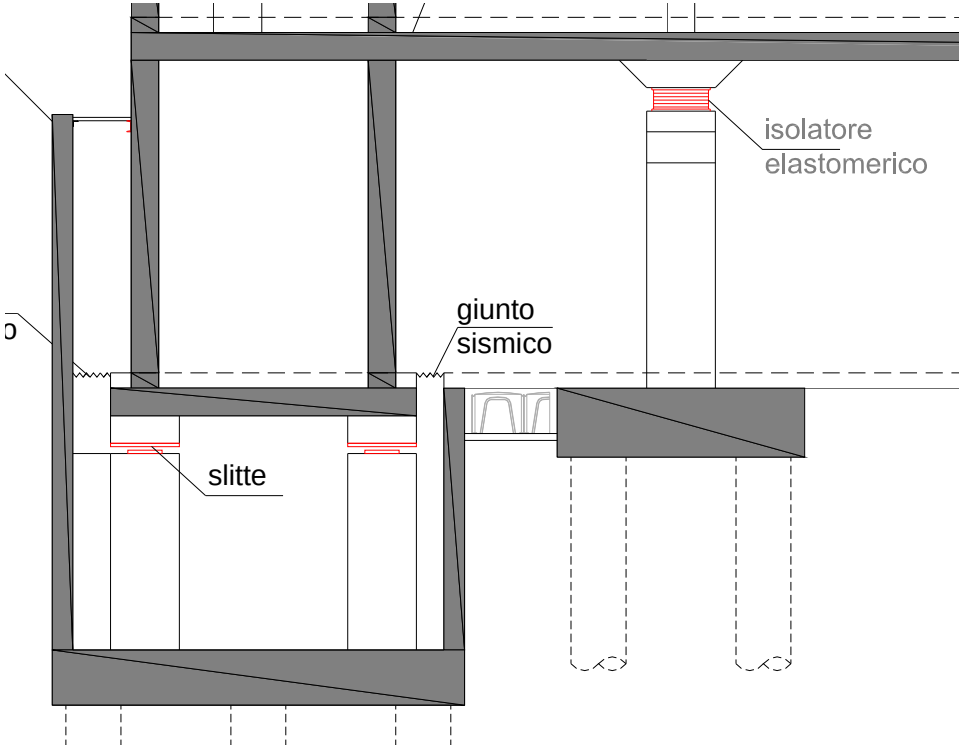


Giunto SLD

Dissipatori aggiuntivi



Isolamento setti

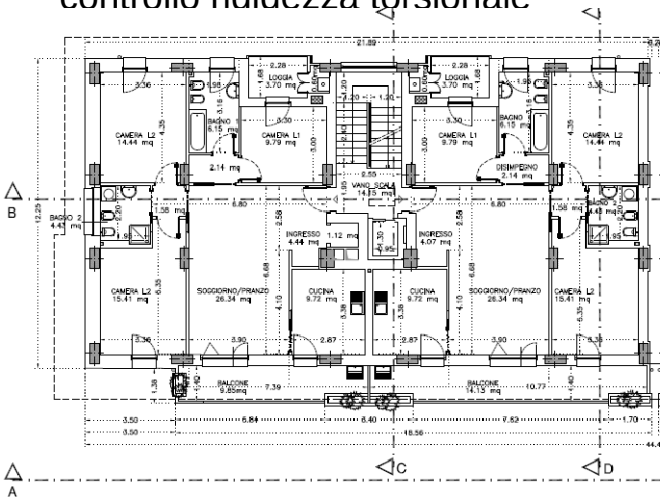


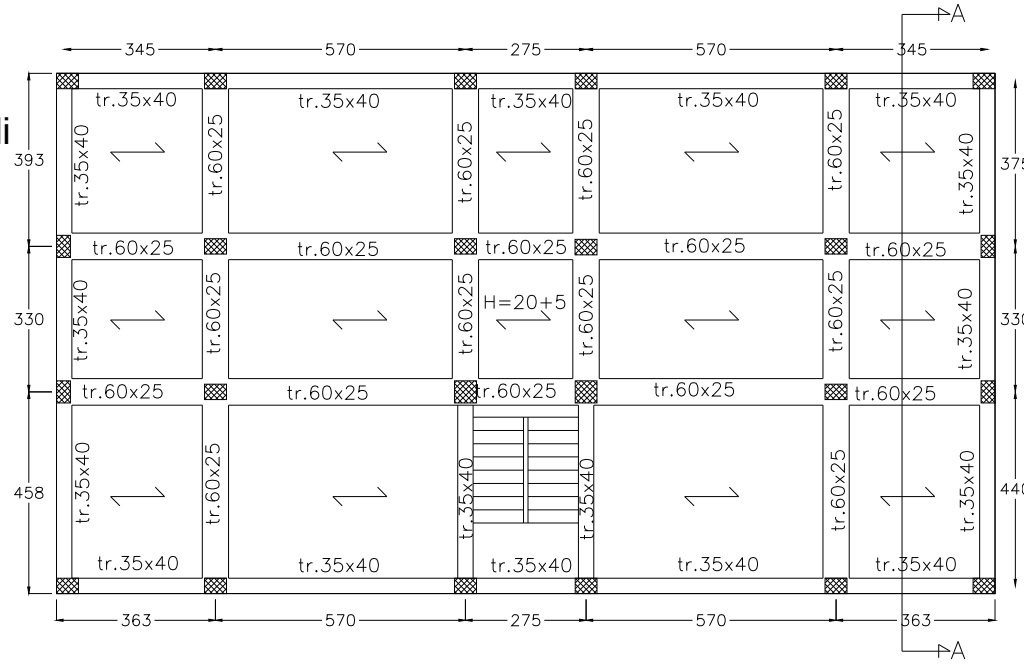
Disposizioni in pianta

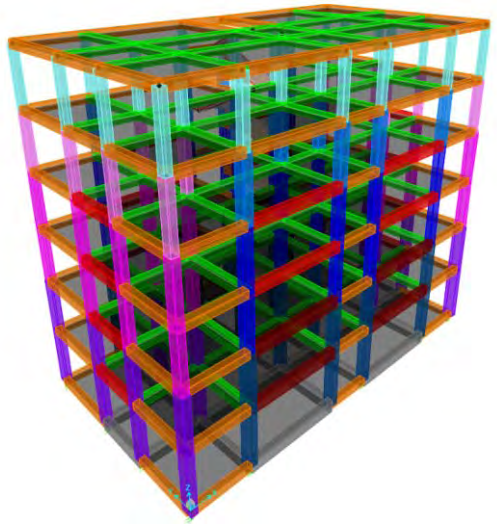
Dimensioni minime elastomerici per carichi verticali

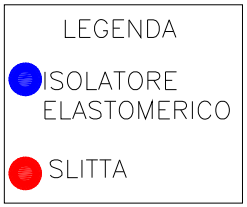
diversificazione per ridurre rigidezza

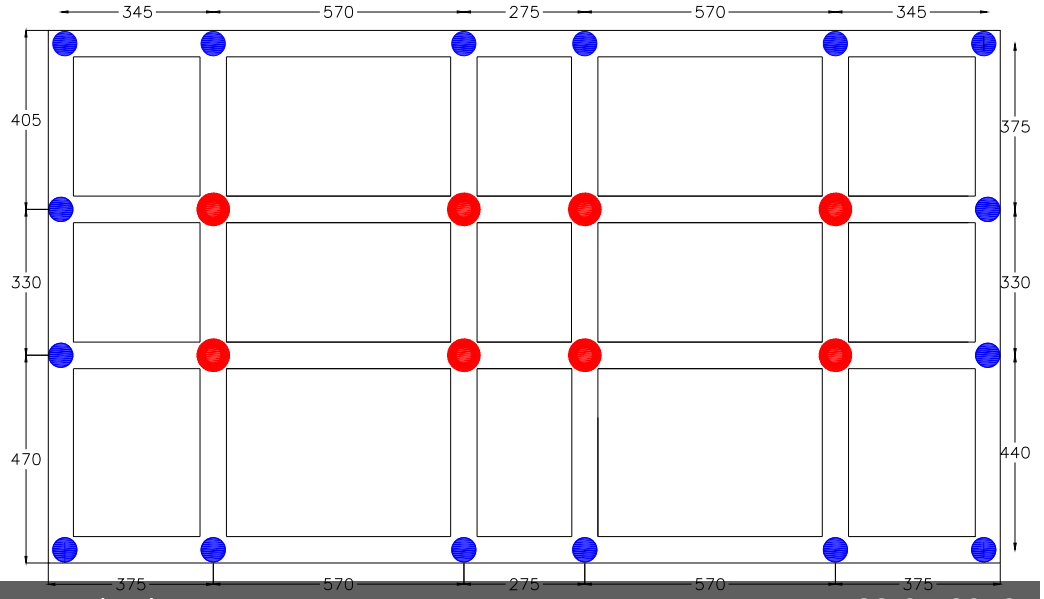
controllo rigidezza torsionale







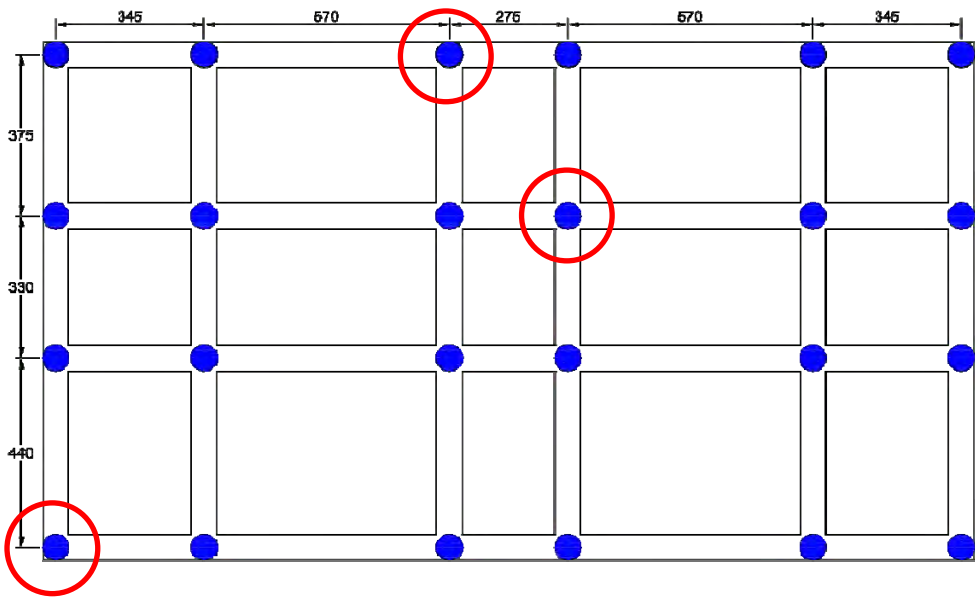


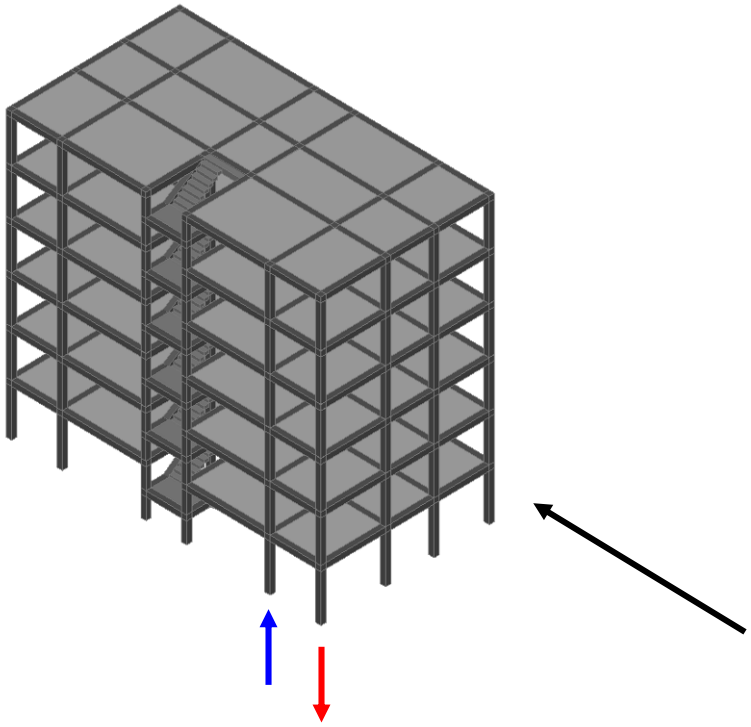


Rocking

Setti e campate corte

(possibile trazione e/o compressione eccessiva)





Isolatore		d	γ	Ved
		mm	-	KN
01	Max	160	1.48	1158
	Min	134	1.24	-32
08	Min	154	1.43	876
	Max	165	1.52	1216
16	Min	155	1.44	147
	Max	155	1.44	2238
21	Max	159	1.47	2119
	Min	146	1.35	-220

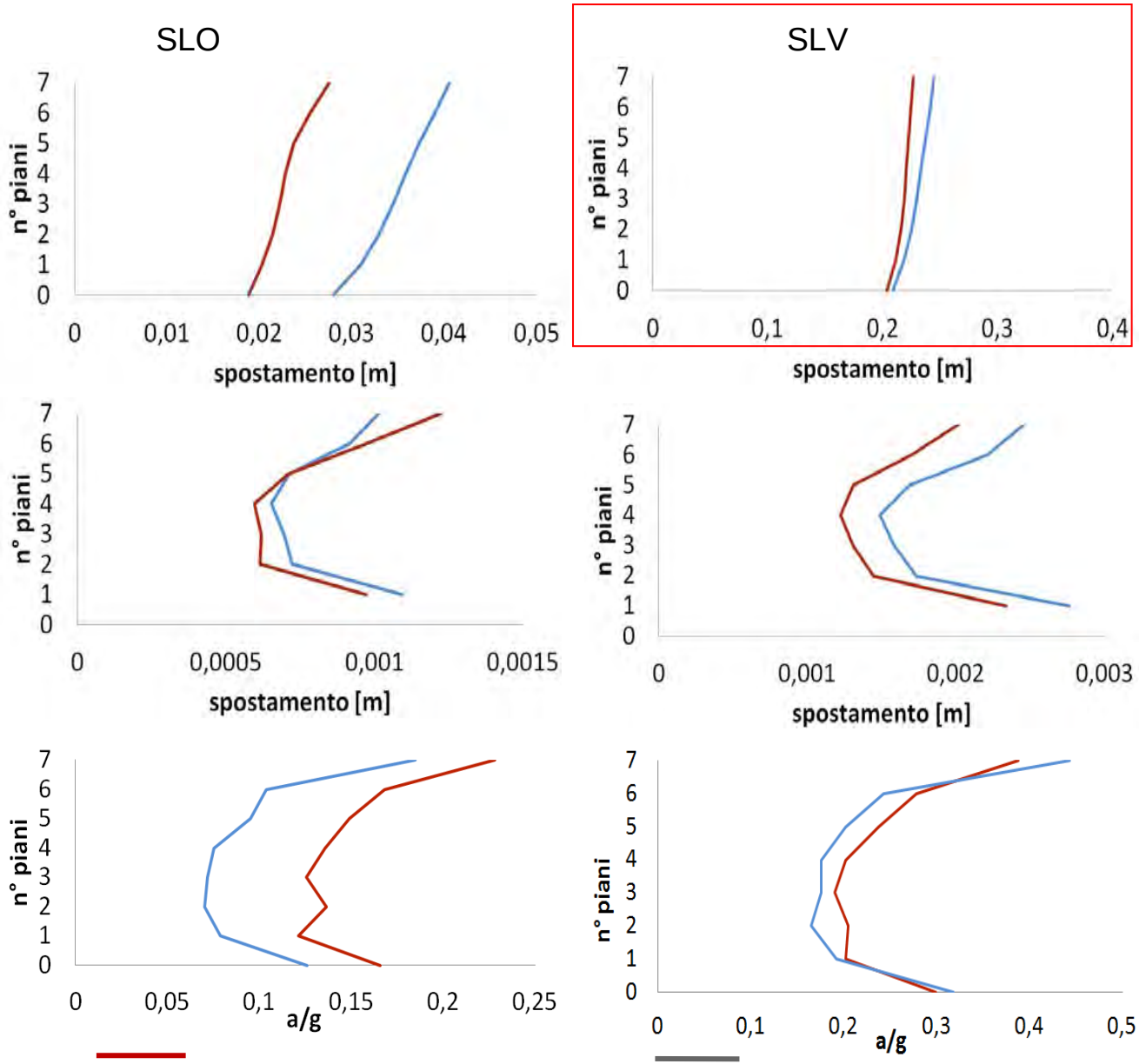
Prestazioni ai diversi SL

(conseguenze della variabilità della rigidezza e dello smorzamento)

Spostamento

Deformazione
(Spostamenti interpiano)

Accelerazioni assolute



Isolatore a pendolo

Isolatore elastomerico

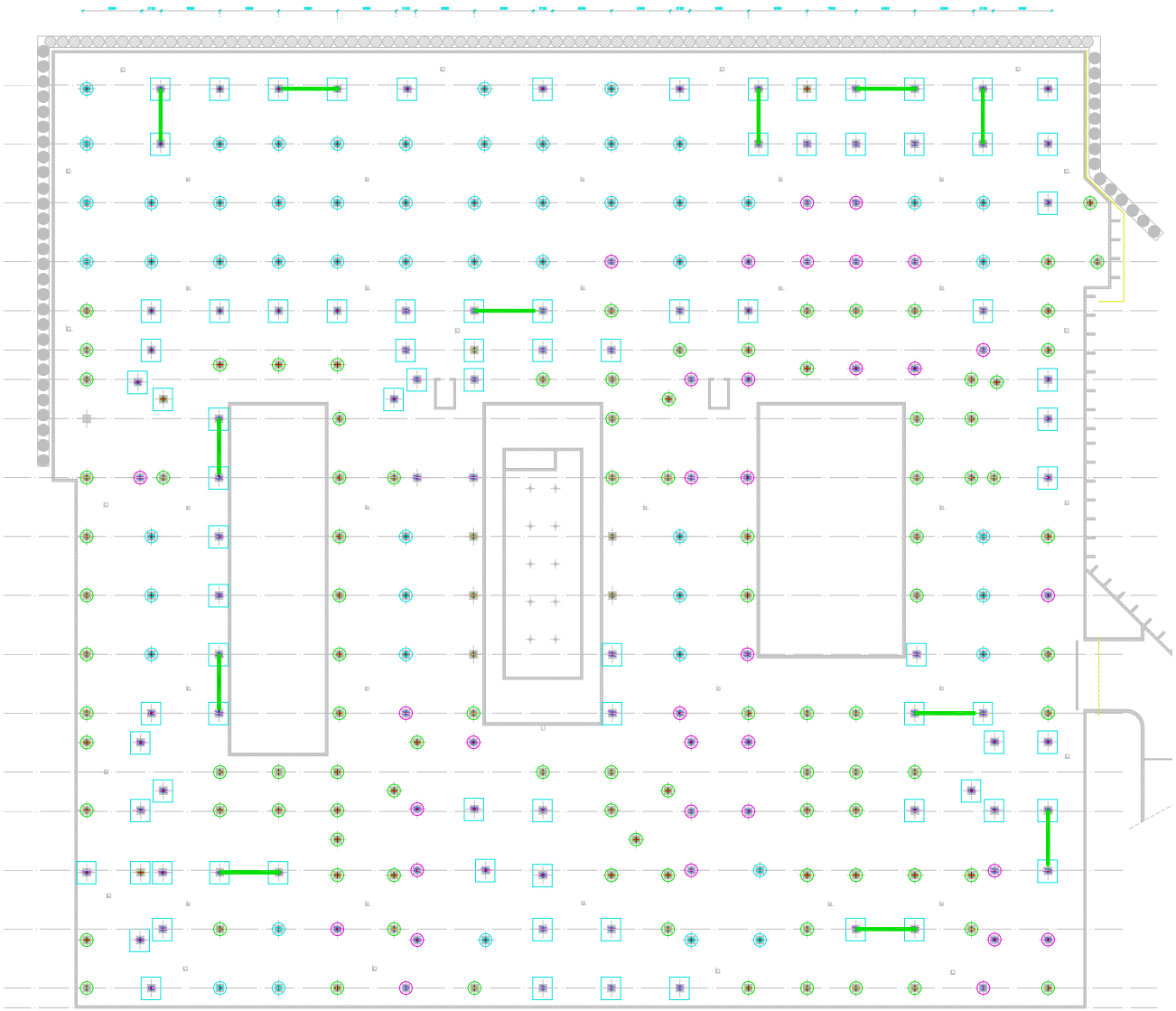
Flessibilità sistemi elastomerici (ibridi)

Controllo rigidezza torsionale

Azioni verticali molto diverse

Smorzamento aggiuntivo

Ottimizzazione a diversi SL



LEGENDA DISPOSITIVI ANTISISMICI

n.104 — Isolatori ad attrito con superficie orizzontale (slitte). Forza massima allo SLU 5.000 kN. Spostamenti allo SLC +/-350mm. Coefficiente di attrito 1%

n.35 — Isolatori ad attrito con superficie orizzontale (slitte). Forza massima allo SLU 7.500 kN. Spostamenti allo SLC +/-350mm. Coefficiente di attrito 1%

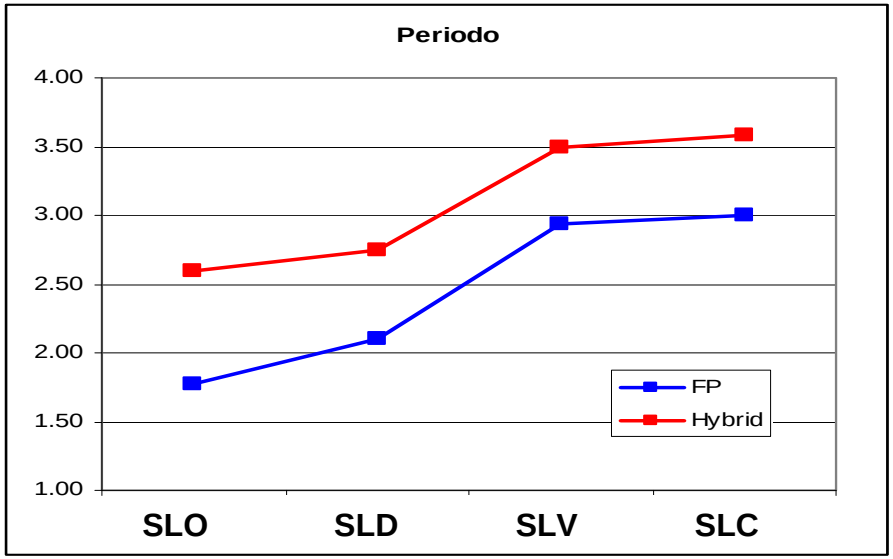
n.54 — Isolatori ad attrito con superficie orizzontale (slitte). Forza massima allo SLU 10.500 kN. Spostamenti allo SLC +/-350mm. Coefficiente di attrito 1%

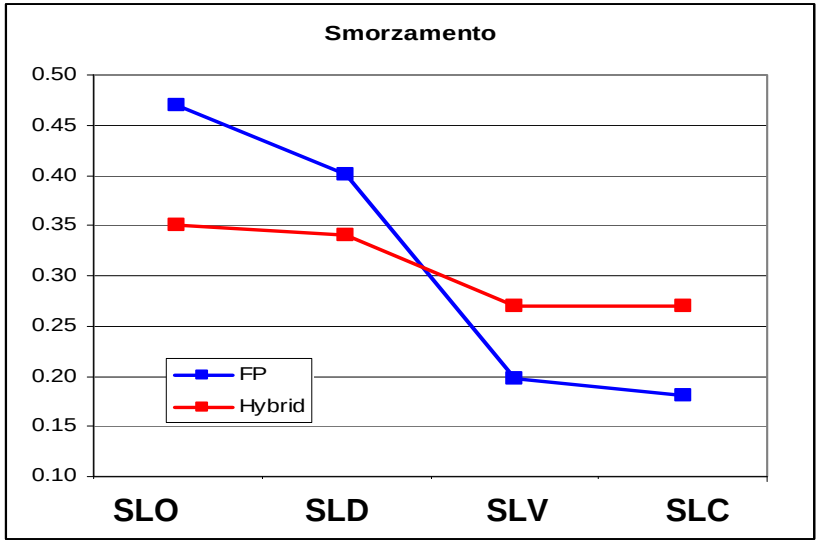
n.85 — Isolatori elastomerici in gomma ad alta rigidezza- Forza massima in fase sismica 6950kN. Forza massima allo SLU 13500kN. Spostamenti allo SLC +/-350mm. Rigidezza allo spostamento massimo 3.000 kN/m, Smorzamento allo spostamento massimo >15%

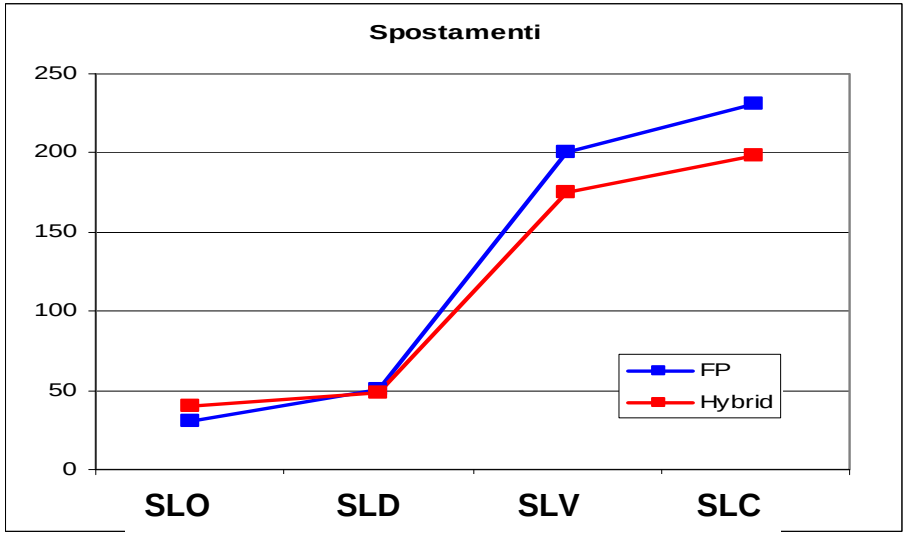
n.12 (6 oriz.) (6 vert.) — Dissipatori viscosi con fluido siliconico, spostamento allo SLC +/-350 mm, forza massima 2.500 kN (esponente 1.00, costante 6000 kNs/m)

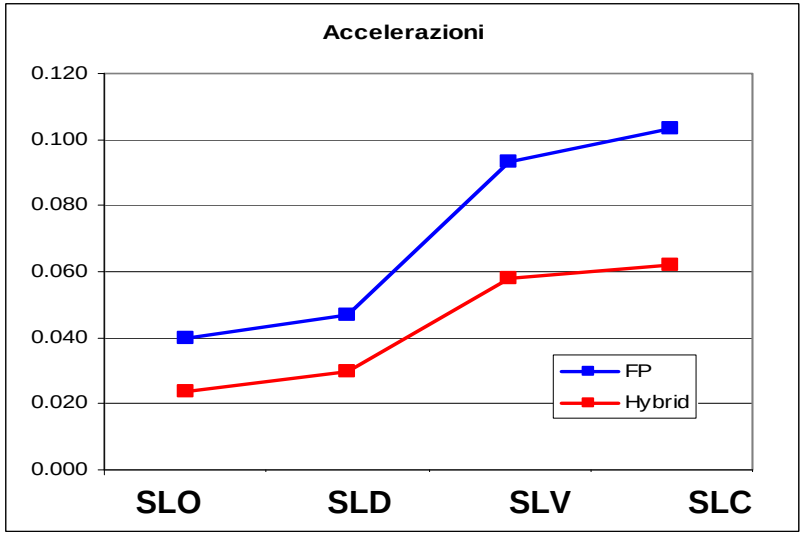
Isolamento FP –> Isolamento ibrido

Ottimizzazione prestazioni ai diversi SL









Dispositivi

Qualifica -> EN15129

Accettazione -> EN 15128

Prove aggiuntive su richiesta di DL e collaudatore

Sovrastruttura

Programma di prove nella fase costruttiva

Caratterizzazione dinamica solo struttura

Caratterizzazione dinamica costruzione completa

Caratterizzazione dinamica solo struttura

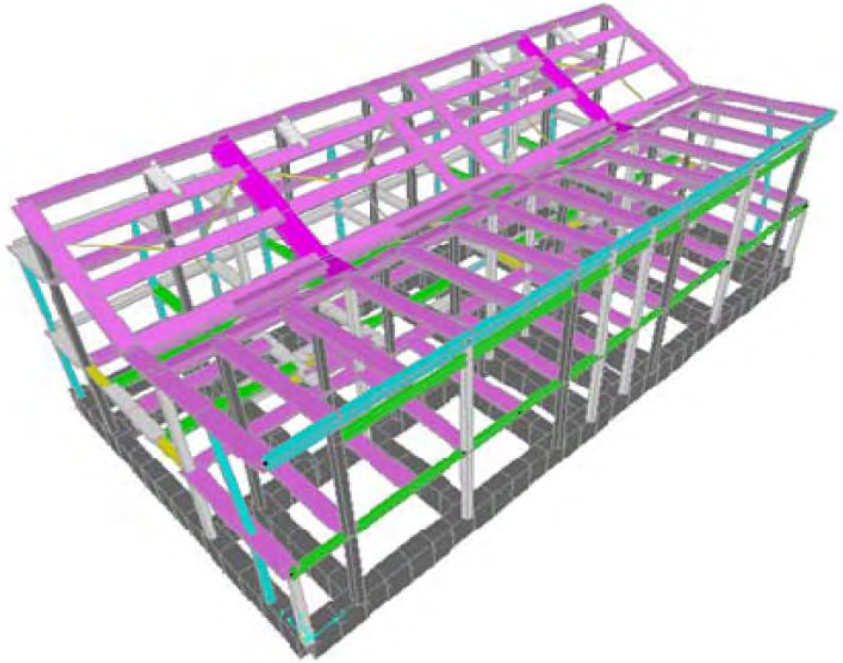
15 accelerometri: controllo spostamenti di piano e deformazione solai

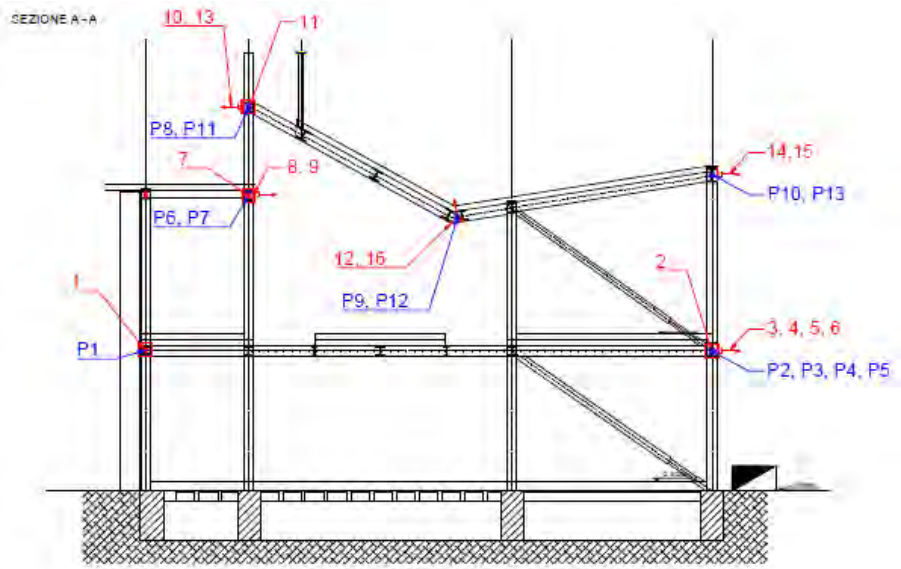
Conferma forma modali e caratteristiche adottate nelle verifiche di resistenza

Risposta in esercizio: caratterizzazione rigidezza nodi e interazione cls-acciaio

Tabella 11. Confronto tra modi di vibrare ottenuti per via sperimentale e per via numerica.

Modi di vibrare ottenuti mediante la tecnica "LMS PolyMAX®" (Fase ASD2)			Modi di vibrare ottenuti mediate modello SAP2000 aggiornato		
Modo N°	Freq. Hz	Descrizione	Modo N°	Freq. Hz	Descrizione
1	4,51	Laterale Y / Torsionale Z	1	4,51	Laterale Y / Torsionale Z
2	4,89	Laterale Y / Torsionale Z	2	4,54	Laterale Y / Torsionale Z
3	5,33	Laterale X	3	4,93	Laterale X / Torsionale Z





Sovrastruttura

Caratterizzazione dinamica costruzione completa

Caratterizzazione influenza tramezzi sulla deformata modale

Possibilità verifiche periodiche

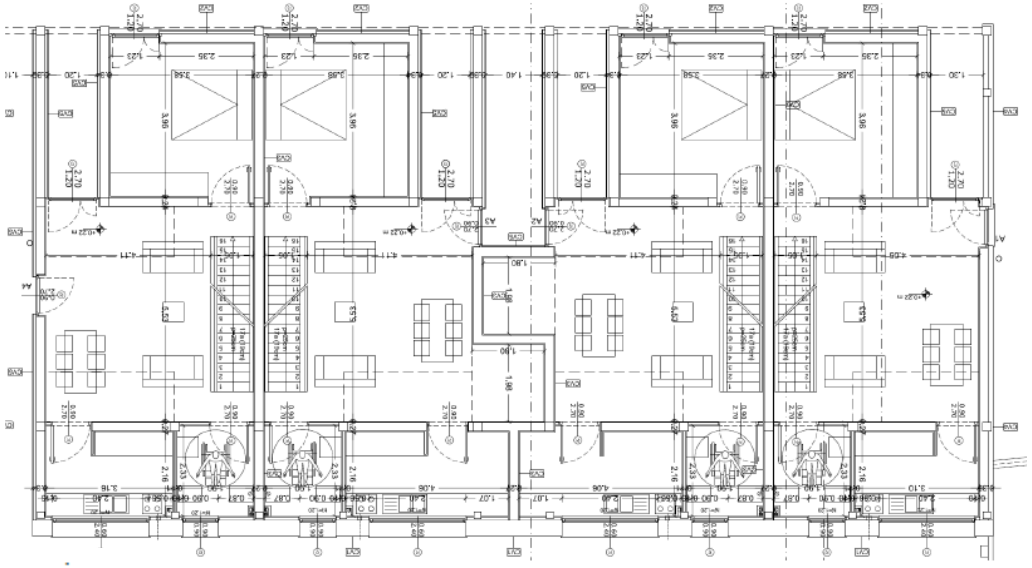
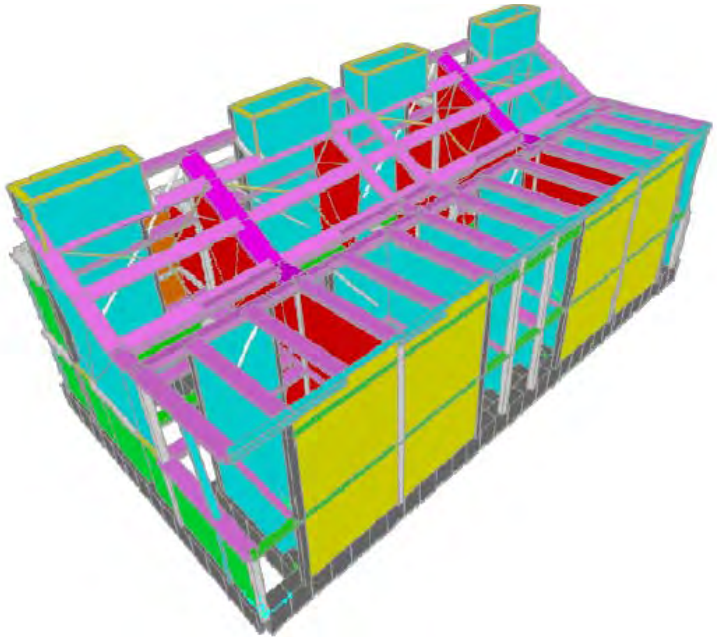


Tabella 11. Confronto tra modi di vibrare ottenuti per via sperimentale e per via numerica.

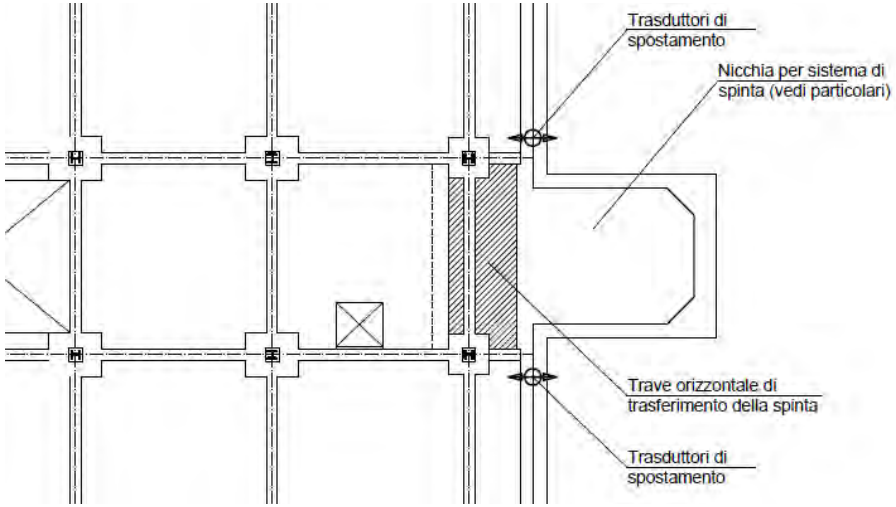
Modi di vibrare ottenuti mediante la tecnica "LMS PolyMAX®" (Fase ASD2)			Modi di vibrare ottenuti mediate modello SAP2000 aggiornato		
Modo N°	Freq. Hz	Descrizione	Modo N°	Freq. Hz	Descrizione
1	4,51	Laterale Y / Torsionale Z	1	4,51	Laterale Y / Torsionale Z
2	4,89	Laterale Y / Torsionale Z	2	4,54	Laterale Y / Torsionale Z
3	5,33	Laterale X	3	4,93	Laterale X / Torsionale Z

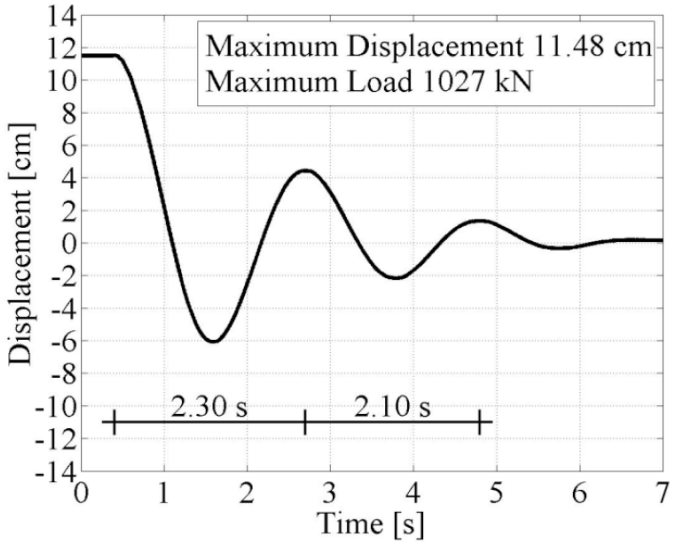
Tabella 18. Confronto tra modi di vibrare ottenuti per via sperimentale e per via numerica.

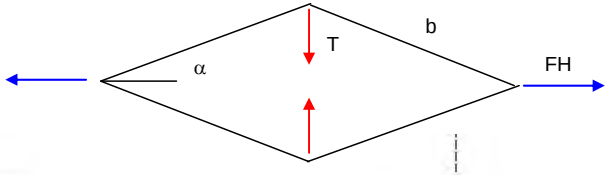
Modi di vibrare ottenuti mediante la tecnica "LMS PolyMAX®" (Fase ASD3)		Modi di vibrare ottenuti mediate modello SAP2000 aggiornato	
Modo N°	Freq. Hz	Modo N°	Freq. Hz
1	7,02	1	7,037
2	7,35	2	7,166
3	7,50	3	8,822

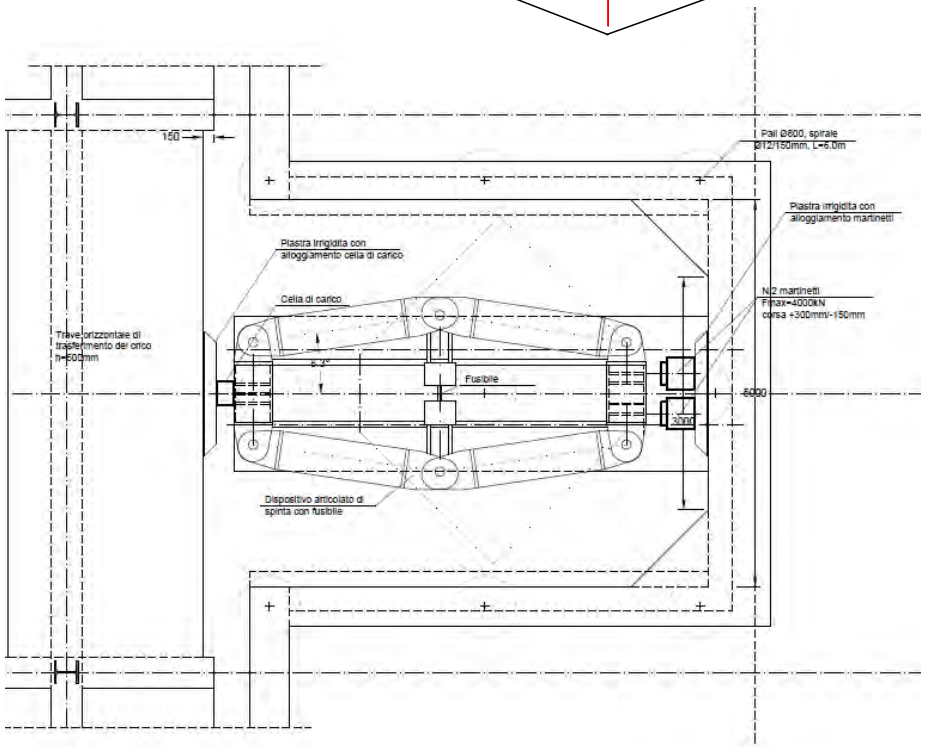


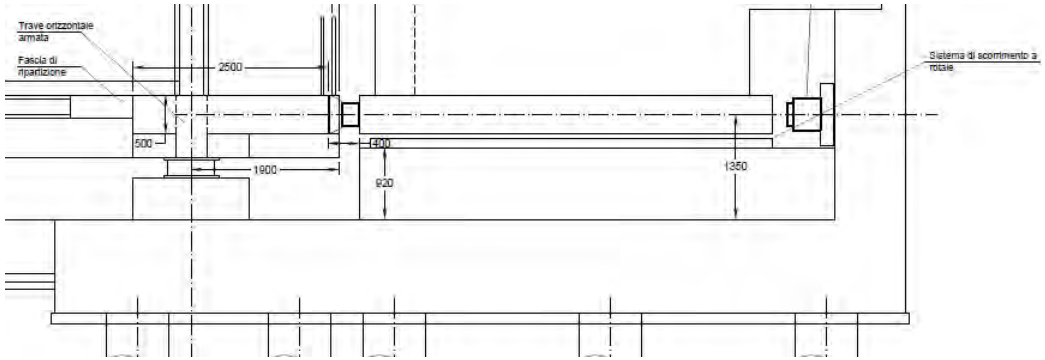
Sistema di isolamento (prova di spinta)









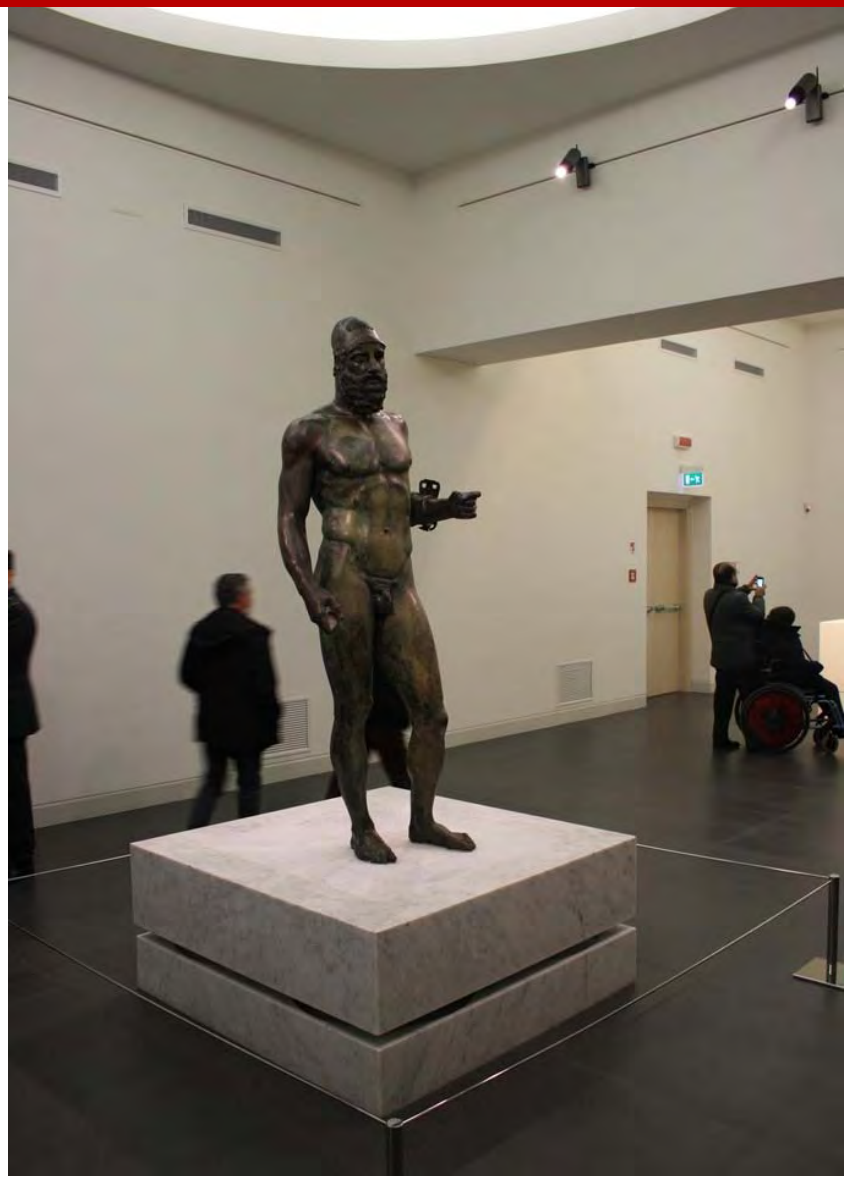


TECNOLOGIE INNOVATIVE DI ISOLAMENTO SISMICO

un cambio di mentalità per la sicurezza non più rinviabile

Ascoli Piceno, 22 maggio 2018

L'isolamento sismico: uno strumento per la sicurezza e la riduzione del danno



Prof. Ing. Andrea Dall'Asta
Università degli Studi di Camerino
Scuola di Architettura e Design
andrea.dallasta@unicam.it