

TECNOLOGIE INNOVATIVE DI ISOLAMENTO SISMICO

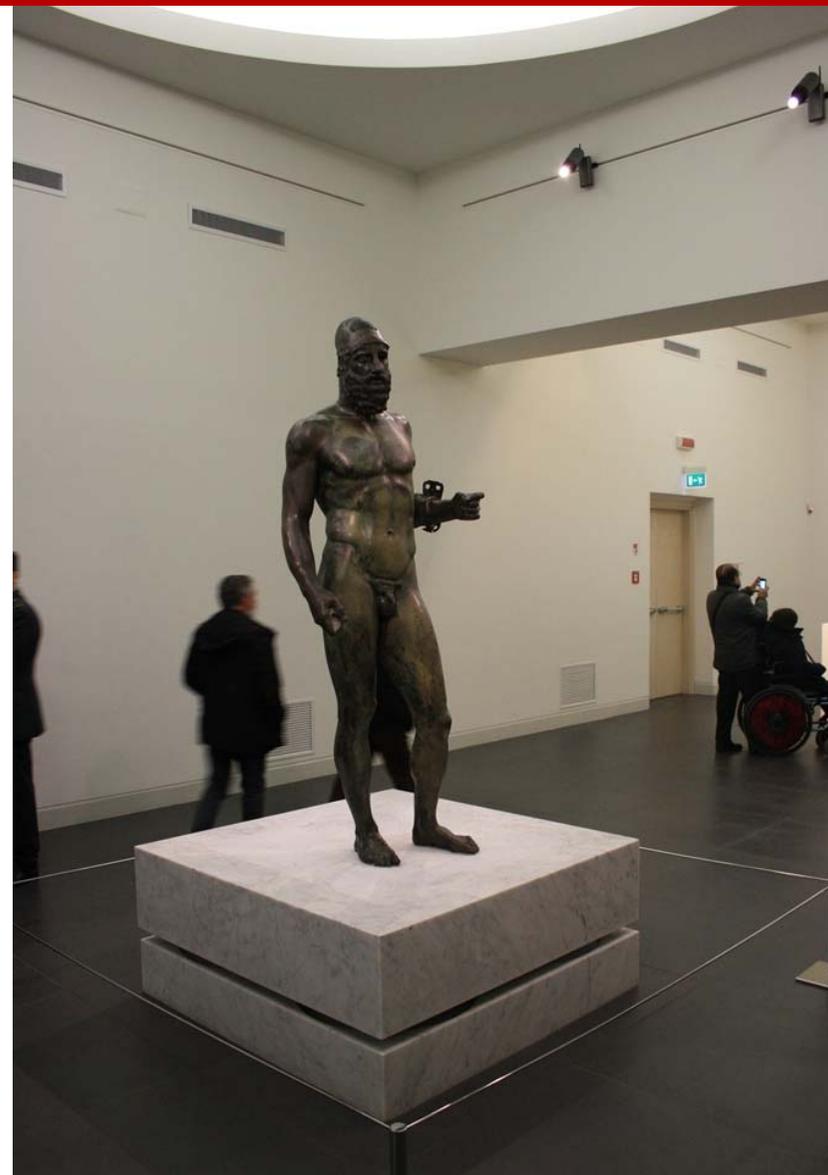
un cambio di mentalità per la sicurezza non più rinviabile

Ascoli Piceno, 22 maggio 2018

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



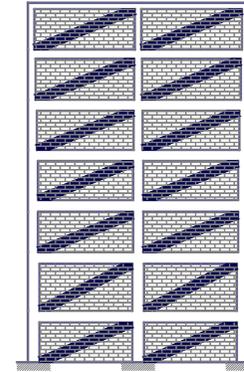
Prof. Ing. Andrea Dall'Asta
Università degli Studi di Camerino
Scuola di Architettura e Design
andrea.dallasta@unicam.it



Edifici a telaio (incluse nuove costruzioni)

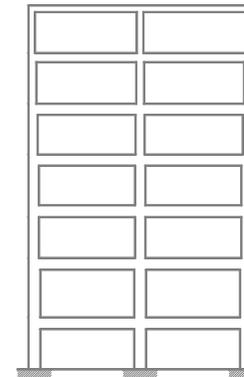
FASE 1 – Edificio integro

Ripartizione azioni tra struttura ed elementi non strutturali



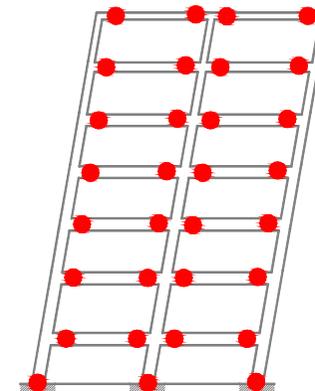
FASE 2 - Danneggiamento elementi non strutturali

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.

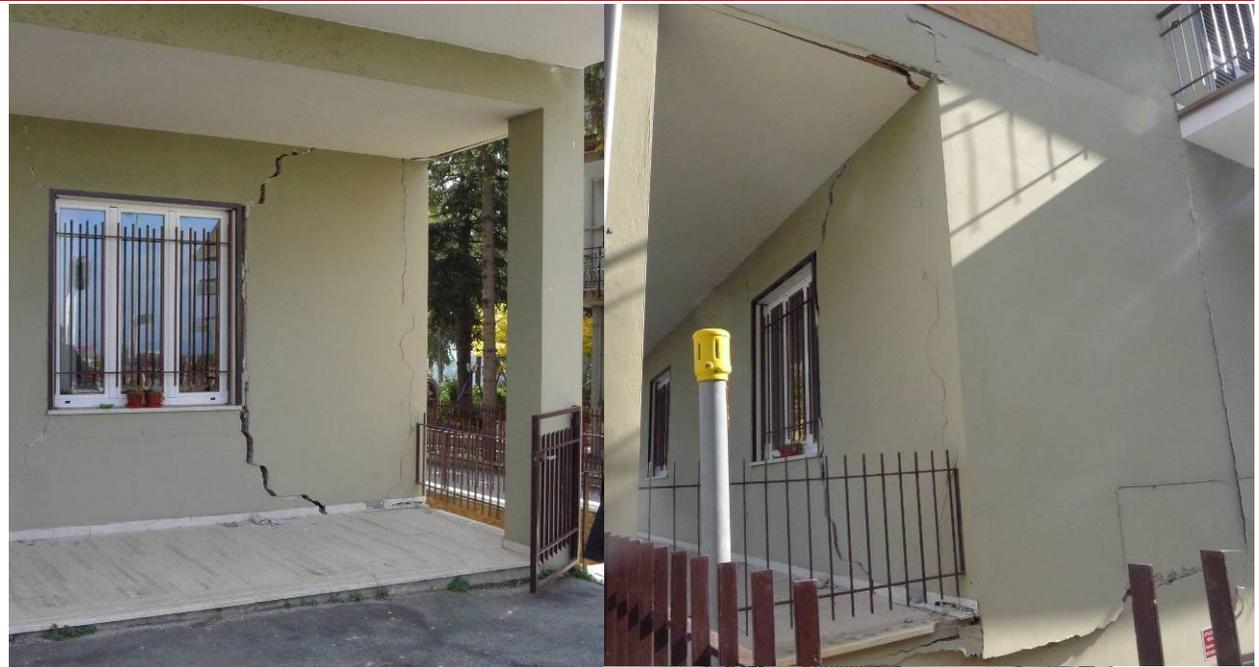
Amatrice
Residenze



Edifici c.a.

Camerino
Collegi e PCMarche

Evento 26 ottobre

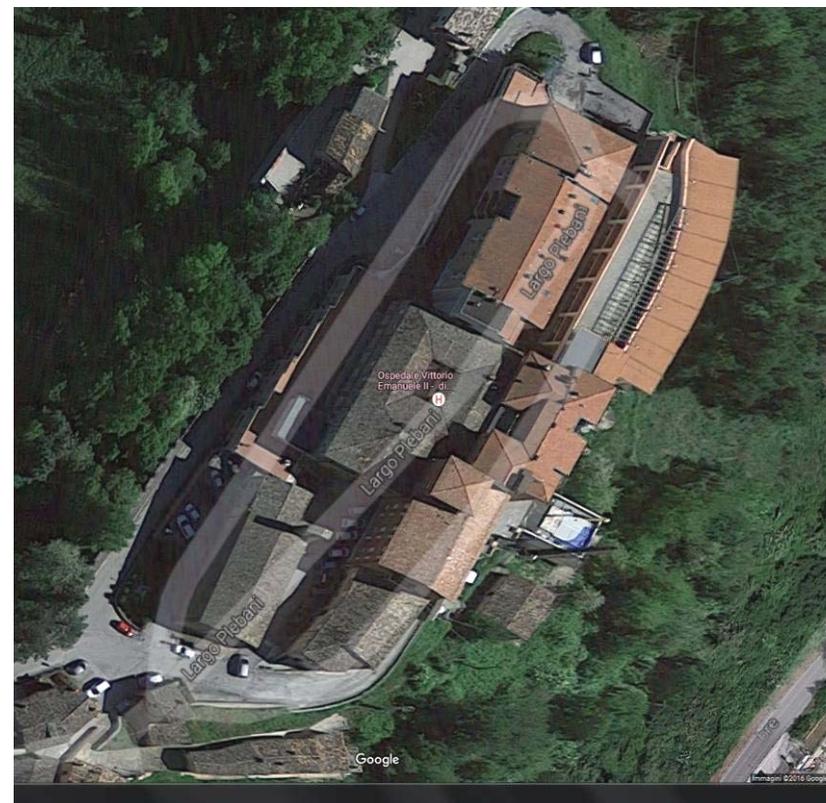


Evento 30 ottobre



Edifici c.a.

Amandola
Ospedale



Edifici c.a. Amandola
Ospedale



Edifici c.a.

Amatrice
Residenze



Moto Sdof interpretazione energetica

Potenza in ingresso
(dipende dal percorso)

$$W_I$$

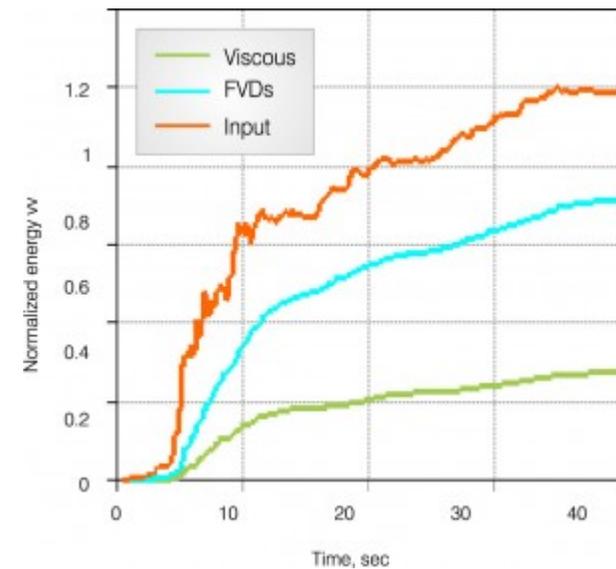
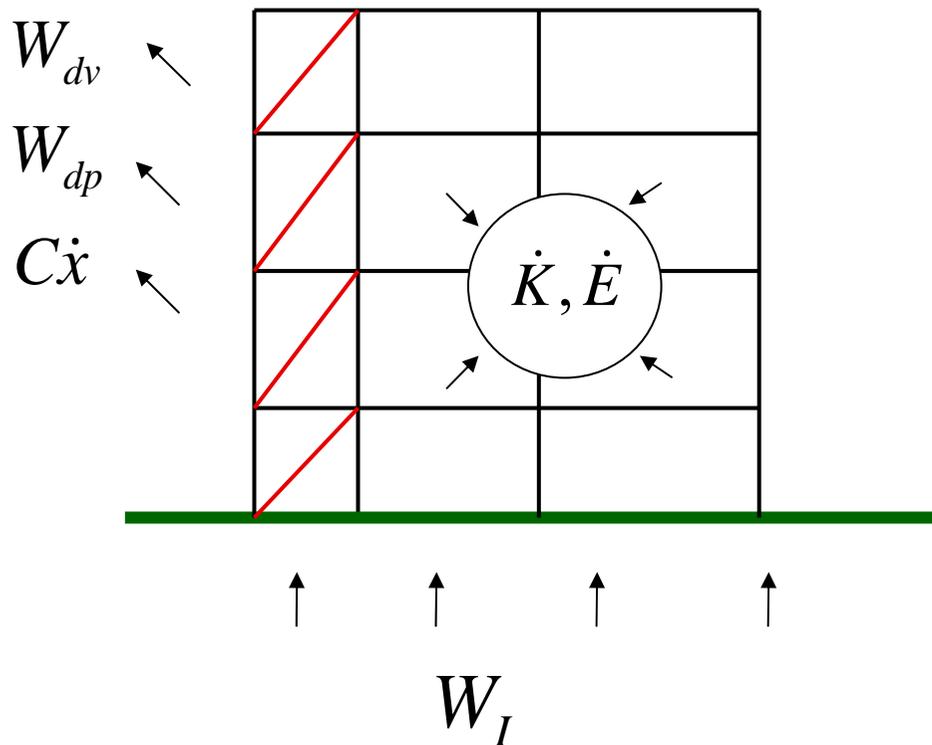
$$\dot{K} + \dot{E}$$

Variatione energia
potenziale (sollecitazioni)

$$W_{dv} + W_{dp}$$

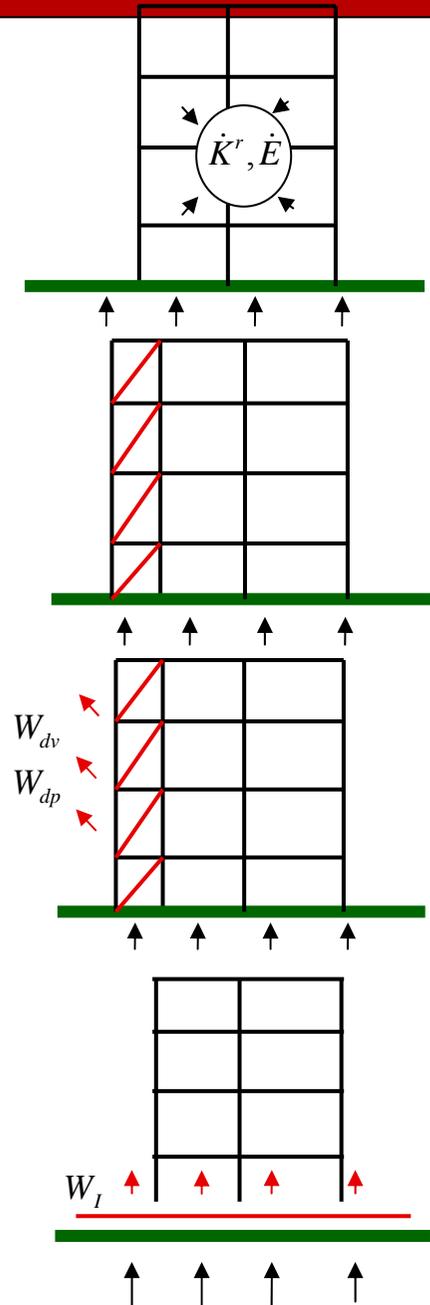
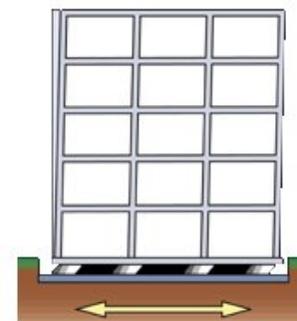
Potenza dissipata

$$+ C\dot{x}$$



Strategie di protezione sismica

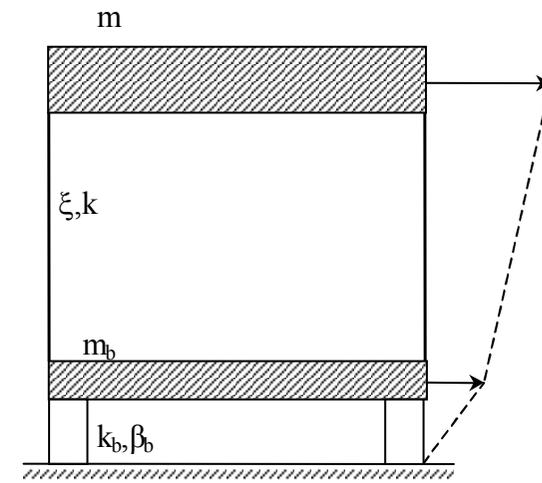
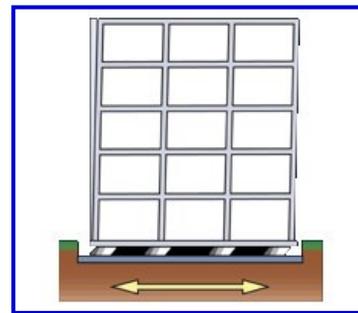
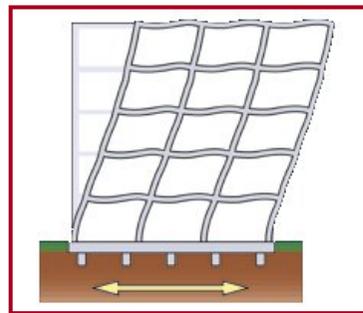
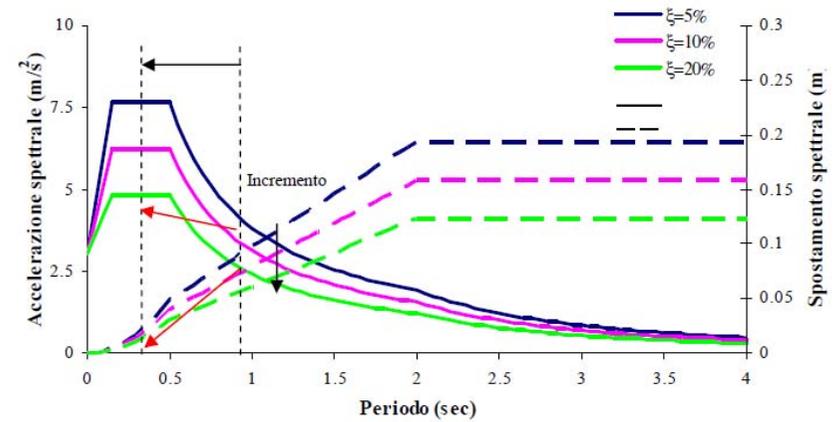
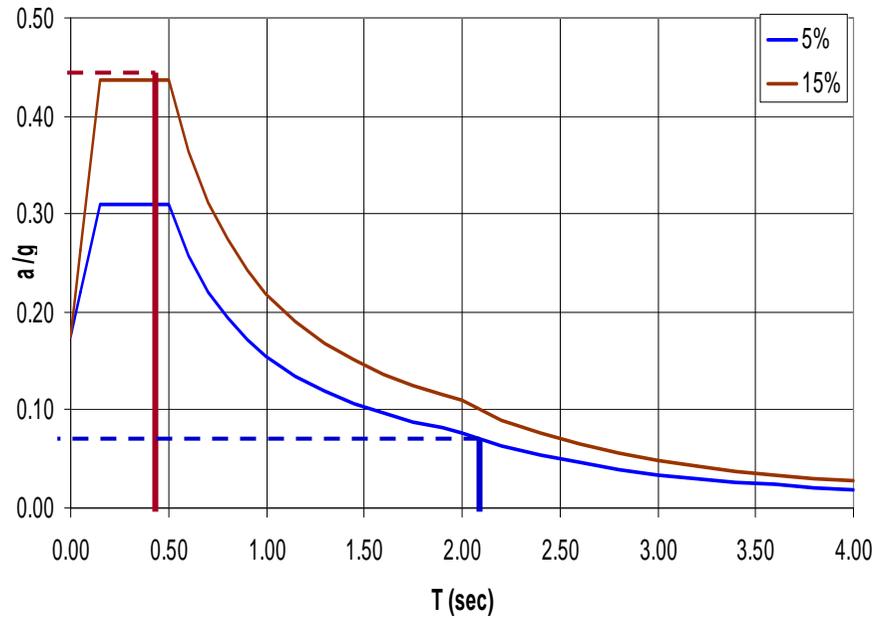
- Incremento prestazioni degli elementi strutturali esistenti
- Inserimento di nuove strutture resistenti
- Inserimento di nuovi componenti dissipativi (diss. isteretica/viscosa)
- Riduzione dell'energia in ingresso (isolamento sismico)



Isolamento Sismico:

- Aspetti generali
- Dispositivi
- Dimensionamento
- Progettazione

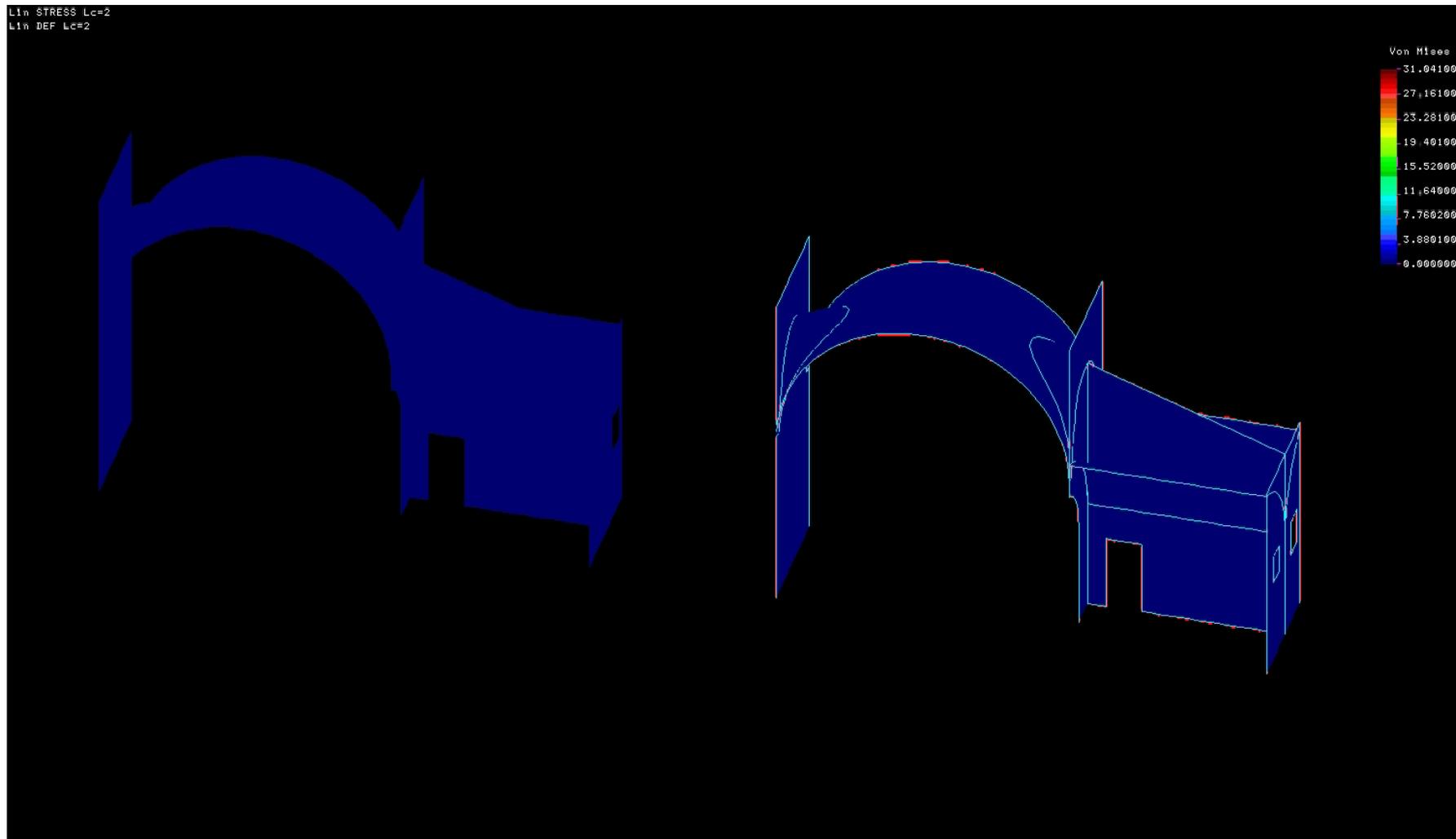
Riduzione forze – incremento spostamenti



Riduzione accelerazioni assolute



Aumento spostamenti - Riduzione deformazione/tensione

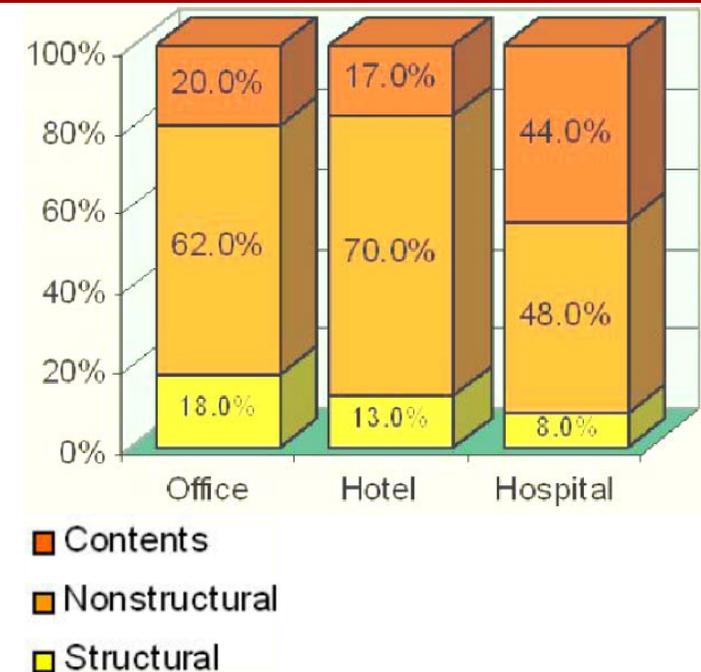


Vantaggi

- 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

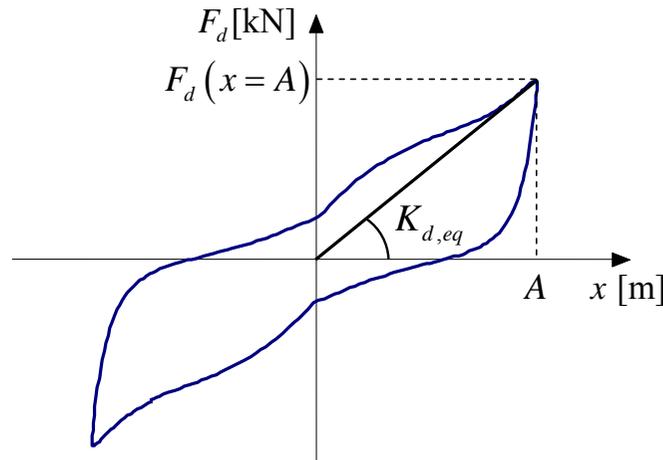
Definizioni

- Isolatore: rigidezza verticale – deformabilità laterale
- Interfaccia d'isolamento: separazione sottostruttura-sovrastuttura
- 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

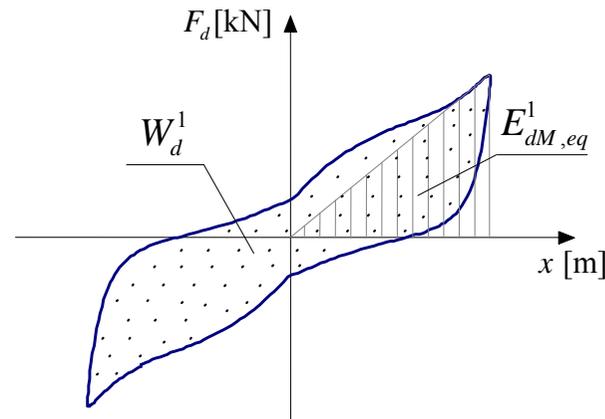
Prova a controllo di spostamenti

$$x(t) = A \sin(\omega t)$$



Rigidezza
equivalente

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



Smorzamento equivalente

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

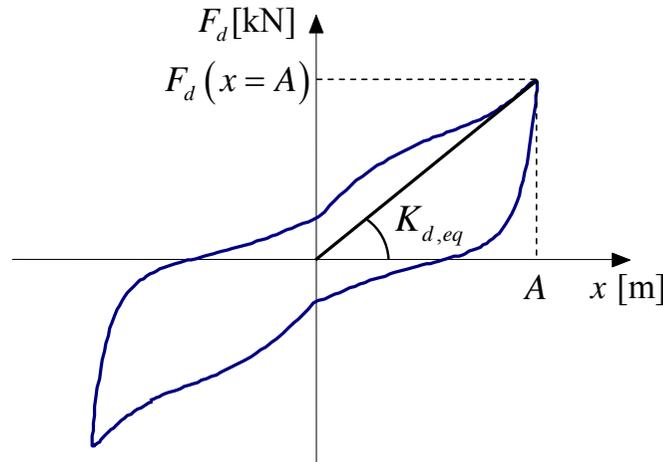
Energia dissipata

$$W_d^1$$

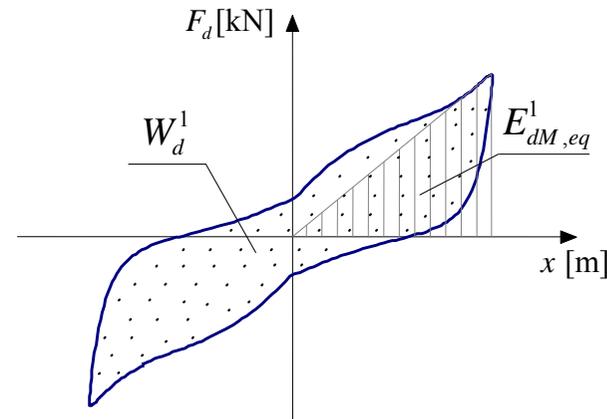
Max. en. Elastica
convenzionale

$$E_{dM,eq}^1 = K_{d,eq} A^2 / 2$$

Descrizione sintetica del comportamento ciclico - limiti



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



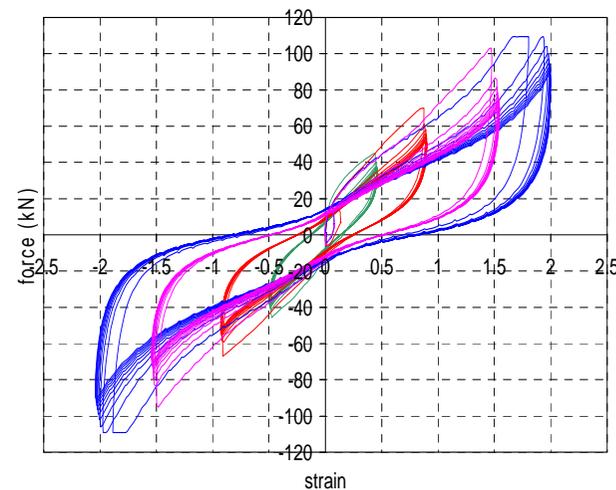
$$\xi_{d,eq} = \frac{W_d^1}{4\pi E_{dM,eq}^1}$$

Parametri possono variare con

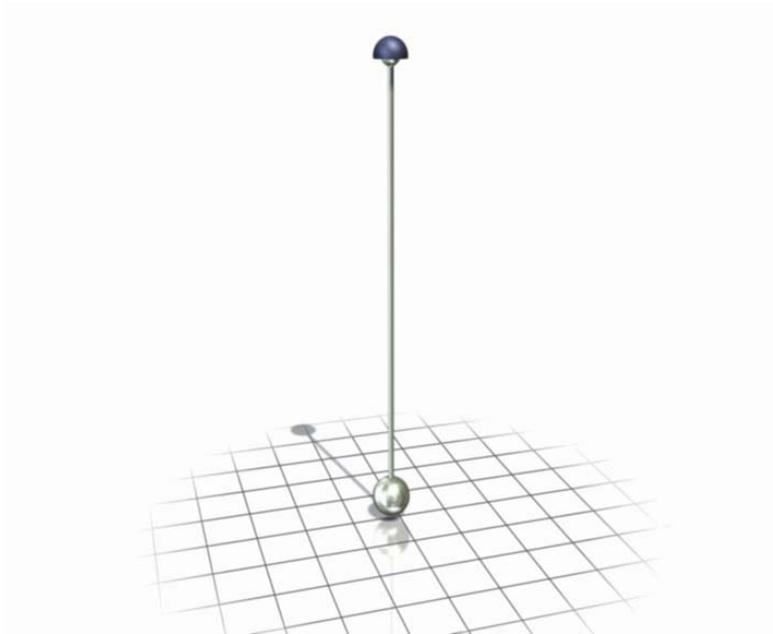
Ampiezza e pulsazione

Forma del ciclo di spostamenti

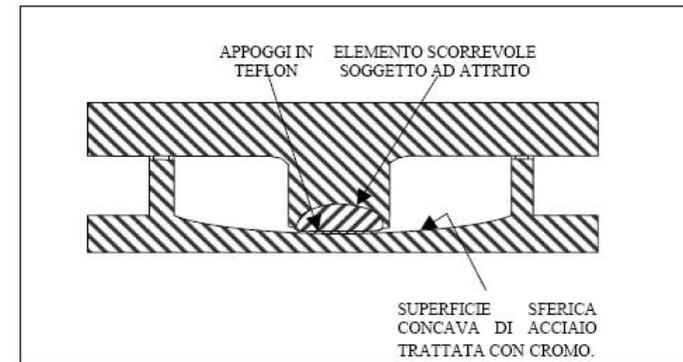
Danneggiamento progressivo



Isolatori a pendolo (senza attrito)



Friction Pendulum System (FPS)

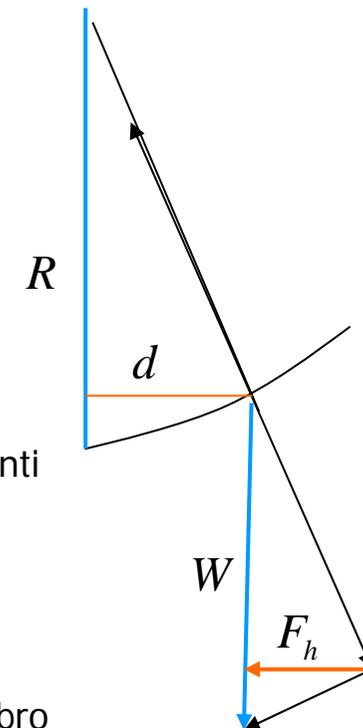


Dispositivo ad attrito con meccanismo a pendolo (FPS)

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

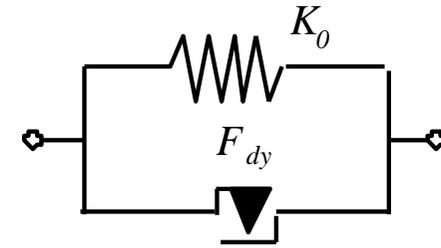
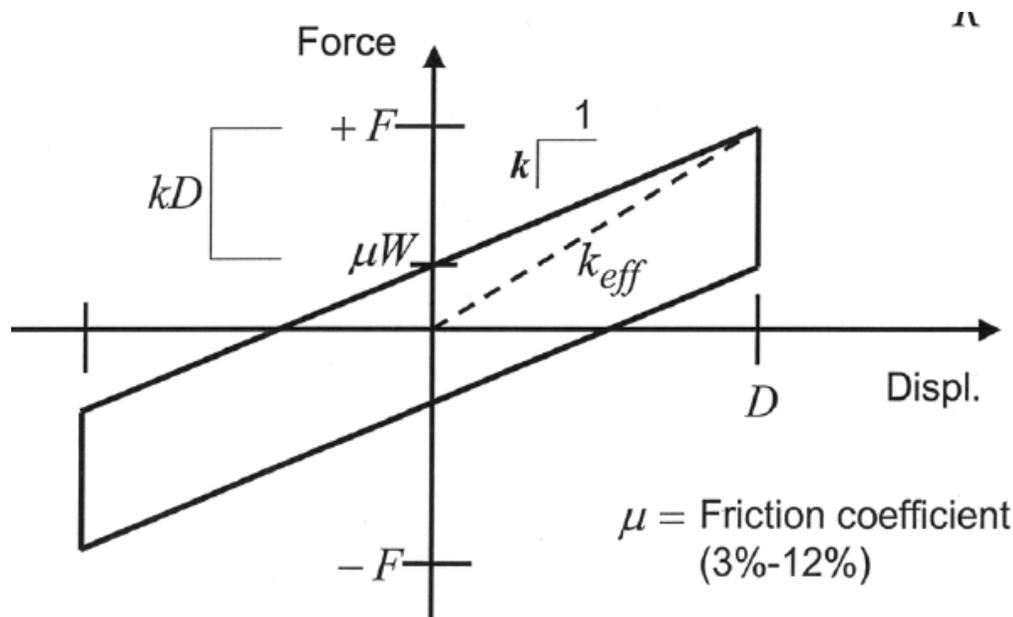
$$K = \frac{W}{R} = \frac{Mg}{R}$$

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



- 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)



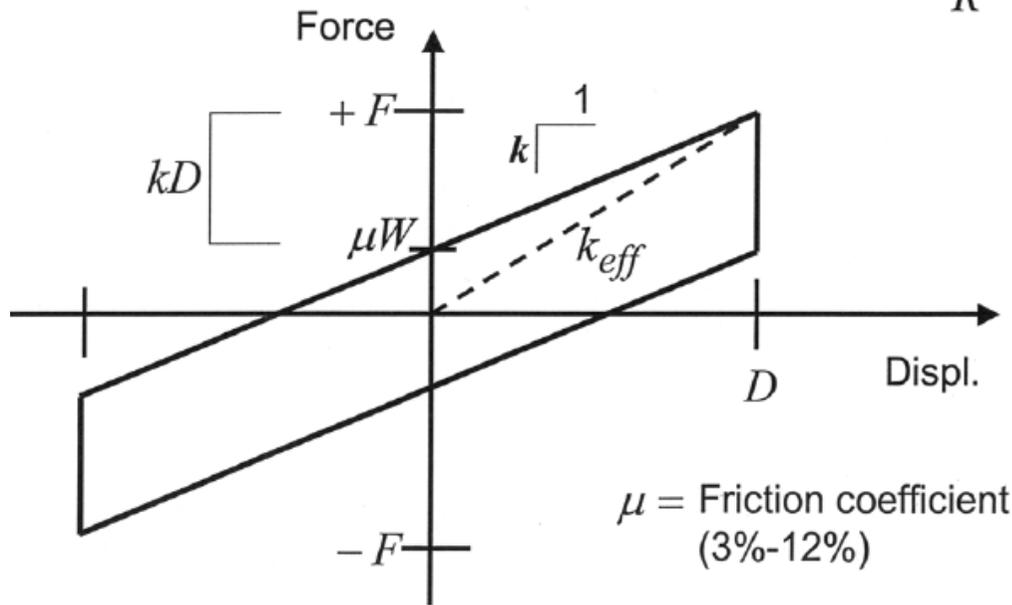
$$F_h = W \frac{d}{R} + \mu W$$

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

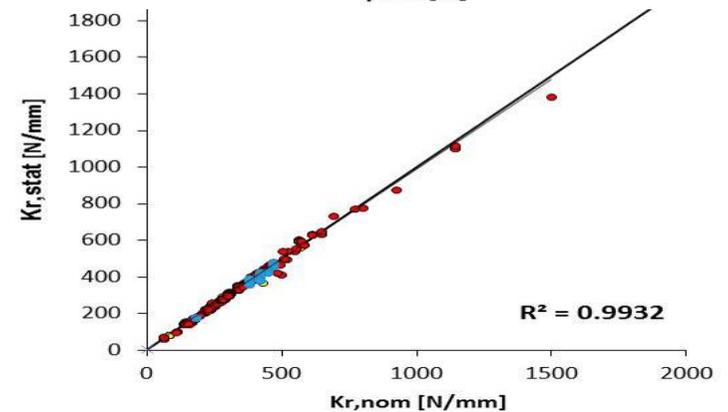
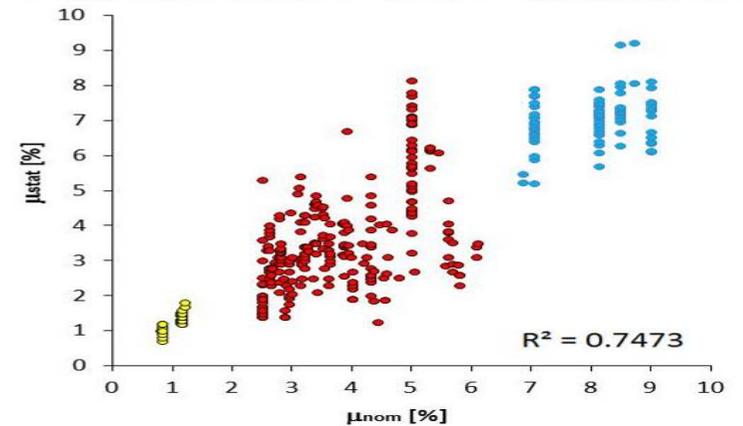
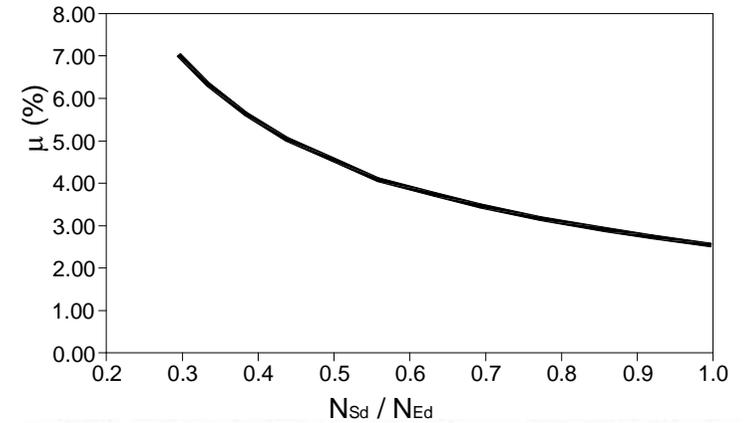
$$\omega^2 = \frac{K}{M} = g \left(\frac{1}{R} + \frac{\mu}{d} \right)$$

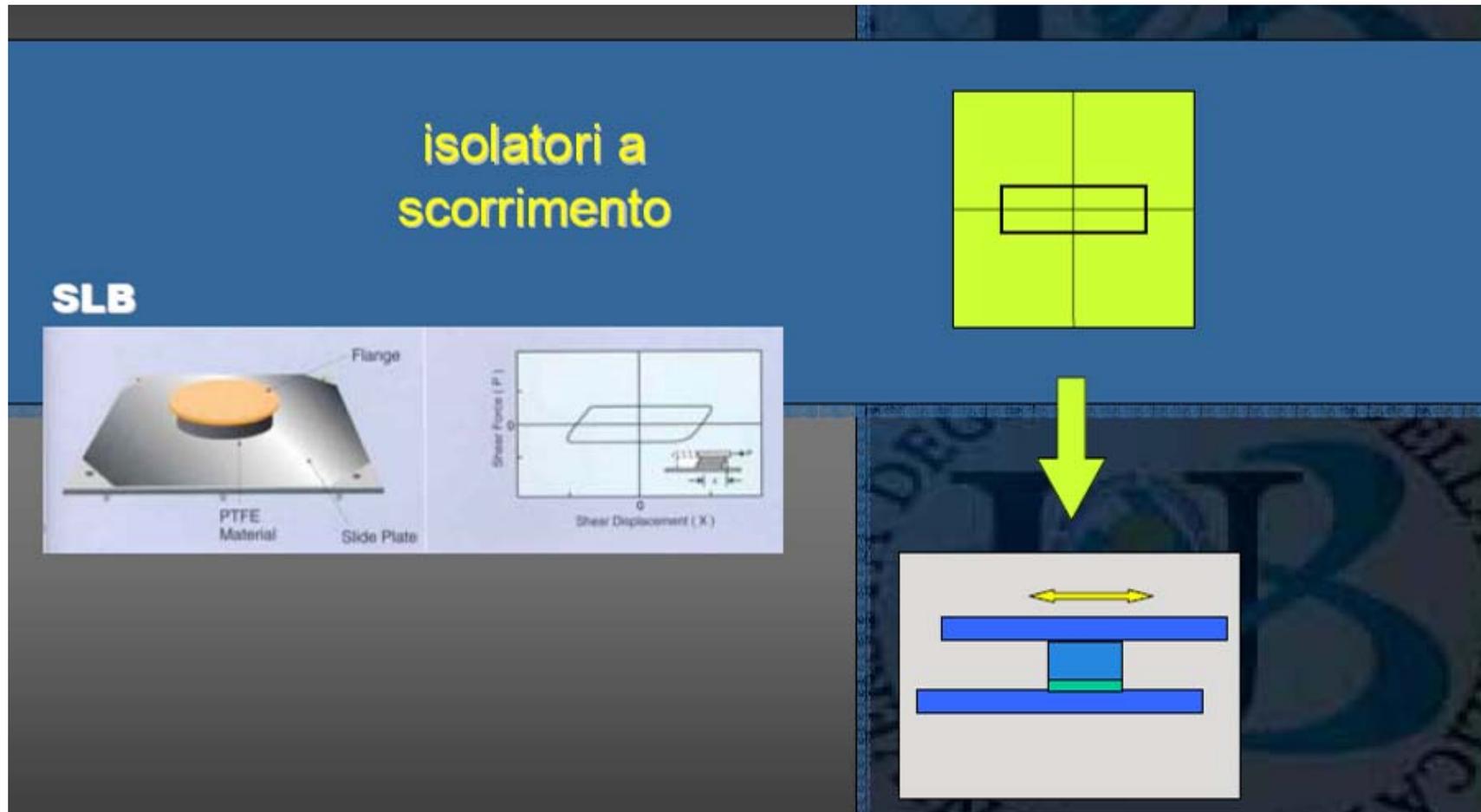
- Capacità dissipativa del meccanismo ad attrito (rigido plastico incrudente)
- Forza di richiamo non lineare / Rigidezza variabile con gli spostamenti
- Parzialmente ricentranti
- Rigidezza ancora proporzionale alle masse (CR-CG)
- Periodo ancora indipendente dalla struttura (variabile con gli spostamenti)
- 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

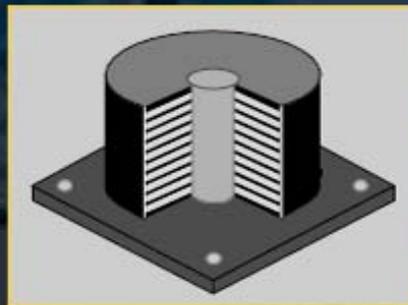




Fonte: Isolamento sismico edifici e ponti, prof. M. Dolce

Tra gli isolatori si individuano:

isolatori in
materiale
elastomerico
ed acciaio



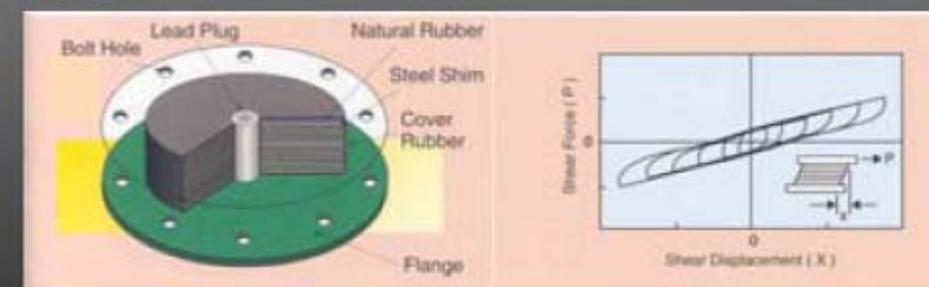
NRB



HDRB

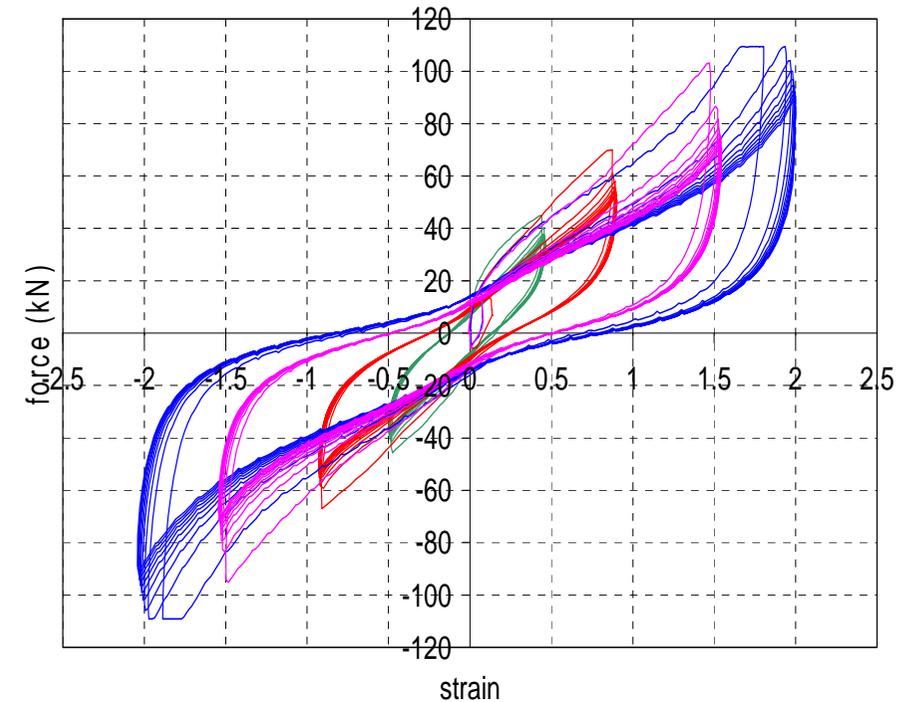


LRB



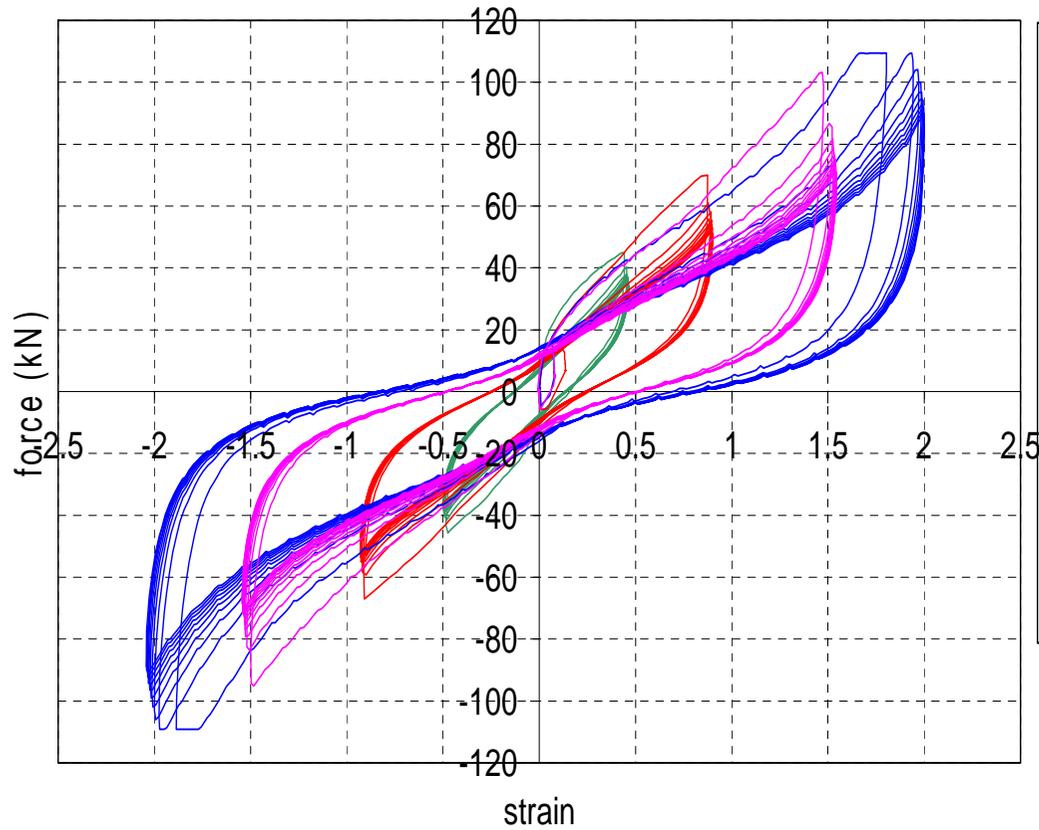
Fonte: Isolamento sismico edifici e ponti, prof. M. Dolce

Isolatori in gomma

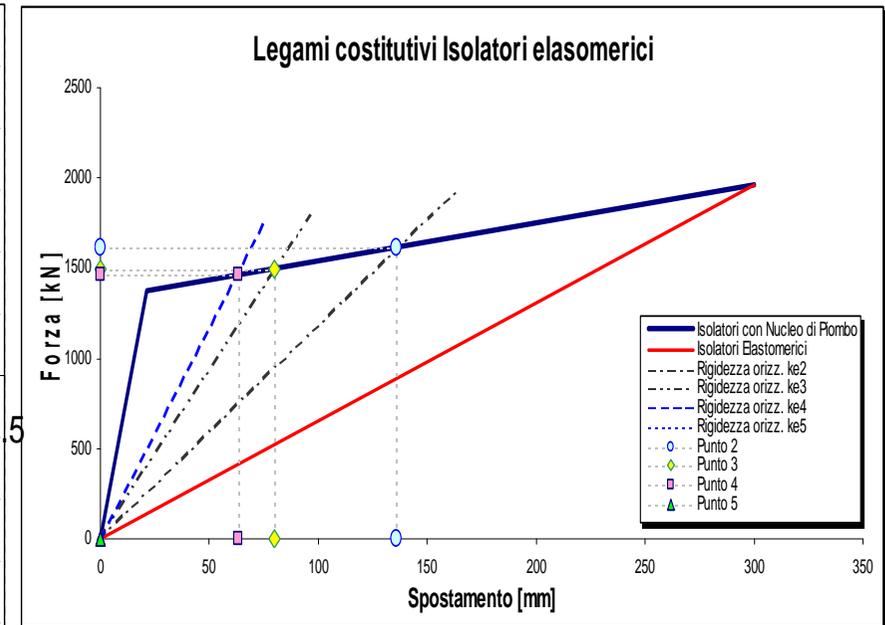


- Ricentranti - Forza di richiamo non lineare
- Rigidezza elevata in esercizio
- Stessa rigidezza nelle due direzioni
- Possibilità di controllare la distribuzione di rigidezza (es. rig. Torsionale)
- Durevoli
- Ingombro dipende dall'azione assiale e dai rapporti geometrici

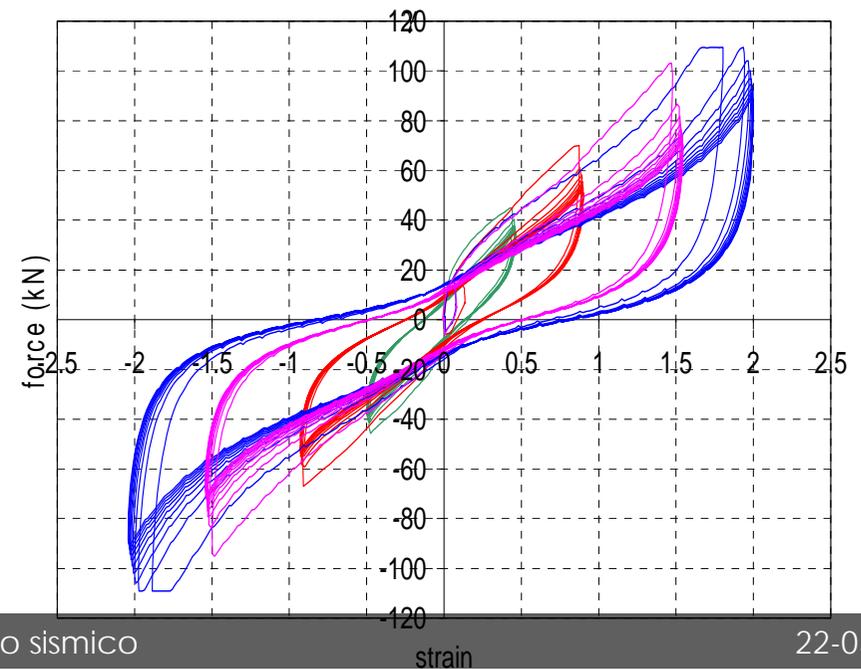
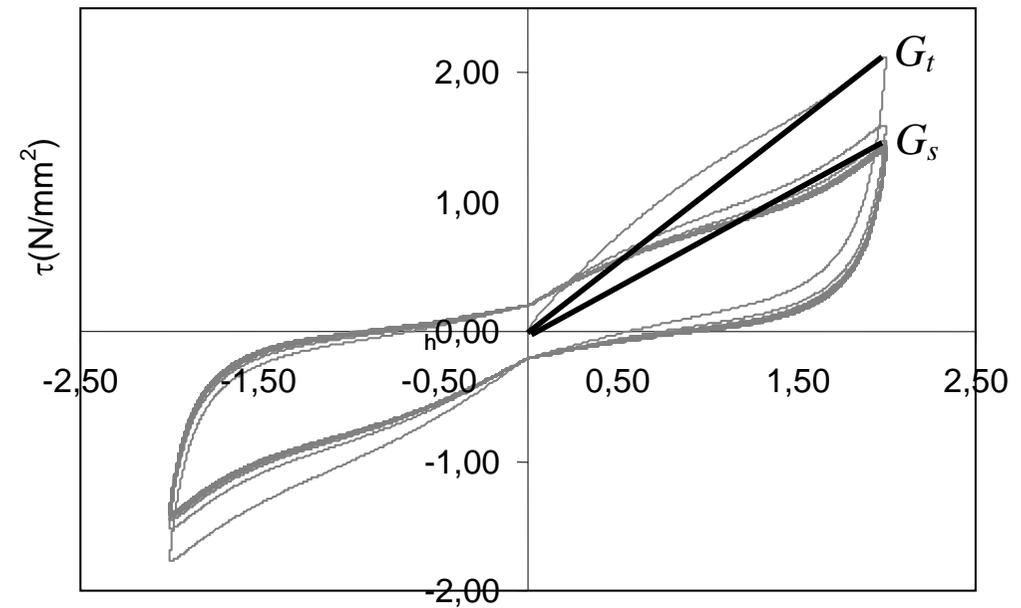
Isolatori in gomma dissipativa



Isolatori in gomma con nucleo in piombo

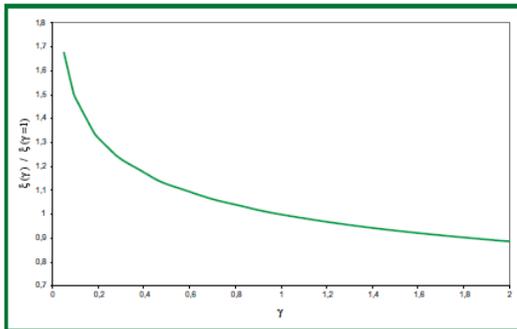
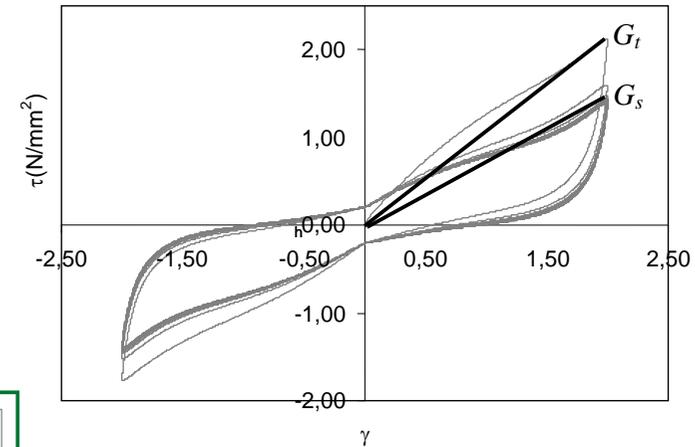


- Isolatori in gomma
 - Dipendenza ampiezza
 - Dipendenza spostamenti
 - Mullins effect

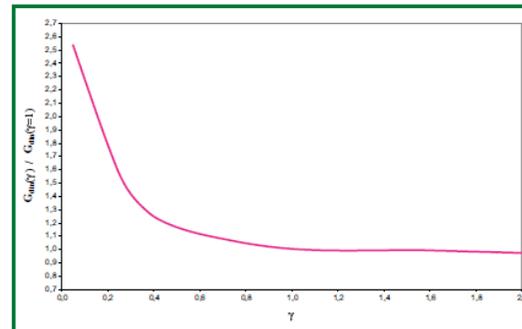


- Linearizzazione

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



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



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

Linearizzazione transitorio

	$\gamma=2$		$\gamma=1.5$		$\gamma=1$	
	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

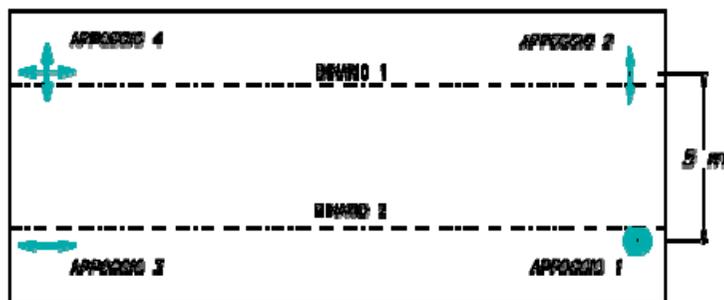
	$\gamma=2$		$\gamma=1.5$		$\gamma=1$	
	G_s Nmm^{-2}	ξ_s	G_s Nmm^{-2}	ξ_s	G_s Nmm^{-2}	ξ_s
Case a	0.866	0.15	0.857	0.18	1.010	0.18
Case b	0.753	0.16	0.746	0.19	0.939	0.18
Case c	0.672	0.16	0.660	0.19	0.883	0.18

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

Isolatori con vincolo temporaneo
+ dissipazione isteretica

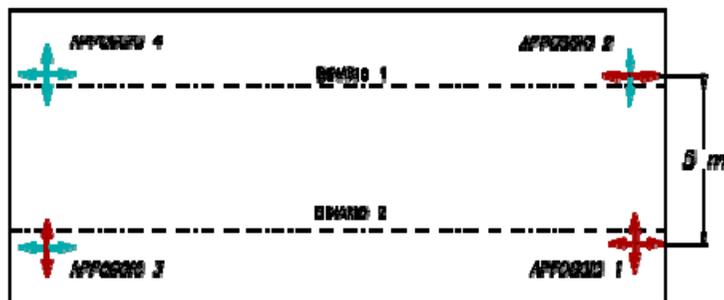
- Limitazione massima forza trasmissibile
- Dissipazione elevata
- Necessita sostituzione
- Spostamenti residui
- Spine a rottura in servizio

SCHEMA DI VINCOLO IN SERVIZIO

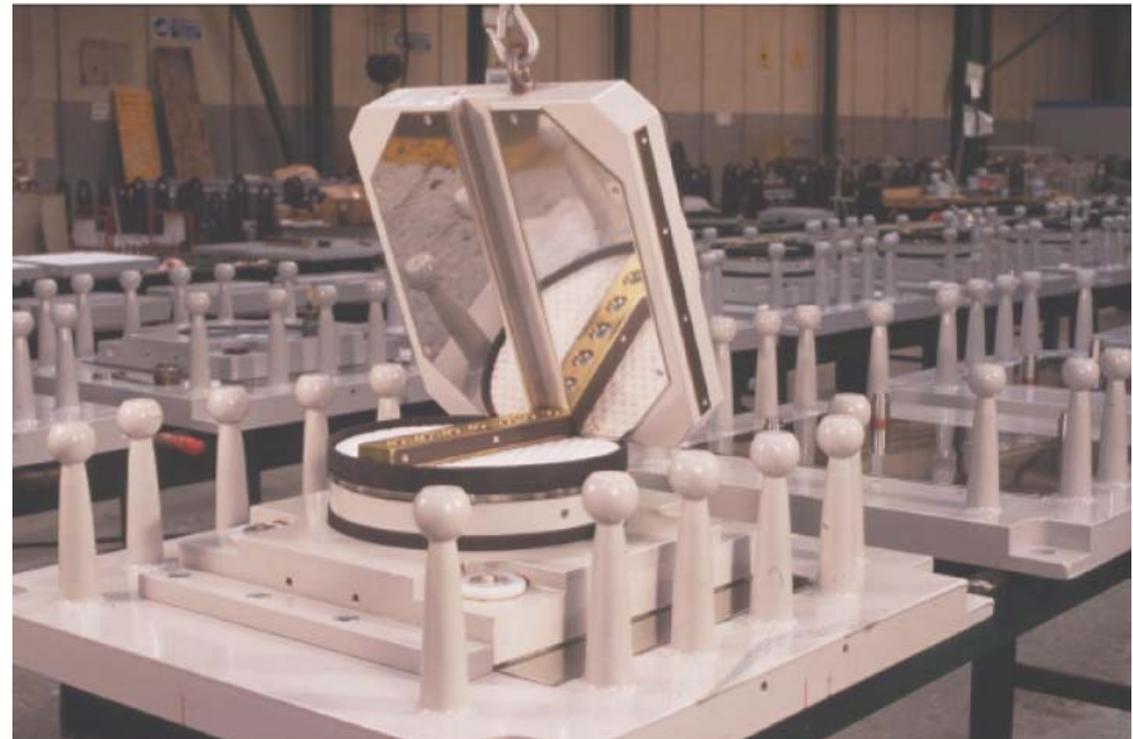


APPOGGIO 1: FISSO
 APPOGGIO 2: UNIDIREZIONALE IRREVERSIBILE
 APPOGGIO 3: UNIDIREZIONALE IRREVERSIBILE
 APPOGGIO 4: MULTIDIREZIONALE

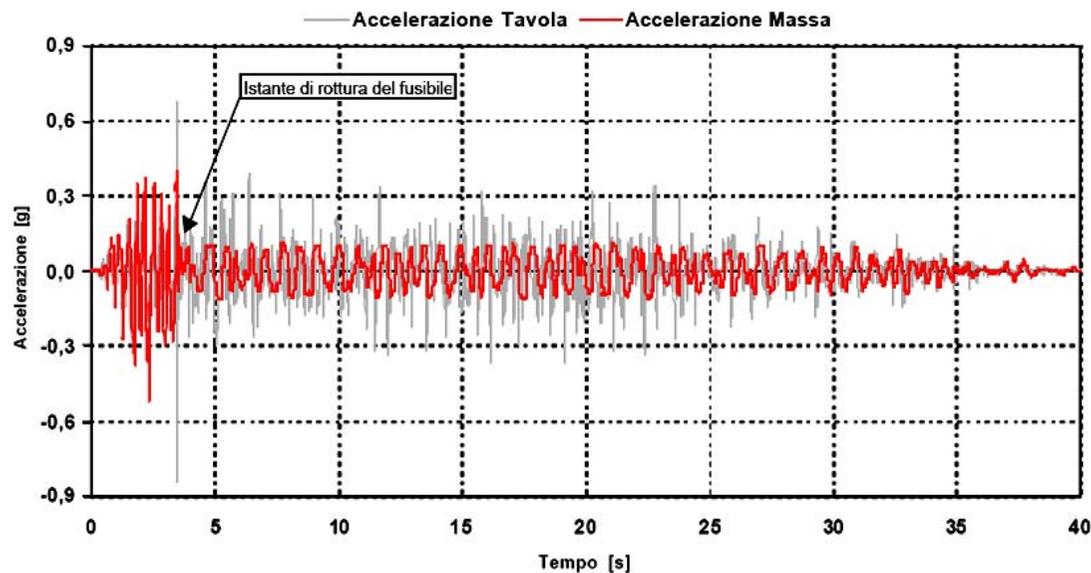
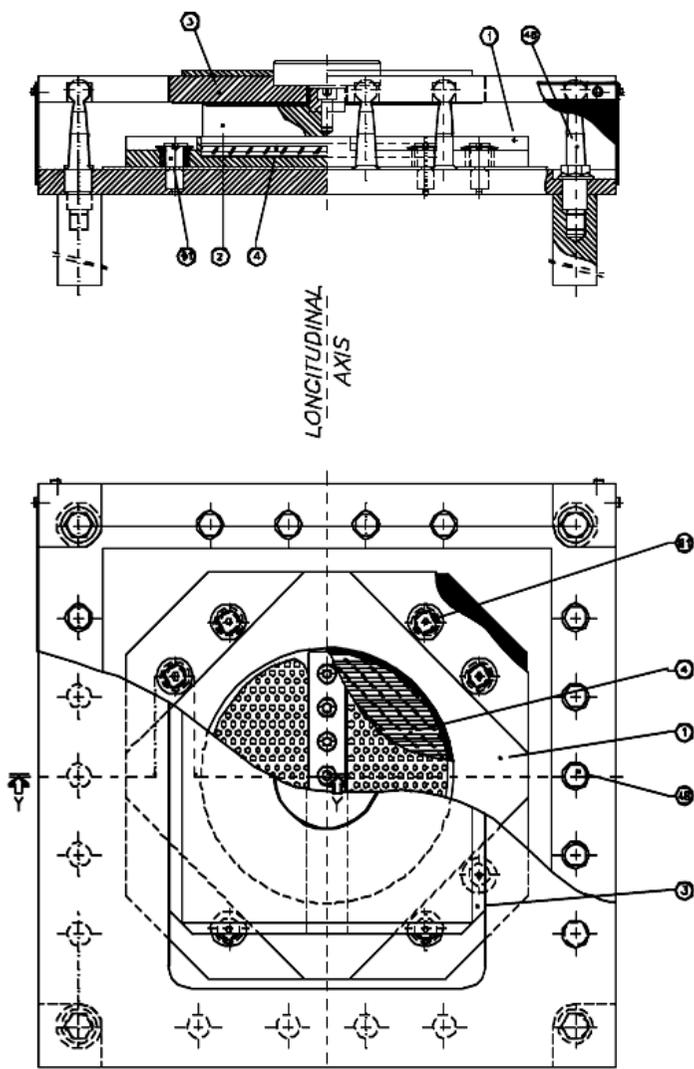
SCHEMA DI VINCOLO IN CONDIZIONI SISMICHE



➔ PERMETTE MOVIMENTO CON DISSIPAZIONE DI ENERGIA
 ✕ PERMETTE MOVIMENTO LIBERO, SENZA DISSIPAZIONE DI ENERGIA



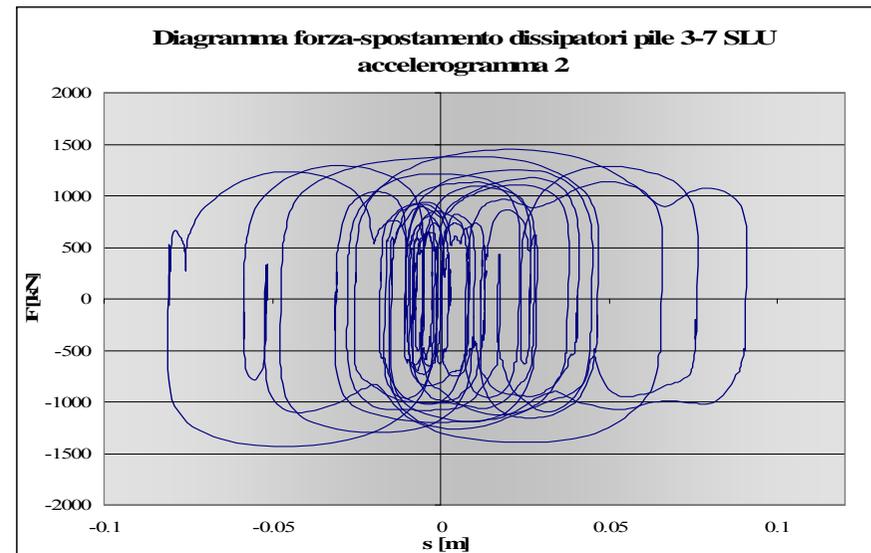
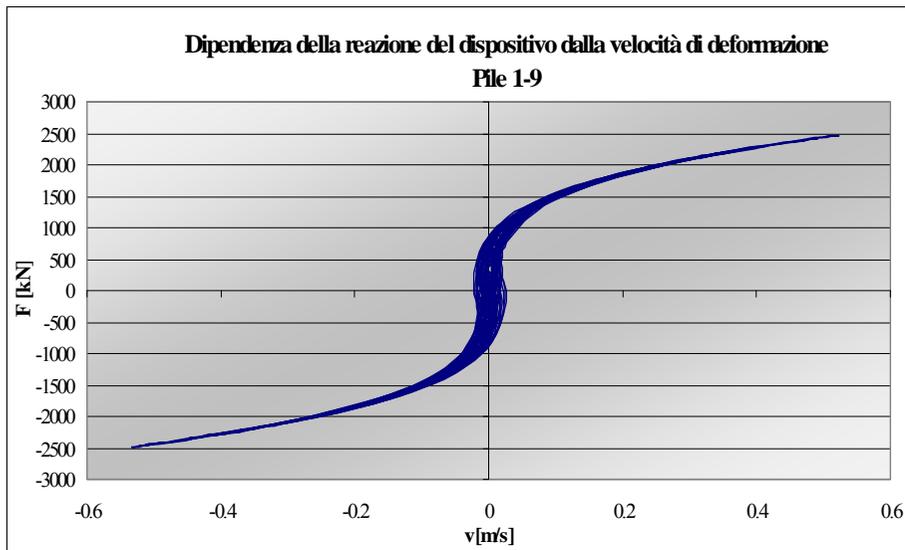
Isolatori isteretici



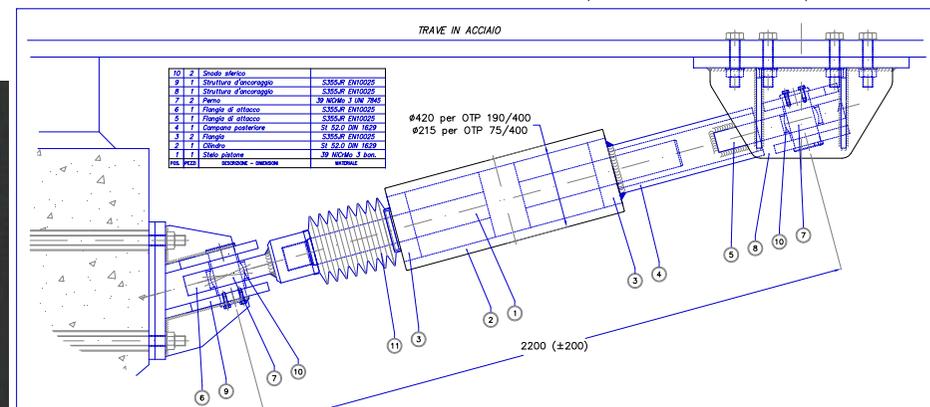
Dissipatori viscosi/viscoelastici

$$F = cv^\alpha$$

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



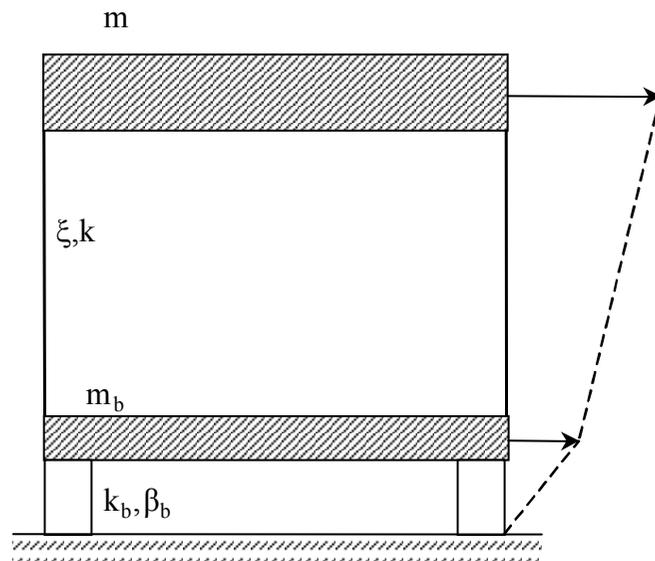
DISSIPATORE VISCOSO TIPO OPT 190/400 e OPT 75/400



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

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

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)

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

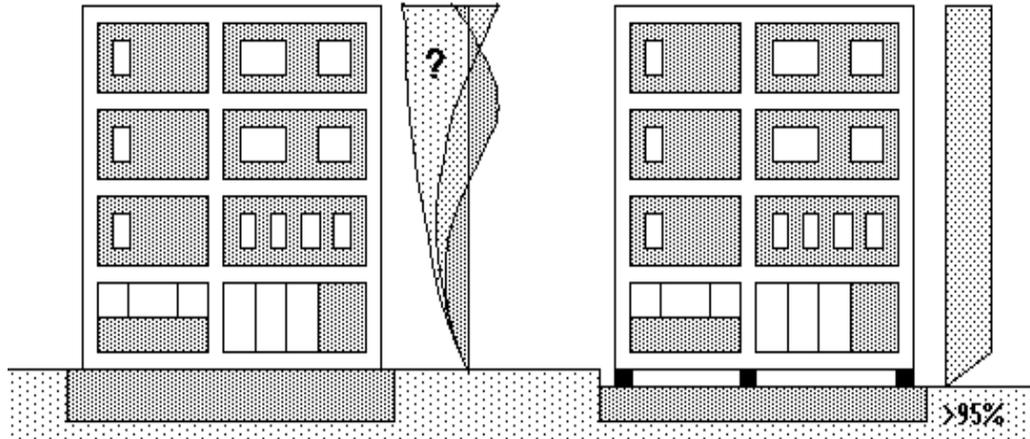
$$\varphi_2 = [1, -(1 - (1 - \gamma)\varepsilon) / \gamma]$$

Fattori partecipazione

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

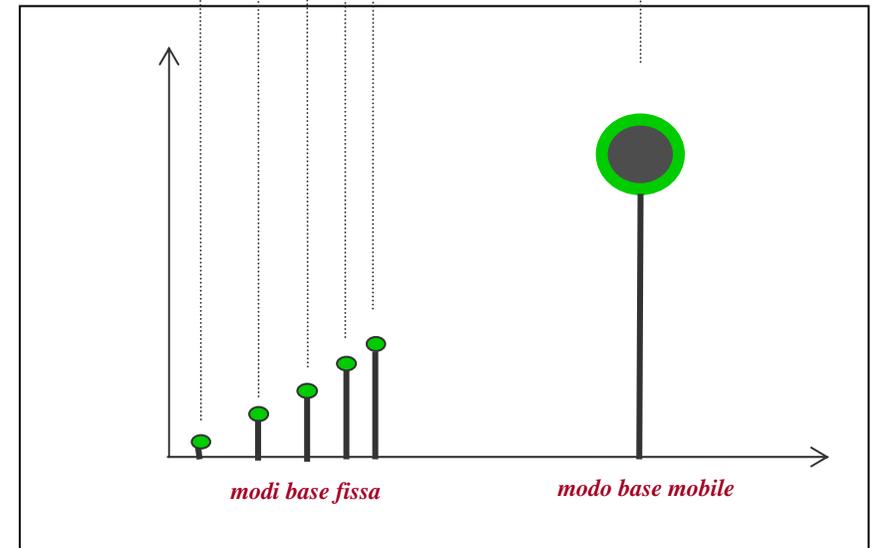
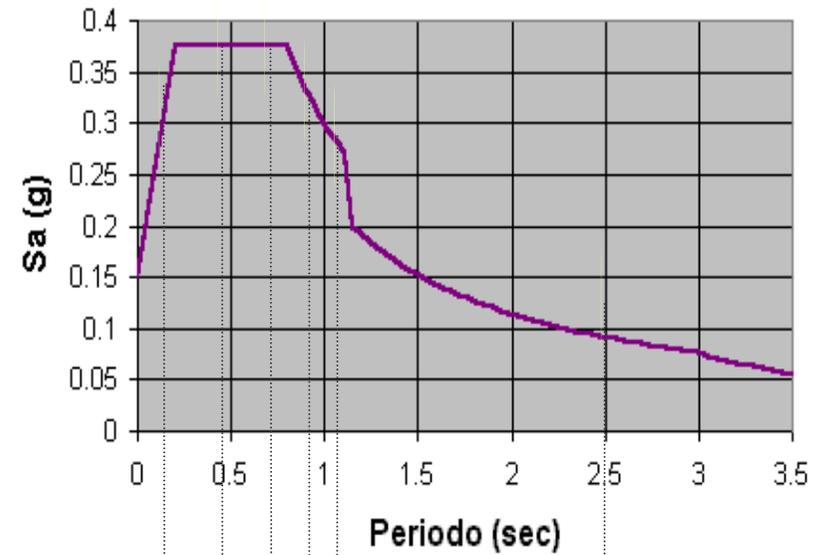
$$\pi_2 = \gamma\varepsilon$$

- Sistemi N-dof

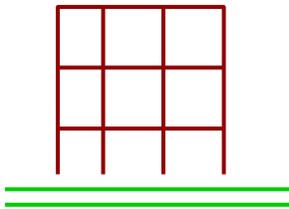


$$T_s \rightarrow T_{is} = (2 \dots 3) T_s$$

Spettro di progetto allo SLU modificato
 $a_g=0,25g$

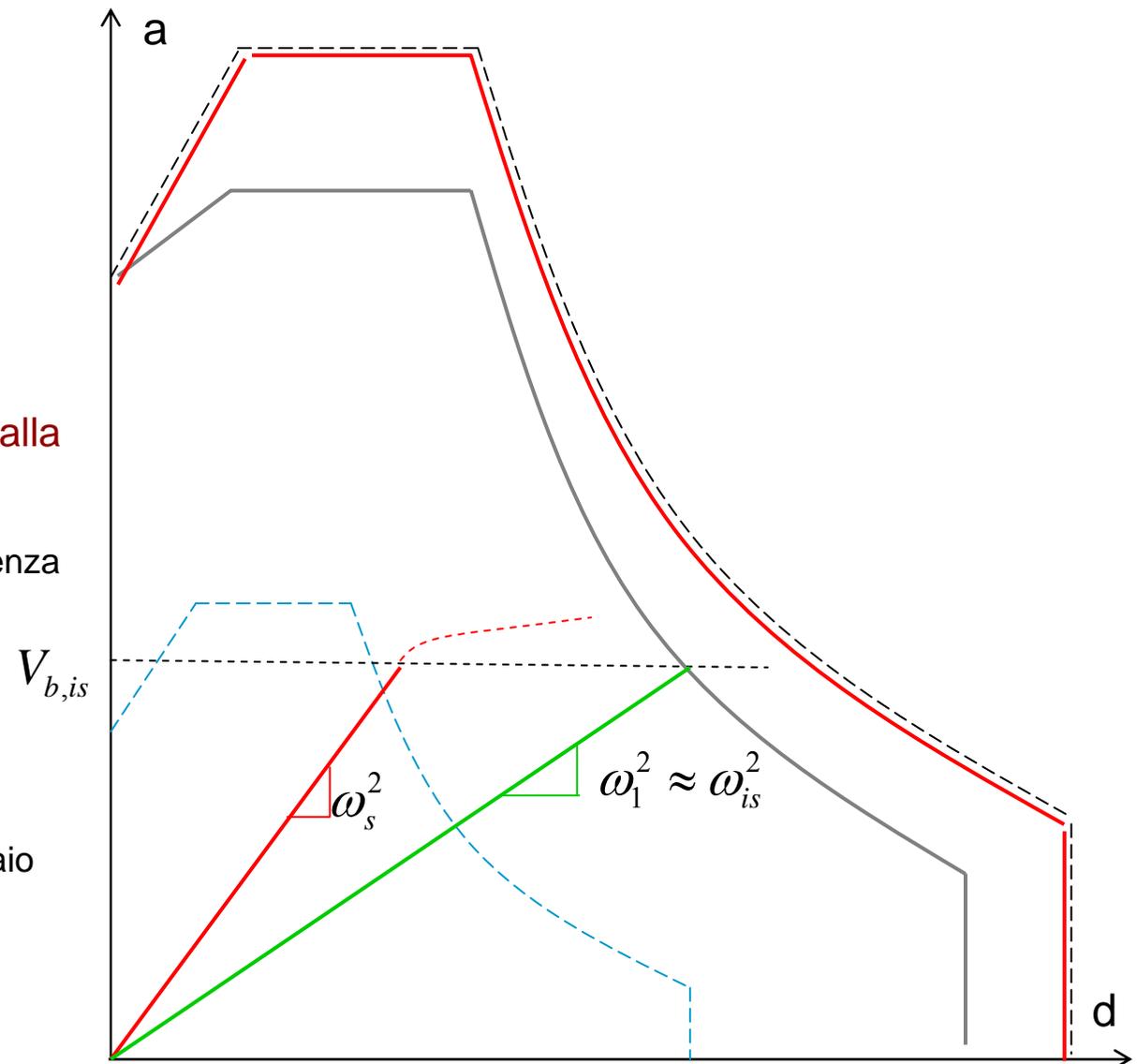
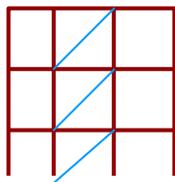


Strategie di miglioramento delle prestazioni di edifici esistenti



Miglioramento mediante isolamento alla base

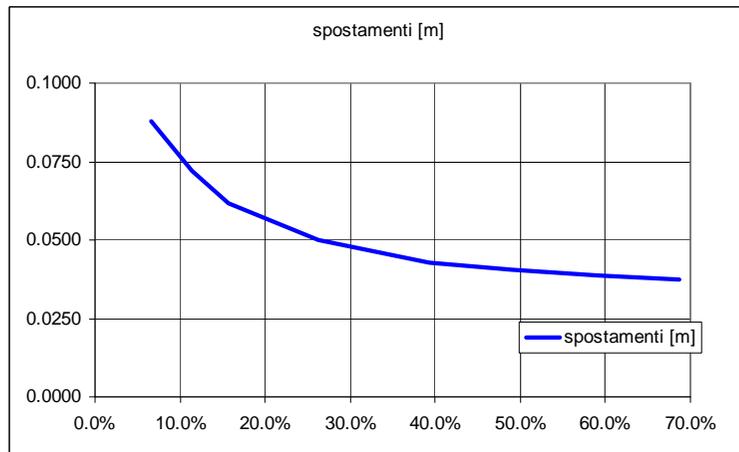
- Dimensionamento in base alla resistenza disponibile $V_{b,is}$
- Danneggiamento post evento drasticamente ridotto
- Lavorazioni complesse
- $T_{is}=2-3T_s$, se serve, irrigidimento telaio



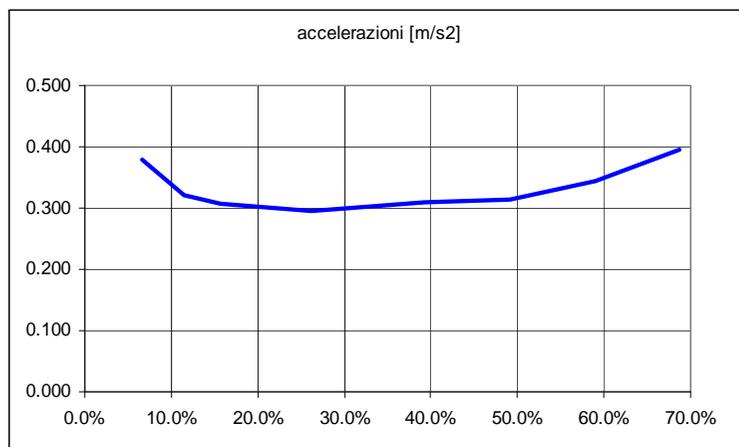
Smorzamento

Sistemi 1-dof

Spostamenti



Taglio alla base e accelerazioni assolute



Sistemi n-dof

Taglio alla base e accelerazioni assolute

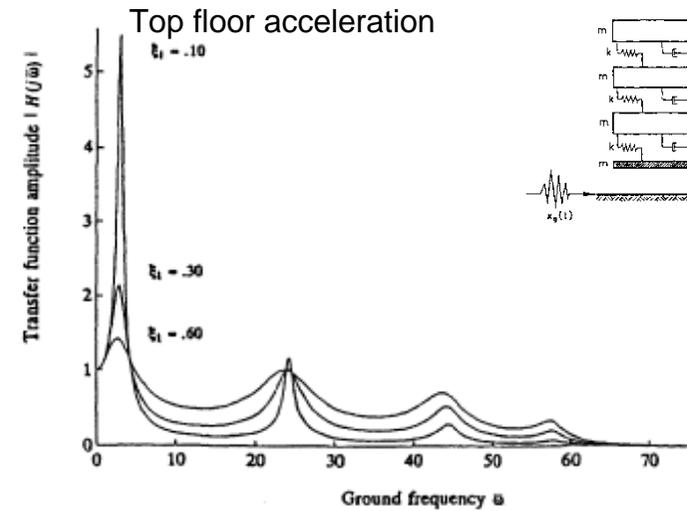


Figure 2. Acceleration frequency response: Model I.

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 $q=1.5$ (sovreresistenza)
 - SLD: spostamento interpiano (2/3 limiti normali)

- Pilastri sottostruttura (eventuali)
 - SLC: resistenza (come isolatori)

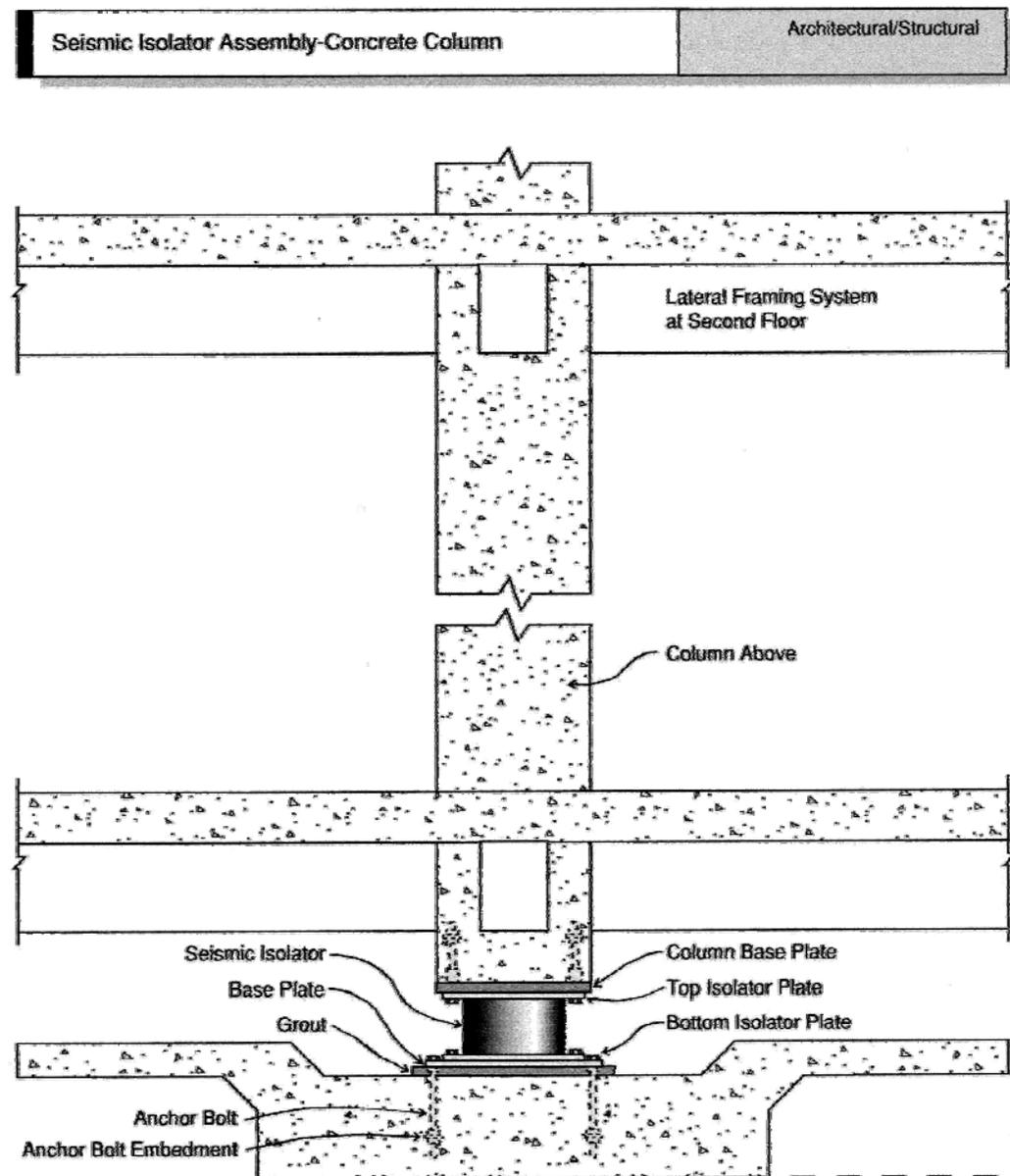
- Connessioni gas e impianti pericolosi
 - SLV

Isolamento Sismico:

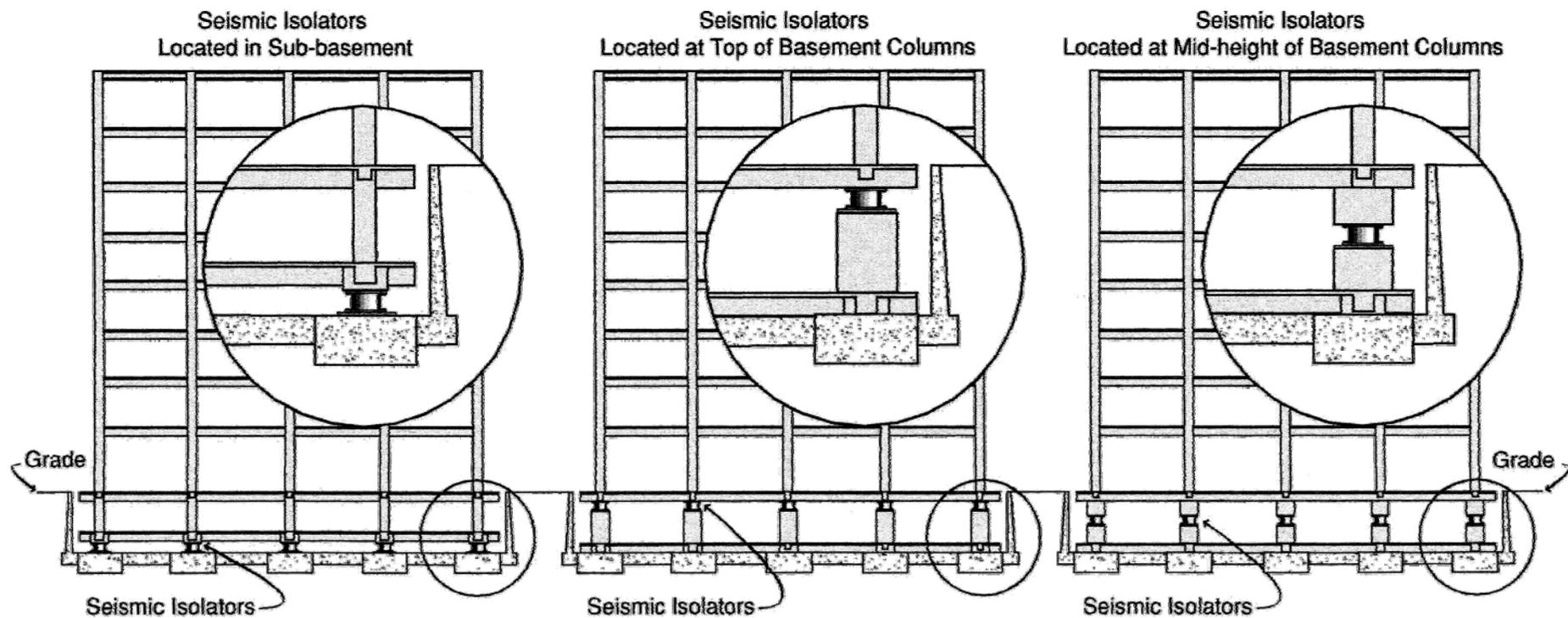
- Aspetti generali
- Dispositivi
- Dimensionamento
- Progettazione

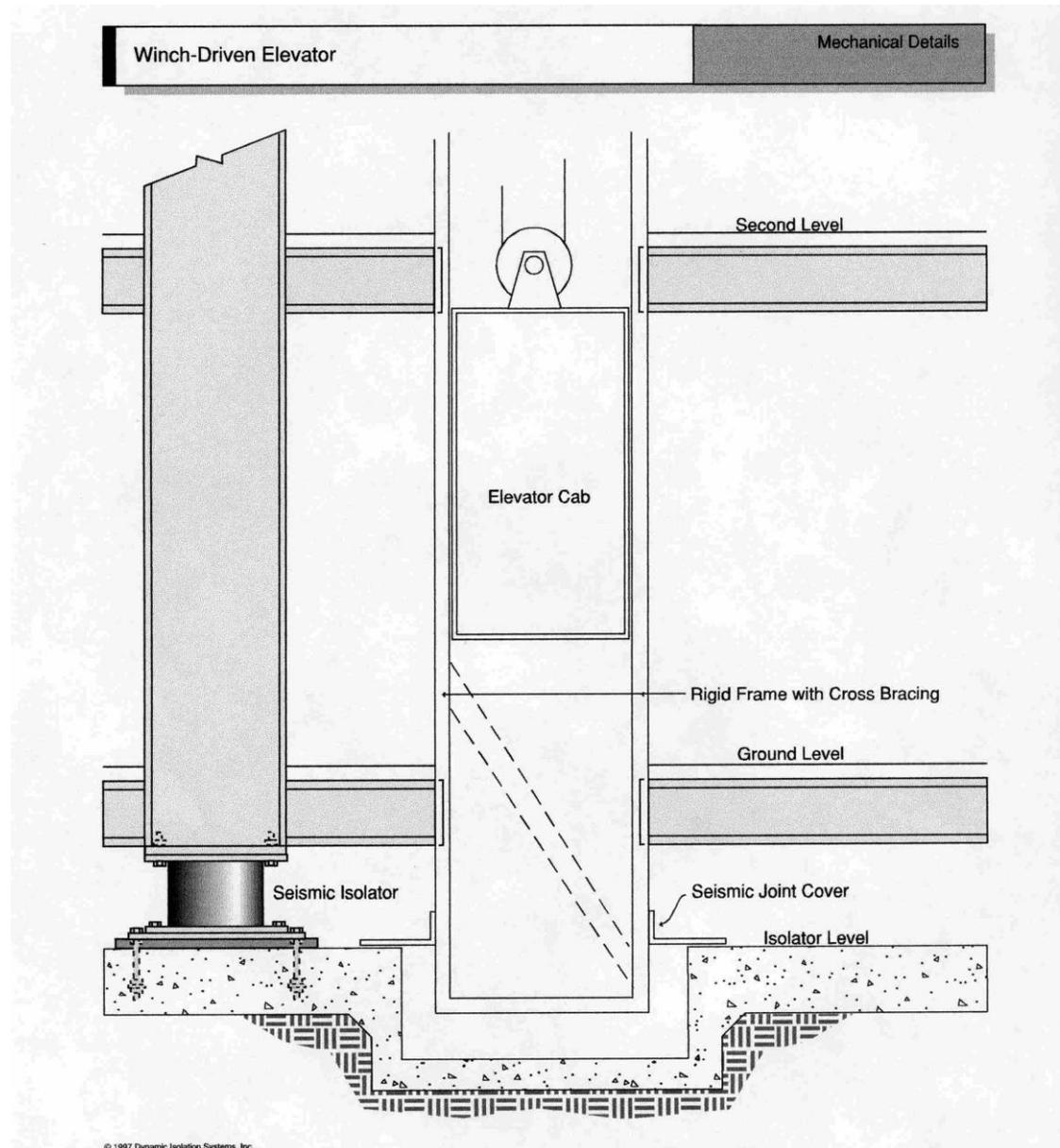
Requisiti

- 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

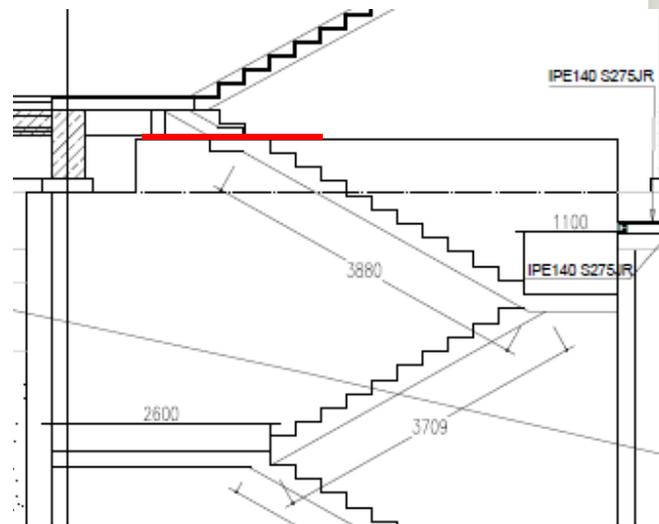
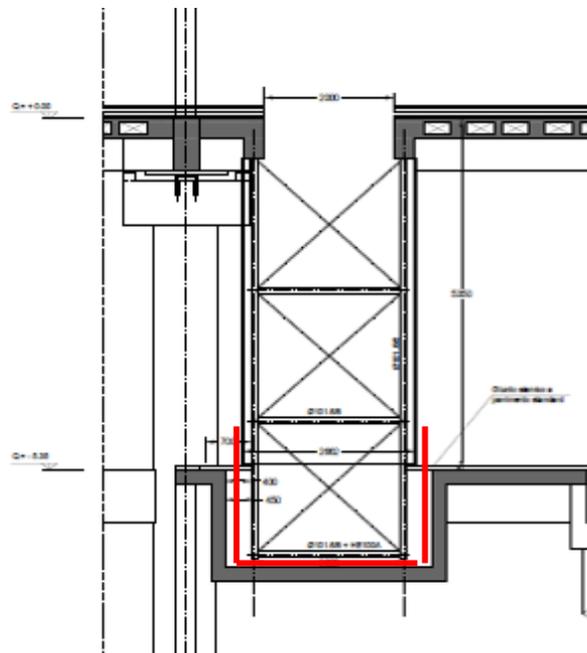
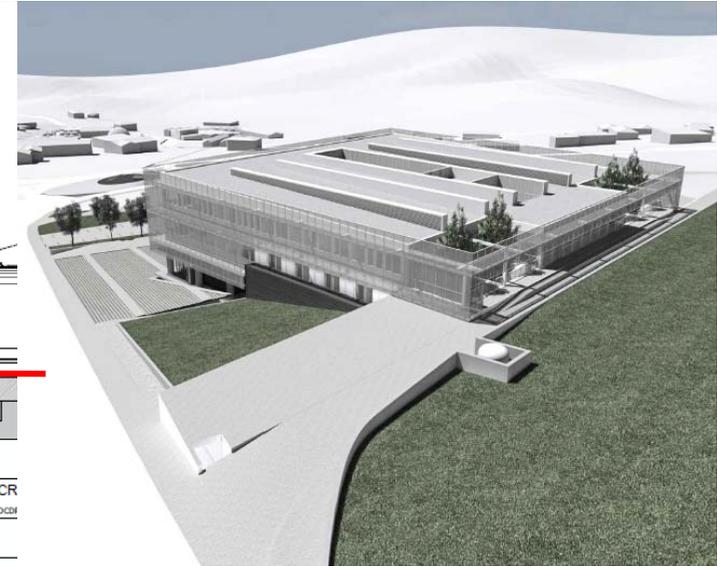


Posizione

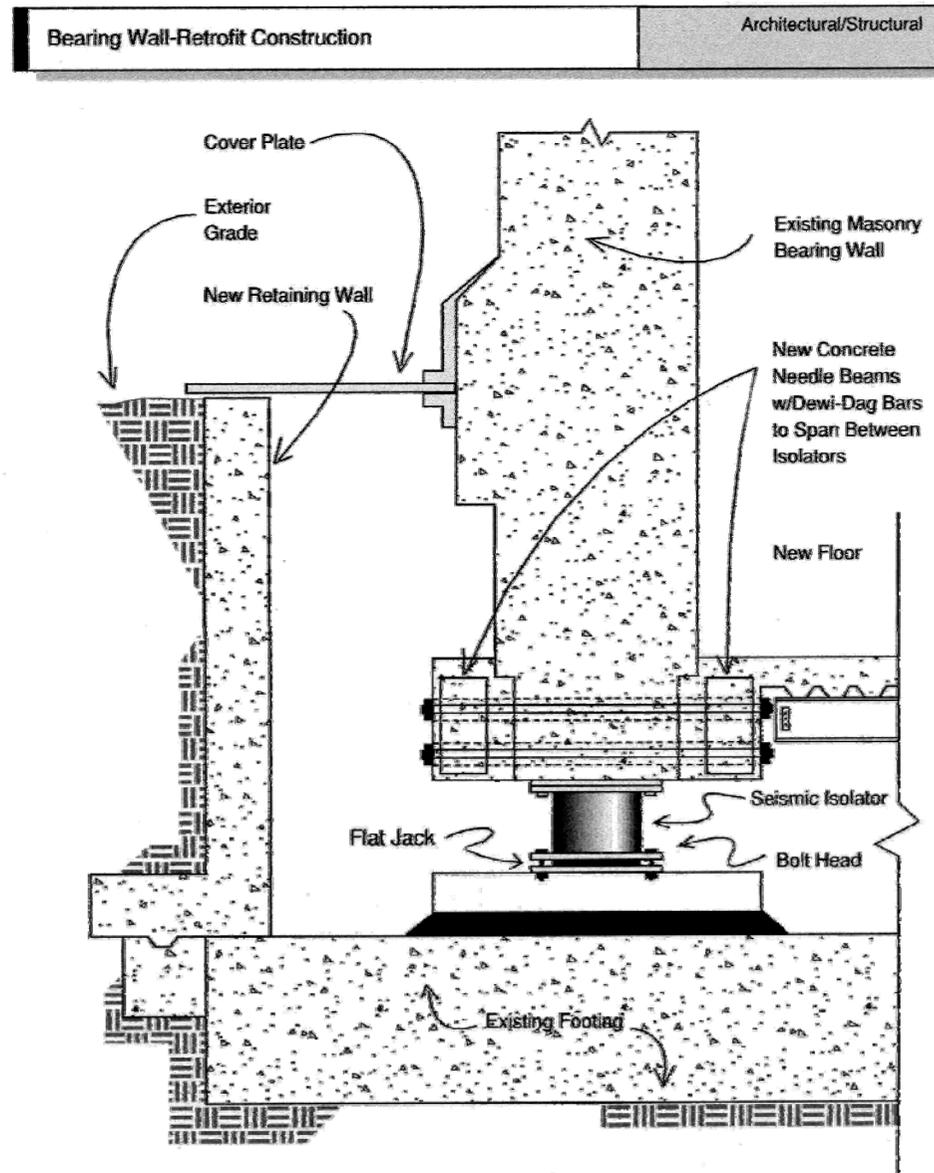




Interfaccia di isolamento



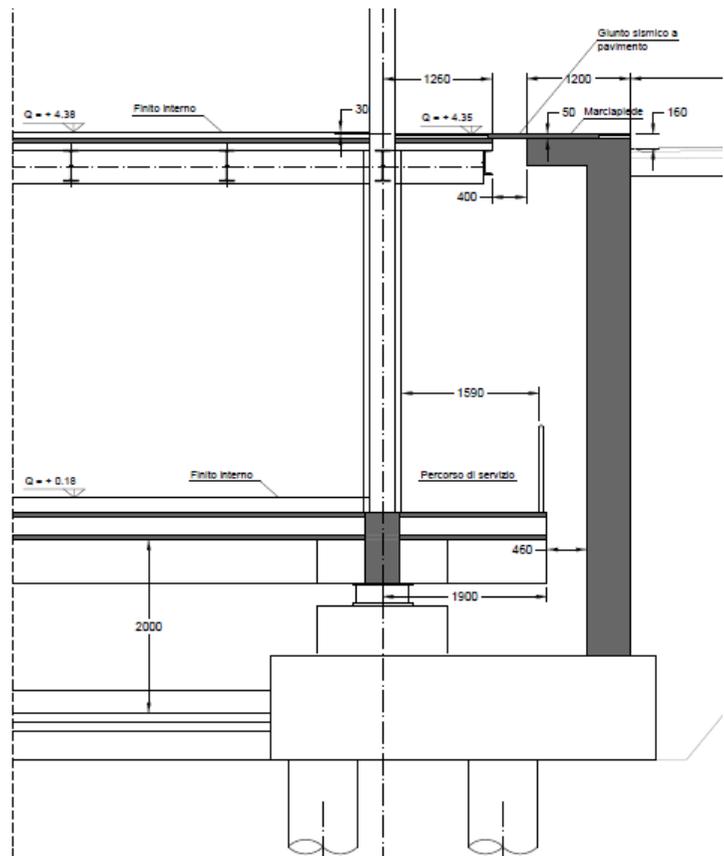
Isolamento edifici esistenti



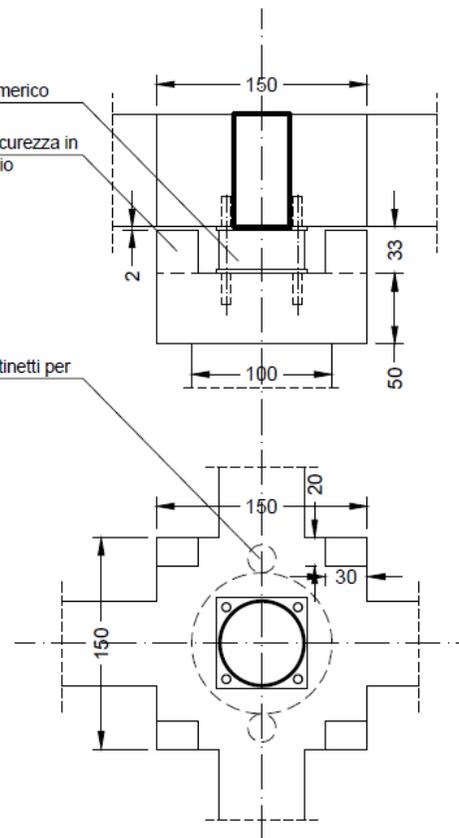
© 1997 Dynamic Reduction Systems, Inc.

Requisiti accessori

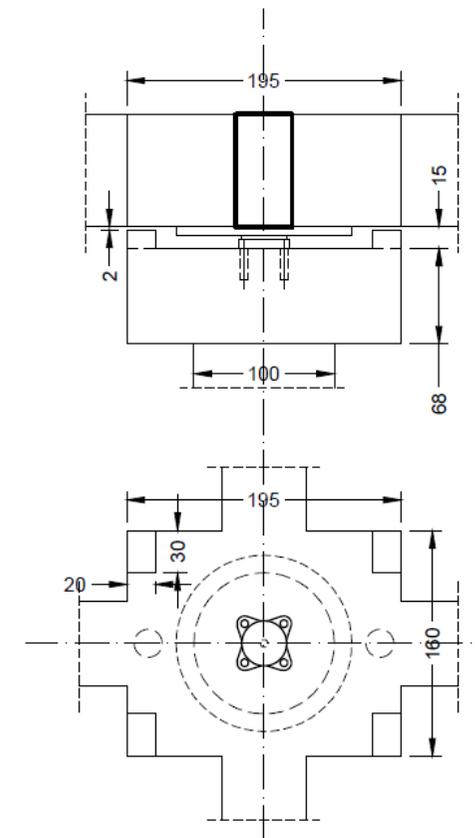
- Sostituzione
- Accesso per ispezione
- Appoggi di sicurezza e ritegni (fine corsa)



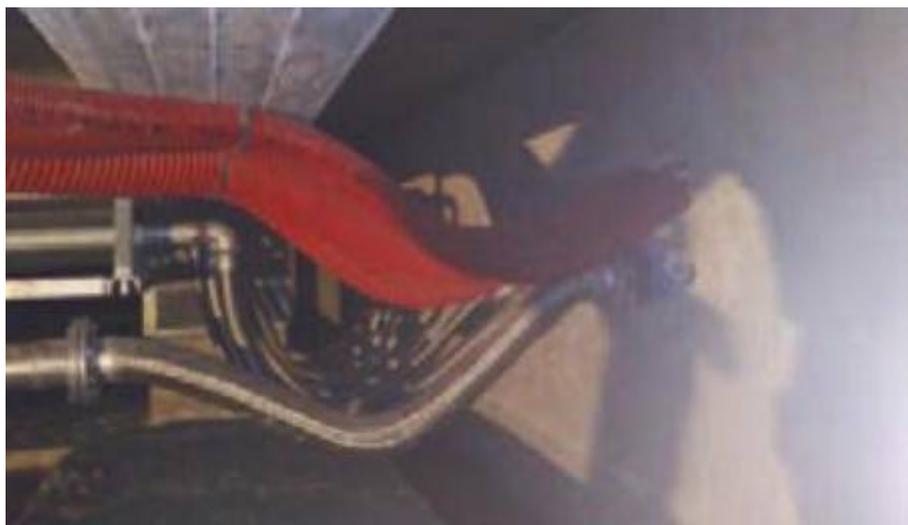
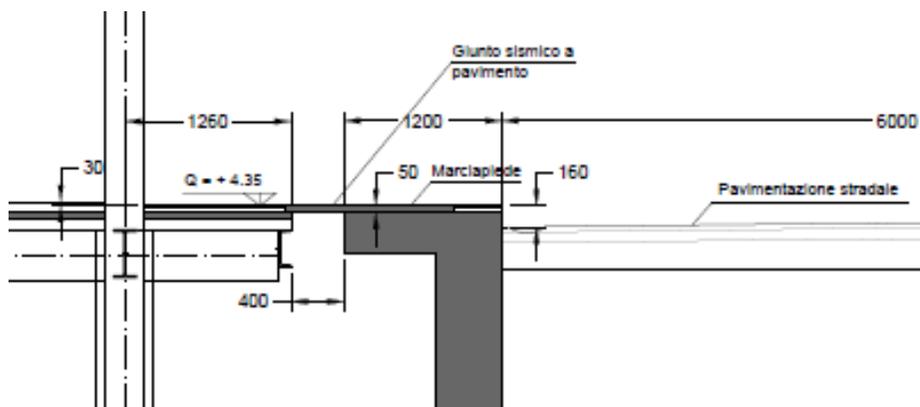
Elastomerici su colonna



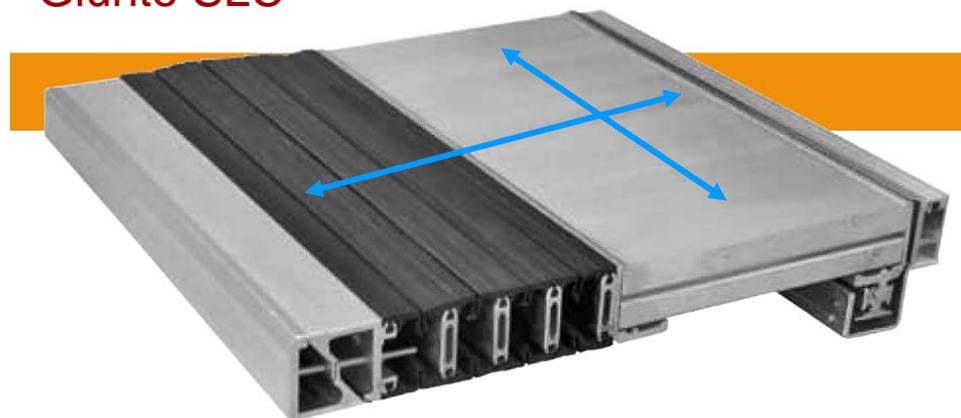
Slitte su colonna



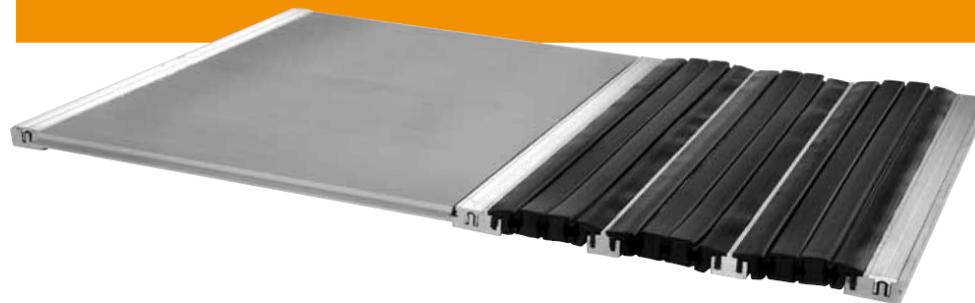
Giunti



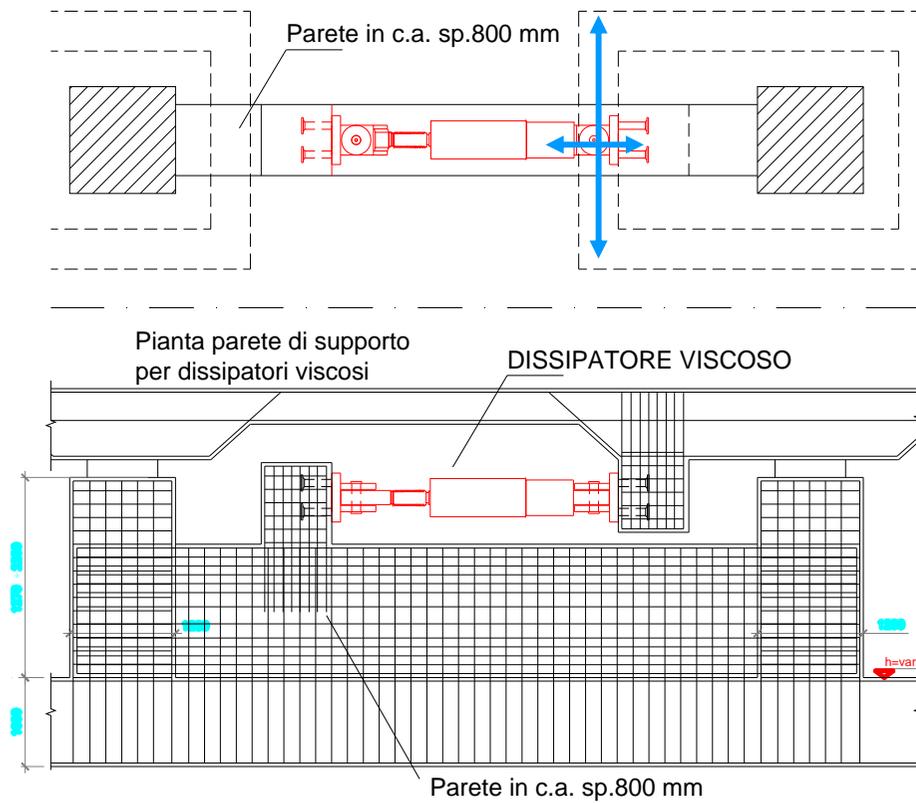
Giunto SLC



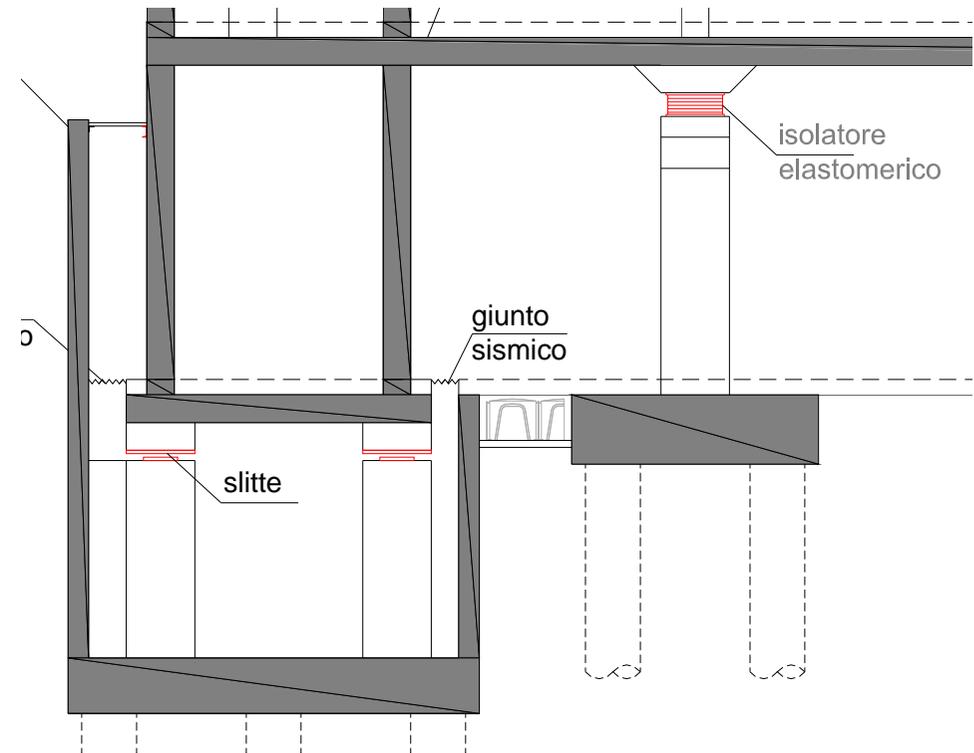
Giunto SLD



Dissipatori aggiuntivi

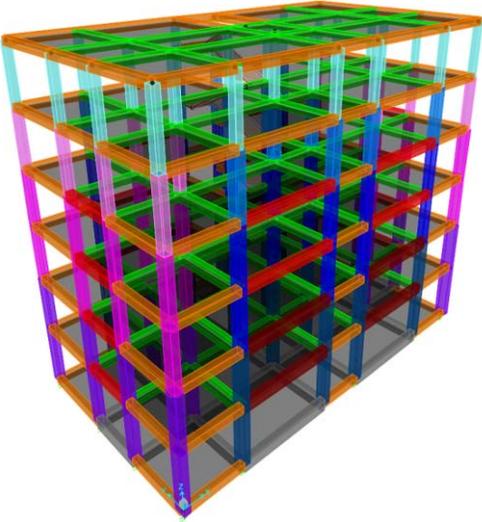
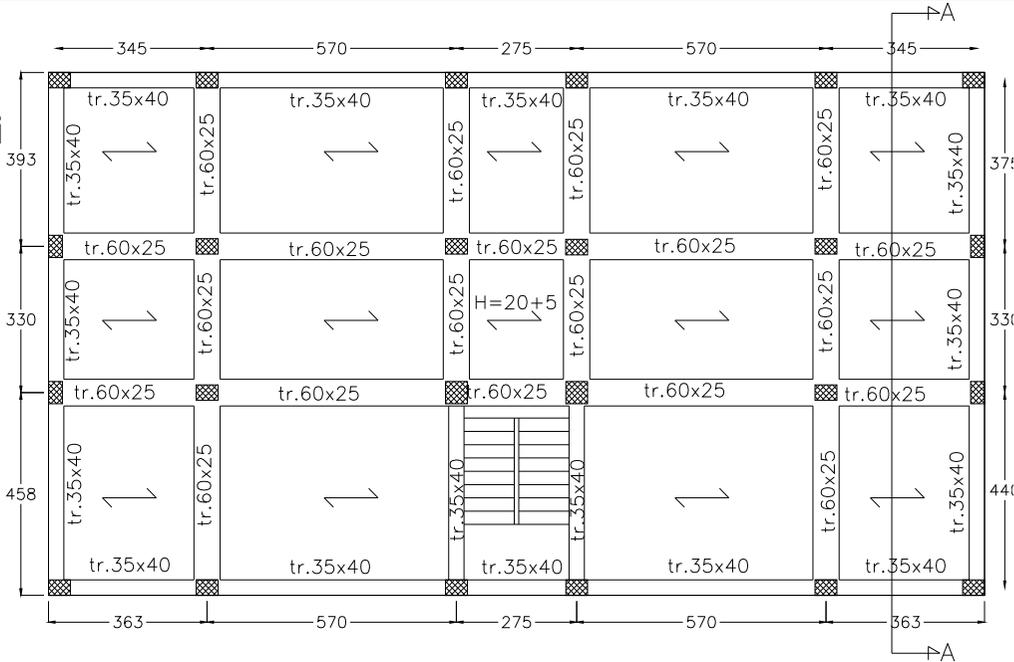
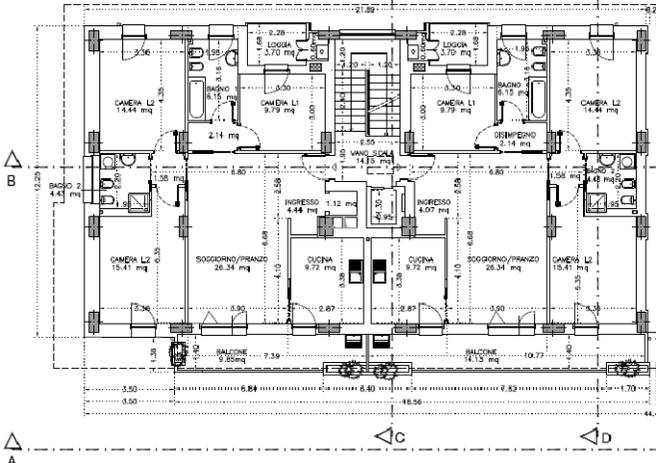


Isolamento setti



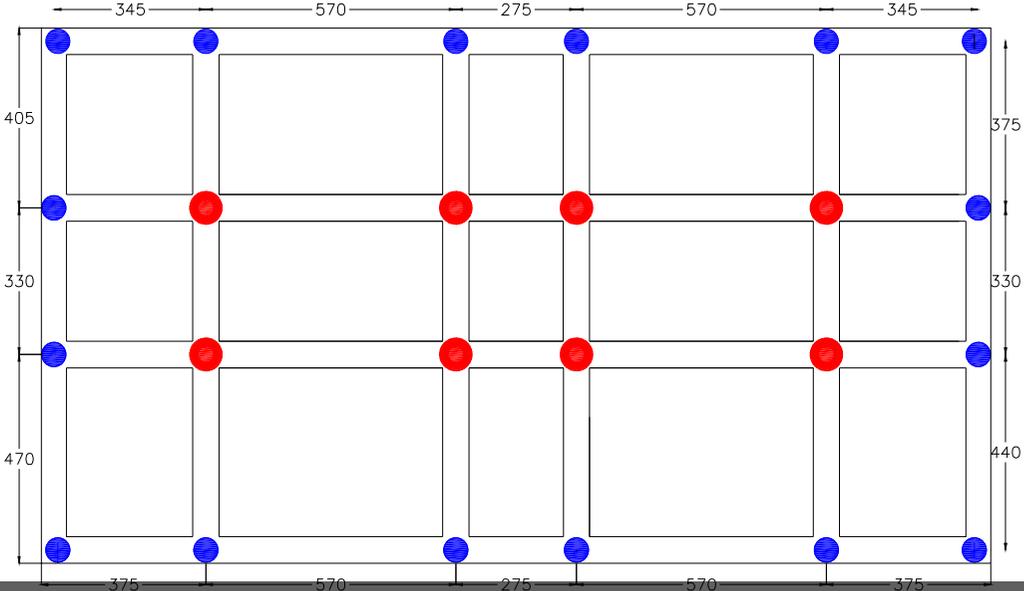
Disposizioni in pianta

Dimensioni minime elastomeric per carichi verticali
diversificazione per ridurre rigidezza
controllo riidezza torsionale



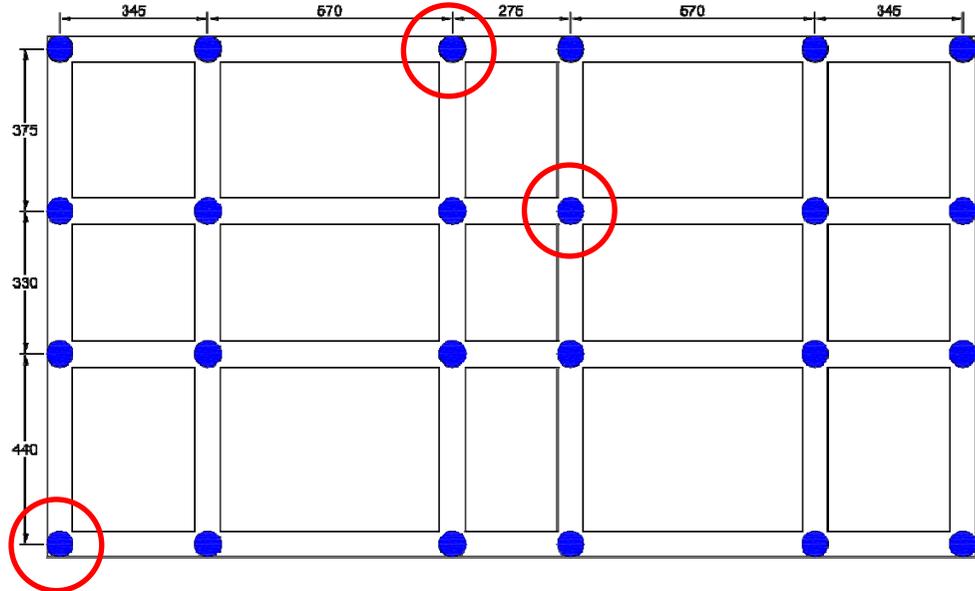
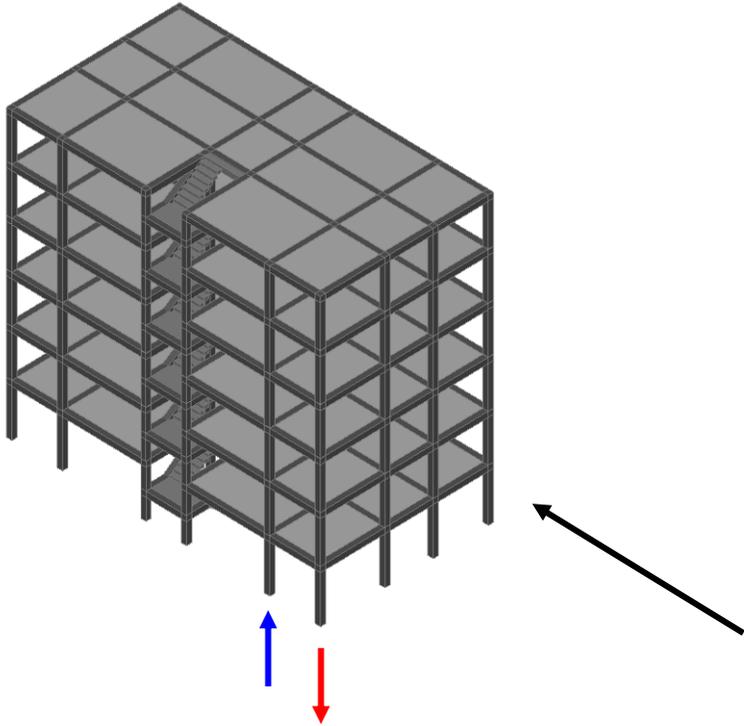
LEGENDA

- ISOLATORE ELASTOMERICO
- SLITTA



Rocking

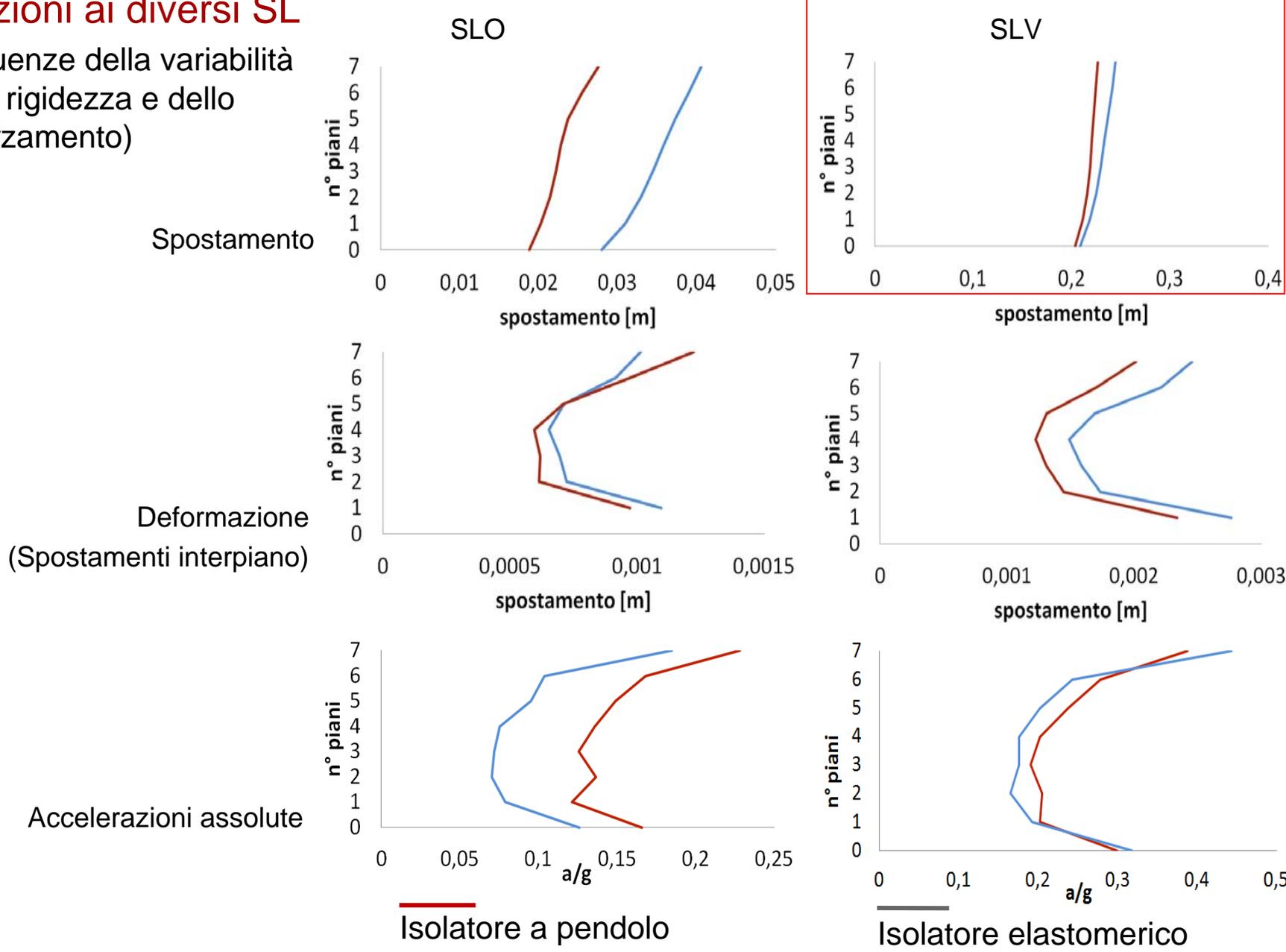
Setti e campate corte
(possibile trazione e/o compressione
eccessiva)



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

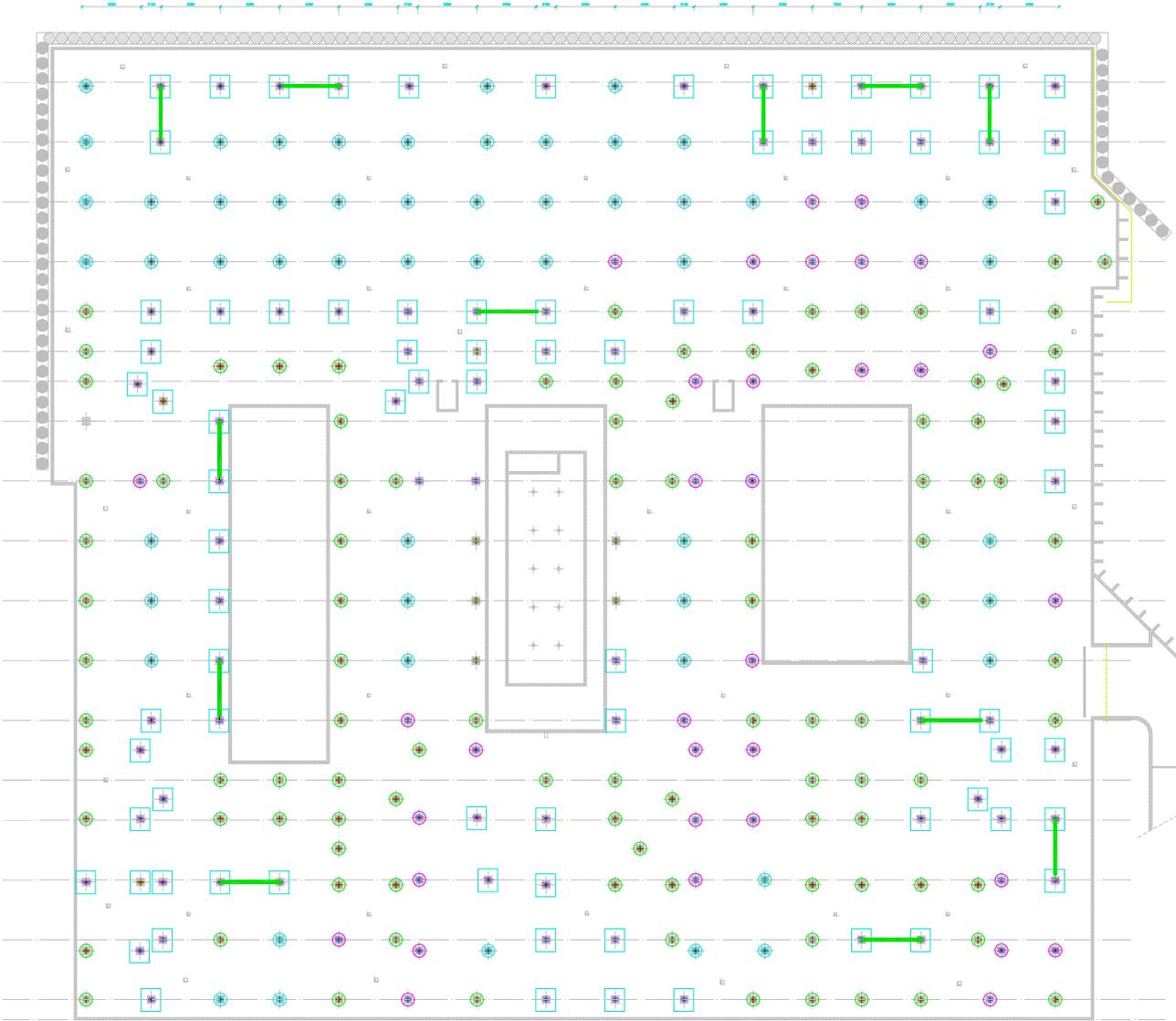
Prestazioni ai diversi SL

(conseguenze della variabilità della rigidità e dello smorzamento)



Flessibilità sistemi elastomerici (ibridi)

- Controllo rigidezza torsionale
- Azioni verticali molto diverse
- Smorzamento aggiuntivo
- Ottimizzazione a diversi SL

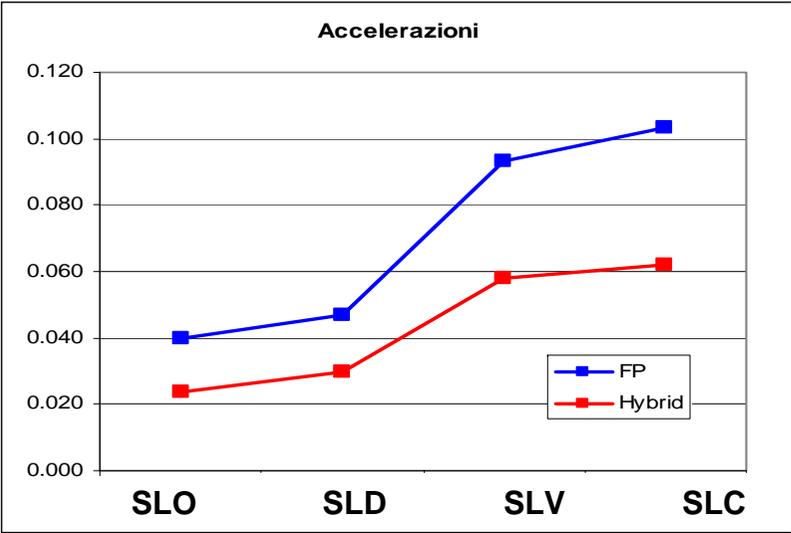
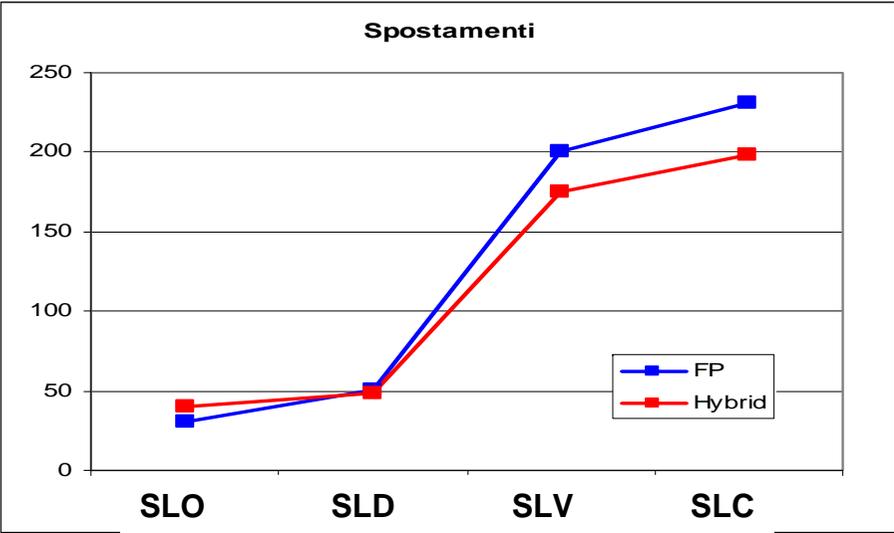
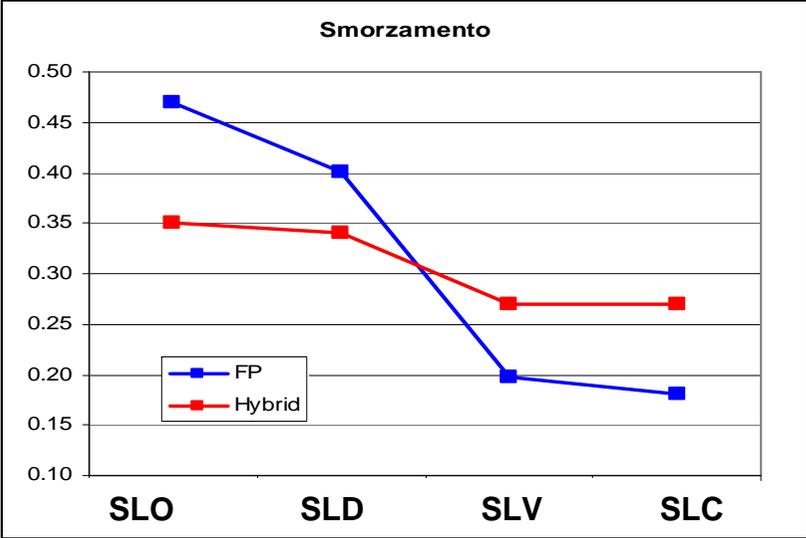
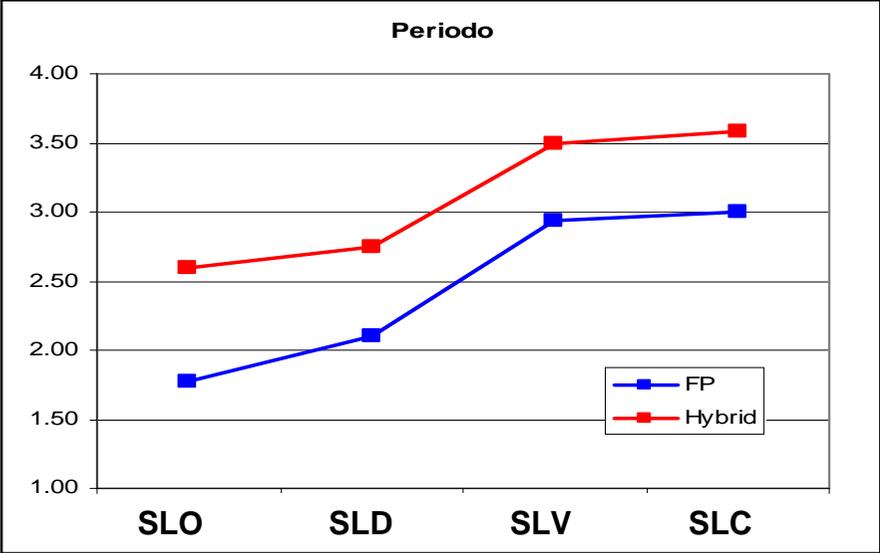


LEGENDA DISPOSITIVI ANTISISMICI

- 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  Dissipatori viscosi con fluido silconico, 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 rigidità nodi e interazione cls-acciaio

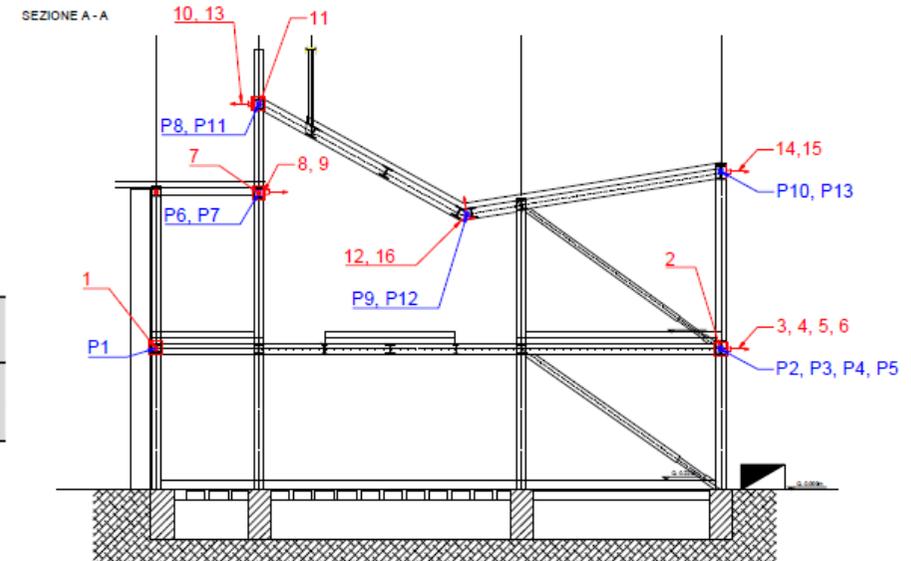
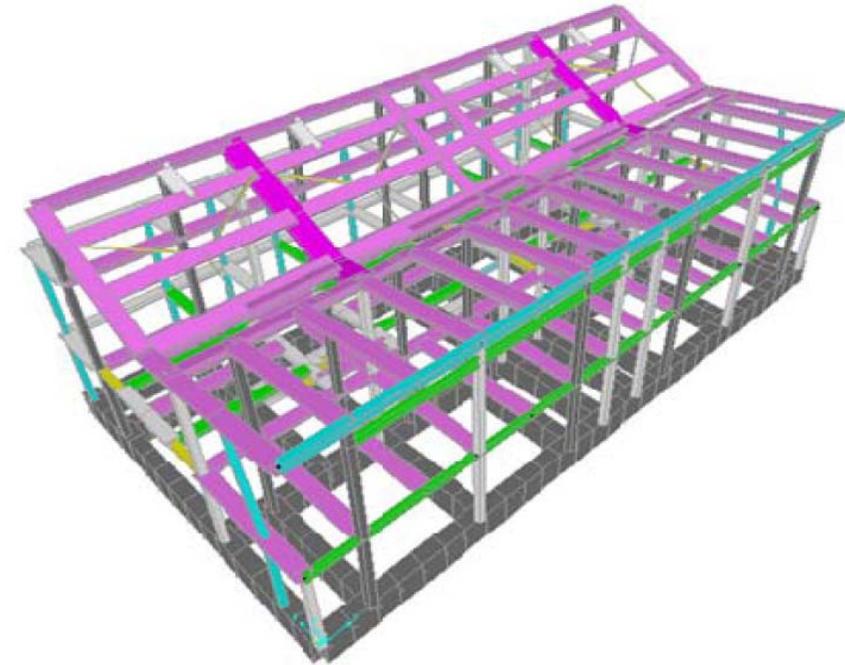


Tabella 11. Confronto tra modi di vibrare ottenuti per via sperimentale e per via numerica.

Modi di vibrare ottenuti mediante la tecnica "LMS PolyMAX [®] " (Fase ASD2)			Modi di vibrare ottenuti mediante 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

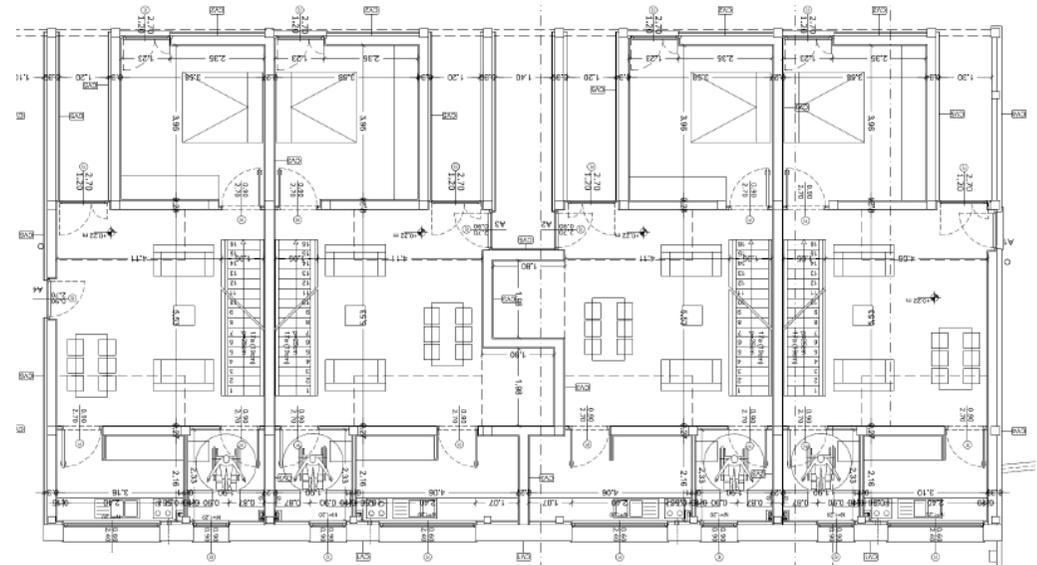
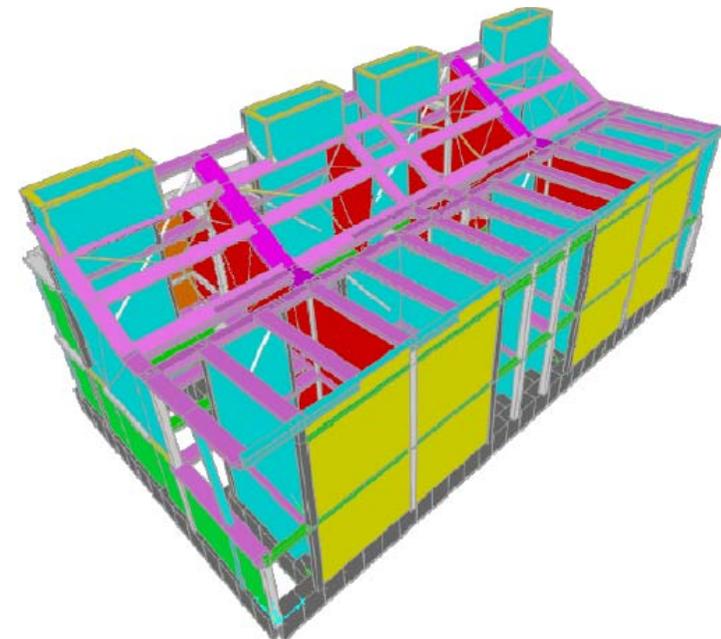


Tabella 11. Confronto tra modi di vibrare ottenuti per via sperimentale e per via numerica.

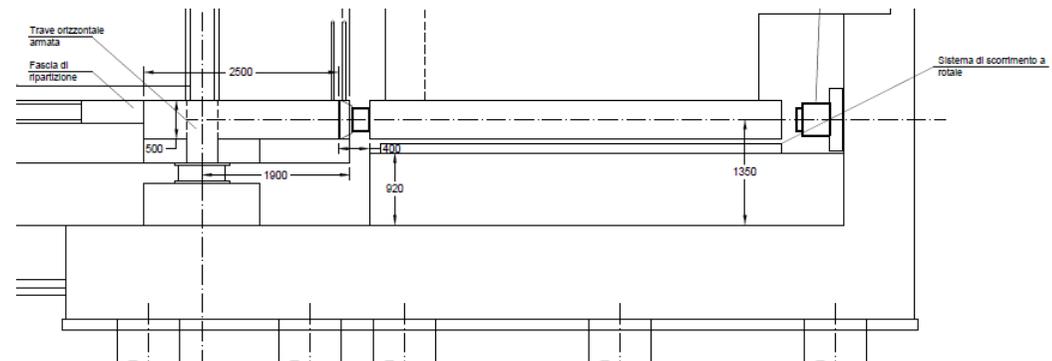
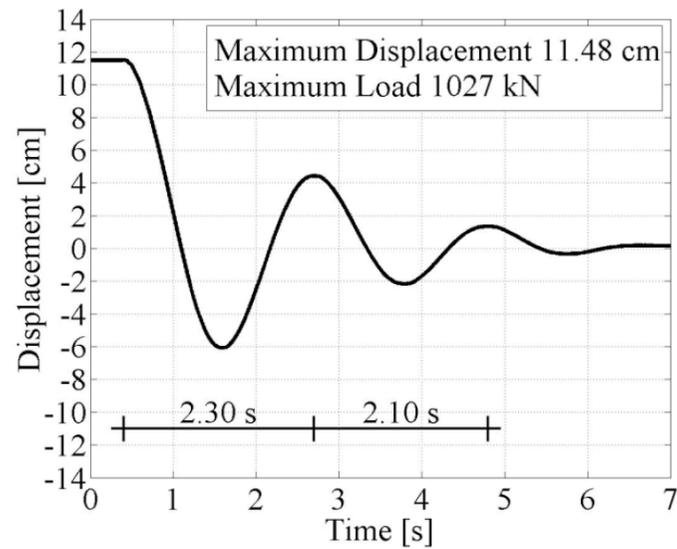
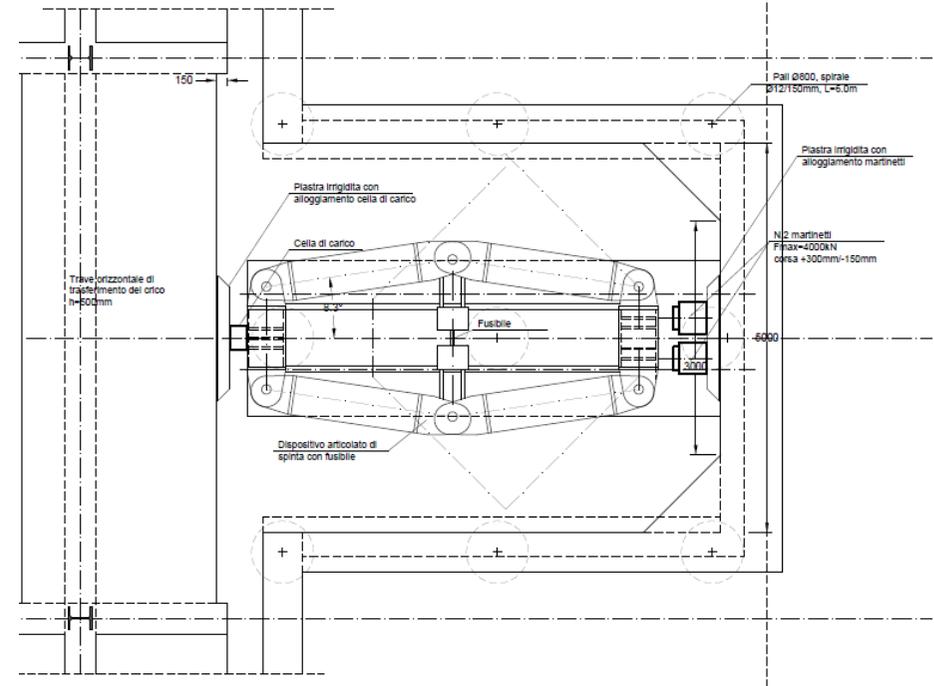
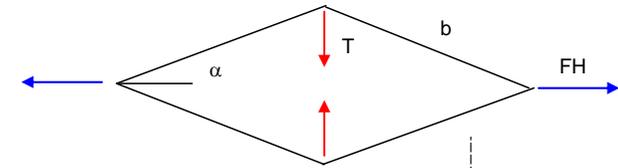
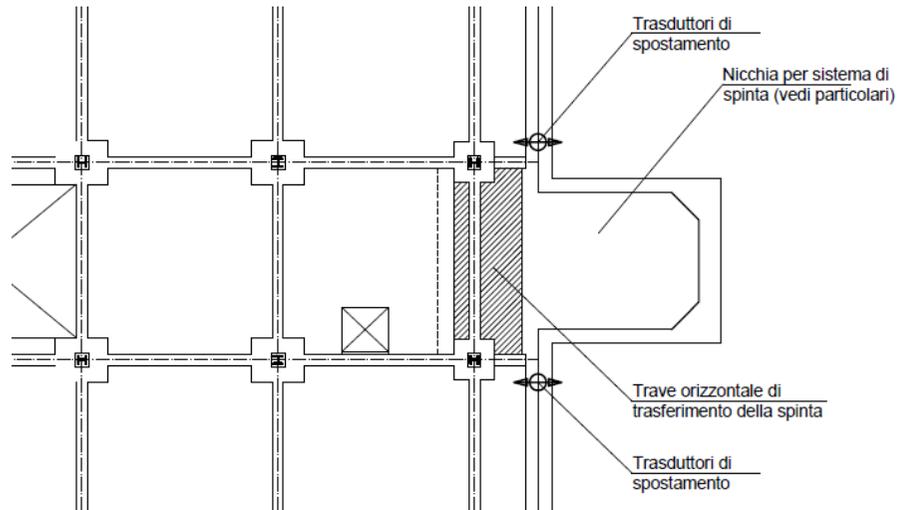
Modi di vibrare ottenuti mediante la tecnica "LMS PolyMAX [®] " (Fase ASD2)			Modi di vibrare ottenuti mediante modello SAP2000 aggiornato		
Modo N°	Freq. Hz	Descrizione	Modo N°	Freq. Hz	Descrizione
1	4,51	Laterale Y / Torsionale Z	1	4,51	Laterale Y / Torsionale Z
2	4,89	Laterale Y / Torsionale Z	2	4,54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

