

EVENTI FORMATIVI SULLA PREVENZIONE SISMICA

La prevenzione prima di tutto!

MATERIALI E TECNOLOGIE INNOVATIVE PER IL RETROFIT ANTISISMICO
(3 CFP)

13 febbraio 2026, ore 15.30 - 18.30

2

- 15.30 – Saluti degli organizzatori
- 15.35 – Introduzione al programma formativo (Andrea Prota)
- 15.40 – Esoscheletri (Raffaele Landolfo)
- 16.20 – Isolamento e dissipazione (Felice Ponzo, Luigi Di Sarno)
- 17.05 – Esempi di retrofit mediante torri di contrasto dissipative (Nicola Impollonia)
- 17.45 – Interventi di rinforzo su strutture esistenti con materiali compositi (Lidia La Mendola, Francesca Ceroni)
- Conclusione del modulo



OTTAVA EDIZIONE DELLA GIORNATA NAZIONALE DELLA PREVENZIONE SISMICA - EVENTI FORMATIVI SULLA PREVENZIONE SISMICA -

MODULO **2** : MATERIALI E TECNOLOGIE INNOVATIVE PER IL RETROFIT ANTISISMICO

Isolamento e dissipazione

Prof. Felice Ponzo

(Professore Ordinario di Tecnica delle Costruzioni presso l'Università degli Studi della Basilicata)

Prof. Luigi Di Sarno

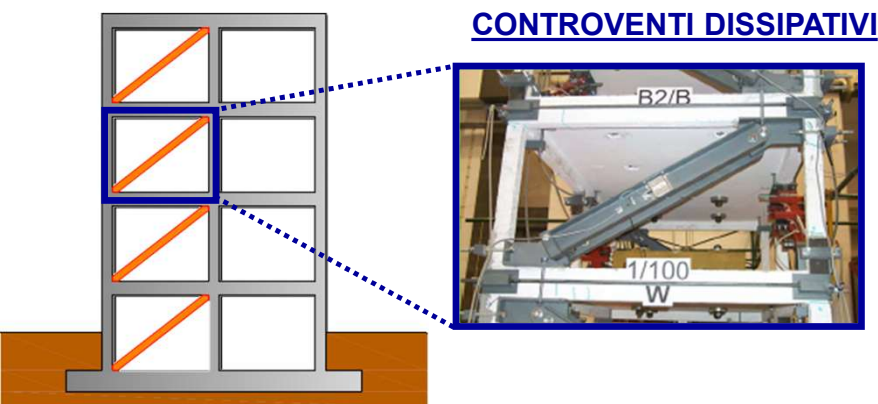
(Professore Associato di Tecnica delle Costruzioni presso l'Università di Napoli Federico II)

Indice

- **Introduzione**
- **Tipologie Dispositivi, Meccanismi di Dissipazione, Costi/Benefici**
- **Applicazione ad un Caso Studio**
- **Studi e Ricerche**
- **Conclusioni**

CONCETTO DI DISSIPAZIONE ENERGETICA

(§ Capitolo 7.10 - DM 2018 & Circolare 7/2019)



$$[E_K(t) + E_S(t)] + E_\xi(t) + E_H(t) = E_I(t)$$

$E_K(t)$ → ENERGIA CINETICA
 $E_S(t)$ → ENERGIA ELASTICA
 $E_\xi(t)$ → ENERGIA VISCOSE
 $E_H(t)$ → ENERGIA ISTERICA
 $E_I(t)$ → ENERGIA SISMICA

Come f

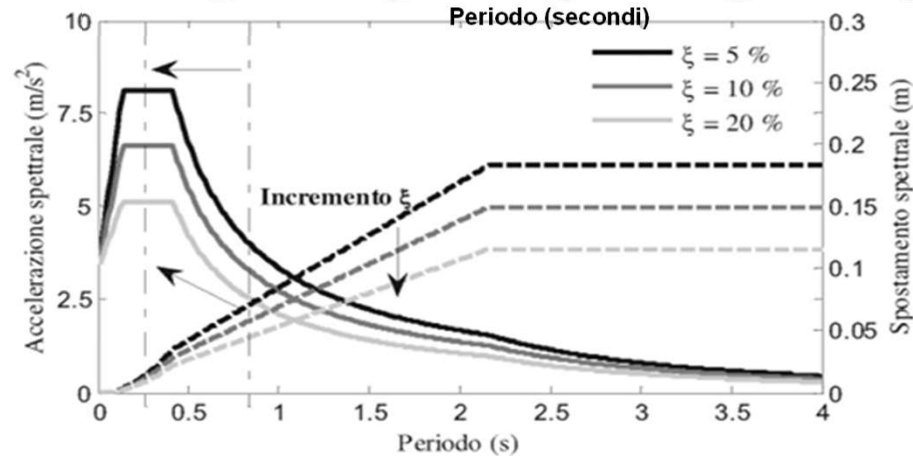
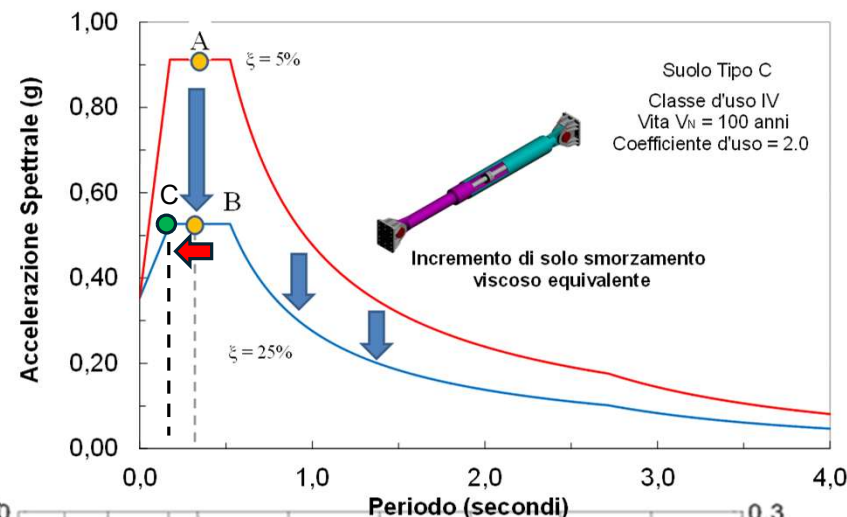
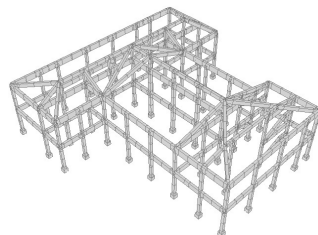
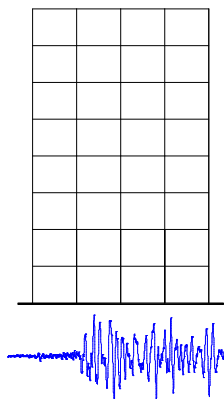


Figura C7.10.2 - Strategie di riduzione della domanda mediante dissipazione di energia

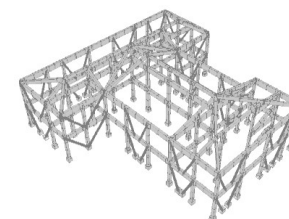
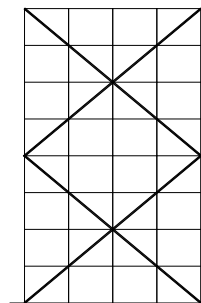
Estratto da Circolare n.7/2019

APPROCCIO CONCETTUALE

Progettazione Sismica Tradizionale (Sistemi Dissipativi: $q > 1$)



Progettazione Sismica con Localizzazione e Controllo del Danno



Edifici Esistenti

C7.10 COSTRUZIONI CON ISOLAMENTO E/O DISSIPAZIONE

Di:

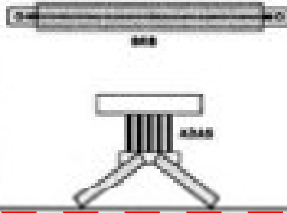
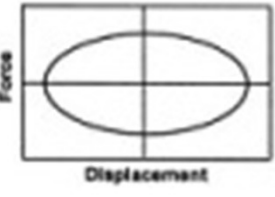
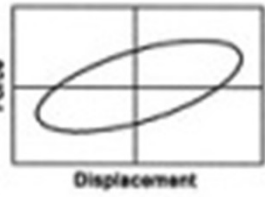
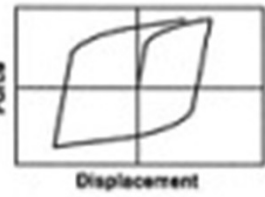
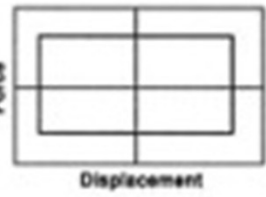
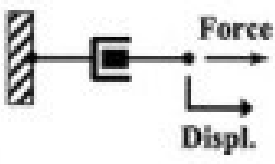
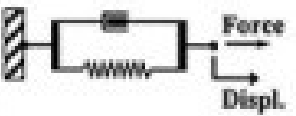
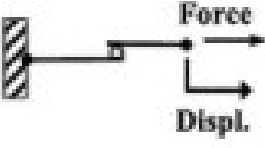
C7.10.1 SCOPO

L'isolamento sismico rientra tra le strategie di protezione usualmente raggruppate sotto la denominazione di "controllo passivo delle vibrazioni". Di queste l'"*isolamento sismico*" e la "*dissipazione d'energia*" sono quelle più comunemente utilizzate. Entrambe le tecniche di protezione sono correntemente usate per la protezione delle costruzioni, sia nuove che esistenti, e sono efficaci in ragione del modo in cui ne modificano il comportamento dinamico. La prima è essenzialmente finalizzata a limitare l'energia in ingresso ⁽¹¹⁾ attraverso isolatori collocati tra la porzione di costruzione da proteggere e quella solidale al terreno, la seconda consente di dissipare parte dell'energia in ingresso, attraverso meccanismi di dissipazione controllata, utilizzando appositi dispositivi collocati all'interno della struttura o colleganti strutture contigue.

Queste tecniche di protezione si utilizzano per migliorare le prestazioni delle costruzioni soggette ad azioni sismiche.

Estratto da Circolare n.7/2019

Tipologia e Meccanismi di Funzionamento

	Viscosi		Metallici	Attritivi
Tipologia di dispositivi	Viscosi (Fluidi) 	Visco-Elastici (Solidi) 		
Comportamento Idealizzato Isteretico				
Modello Idealizzato				

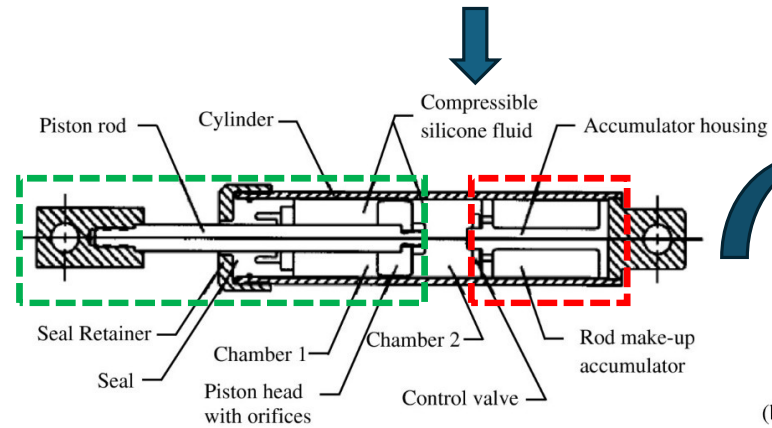
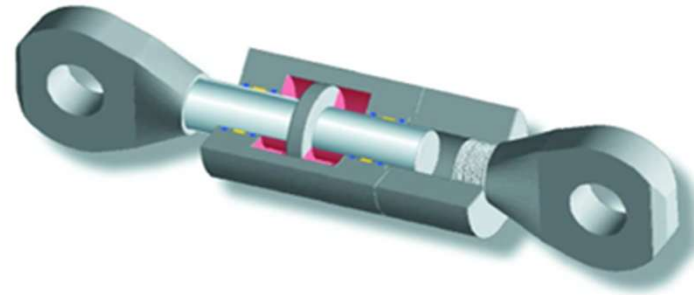
(§ Capitolo 7.10 - DM 2018 & Circolare 7/2019) Prove di qualifica/accettazione UNI EN 15129



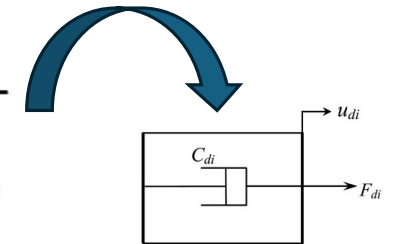
Sendai University, Giappone



Smorzatore viscosi (a funzionamento idraulico)



(a) Schematic diagram of fluid viscous damper
(Symans and Constantinou, 1998)



(b) Mathematical model of fluid viscous damper

Modello: Smorzatore

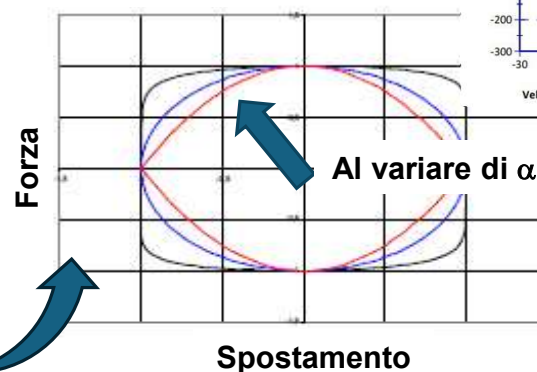
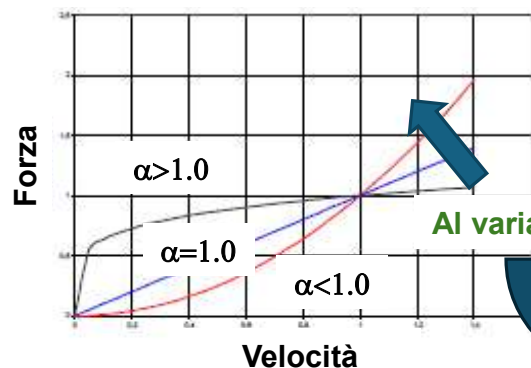
Dispositivi di tipo idraulico – Smorzatori viscosi

La forza (reattiva) espletata dal dispositivo è governata dalla seguente espressione:

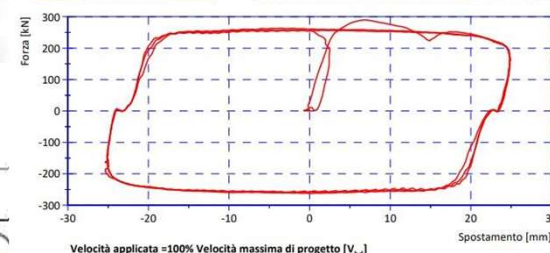
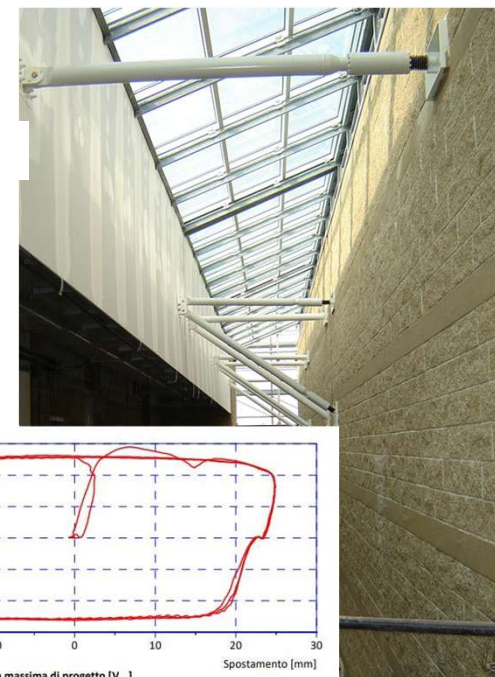
$$F = C \cdot V^{\alpha}$$

In cui:

- C è la costante di smorzamento viscoso;
- V è la velocità;
- α è un coefficiente che varia tra 0,015 e 2 in funzione del tipo di valvola utilizzata.



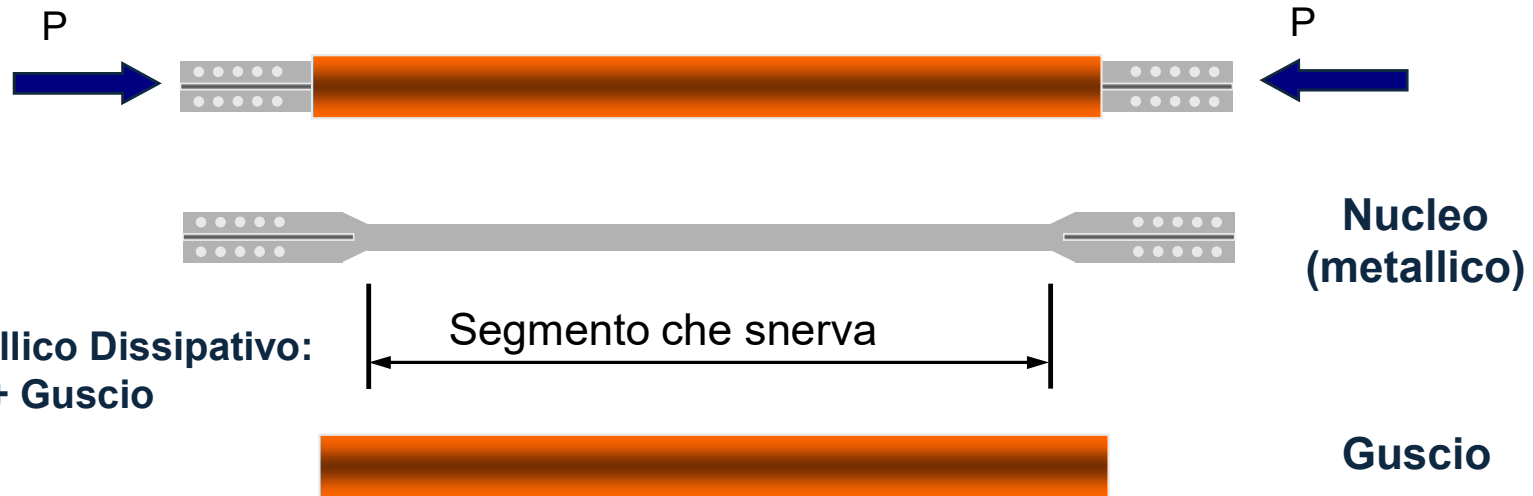
Tipici legami costitutivi di dissipatori viscosi



Università - L'Aquila

Cortesia FIP Mech

Dispositivi metallici dissipativi



Nucleo in acciaio resiste (da solo) alle azioni assiali P

Guscio non interagisce con il nucleo metallico

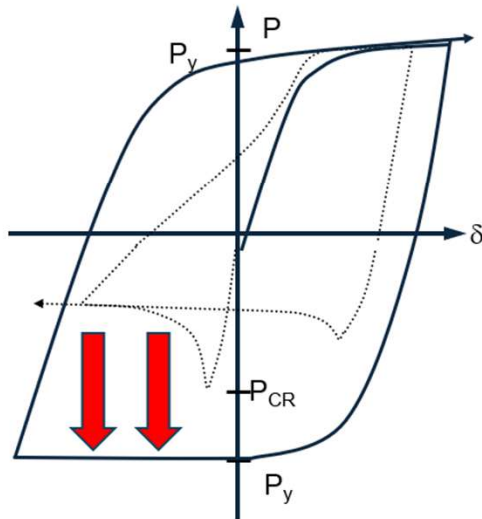
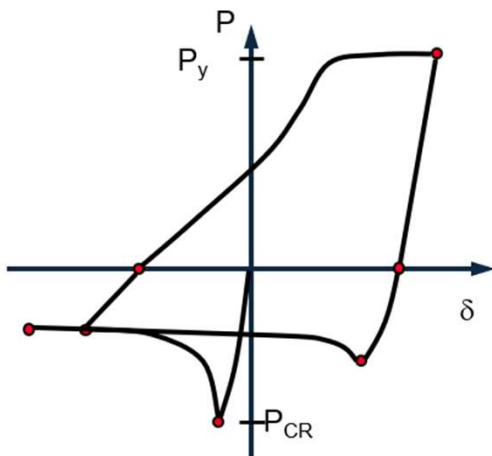
- il guscio non assorbe alcuna forza assiale P

- la rigidezza flessionale del guscio deve essere tale da evitare l'instabilità (globale) del nucleo metallico

Watanabe et al., 1988

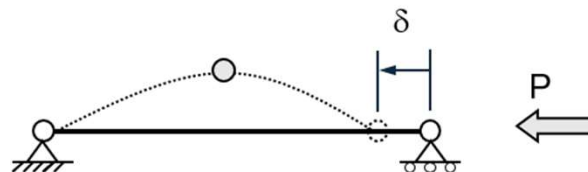
$$\frac{P_E}{P_y} \geq \alpha > 1 \quad \Rightarrow \quad \frac{0.9 \cdot P_E}{1.3 \cdot P_y} \geq 1 \Rightarrow \frac{P_E}{P_y} \geq 1.5$$

Dispositivi metallici dissipativi



Controvento tradizionale:

- **Snerva** in trazione (comportamento duttile)
- **Instabilizza** a compressione (comportamento non duttile)
- **Risposta strutturale etero-resistente** (trazione / compressione)



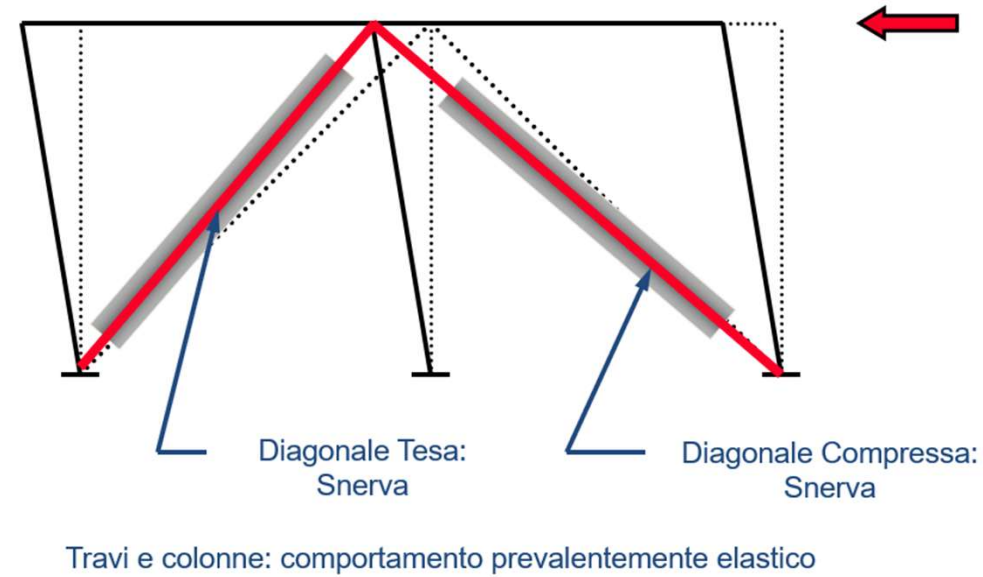
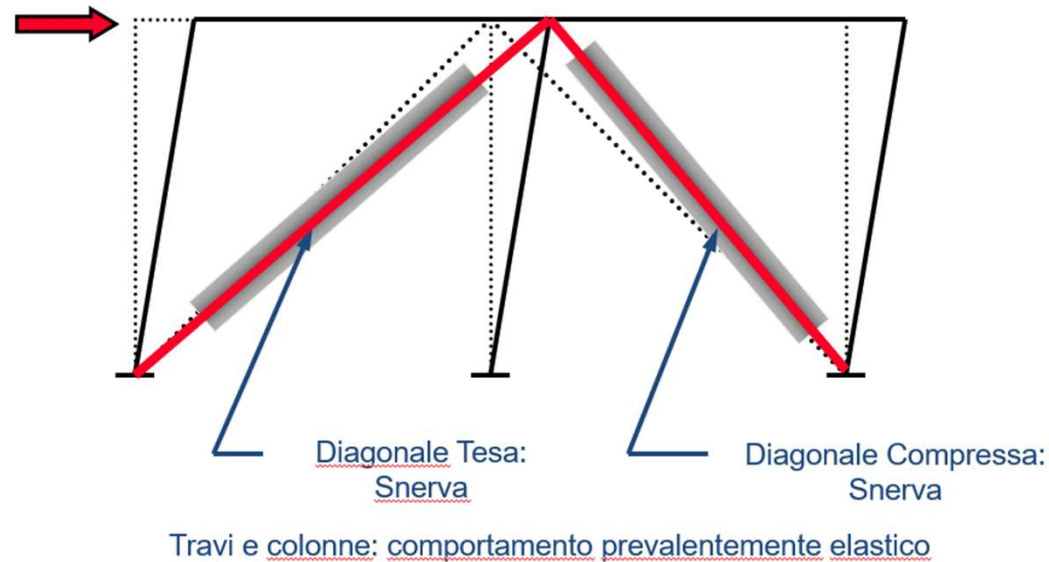
Controvento a instabilità impedita:

- **Snerva** in trazione (comportamento duttile)
- **Snerva** a compressione (comportamento duttile)
- **Risposta strutturale iso-resistente** (trazione / compressione; piccola sovra-resistenza a compressione)

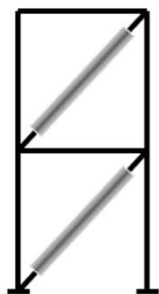


Dispositivi metallici dissipativi

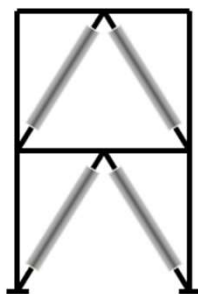
Comportamento inelastico dei sistemi con dispositivi metallici dissipativi sotto azioni orizzontali sismiche



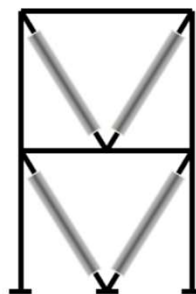
Dissipatori metallici dissipativi



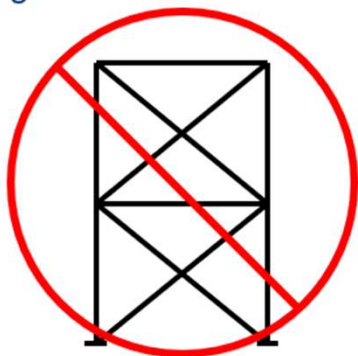
Diagonale Singola



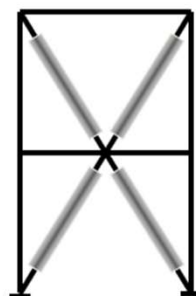
Controventi a V-invertita



Controventi a V



Controventi a X



Controventi a X-due piani



Dispositivi singoli



Dispositivi accoppiati

PARAMETRI PROGETTUALI DA DEFINIRE PER I CONTROVENTI DISSIPATIVI

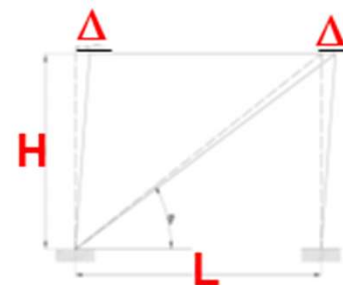
- AREA DEL NUCLEO (A_{core}) → RIGIDEZZA ASSIALE ASTA
 - LUNGHEZZA DEL NUCLEO (L_{core})
 - FORZA DI SNERVAMENTO DEL NUCLEO (F_{By})
 - DUTTILITA' TRASLAZIONALE GLOBALE (μ)
 - COEFFICIENTI DI SMORZAMENTO VISCOSO EQUIVALENTE (ξ_{eq})
- }
- PRODUTTORE

LUNGHEZZE RIDOTTE DEL NUCLEO METALLICO:

- VALORI MAGGIORI DI L/H PER LA CAMPATA;
- VALORI MINORI DI Δ/H ;
- MAGGIORE DUTTILITA' TRASLAZIONALE GLOBALE
- MAGGIORE LA RESISTENZA A SNERVAMENTO

$$L_N/L_B \leq 0,9$$

L_{core}



Fonte: Calvi et al., 2012



Type of intervention	Average Unit cost in L'Aquila (€/m ²)
CFRP Retrofit (Fixed base)	1.013,00
Base Isolation Lift Up	970,00
Base Isolation Top column cut	961,00
Base Isolation Base column cut	960,00



Costi e benefici?



Costi Tipici Dispositivi Isolamento Sismico:

HDRB: 3,000-3,500 Euro

LRB: 3,500-4,000 Euro

FPS: 1,500-2,000 Euro

Perdite Economiche

(after Kircher, 2003)

BIS = Base Isolation System

<i>Economic losses</i> (in millions of USD)					
Non structural systems	As-built	Added damping	Benefit	BIS	Benefit
Displacement-dependent	\$ 1086	\$ 407	63%	\$ 303	72%
Acceleration-dependent	\$ 1952	\$ 1013	48%	\$ 777	60%
Contents	\$ 2162	\$ 1124	48%	\$ 862	60%
Total	\$ 5200	\$ 2544	51%	\$ 1942	63%

Struttura Esistente

SCUOLA MEDIA – Complesso scolastico "Parozzani" Isola del Gran Sasso (TE)



Vista 2

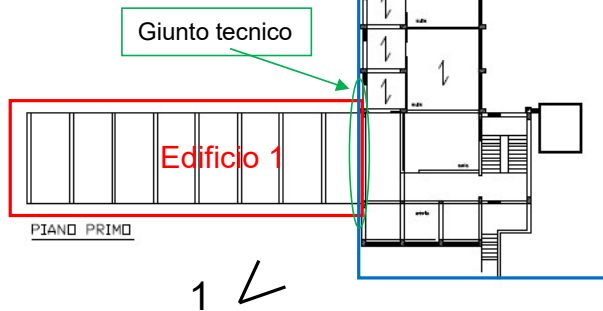
**Edificio oggetto di studio:
Edificio 2 (corpo aule)**



Vista 1

2 <

Edificio 2

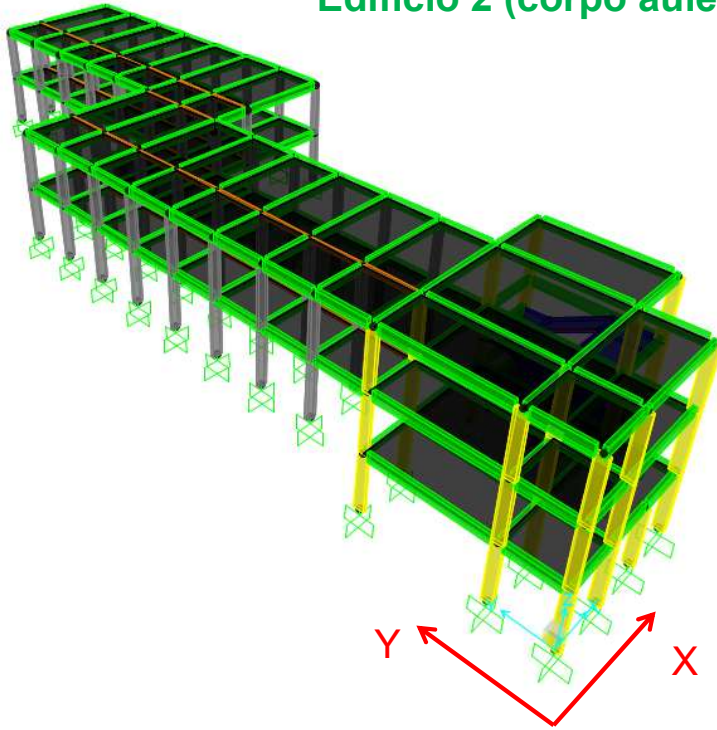


1 <

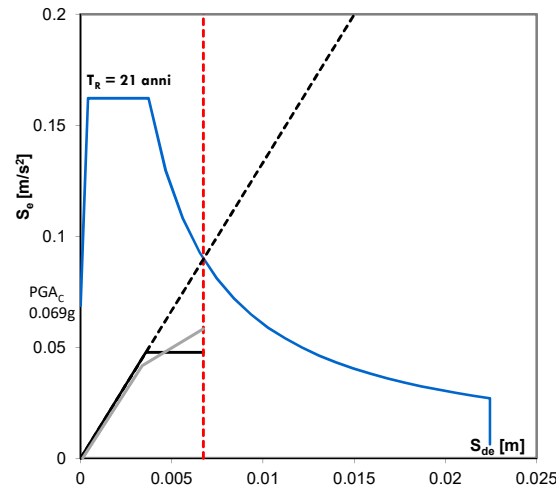
Pianta dei degli edifici 1 e 2

Anno di progettazione	1960-1970
Interventi post-sisma 1997	nessuno
a_g/g ($V_R=75$ anni)	0.255
CAT suolo	B
f_{cm}	Min=12,55 MPa; Max=34,90 MPa; Media di calcolo=16.6 MPa
f_{ym} (barre lisce)	390.8 MPa
Livello di conoscenza	LC2

Edificio 2 (corpo aule)



Calcolo Indice di Sicurezza

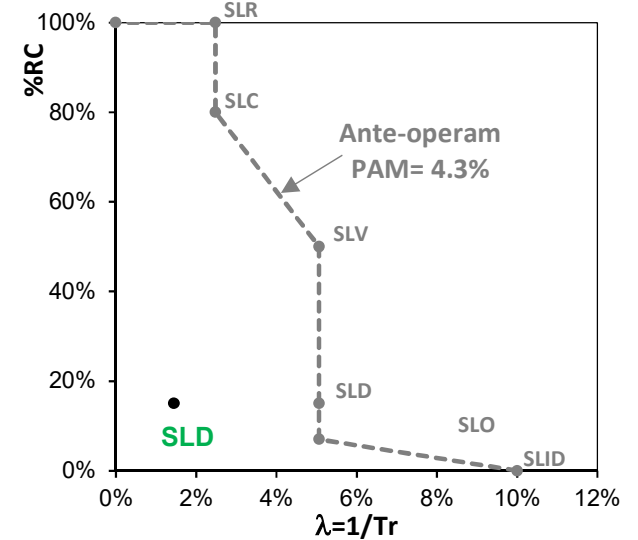


$$IS-V = PGA_C / PGA_D = 23\%$$



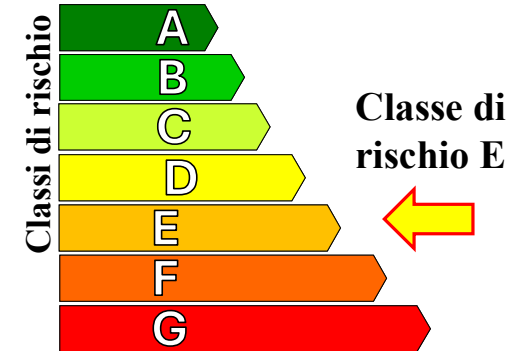
**Crisi a taglio-compressione
nodi perimetrali**

Calcolo Classe di Rischio Sismico – Metodo convenzionale



Obiettivi Progettuali

- ✓ Regularizzare la forma modale in direzione X;
- ✓ Ridurre il grado di danneggiamento delle tamponature per SLV (SLD 0.5% già verificato, ma è necessario per aumentare il PAM);
- ✓ Riduzione delle sollecitazioni sugli elementi strutturali per aumentare $IS-V > 60\%$



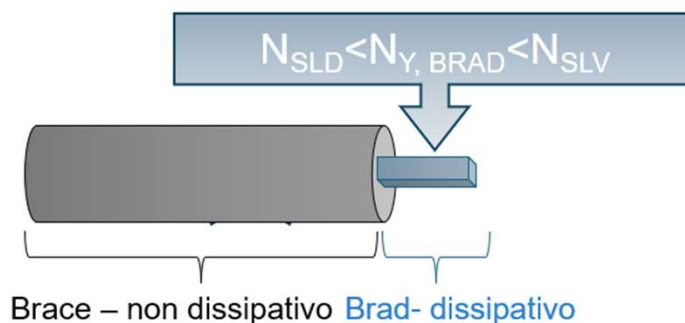
Metodologia di progetto

Step 1

Regolarizzazione della risposta modale (forme e masse partecipanti) nelle due direzioni principali X ed Y.

Step 2

Dimensionamento zona dissipativa del controvento (BRAD) imponendo lo snervamento del dispositivo per un'azione assiale intermedia tra SLD ed SLV.



Step 3

- Analisi della struttura controventata mediante analisi statica non lineare (Pushover);
- Analisi dello stato delle cerniere plastiche assiali dei controventi;
- Calibrazione del sistema BRACE-BRAD lasciando invariata rigidità equivalente.

Step 4

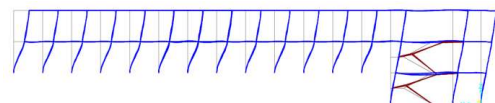
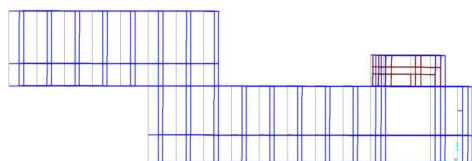
- Calcolo della domanda di spostamento del sistema controventato sfruttando lo smorzamento viscoso equivalente;
- Verifica dei meccanismi duttili e fragili della struttura esistente.

Step 5

- Rinforzo degli elementi in c.a. direttamente connessi ai controventi (FRP, ringrossi, etc.);
- Rinforzo degli elementi in c.a. non verificati per meccanismi fragili o duttili della struttura esistente.

Analisi dello stato ante-operam

Modo 1 – Traslazionale Y

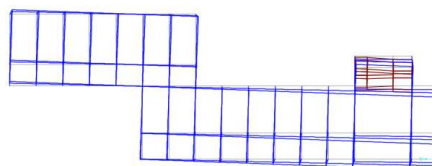


$T_1=0,49$ s
 $M_Y=92\%$

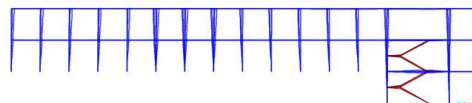


Modo 2 - Torsionale

Piante



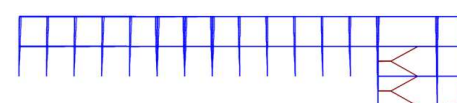
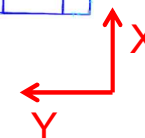
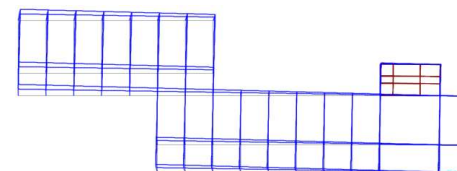
Prospetti



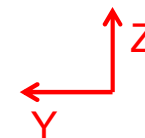
$T_2=0,37$ s
 $M_X=35\%$



Modo 3 – Traslazionale X



$T_3=0,24$ s
 $M_X=55\%$



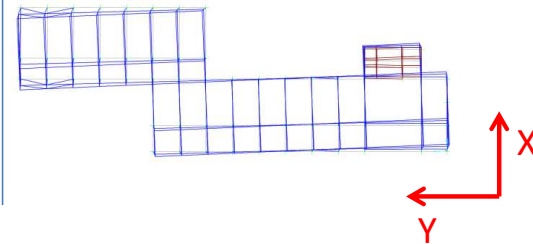
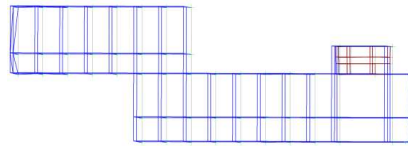
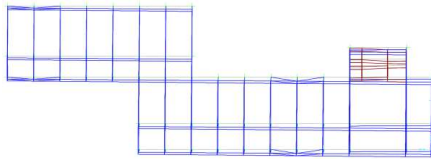
Analisi dello stato post-operam

Modo 1 – Traslazionale Y

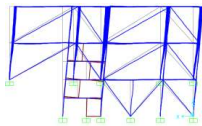
Modo 2 - Torsionale

Modo 3 – Traslazionale X

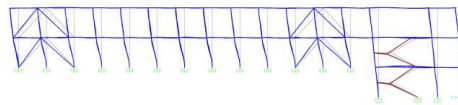
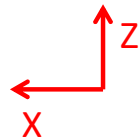
Piante



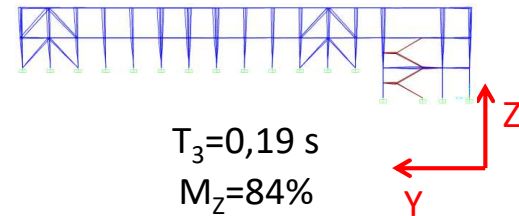
Prospetti



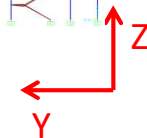
$T_1=0,25\text{ s}$
 $M_x=85\%$



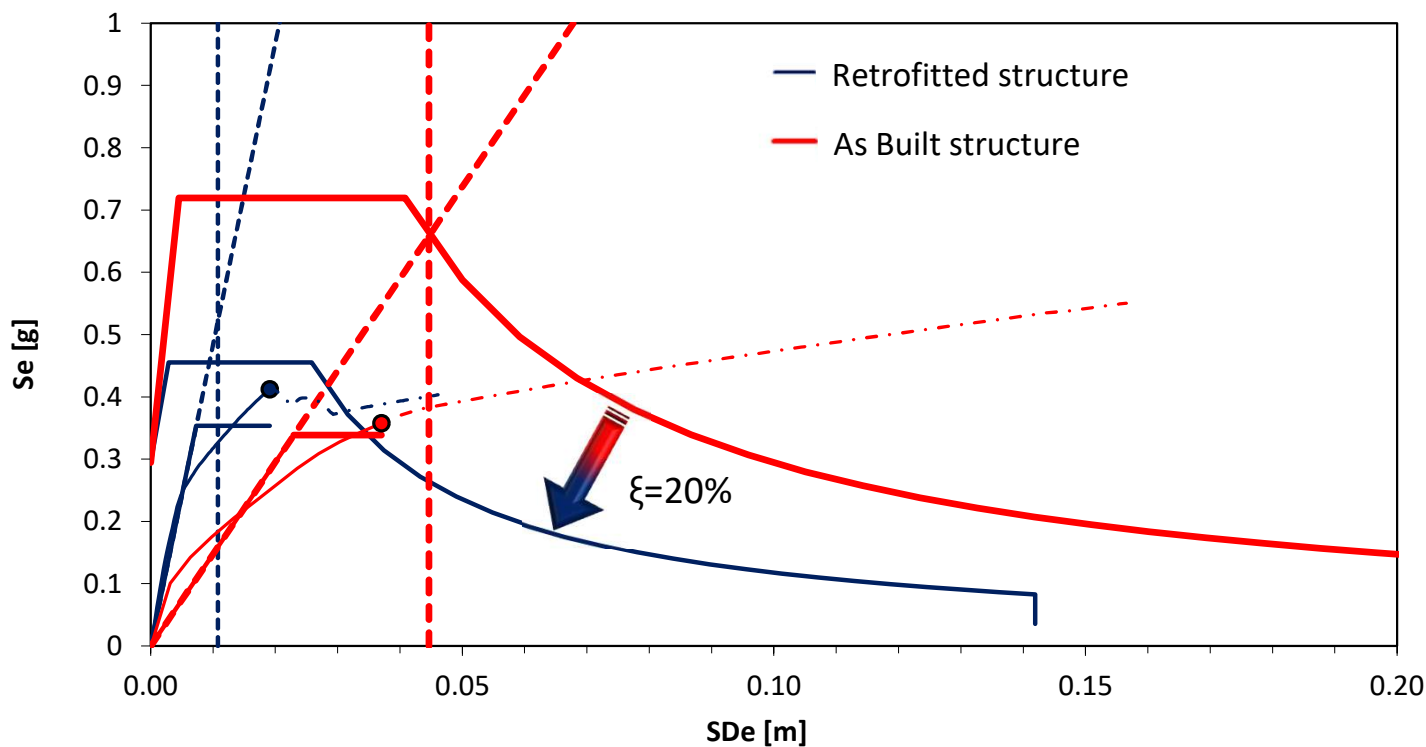
$T_2=0,24\text{ s}$
 $M_y=89\%$



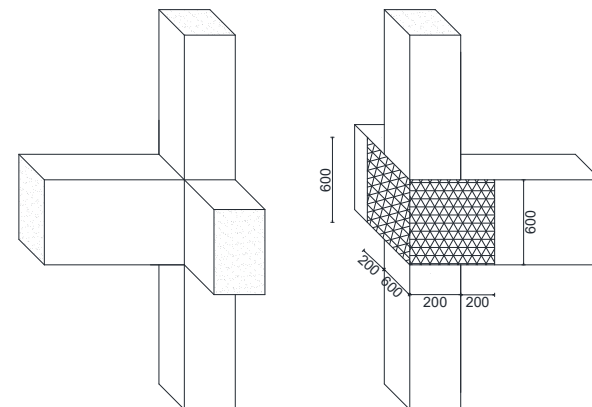
$T_3=0,19\text{ s}$
 $M_z=84\%$



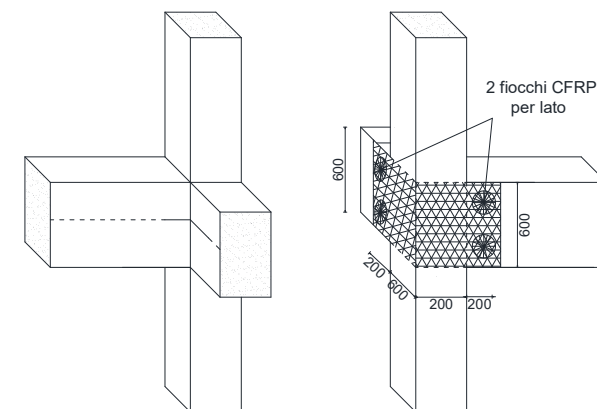
Confronto tra PushOver Ante-Operam e Post-Operam



Step 1) 1 Strato tessuto quadriassiale CFRP (grammatura 760 g/m²)

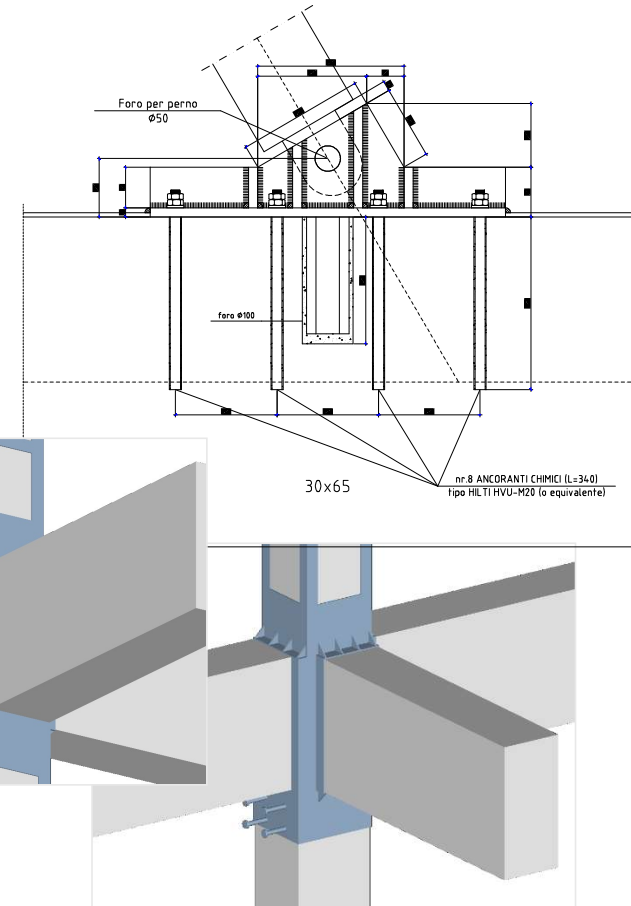
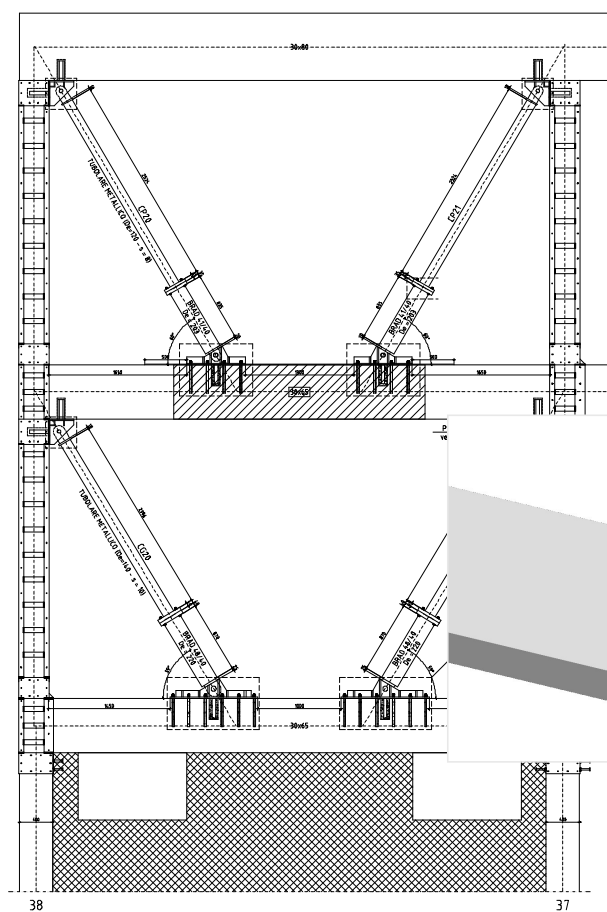
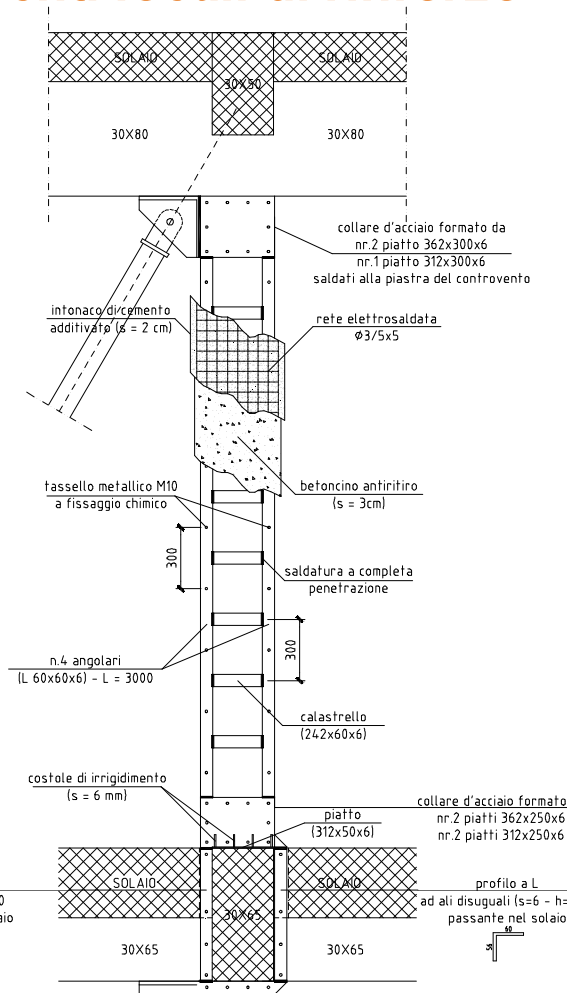


Step 2) Ancoraggio con fiocchi CFRP (lunghezza 300mm) inghisati nella trave



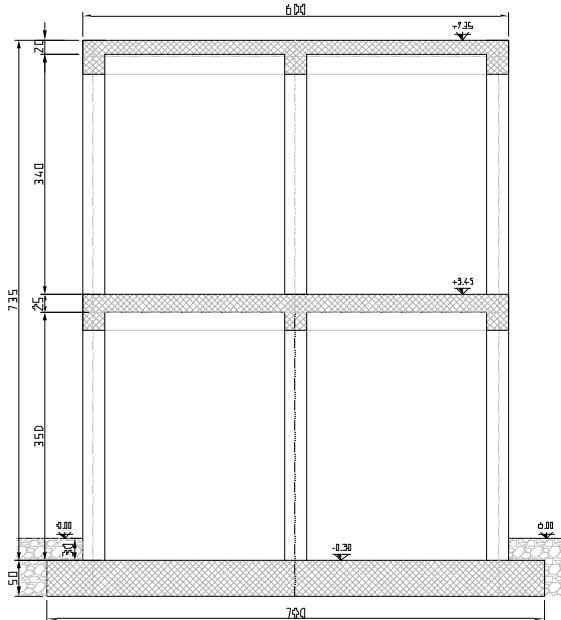
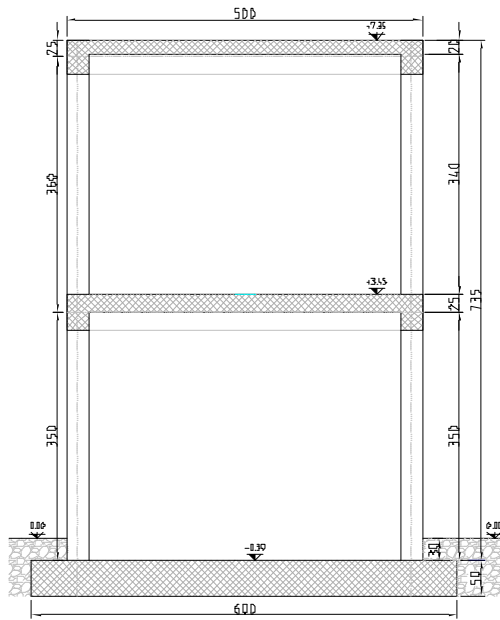
Rinforzi Nodali

Interventi locali di rinforzo

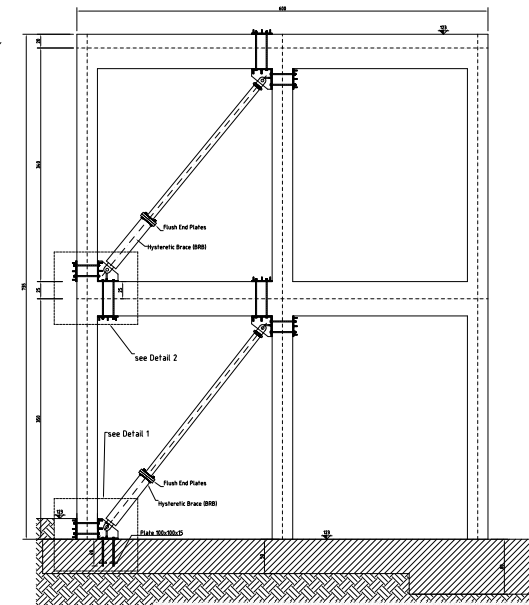
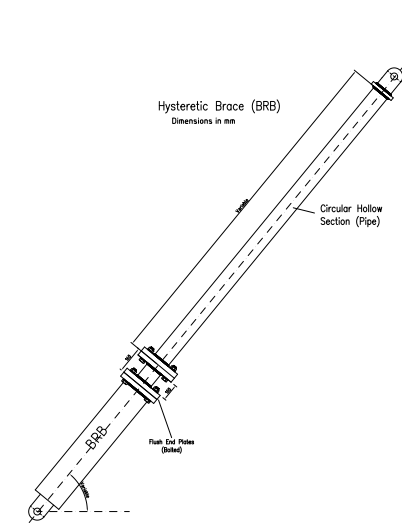


Applicazione di sistemi FRP, e.g. con carbonio, da utilizzarsi per le travi e colonne a contatto con i controventi dissipative metallici. Spesso richiesti anche rinforzi locali sui nodi trave-colonna.

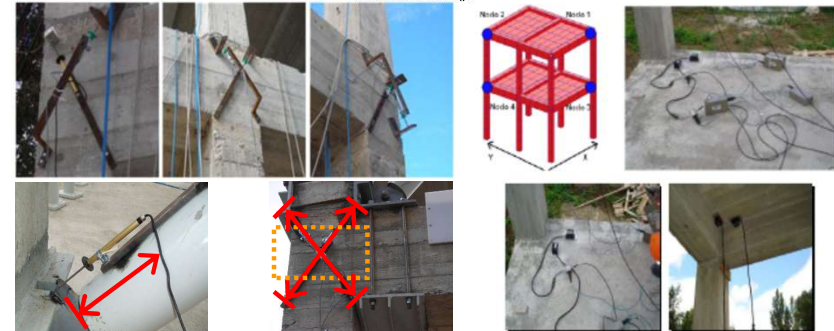
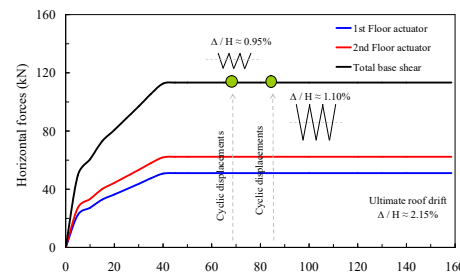
Edificio in c.a. – Scala 1:1 – 2 Piani – 2 Campate (nudo e con controventi metallici dissipativi)

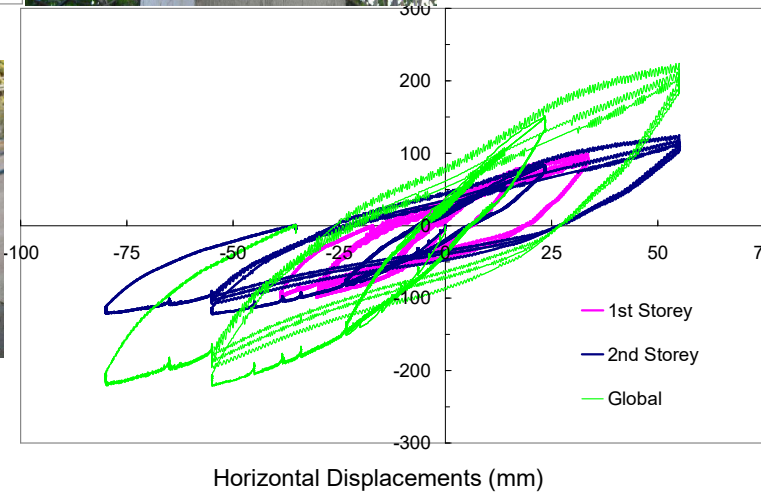
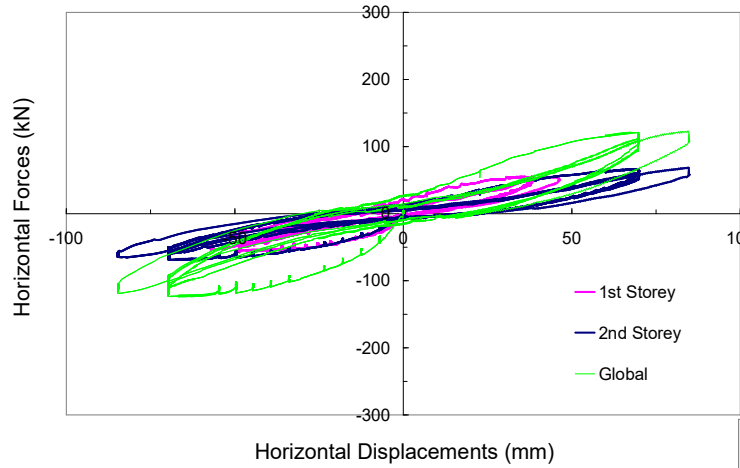


SECTION B - B

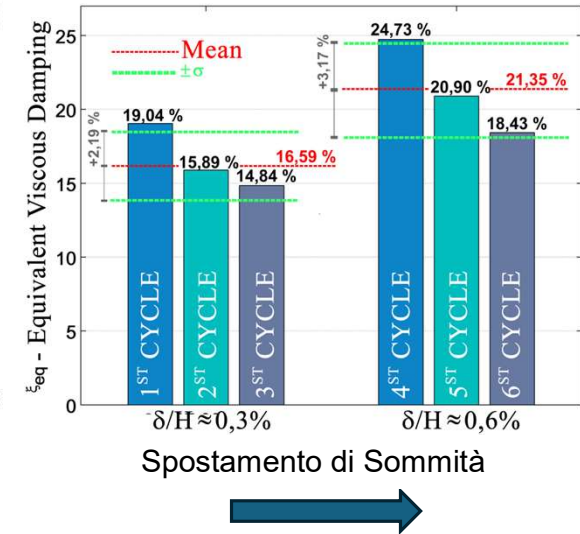


Protocollo di Carico





Telaio Adeguato Sismicamente



Di Sarno, L. and Manfredi, G. (2012). Experimental tests on full-scale RC unretrofit frame and retrofitted with buckling restrained braces. **Earthquake Engineering and Structural Dynamics**, 41(2), 315-333.

Hybrid Testing of an Existing Steel Frame with Infills under Multiple Earthquakes (HITFRAMES)



Column base



BRB-Elastic brace joint



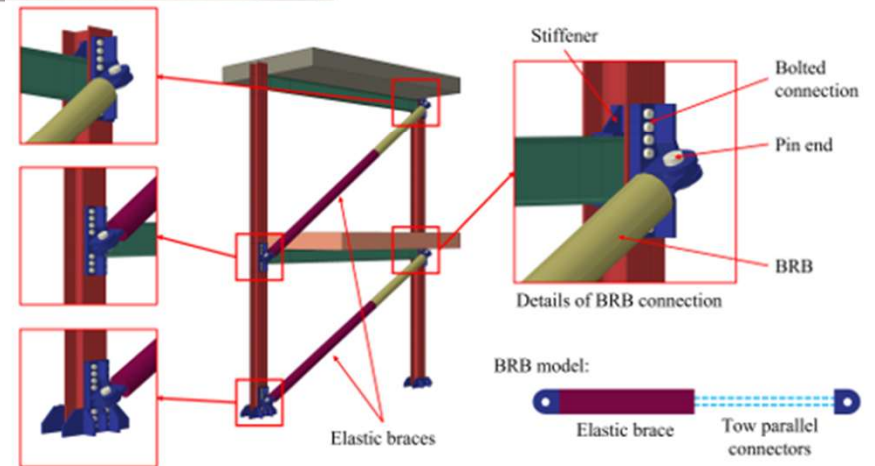
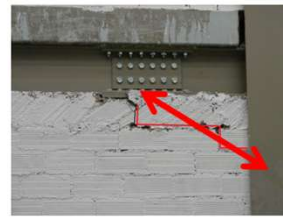
BRB end connection
(bottom)



BRB end connection
(top)



Puntoni Localizzati



Di Sarno et al. (2021). Assessment of existing steel frames: Numerical study, pseudo-dynamic testing and influence of masonry infills. Journal of Constructional Steel Research.

Conclusioni

- Le tecniche innovative di adeguamento sismico (**isolamento e dissipazione**) ed i metodi di calcolo presenti nelle normative di settore offrono al progettista un ampio spettro di soluzioni per poter intervenire efficacemente sul patrimonio edilizio esistente che risulta progettato prevalentemente per carichi gravitazionali ed è caratterizzato da elevata vulnerabilità (particolarmente quella sismica).
- Le considerazioni tecniche illustrate dimostrano l'efficienza dell'utilizzo dei controventi dissipativi ad instabilità impedita per l'adeguamento delle strutture in c.a. progettate per soli carichi verticali.
- Le prestazioni della struttura adeguata possono migliorare sensibilmente in termini di **rigidezza**, **resistenza**, **duttilità** e soprattutto di **dissipazione isteretica** sotto azioni sismiche, a patto di tener conto adeguatamente di effetti legati ai dettagli costruttivi utilizzati per l'ingegnerizzazione della soluzione progettuale ed alla presenza di elementi architettonici (per esempio i tompagni) che possono alterare i meccanismi di funzionamento atteso.