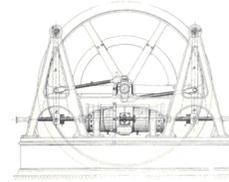




FEDERAZIONE REGIONALE ORDINI
INGEGNERI DELLA TOSCANA



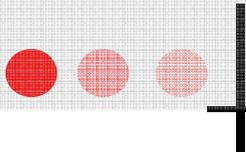
ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA
PROVINCIA DI LUCCA

***Interventi di miglioramento sismico con sistemi di
isolamento alla base o sistemi dissipativi***

Lucca, 5 Dicembre 2014, Grand Hotel Guinigi



Walter Salvatore
walter@ing.unipi.it
Dipartimento di Ingegneria Civile e
Industriale - Università di Pisa



INTRODUZIONE: ANALISI DI EDIFICI ESISTENTI

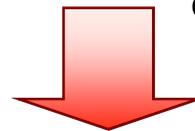
"E' definita costruzione esistente quella che abbia, alla data della redazione della valutazione di sicurezza e/o progetto di intervento, la struttura completamente realizzata"

- Come affrontare l'**ANALISI** e la **VERIFICA** di un edificio esistente?
- Come progettare l'**INTERVENTO** di adeguamento alle nuove normative?

Negli anni si sono verificati due tipi di approccio allo studio di edifici esistenti, (in merito a struttura, materiali, dettagli costruttivi, etc.)

1. Assunzioni **TROPPO CONSERVATIVE** (frequenti) provocano costi eccessivi per adeguamenti-miglioramenti talvolta non indispensabili

2. Assunzioni **POCO CONSERVATIVE** (meno frequenti) provocano gravi conseguenze a livello di sicurezza

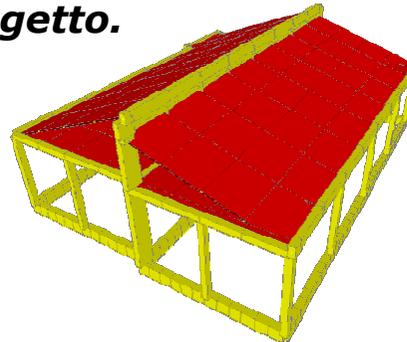
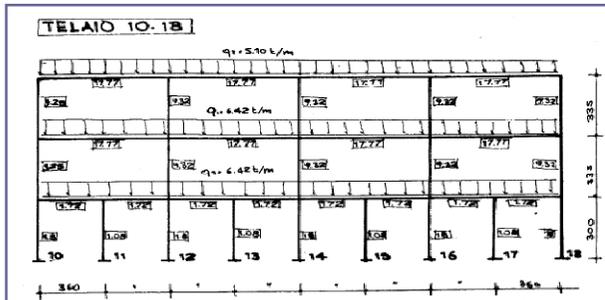


*Necessità di uno studio approfondito dello **STATO DI FATTO** dell'edificio esistente analizzato, finalizzato ad ottenere il maggior numero possibile di informazioni su struttura portante, elementi strutturali e non strutturali, evoluzione nel tempo, materiali*

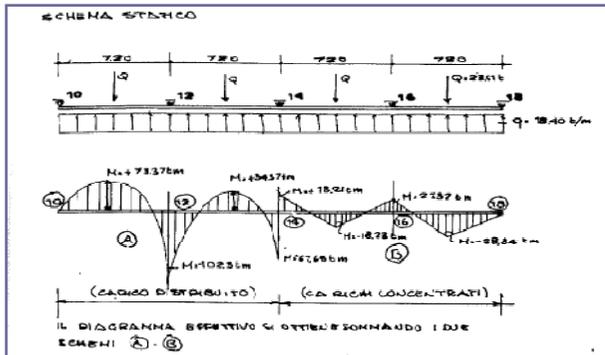
INTRODUZIONE: ANALISI DI EDIFICI ESISTENTI

ANALISI DELLO STATO DI FATTO

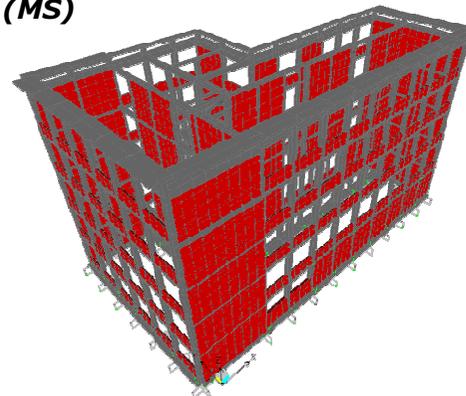
- **Rilievo geometrico e strutturale degli elementi, dettagli costruttivi;**
- **Caratterizzazione meccanica dei materiali;**
- **Schemi statici originari di progetto.**



Modello 3d, Scuola Filattiera (MS)



Schemi statici originari, Scuola elementare, Filattiera (MS)



Modello 3d, Istituto IPSIA Bagnone (MS)

SCELTA DEL TIPO DI ANALISI - MODELLO

- Analisi Lineari → Modello Lineare
- Analisi Non lineari → Modello Non Lineare

ELABORAZIONE MODELLO NUMERICO

rappresentativo del comportamento dell'edificio

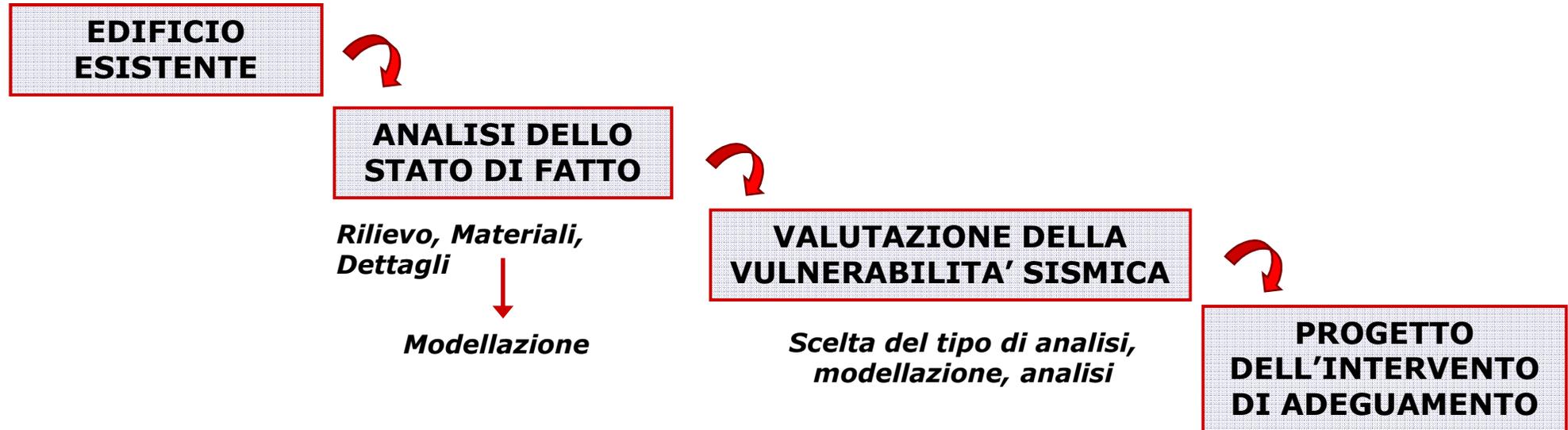
ANALISI DEL MODELLO NUMERICO

Analisi secondo NTC 2008, Eurocodici

SCELTA - PROGETTO DELL'INTERVENTO

Riverifica dell'edificio post intervento

ADEGUAMENTO/MIGLIORAMENTO SISMICO



POSSIBILI APPROCCI PER L'ADEGUAMENTO

1. **METODI DI INTERVENTO GLOBALE** (intera struttura);
2. **METODI DI INTERVENTO LOCALE** (alcuni elementi strutturali);
3. **METODI "MULTIPLI"** (intervento su più parametri : es. rigidità, resistenza, duttilità);
4. **RIDUZIONE DELLA DOMANDA SISMICA**;
5. **MIGLIORAMENTO DELLA CAPACITA' STRUTTURALE**;

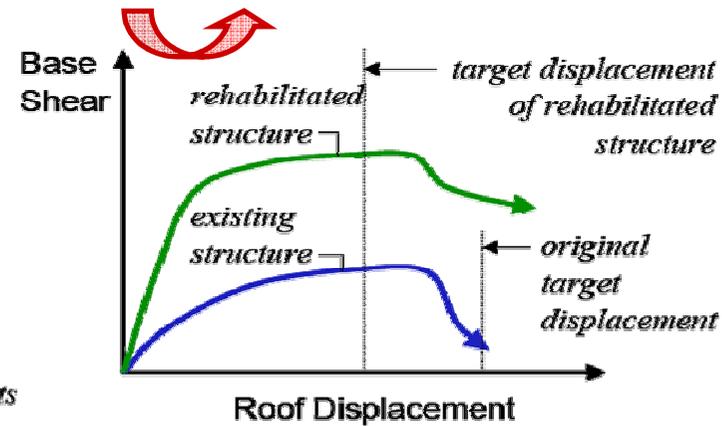
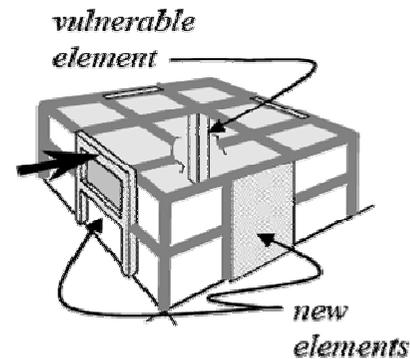


1

Modifica del sistema strutturale in modo che le richieste di progetto siano **MINORI** della capacità degli elementi strutturali e non strutturali

- Inserimento di controventi di acciaio

GLOBALE

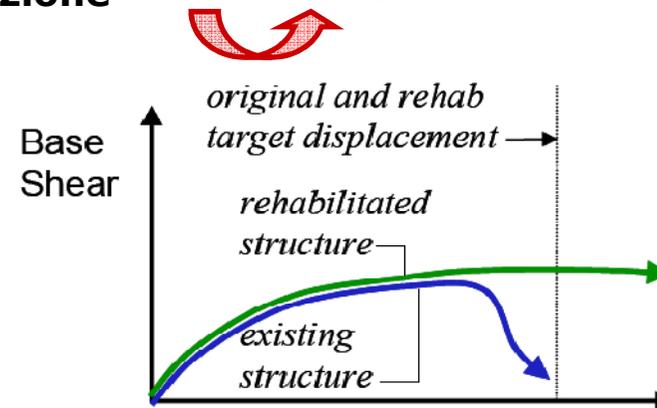
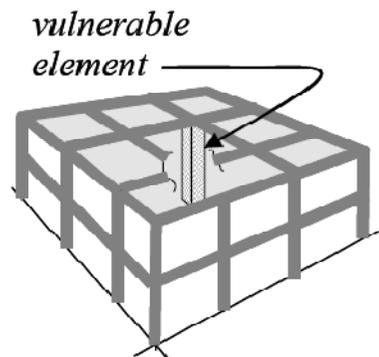


2

Modifica di componenti **ISOLATI** del sistema strutturale e non strutturale in modo da aumentare la capacità di deformazione degli elementi insufficienti

- Interventi locali , incamiciature di acciaio

LOCALE

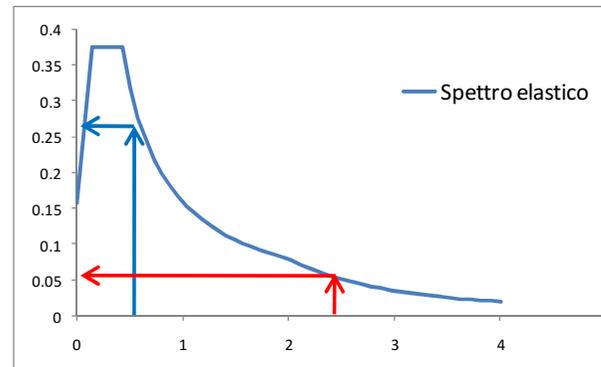


SISTEMI PASSIVI

Una struttura si può definire “adeguata sismicamente” se la domanda in termini di prestazioni strutturali (rigidezza, resistenza o duttilità) è inferiore alla corrispondente capacità della struttura.

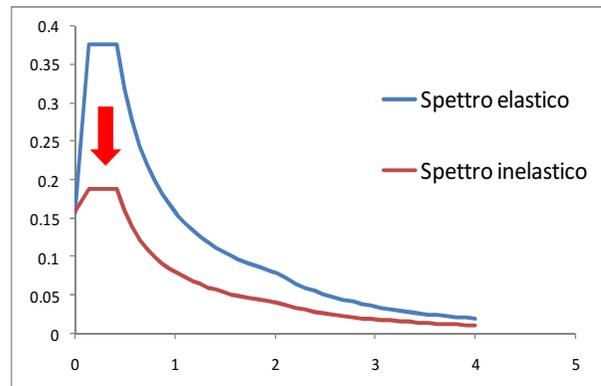
$$\text{Domanda} \leq \text{Capacità}$$

Diminuzione della domanda di prestazione: ISOLAMENTO SISMICO



L'interposizione tra fondazioni e sovrastruttura di un sistema di isolatori implica l'aumento del periodo proprio del sistema strutturale, diminuendo l'entità dell'energia sismica trasmessa all'edificio.

Aumento della capacità: SISTEMI DISSIPATIVI



L'utilizzo di sistemi dissipativi aggiuntivi permette di localizzare in appositi elementi la dissipazione dell'energia trasmessa dal terremoto senza ricorrere al danneggiamento della struttura.

LE STRATEGIE DI PROTEZIONE SISMICA DEGLI EDIFICI

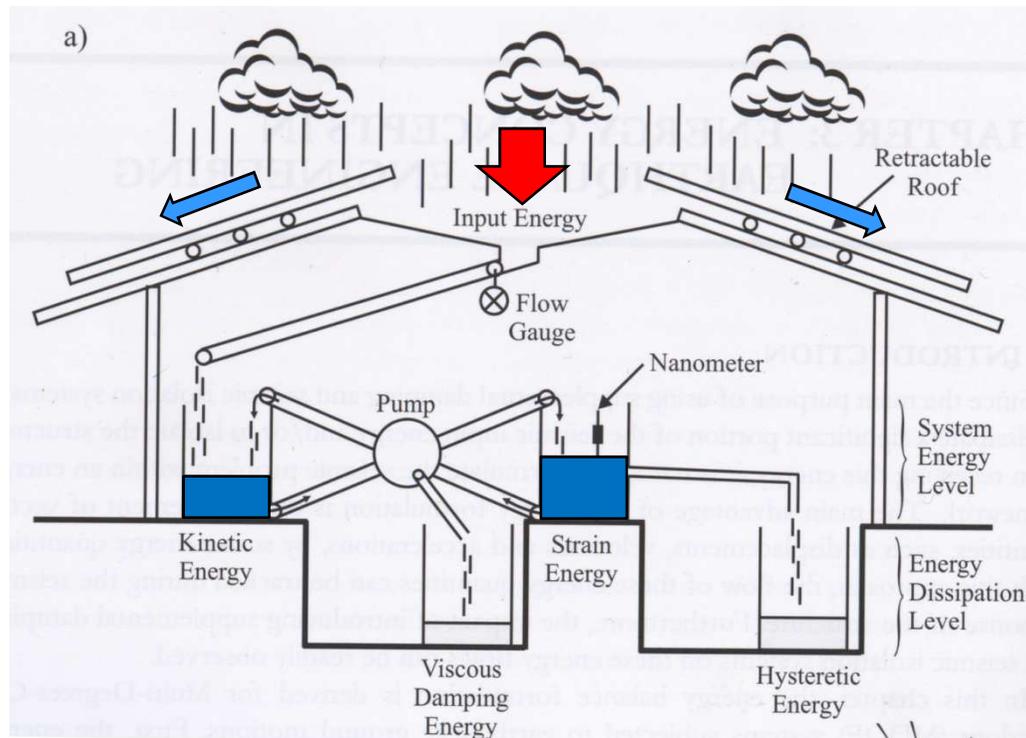
L'ANALOGIA DEL FLUSSO DI PIOGGIA

La quota di pioggia che entra dal tetto rappresenta l'energia in ingresso nella struttura

La quota di pioggia che scivola via rappresenta l'energia non trasmessa alla struttura

La pioggia rappresenta l'energia totale del sisma

Pompa che trasforma in maniera continua l'energia **cinetica** E_k in energia di **deformazione** E_s



Tetto completamente CHIUSO ➡

L'energia in ingresso nella struttura è NULLA



Edificio perfettamente ISOLATO

Tetto completamente APERTO ➡

L'energia in ingresso nella struttura è MASSIMA



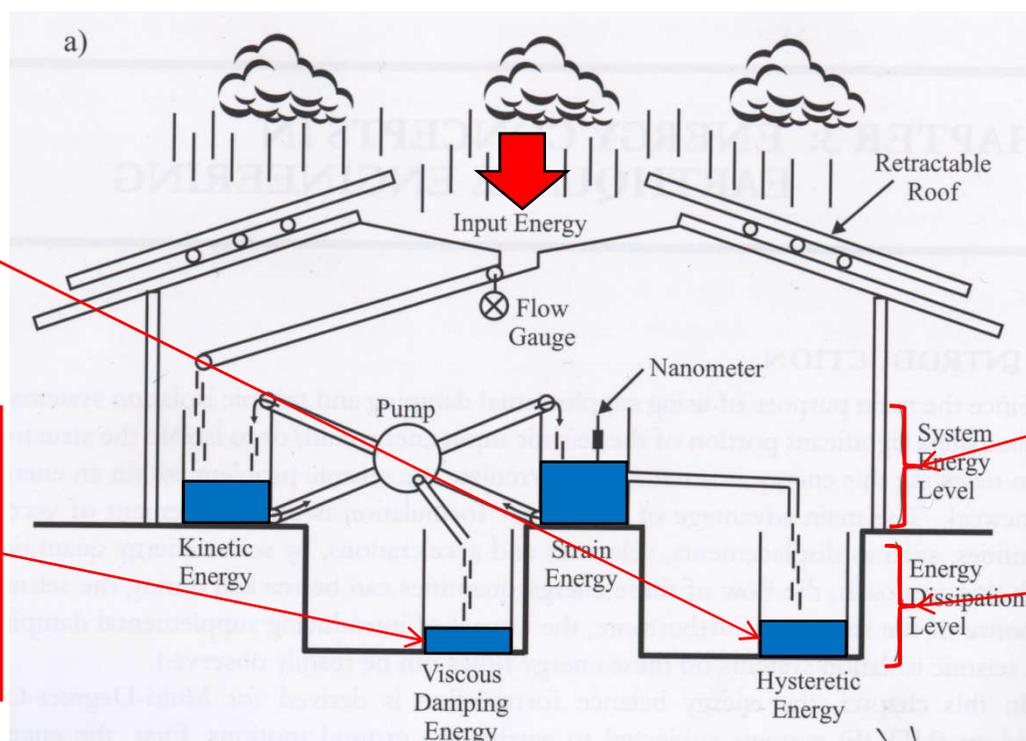
Edificio in condizioni di RISONANZA

L'ANALOGIA DEL FLUSSO DI PIOGGIA

La quota di pioggia che entra dal tetto rappresenta l'energia in ingresso nella struttura

Le deformazioni plastiche risultano in una perdita per dissipazione isteretica E_H

Durante la trasformazione dell'energia **cinetica** in energia di **deformazione** (vibrazione dell'edificio) si hanno delle perdite per **dissipazione viscosa** E_V



Energia ancora presente nel sistema (**cinetica e di deformazione**)

Energia dissipata (**viscosa o isteretica**)

Istante per istante, l'energia trasmessa alla struttura è pari a quella immagazzinata sotto forma di energia cinetica e di deformazione più quella dissipata

$$E_I = E_K + E_S + E_V + E_H$$

(Uang e Bertero, 1988)

LE STRATEGIE DI PROTEZIONE SISMICA DEGLI EDIFICI

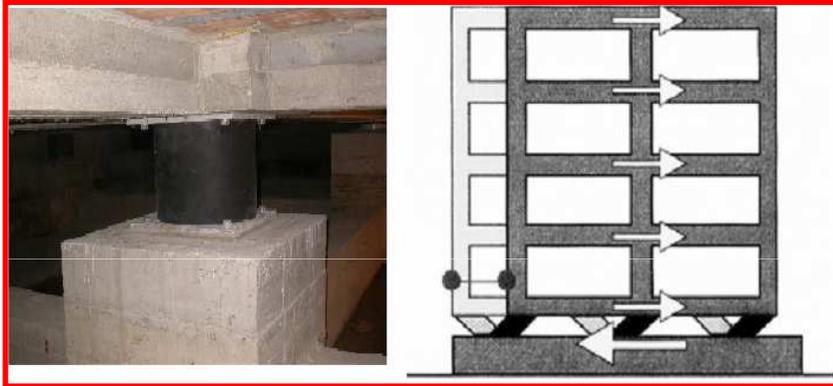
Equazione di bilancio dell' energia in campo sismico (Uang e Bertero, 1988)

$$E_I = E_E + E_D$$
$$E_I = E_K + E_S + E_V + E_H$$

Domanda \leq **Capacità**

$-E_I$

Isolamento Sismico



Dissipazione energia

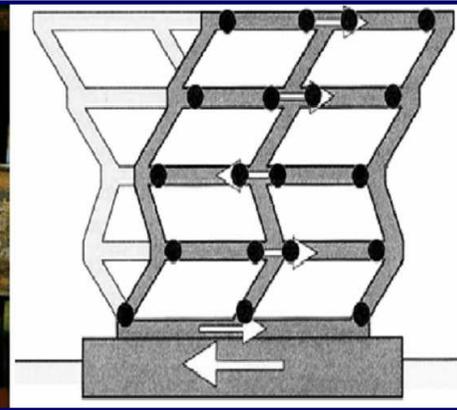
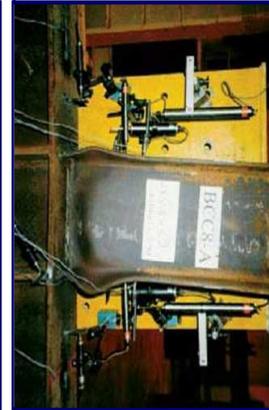
$+E_D$

- *Aumentare E_H*
- *Aumentare E_V*
- *Aumentare E_V ed E_H*

Dispositivi di dissipazione di energia (>1980)



Plasticizzazione controllata



SISTEMI PASSIVI: ISOLAMENTO SISMICO

PRINCIPIO DELL'ISOLAMENTO SISMICO

Ridurre, in caso di evento sismico, la deformazione dell'edificio concentrando la domanda di spostamento all'interno del sistema di isolamento interposto tra il terreno e la struttura isolata.

OBIETTIVI

- ✓ **Disaccoppiare** il moto della sovrastruttura e del terreno, limitando la quantità di energia sismica in ingresso;
- ✓ **Limitare al minimo i danni** di sovrastruttura e sottostruttura;
- ✓ **Assenza di danneggiamento** dei dispositivi di isolamento;
- ✓ Possibilità di **dissipare l'energia sismica** in ingresso;
- ✓ Possibilità di **autoricentraggio** della struttura

QUANDO CONVIENE UTILIZZARLO

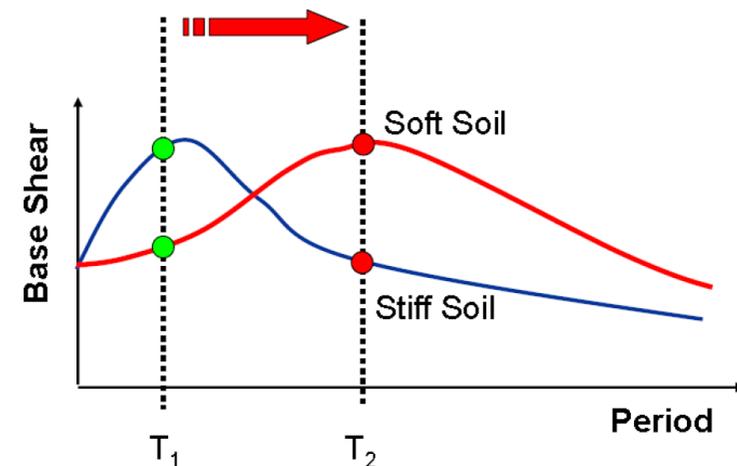
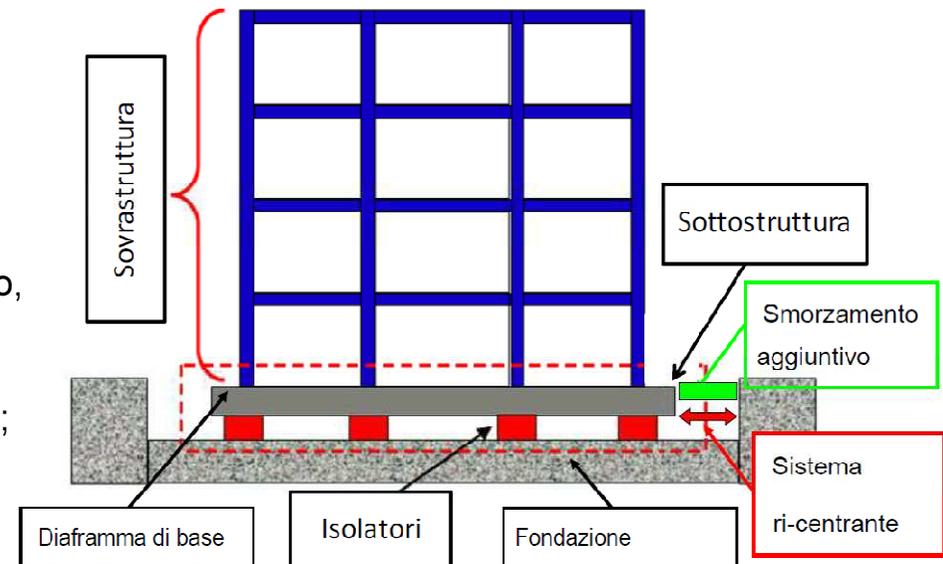
Più efficace nel caso di:

- Edificio a base fissa con un periodo proprio basso;
- Terreno rigido;

Meno efficace nel caso di:

- Edificio a base fissa con un periodo proprio elevato;
- Terreno soffice.

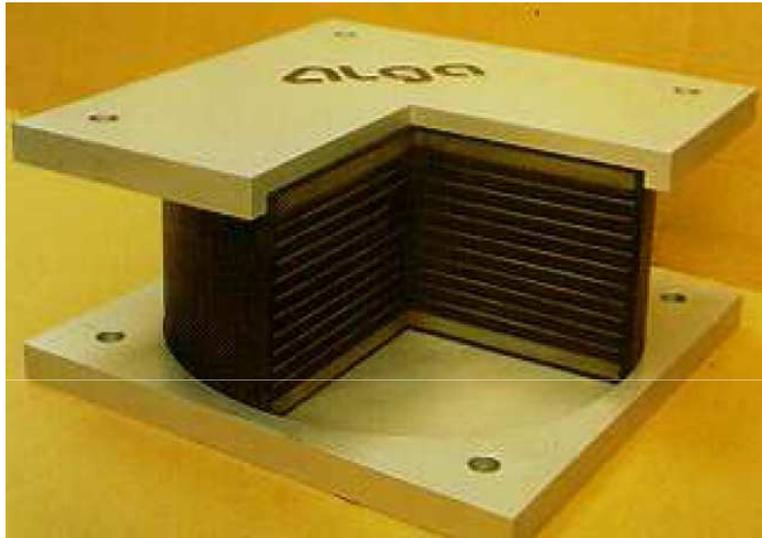
Elementi del sistema isolato



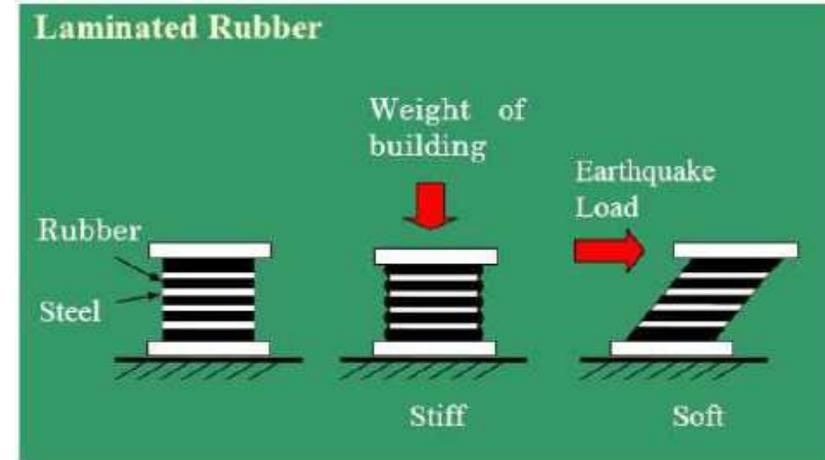
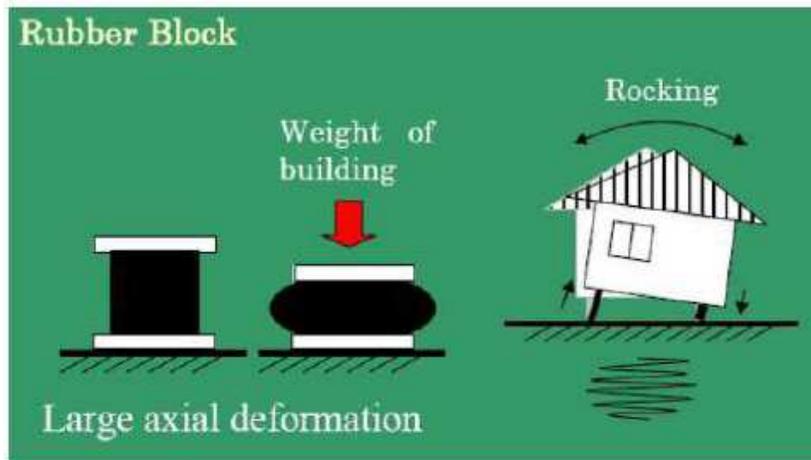
SISTEMI PASSIVI: ISOLAMENTO SISMICO

PRINCIPALI TIPOLOGIE DI SISTEMI DI ISOLAMENTO

Appoggi in gomma (alto o basso smorzamento);



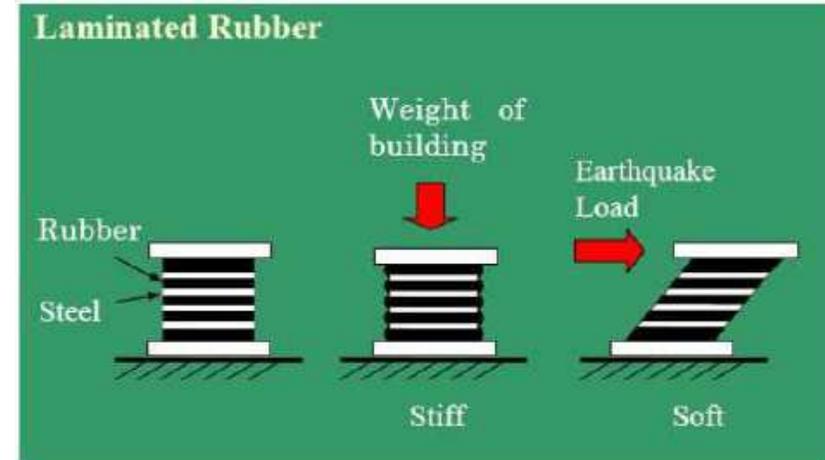
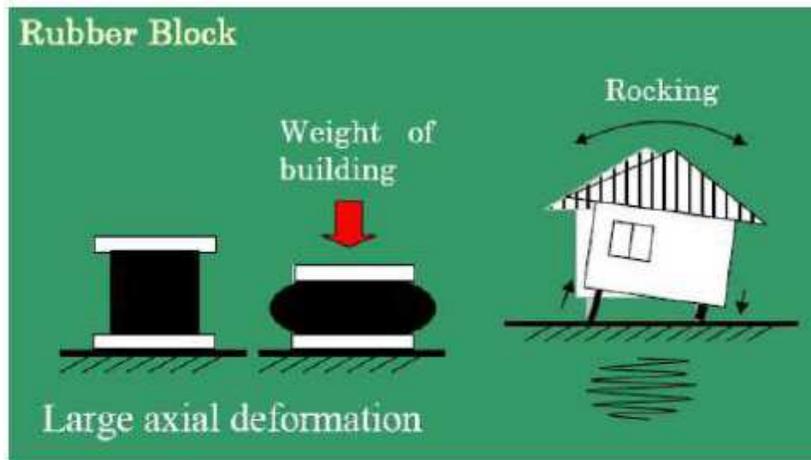
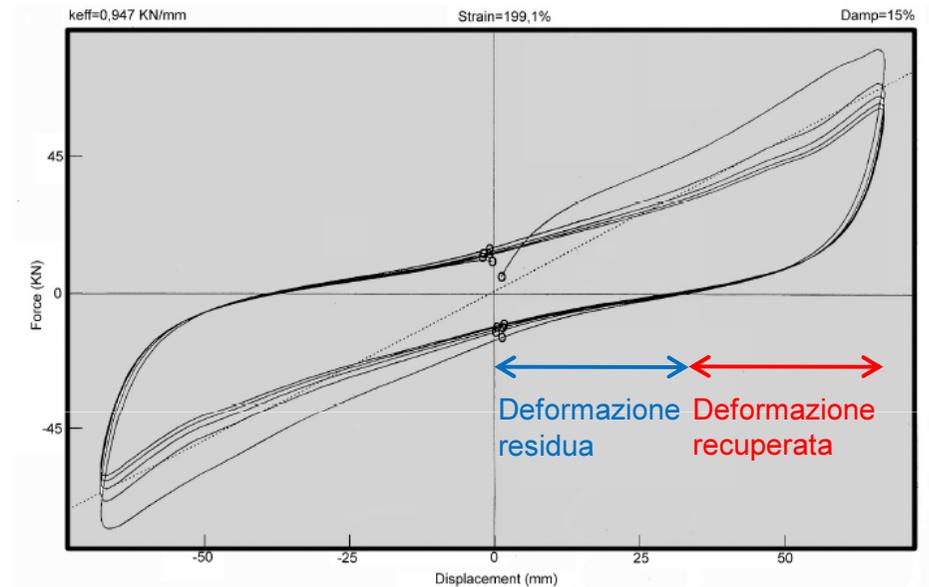
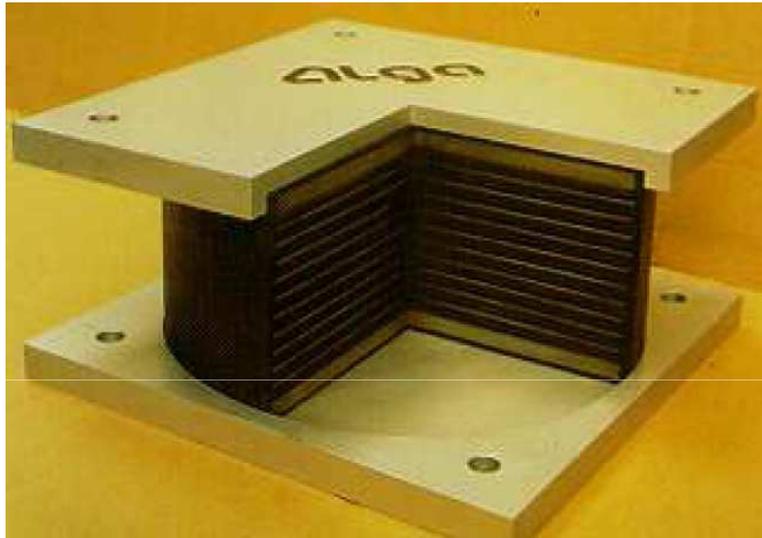
- ✓ La gomma presenta buone capacità di smorzamento;
- ✓ Grazie alle elevate prestazioni meccaniche della gomma, è possibile prevedere deformazioni di progetto fino a $\text{tg}\gamma = 2.0$
- ✓ La gomma è rinforzata con sottili piastre metalliche che irrigidiscono il comportamento dell'isolatore in direzione verticale, mantenendo praticamente inalterata la deformabilità trasversale;
- ✓ Gli isolatori in gomma presentano una limitata capacità di ricentraggio



SISTEMI PASSIVI: ISOLAMENTO SISMICO

PRINCIPALI TIPOLOGIE DI SISTEMI DI ISOLAMENTO

✓ Appoggi in gomma (alto o basso smorzamento);

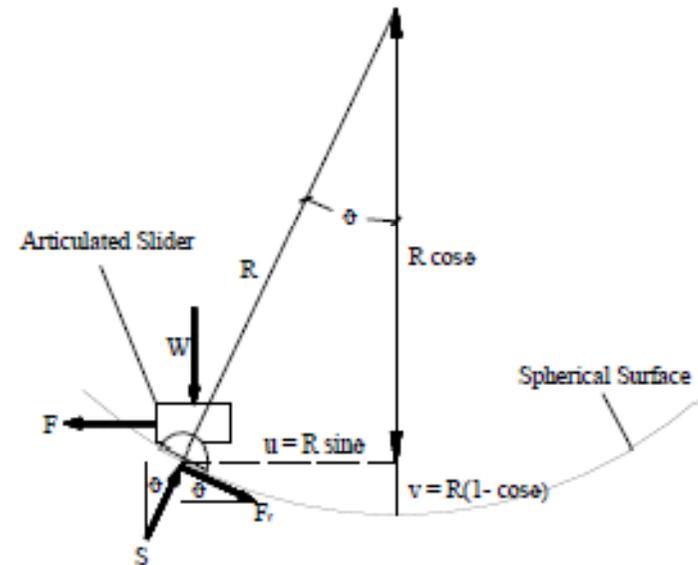


SISTEMI PASSIVI: ISOLAMENTO SISMICO

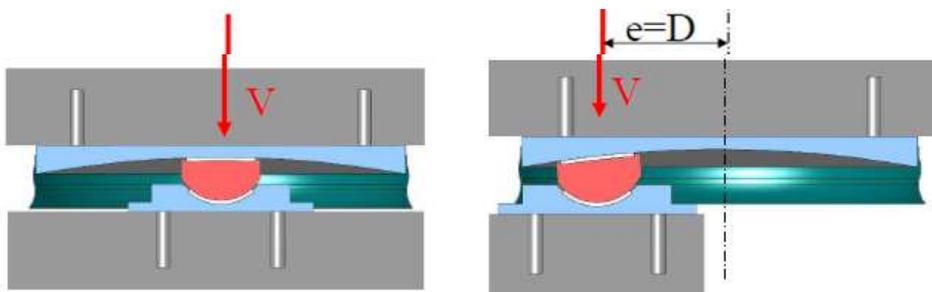
PRINCIPALI TIPOLOGIE DI SISTEMI DI ISOLAMENTO

Isolatori a pendolo scorrevole

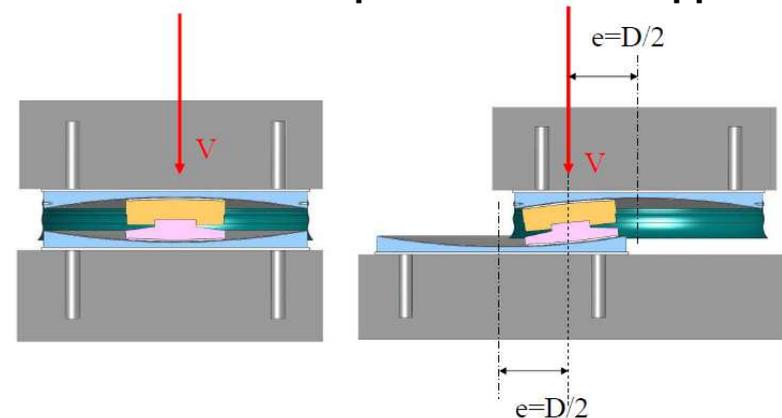
- ✓ Permettono lo spostamento relativo della struttura rispetto a fondazioni secondo una o due superfici sferiche;
- ✓ Il raggio di curvatura delle superfici sferiche determina il periodo proprio di vibrazione della struttura, che è quindi indipendente dalla massa.
- ✓ L'attrito della superficie di scorrimento determina lo smorzamento viscoso equivalente;
- ✓ Presentano una capacità di ricentraggio che però si annulla corrispondenza posizione iniziale



Isolatore con superficie sferica singola



Isolatore con superficie sferica doppia

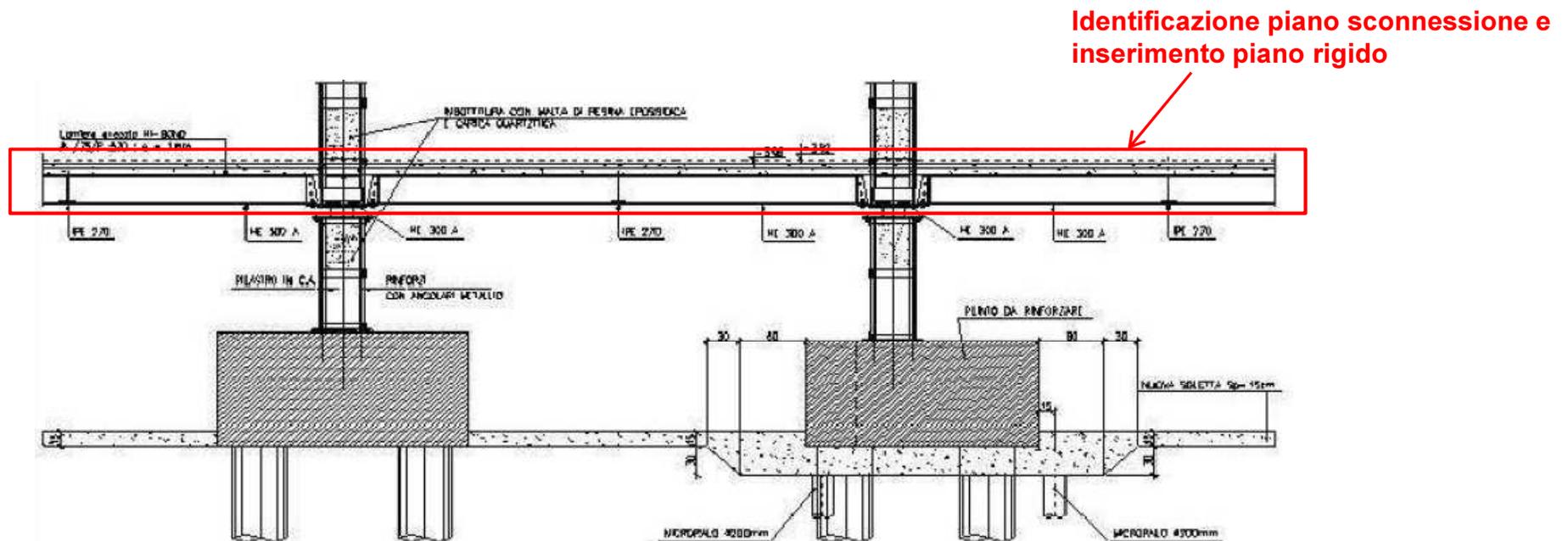


SISTEMI PASSIVI: ISOLAMENTO SISMICO

COME SI EFFETTUA UNA TECNICA DI ISOLAMENTO

Le fasi operative di un intervento di isolamento sismico di un edificio esistente possono essere riassunte nei seguenti punti:

1. Identificazione del piano di sconnessione;
2. Inserimento di un diaframma rigido di piano;
3. Rinforzo delle colonne in corrispondenza del piano di sconnessione;
4. Installazione dei martinetti idraulici;
5. Decompressione e taglio delle colonne;
6. Inserimento degli isolatori
7. Realizzazione degli spazi di movimento laterale;
8. Adeguamento degli impianti.



SISTEMI PASSIVI: ISOLAMENTO SISMICO

Rinforzo col. – Installazione Martinetti - Decompressione



Taglio colonne mediante filo diamantato



Rimozione porzione pilastro



Installazione dispositivi di isolamento





ISOLAMENTO SISMICO DI PILASTRI PREFABBRICATI



Pilastro di "prova"



Montaggio sega a filo
diamantato



Applicazione fascette in
acciaio e profili di rinforzo



Taglio porzione pilastro



ISOLAMENTO SISMICO DI PILASTRI PREFABBRICATI



Rimozione porzione pilastro



Applicazione e messa in carico dell'isolatore



Taglio pilastri in c.a. e profili in acciaio



Intervento concluso

SISTEMI PASSIVI: ISOLAMENTO SISMICO

Le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni permettono di tenere in considerazione l'effetto benefico del sistema di isolamento nella progettazione degli elementi della sottostruttura e della sovrastruttura.

Analisi statica equivalente

$$T_{is} = \min(3 \cdot T_{bf}; 3 \cdot s)$$

Analisi modale

Modellazione in campo lineare di sottostruttura, sistema di isolamento e sovrastruttura

Sottostruttura e sovrastruttura vengono dimensionati per forze inferiori rispetto al caso di base fissa.

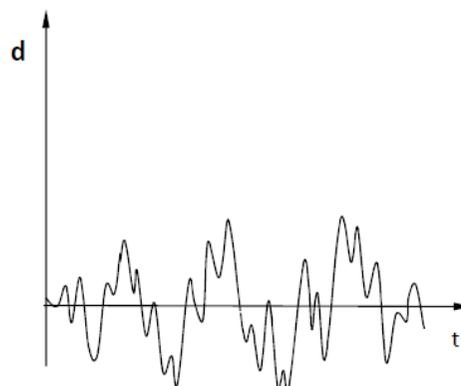
Nel caso di mal funzionamento del sistema di isolamento, gli elementi strutturali risultano fortemente sottodimensionati

PRINCIPALI PROBLEMATICHE

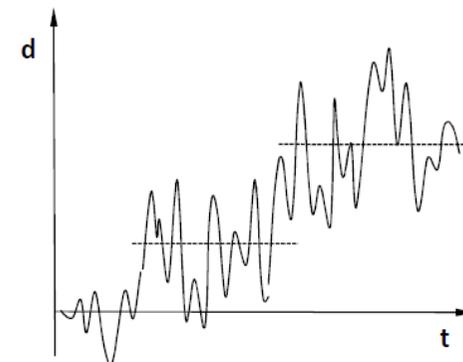
- ✓ il GAP e le relative protezioni non devono ostacolare il moto di “corpo rigido” della sovrastruttura;
- ✓ Gli elementi di INTERFACCIA devono sopportare indenni lo spostamento di progetto (specialmente se tali elementi sono rilevanti dal punto di vista della sicurezza);
- ✓ L'IRROBUSTIMENTO e l'IRRIGIDIMENTO degli elementi portanti “interrotti” dagli isolatori deve essere tale da garantire la corretta ed uniforme distribuzione degli sforzi;
- ✓ La MANUTENZIONE deve essere garantita in modo tale da mantenere gli isolatori nelle condizioni previste a progetto per TUTTA LA VITA UTILE della struttura.

CRITERI DI RICENTRAGGIO

Le Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni richiedono che le componenti del sistema d'isolamento, tra le altre funzioni, assicurino il **ricentraggio del sistema**.



Sistema ricentrante

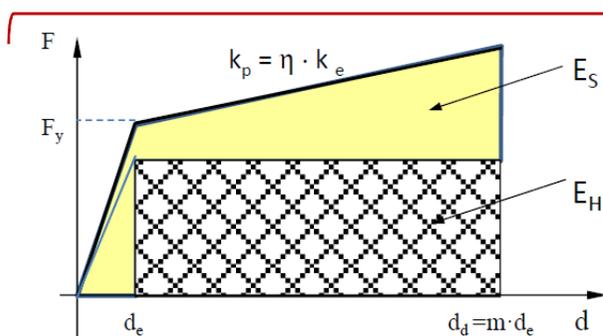


Sistema non ricentrante

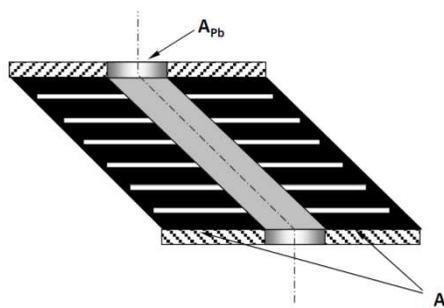
UNI EN 15129:2009 "Dispositivi antisismici"

Il criterio di ricentraggio è di tipo **energetico** basato sul paragone tra l'energia potenziale immagazzinata dall'isolatore/dissipatore e quella dissipata per isteresi

$$E_S \geq \frac{1}{4} E_H$$

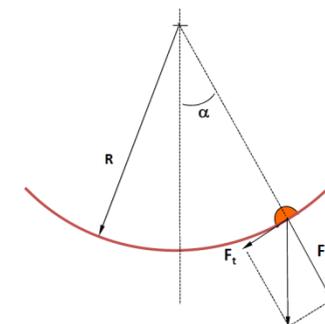


$$\eta \geq \frac{m - 3}{2 \cdot (m - 1)^2}$$



$$A_{pb} \leq 0,171 \cdot \gamma_d \cdot A_r$$

(Valida per $G=0.9\text{MPa}$, $\tau_{pb}=10.5\text{MPa}$)



$$\mu \leq 4 \cdot \frac{1 - \cos \alpha_d}{\sin \alpha_d}$$

CLASSIFICAZIONE DEI SISTEMI DI DISSIPAZIONE DELL'ENERGIA

I dispositivi di controllo strutturale possono essere classificati in 3 grandi categorie in base al modo in cui rispondono all'eccitazione indotta dal sisma.

✓ **SISTEMI ATTIVI:**

Sono progettati per monitorare lo stato della struttura nel tempo, elaborarne le informazioni e applicare in tempo reale un insieme di forze interne in modo da regolarne più favorevolmente lo stato dinamico della struttura

Sistemi "INTELLIGENTI" che si adattano le proprie caratteristiche al terremoto ma ad elevato rischio di black-out

✓ **SISTEMI SEMI - ATTIVI:**

Differiscono da quelli attivi perché necessitano di un apporto di potenza esterna relativamente piccolo, senza la necessità di un sistema di monitoraggio globale; Il controllo è limitato alle proprietà locali dello smorzatore.

SISTEMA INTERMEDIO

✓ **SISTEMI PASSIVI:**

Non necessitano di energia, computer o attuatori per operare; subiscono passivamente l'azione dinamica del sisma deformandosi elasticamente o anelasticamente.

Sistema a caratteristiche "costanti" ma ad elevata affidabilità

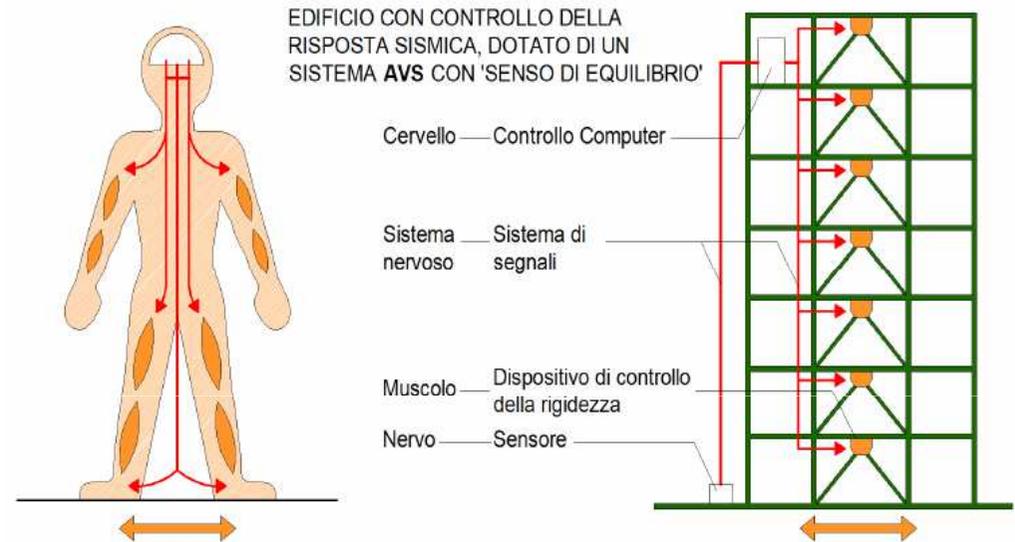
SISTEMI ATTIVI: principio di funzionamento

I sistemi di controllo attivi sono progettati per monitorare lo stato della struttura nel tempo, elaborarne le informazioni e applicare un insieme di forze interne in modo da regolare più favorevolmente lo stato dinamico della struttura.

Lo scopo di questo sistema di controllo è di dotare la struttura di un **SENSO DELL'EQUILIBRIO** in analogia a quanto succede in un corpo umano.

I componenti principali di un sistema di controllo attivo sono:

- ✓ **Sistema di monitoraggio** capace di percepire lo stato della struttura;
- ✓ **Sistema di controllo** che riceve i dati e decide le contromisure da applicare;
- ✓ **Sistema di attuazione** dei comandi che applica fisicamente le contromisure alla struttura.



SISTEMI ATTIVI: vantaggi/svantaggi

Vantaggi

- ✓ Elevata efficacia nel controllo della risposta dinamica;
- ✓ Possibilità di ottimizzare la risposta all'eccitazione trasmessa da vento e sisma.

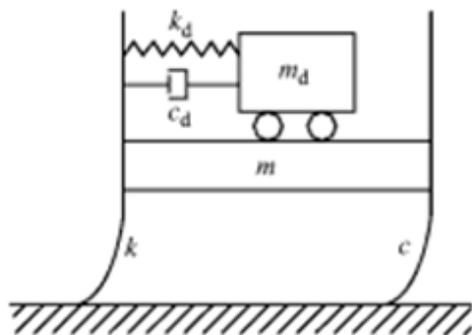
Svantaggi

- ✓ Progettazione estremamente complessa;
- ✓ Sistemi molto costosi
- ✓ Necessario il costante apporto di energia esterna, anche e soprattutto durante l'evento sismico

Sistema AMD (ACTIVE MASS DRIVER)

E' un sistema che limita gli spostamenti della struttura tramite il movimento di una massa ausiliaria e dissipa l'energia in ingresso in uno smorzatore che collega la massa con la struttura.

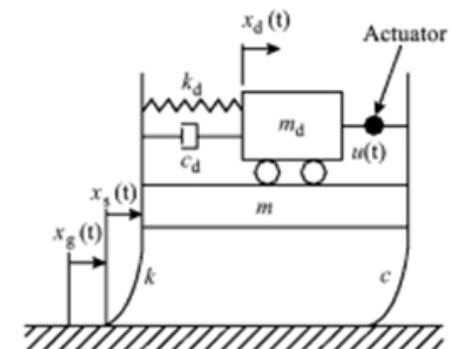
Sistema TMD (TUNED MASS DAMPER)



Sistema di protezione **PASSIVO**
Utilizzato per il controllo degli spostamenti legati al **PRIMO MODO DI VIBRARE**

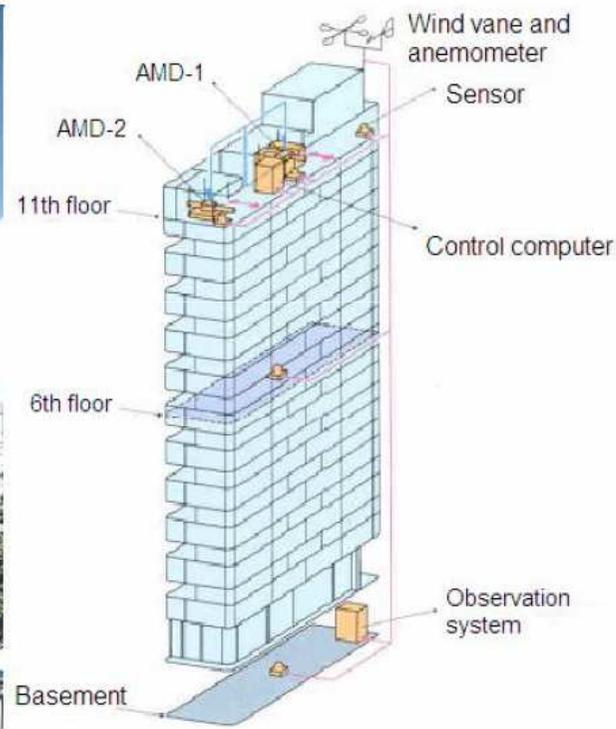
Sistema di protezione **ATTIVO**
Grazie alla presenza del martinetto e del computer di controllo può operare con una **BANDA DI FREQUENZA PIU' LARGA**

Sistema AMD (ACTIVE MASS DRIVER)

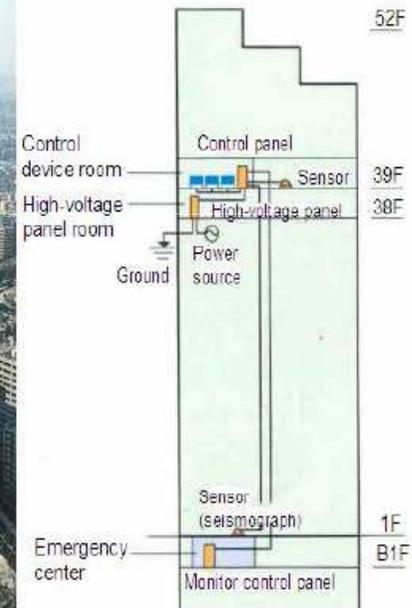


SISTEMI ATTIVI: stato dell'arte

La dipendenza dall'apporto continuo di potenza esterna ha fortemente limitato l'applicazione in ambito antisismico dei sistemi attivi in Europa ed in America, mentre sono più diffusi in Giappone



Kyobashi Seiwa Building di Tokyo

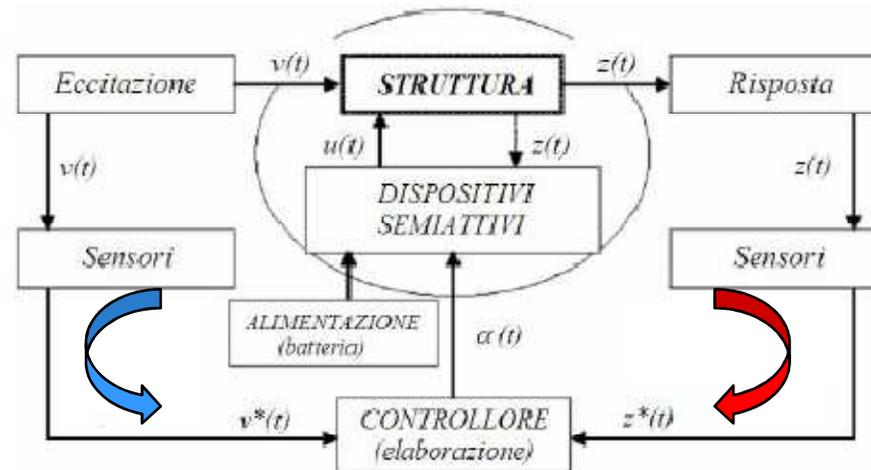


Shinsuku Park Tower

SISTEMI SEMI - ATTIVI

I sistemi di controllo semi-attivi differiscono dai sistemi attivi perché necessitano di un apporto di potenza esterna relativamente piccolo, senza la necessità di un sistema di monitoraggio globale.

N.B. E' sufficiente l'alimentazione fornita da una batteria



CICLO DI "FOREWORD"

CICLO DI "FEEDBACK"

Le prestazioni aggiuntive sono attivate o modificate solo in presenza di un determinato tipo di azioni dinamiche (ad esempio quando l'azione sismica raggiunge intensità elevate)

Un sistema integrato sensori/unità di controllo elabora i dati trasmessi dai sensori e stabilisce, in tempo reale, i parametri meccanici da modificare;

Successivamente alla modifica delle prestazioni aggiuntive, il dispositivo interagisce "passivamente" con il resto della struttura. L'apporto di energia è dunque molto limitato in quanto serve solo al sistema di controllo e per l'attuazione di piccole operazioni meccaniche (come l'apertura o la chiusura di valvole)

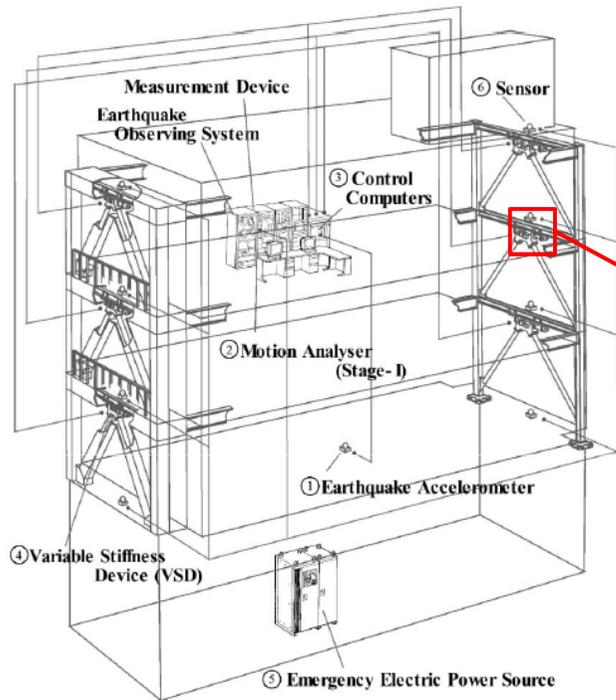
Principali sistemi semi-attivi

➤ Active variable stiffness VSD

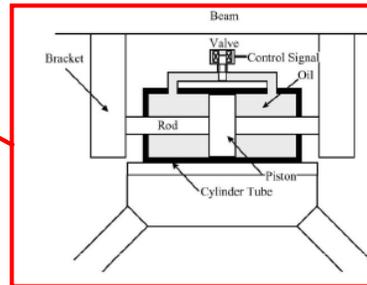
➤ Dispositivi Magnetoreologici;

SISTEMI SEMI - ATTIVI

Sistema AVS (ADDED VARIABLE STIFFNESS)

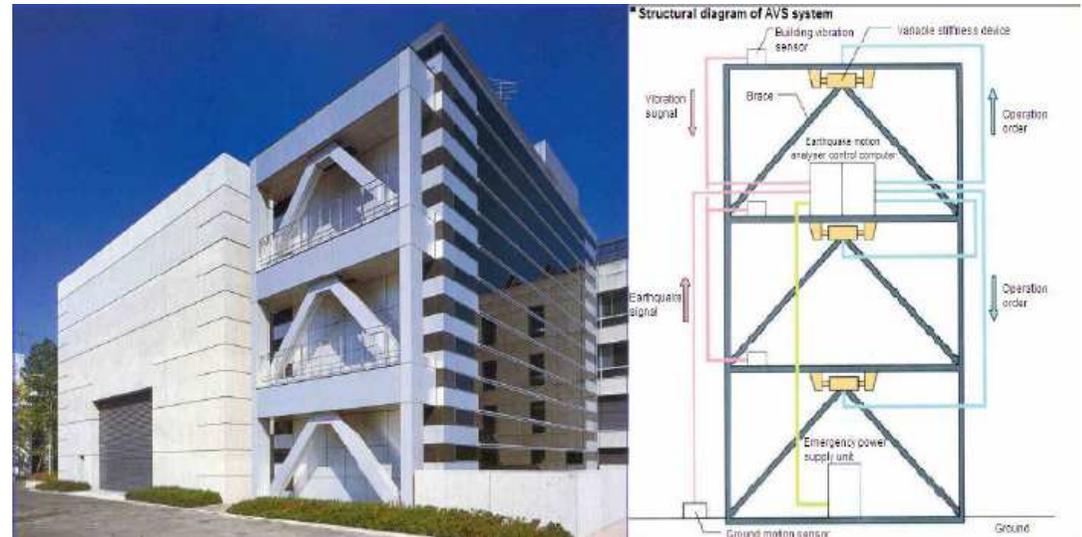


In questo sistema di protezione semi-attiva, la rigidità dei controventi viene variata dal computer di controllo in funzione della risposta della struttura all'eccitazione esterna.



Il computer regola l'apertura e la chiusura della valvola di collegamento delle due camere d'olio e di conseguenza diminuisce o aumenta la rigidità del controvento

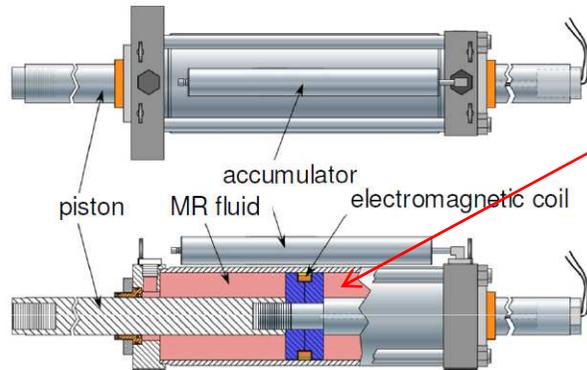
*Kajima Technical Research Institute,
edificio equipaggiato con Variable Stiffness
Control Devices*



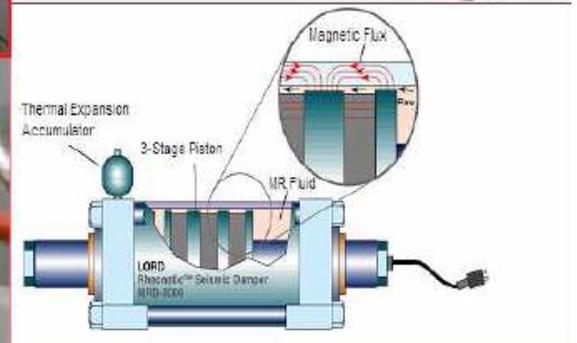
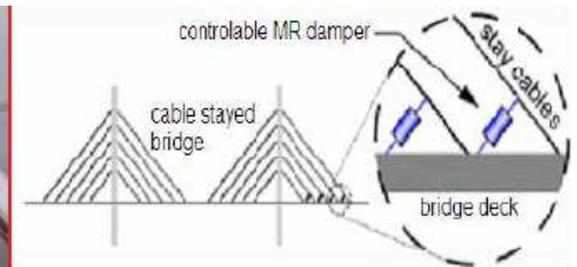
SISTEMI SEMI - ATTIVI

Dispositivi MR (Magneto-Reological)

Le caratteristiche di questa tipologia di smorzatori possono essere variate cambiando l'intensità della corrente in ingresso.



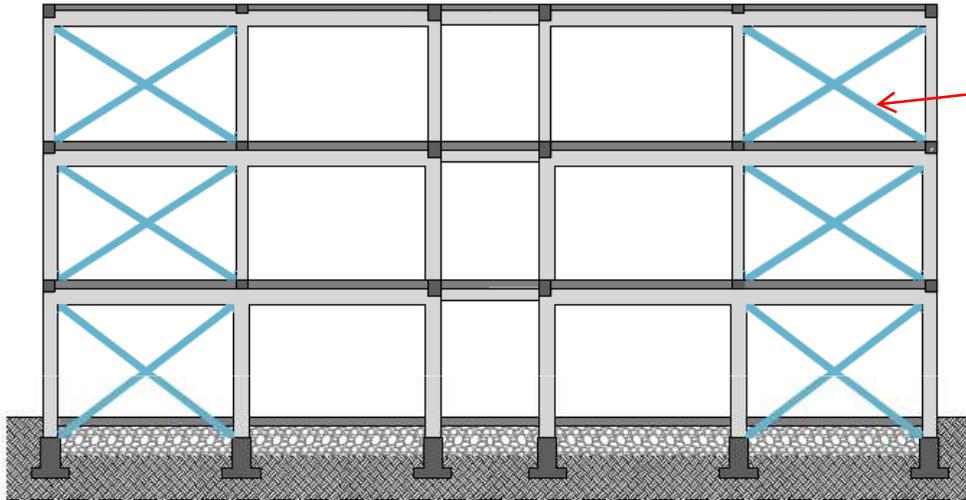
Quando il fluido MR è all'interno di un campo magnetico, le particelle di ferro nel fluido si allineano cambiando lo stato in semisolido ed aumentando la viscosità varia la forza necessaria a muovere il dispositivo



Dongting Lake Bridge, China,
ponte equipaggiato con MR Dampers per il controllo delle vibrazioni indotte dal vento negli stralli

SISTEMI PASSIVI

Nei sistemi passivi, speciali dispositivi, opportunamente collocati nella struttura, modificano favorevolmente le caratteristiche di rigidità e/o capacità dissipative della struttura, ottenendo una risposta dinamica più favorevole alle azioni del sisma.

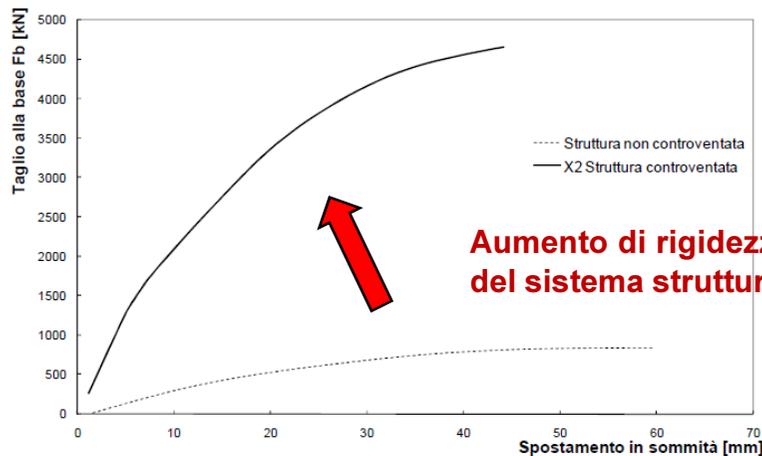


I dispositivi interagiscono passivamente con la struttura, mantenendo per tutta la vita della costruzione un comportamento costante come stabilito in fase di progetto.

Vengono dimensionati per funzionare al meglio durante la fase di massima intensità del terremoto di progetto.



A differenza dei sistemi attivi e semi-attivi il comportamento può essere ottimizzato per un solo livello di sollecitazione sismica.

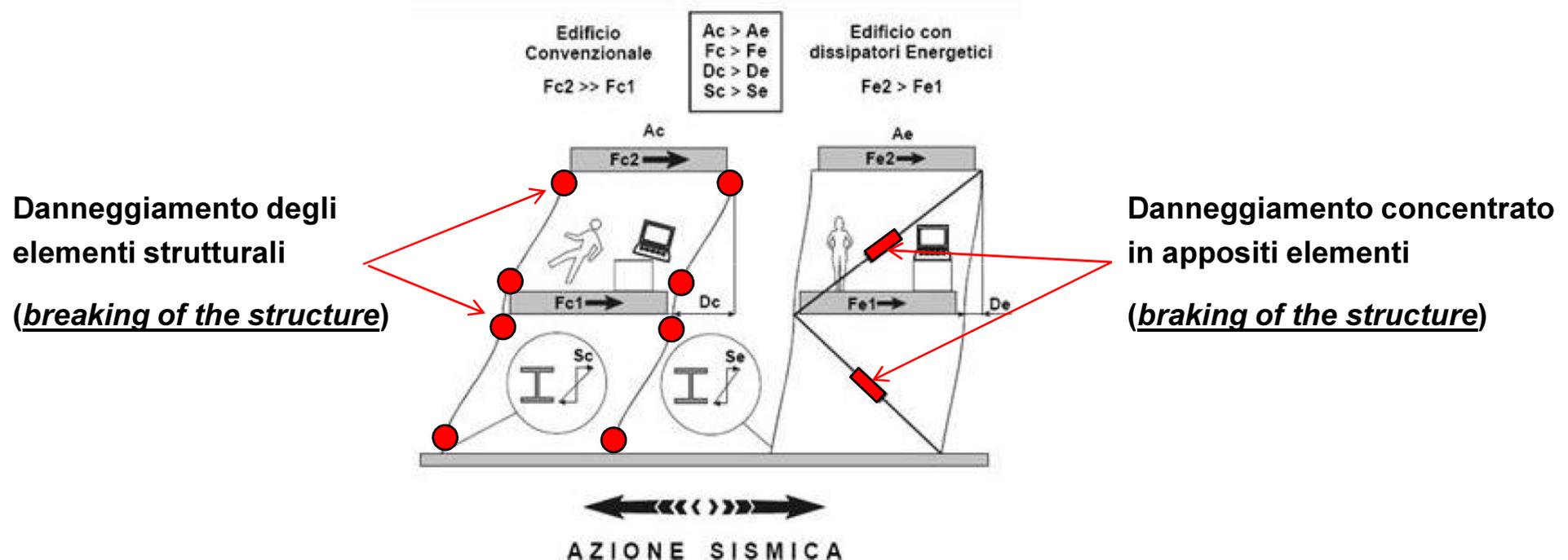


Aumento di rigidità e resistenza del sistema strutturale

N.B. Non è necessario nessun apporto di energia esterna

SISTEMI DISSIPATIVI PASSIVI

La protezione passiva mediante DISSIPAZIONE consiste nel fornire alla struttura la capacità di dissipare una consistente parte dell'energia di scuotimento indotta dal terremoto senza ricorrere al danneggiamento degli elementi strutturali demandati alla portanza verticale.



SISTEMI DISSIPATIVI PASSIVI: “braking” than “breaking” the structure

L'azione frenante operata dagli elementi dissipativi consente di ridurre le deformazioni indotte dal terremoto e quindi il danneggiamento degli elementi strutturali e dei componenti non strutturali.

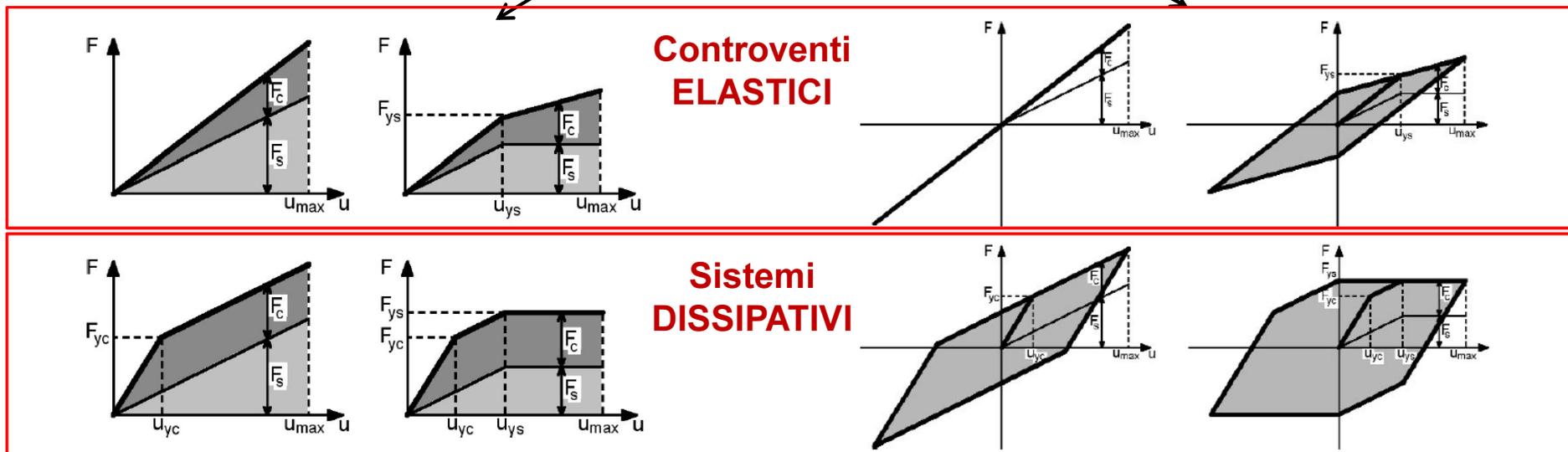
STRATEGIE DI PROTEZIONE MEDIANTE SISTEMI DISSIPATIVI

Le attuali strategie di protezione mediante controventi dissipativi possono essere raggruppate in 4 CATEGORIE a seconda che sia previsto o meno il danneggiamento della struttura e la permanenza o meno in campo elastico dei controventi dissipativi

Struttura NON DANNEGGIATA Controventi in campo ELASTICO	Struttura DANNEGGIATA Controventi in campo ELASTICO
Struttura NON DANNEGGIATA Controventi in campo NON ELASTICO	Struttura DANNEGGIATA Controventi in campo NON ELASTICO

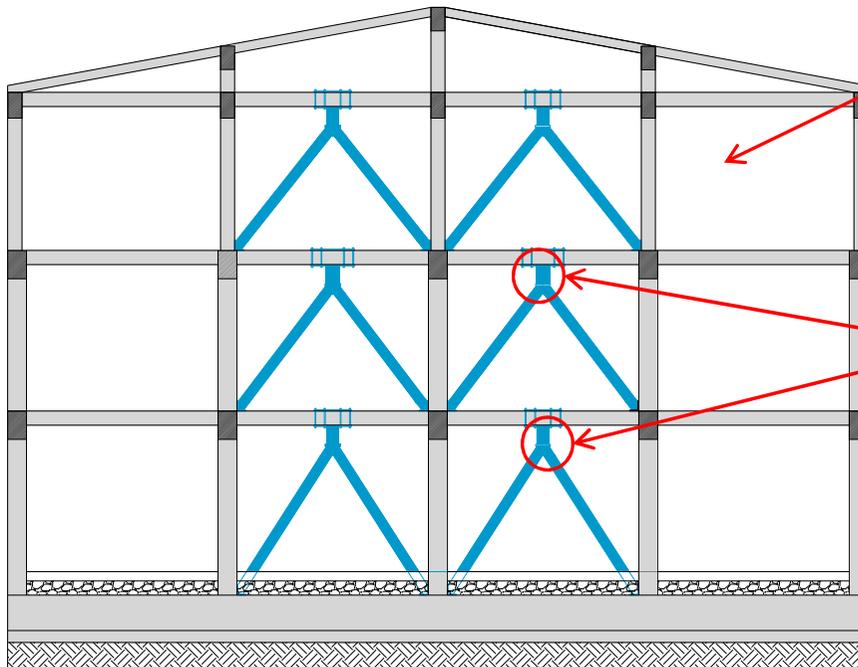
Comportamento **MONOTONO**

Comportamento **CICLICO**



SISTEMI DISSIPATIVI PASSIVI

Lo schema più utilizzato nella protezione sismica degli edifici si fonda sull'introduzione all'interno della maglia strutturale di un sistema supplementare, che utilizza speciali dispositivi dissipativi incorporati in (o collegati a) controventi rigidi che connettono due piani della struttura, solitamente consecutivi



Schema dell'applicazione di un controvento eccentrico dissipativo in un edificio in cemento armato

STRUTTURA: la progettazione del sistema di controventi può prevedere a seconda della strategia adottata, un livello di danneggiamento basso, medio o alto della struttura

ELEMENTO DISSIPATIVO: zona in cui vengono **concentrate le deformazioni plastiche**

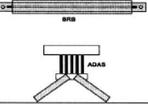
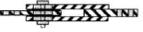
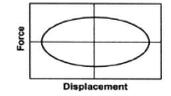
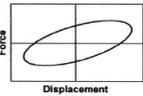
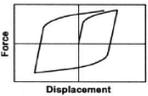
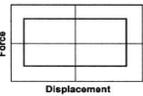
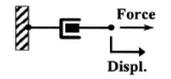
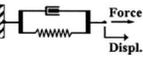
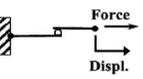


Plasticizzazione a taglio di un link corto in un controvento dissipativo eccentrico

SISTEMI DISSIPATIVI PASSIVI

Classificazione SISTEMI DISSIPATIVI

PRINCIPALI OBIETTIVI

	Viscous Fluid Damper	Viscoelastic Solid Damper	Metallic Damper	Friction Damper
Basic Construction				
Idealized Hysteretic Behavior				
Idealized Physical Model			Idealized Model Not Available	
Advantages	<ul style="list-style-type: none"> - Activated at low displacements - Minimal restoring force - For linear damper, modeling of damper is simplified. - Properties largely frequency and temperature-independent - Proven record of performance in military applications 	<ul style="list-style-type: none"> - Activated at low displacements - Provides restoring force - Linear behavior, therefore simplified modeling of damper 	<ul style="list-style-type: none"> - Stable hysteretic behavior - Long-term reliability - Insensitivity to ambient temperature - Materials and behavior familiar to practicing engineers 	<ul style="list-style-type: none"> - Large energy dissipation per cycle - Insensitivity to ambient temperature
Disadvantages	<ul style="list-style-type: none"> - Possible fluid seal leakage (reliability concern) 	<ul style="list-style-type: none"> - Limited deformation capacity - Properties are frequency and temperature-dependent - Possible debonding and tearing of VE material (reliability concern) 	<ul style="list-style-type: none"> - Device damaged after earthquake; may require replacement - Nonlinear behavior; may require nonlinear analysis 	<ul style="list-style-type: none"> - Sliding interface conditions may change with time (reliability concern) - Strongly nonlinear behavior; may excite higher modes and require nonlinear analysis - Permanent displacements if no restoring force mechanism provided

- Limitare le deformazioni negli elementi strutturali;
- Miglioramento di smorzamento, rigidezza e resistenza della struttura.

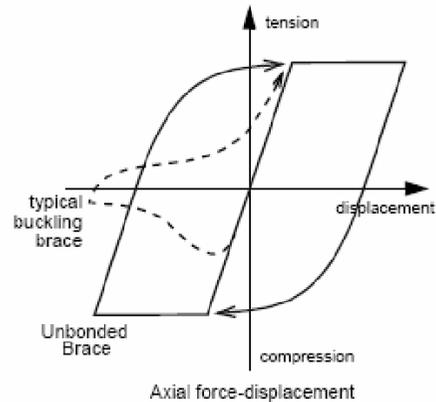
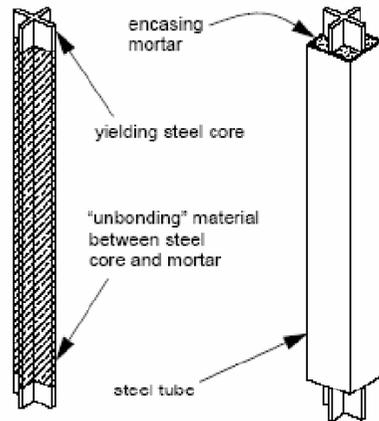
TIPOLOGIE DI SISTEMI DISSIPATIVI

I principali tipi di smorzatori attraverso i quali è possibile migliorare la dissipazione di energia sono quelli dello:

1. **Metallic Yield dampers (smorzatori metallici);**
2. **Friction Dampers;**
3. **Visco – Elastic Dampers;**
4. **Viscous Fluid Dampers;**
5. **Metallic shear panels.**

SISTEMI DISSIPATIVI PASSIVI

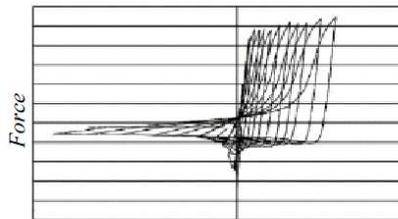
Smorzatore metallico BRB (Buckling Restrained Brace)



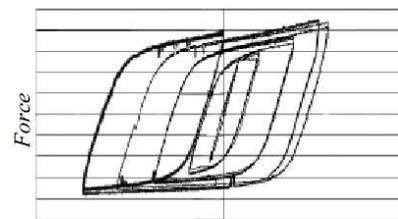
Traditional brace, buckled in compression



BRB, unbuckled in compression



Displacement



Displacement

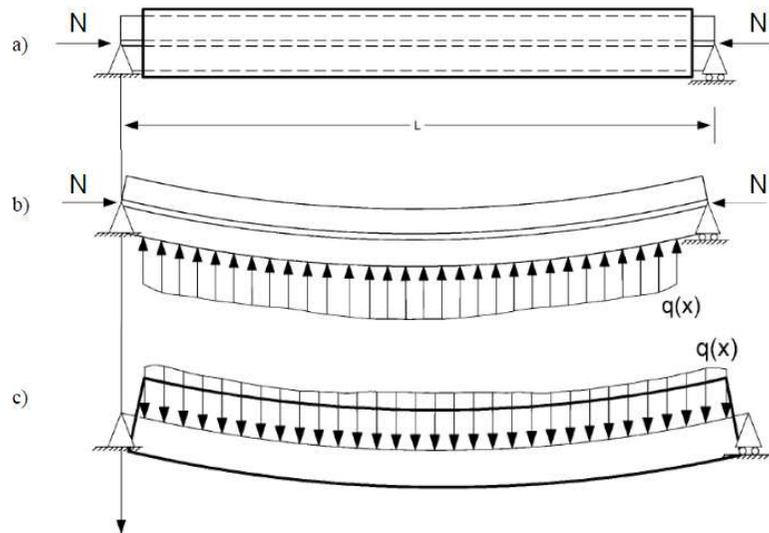
Controvento ad instabilità impedita con un fuso interno realizzato in acciaio ad alto snervamento circondato da un tubo di acciaio



- La regione tra il tubo e il controvento è riempita con un materiale simile a cls mentre il controvento è protetto dal contatto con tale cls mediante un rivestimento;
- La presenza del tubo favorisce il confinamento e evita l'instabilizzazione del controvento;
- Lo smorzatore può snervare sia in trazione che in compressione e i carichi sono interamente portati dal controvento in acciaio;
- Dal momento che l'instabilizzazione non si verifica, ad ogni ciclo si può avere una **grande dissipazione di energia**

SISTEMI DISSIPATIVI PASSIVI

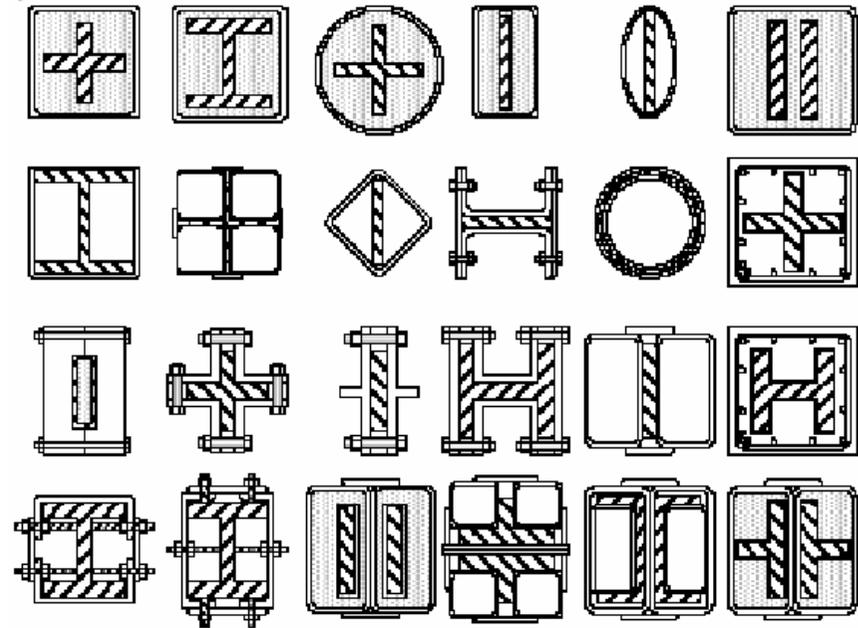
Smorzatore metallico BRB (Buckling Restrained Brace)



Principio di funzionamento

L'azione assiale esterna viene trasmessa direttamente al fuso interno. Poiché fuso e tubo sono sconnessi assialmente, il tubo non è soggetto a fenomeni di instabilità.

Quando il fuso è soggetto a sforzi di compressione, il tubo esterno impedisce, grazie alla sua rigidità flessionale, lo sbandamento. In questo modo il fuso può plasticizzarsi sia in trazione che in compressione.

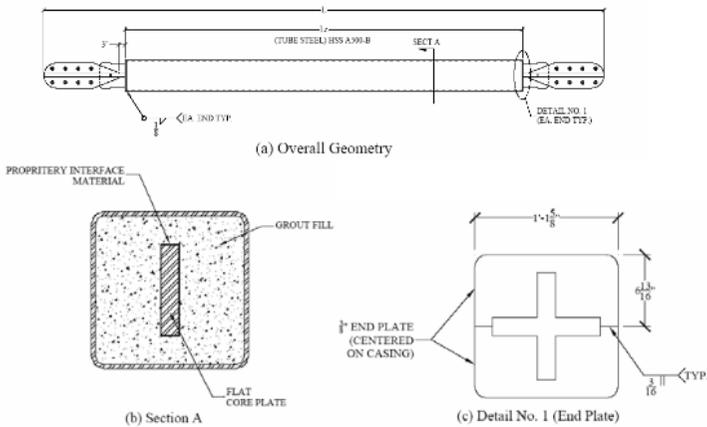


Sezioni tipiche di elementi BRB

Nella maggioranza dei casi la regione tra fuso interno e tubo è riempita con cls e uno strato di un elemento a basso coefficiente d'attrito per evitare che lo sforzo normale venga trasmesso al tubo.

Nelle versioni "solo acciaio" non è previsto materiale di riempimento e deve essere lasciato un adeguato spazio per permettere l'espansione trasversale del fuso.

SISTEMI DISSIPATIVI PASSIVI



Primo brevetto BRB: COREBRACE (USA)

BRB installati all'Università di Ancona (Antonucci et al.)

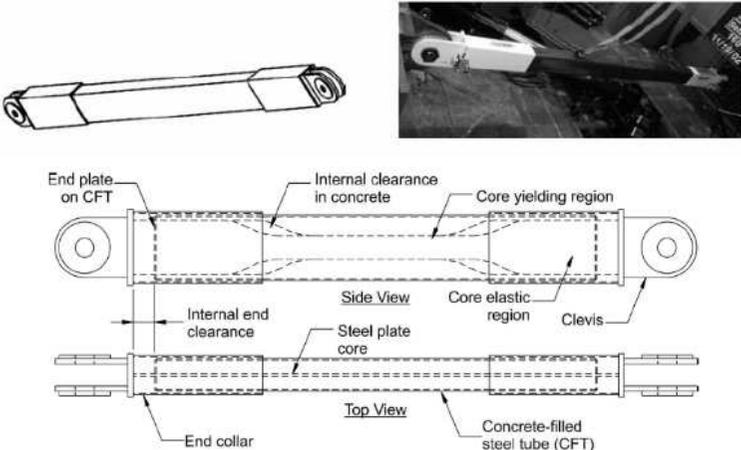


Figure 2.27. Second patented BRB developed in USA (STAR-SEISMIC patent)



Before the seismic retrofitting with BRB

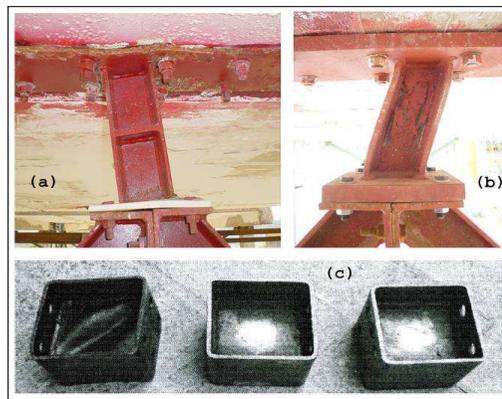
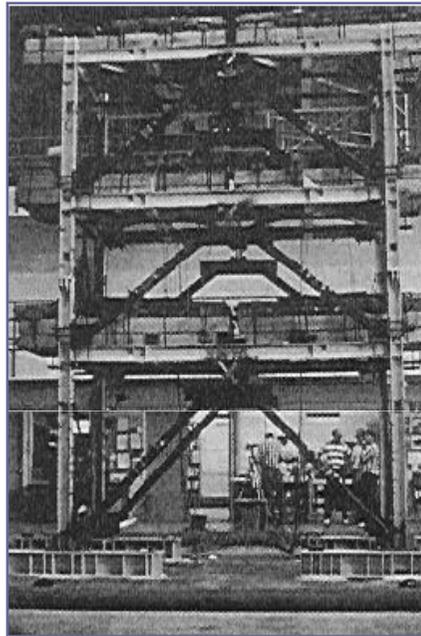
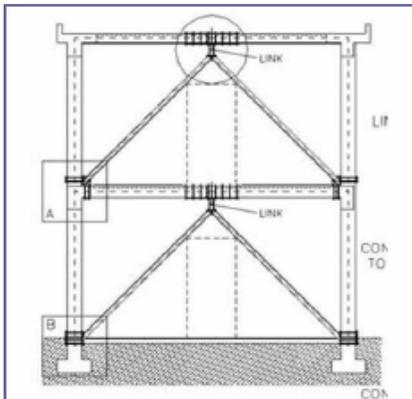
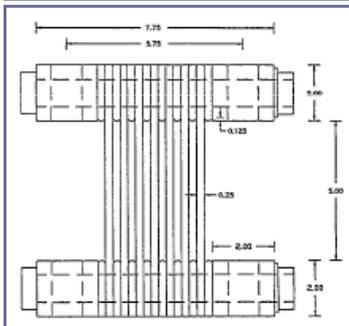
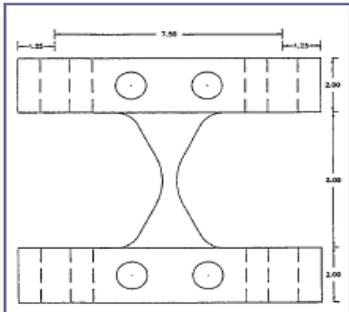
After the seismic retrofitting

Brevetto STAR-SEISMIC (USA)

Wallace F. Bennet Federal building (USA)

STATO DELL'ARTE DEI SISTEMI DISSIPATIVI

Smorzatore metallico ADAS



Serie di piatti in acciaio la cui estremità inferiore è collegata alla sommità del sistema di controvento, e la cui estremità superiore è collegata al solaio, al di sopra del sistema di controvento

PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO

- Quando l'impalcato si deforma lateralmente, i piatti di acciaio sono soggetti a una forza di taglio, che provoca momenti flettenti in corrispondenza dell'asse debole della sezione trasversale del piatto;
- La configurazione geometrica dei piatti è tale che il momento flettente provoca una distribuzione uniforme di tensioni sulla sommità del piatto, (azioni inelastiche sviluppate su tutta l'altezza del piatto).

STATO DELL'ARTE DEI SISTEMI DISSIPATIVI

Smorzatori per ATTRITO



Smorzatore per controvento in tensione-compressione



Smorzatore per controvento solo in tensione



Esempio di applicazione dei Pall friction dampers.

Sfruttano il principio dell'**attrito** che si sviluppa tra due corpi solidi che slittano l'uno sull'altro, dissipando così energia

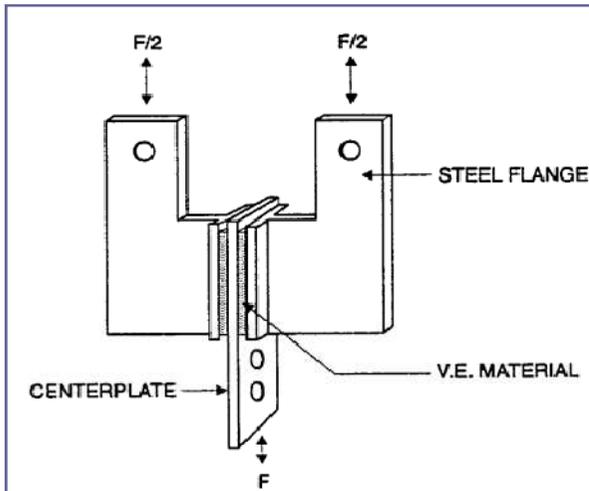
Slotted-Bolted friction dampers: Serie di piatti di acciaio bullonati con una opportuna forza di serraggio, tale da far scorrere i piatti sotto una specifica azione. Lungo la superficie di scorrimento tra i piatti si possono interporre materiali speciali (coefficienti di attrito fissati)

Pall cross-bracing friction dampers: Uno smorzatore rettangolare viene connesso nel punto di mezzo di un sistema di controventatura a croce; lo smorzatore è imbullonato ai controventi. Sotto azione laterale la struttura si distorce in modo che due dei controventi sono tesi e due compressi.

Questo sistema di forze provoca la deformazione dello smorzatore (da rettangolo a parallelogramma), che dissipa quindi energia

STATO DELL'ARTE DEI SISTEMI DISSIPATIVI

Smorzatori *VISCO ELASTICI*

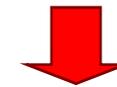


Configurazione tipica smorzatore visco elastico



Esempio di applicazione in struttura in c.a. esistente

Si tratta di genere di copolimeri o sostanze vetrose che dissipano energia tramite deformazione a taglio



Sono cuscinetti di un solido elastomerico (*visco elastico*) connessi a piatti di acciaio e inseriti nei sistemi di controvento

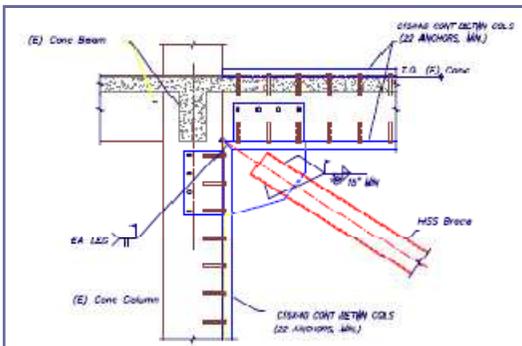
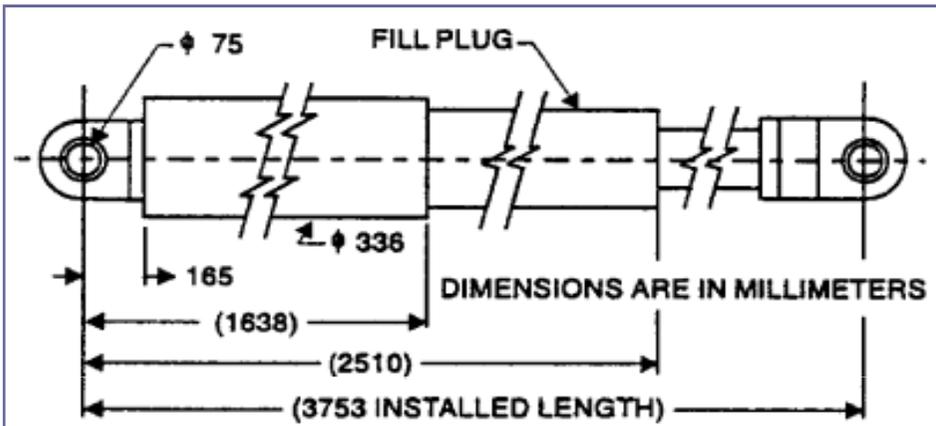
PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO

- *Quando una estremità dello smorzatore si sposta rispetto all'altro, si genera del calore che viene dissipato dal dispositivo;*
- *Lo smorzatore visco elastico ha sia la capacità di dissipare energia che quella di accumularla;*
- *A basse frequenze gli smorzatori visco elastici mostrano bassa rigidezza e capacità di dissipazione di energia, che crescono per alte frequenze.*

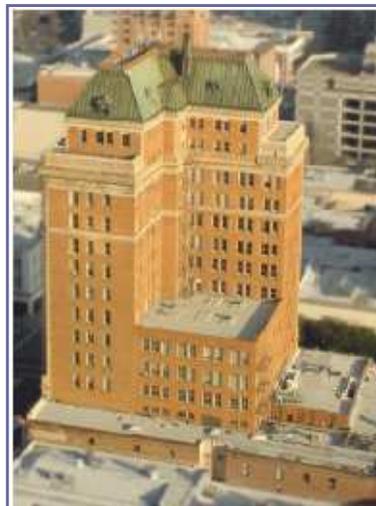
STATO DELL'ARTE DEI SISTEMI DISSIPATIVI

Smorzatori VISCO FLUIDI

Si tratta di cilindri cavi riempiti con materiale fluido, generalmente a base di silicone.



Tipico smorzatore visco fluido, sistema di connessione con la struttura esistente in c.a.



PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO

- Quando il pistone entra in funzione, il fluido è obbligato a passare attraverso delle fessure o attraverso la testa stessa del pistone;
- La **differenza di pressione** risultante sul pistone (molto alta nella parte superiore e bassa in quella inferiore) genera grandi forze che si oppongono al moto relativo dello smorzatore;
- Il fluido scorre ad elevate velocità e si sviluppa **attrito** tra le particelle del fluido e la testa del pistone;
- Questo attrito provoca dissipazione di energia sotto forma di **calore** e innalzamento della temperatura.

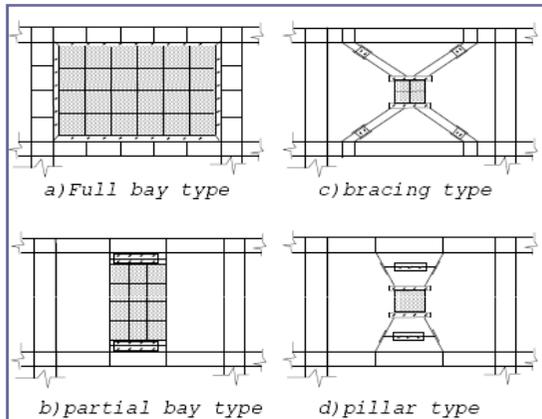
STATO DELL'ARTE DEI SISTEMI DISSIPATIVI

PANNELLI METALLICI A TAGLIO

Pannelli in acciaio (alti un piano e larghi una campata) inseriti verticalmente nella struttura connettendoli a travi e pilastri esistenti

Due sistemi prevalenti di dissipazione

1. dissipazione per Taglio puro
2. dissipazione per nel campo delle trazioni;



Configurazioni tipiche e esempi applicativi

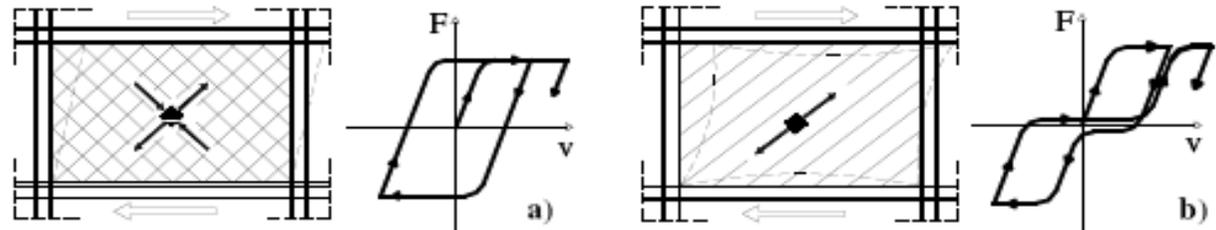
Comportamento stabile sotto azione ciclica e snervamento uniforme diffuso su tutto il pannello

Assorbono una gran parte dell'input sismico e proteggono la struttura da danni rilevanti

Inserimento di irrigidimenti per evitare fenomeni di instabilità delle parti compresse

La snellezza del pannello ne provoca la prematura instabilizzazione in campo elastico

Bassa dissipazione energetica e grande interazione flessionale con travi e colonne della struttura

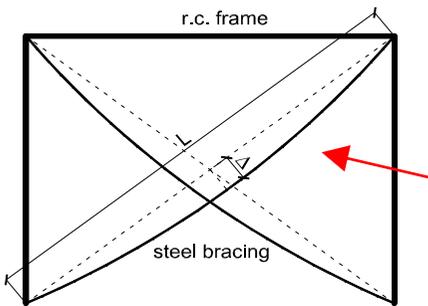


STATO DELL'ARTE DEI SISTEMI DISSIPATIVI

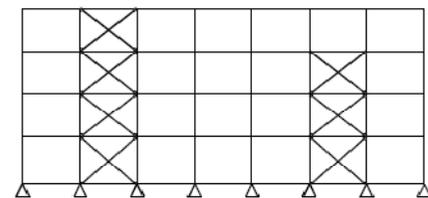
I sistemi dissipativi appena descritti sono in generale inseriti nella maglia strutturale tramite dei controventi (generalmente in acciaio) che connettono due piani consecutivi

CONTROVENTI CONCENTRICI

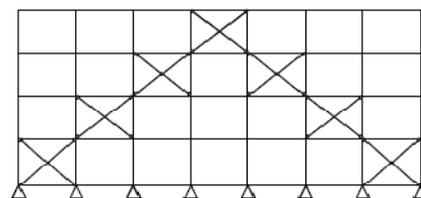
GLOBALE



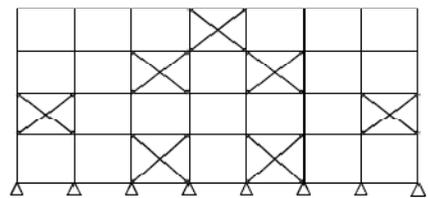
Imperfezione controvento
(simulazione fenomeni di instabilità)



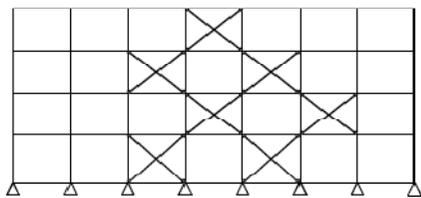
a) Case 2 (Multi-Story)



b) Case 3 (Mountain Type)



c) Case 4 (Discontinuous)



d) Case 5 (Checkered Type)

Possibili configurazioni dei controventi concentrici

INTERVENTI CON ELEMENTI IN ACCIAIO

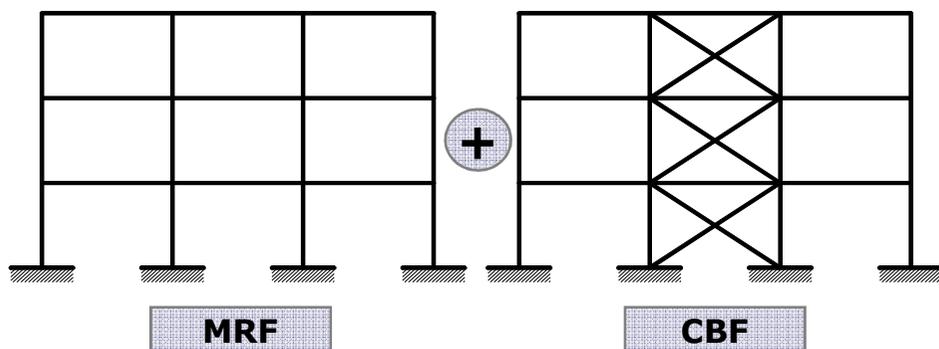
- Incremento considerevole di resistenza nei confronti della forza laterale e un minore incremento della rigidità laterale;
- Necessità di studiare la configurazione architettonica più conveniente per l'uso degli spazi.
- Considerare, nella progettazione, possibili effetti di **instabilità** delle membrature compresse (a meno di utilizzare elementi tozzi o ad instabilità impedita);
- Metodo meno distruttivo dell'inserimento di setti in c.a.;
- Si possono comunque avere problemi in corrispondenza degli **attacchi** alla struttura esistente;

STATO DELL'ARTE DEI SISTEMI DISSIPATIVI

I sistemi dissipativi appena descritti sono in generale inseriti nella maglia strutturale tramite dei controventi (generalmente in acciaio) che connettono due piani consecutivi

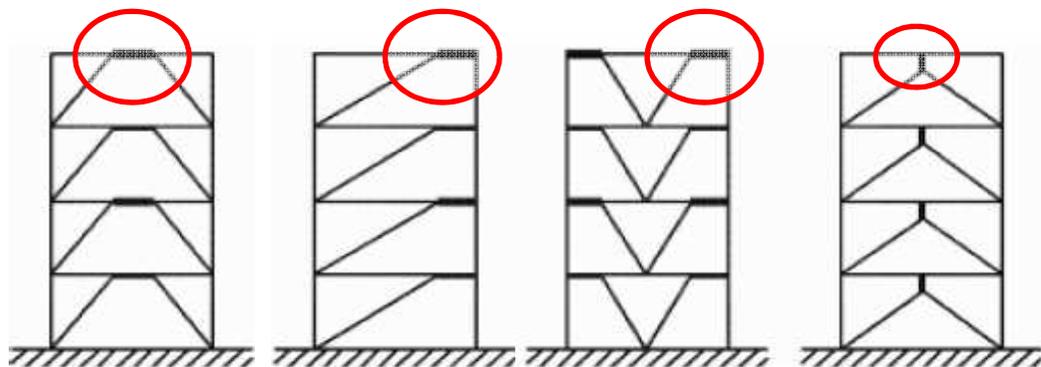
CONTROVENTI ECCENTRICI

INTERVENTI CON ELEMENTI IN ACCIAIO



Sistema che unisce i benefici di un sistema **MRF** con uno **CBF** e riduce i loro rispettivi svantaggi

- Buona rigidezza elastica;
- Risposta inelastica stabile sotto carichi ciclici laterali;
- Eccellente duttilità e capacità di dissipazione.



Possibili configurazioni dei controventi eccentrici

K-braced frame

D-braced frame

V-braced frame

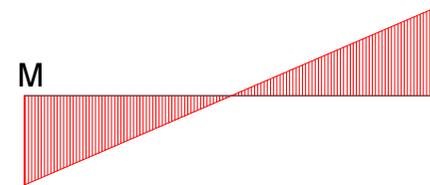
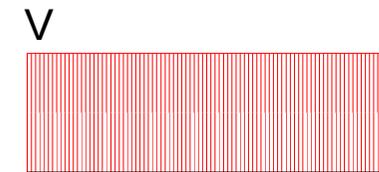
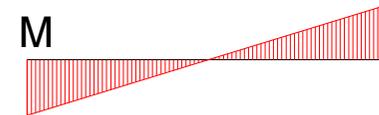
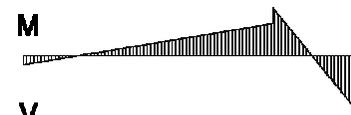
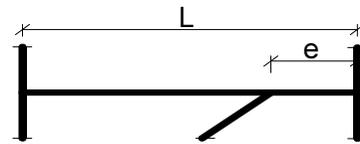
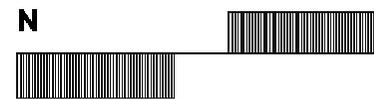
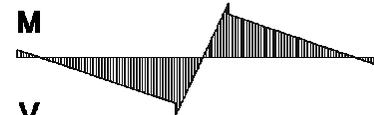
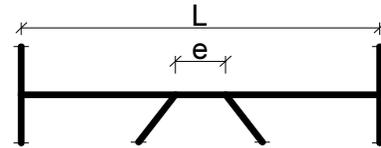
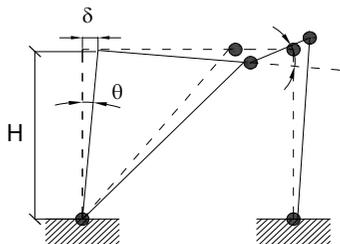
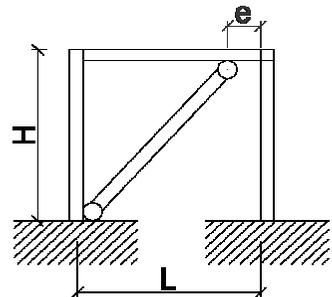
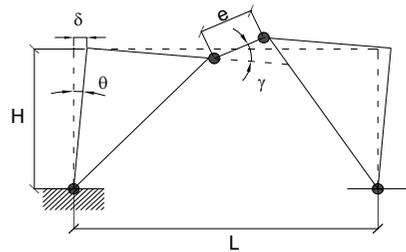
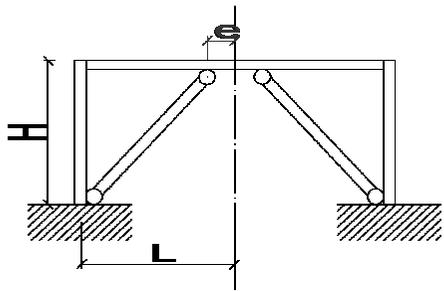
Inverted Y-braced frame

DISSIPAZIONE ATTRAVERSO IL **LINK**
(porzione della struttura a cui si
connettono direttamente i controventi)

Link Corti
A TAGLIO

Link Lunghi
A MOMENTO

STATO DELL'ARTE DEI SISTEMI DISSIPATIVI



**Link Corti
A TAGLIO**



$$V_d = V_P$$

$$M_d \leq M_P$$

$$e \leq \frac{1.6 M_P}{V_P}$$

**Link Lunghi
A MOMENTO**



$$V_d \leq V_P$$

$$M_d = M_P$$

$$e \geq \frac{2.6 M_P}{V_P}$$

STATO DELL'ARTE DEI SISTEMI DISSIPATIVI

APPLICAZIONI A STRUTTURE ESISTENTI

Per garantire un'adeguato funzionamento dei controventi dissipativi è necessario garantire un'efficace collegamento con la struttura in cui vengono inseriti.

Controventi con coprighiunti dissipativi
(controventi nel piano del telaio)

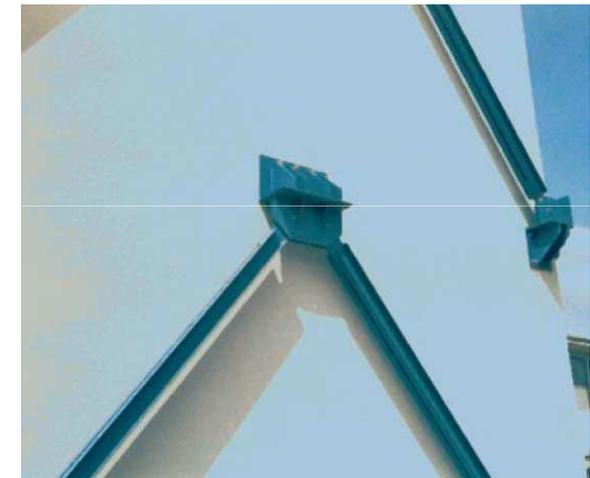


*Scuola elementare via Lazio,
Potenza*

Controventi con dissipatori viscoelastici
(controventi al di fuori del piano del telaio)



Scuola Gentile Fermi, Fabriano



*Particolare attenzione è stata posta
nel collegamento fuori piano del
controvento con la struttura per
evitare la trasmissione di eccessive
sollecitazioni a livello locale*

STATO DELL'ARTE DEI SISTEMI DISSIPATIVI

APPLICAZIONI A STRUTTURE ESISTENTI

E' necessario assicurare un certa ridondanza dei controventi per evitare che la rottura di un solo elemento renda inefficace il sistema e per limitare il valore degli sforzi locali trasmessi alla struttura.

Controventi elastici

Disposizione dei controventi



Particolare attacco struttura - controventi



Scuola elementare via Roma, Potenza

STATO DELL'ARTE DEI SISTEMI DISSIPATIVI

APPLICAZIONI A STRUTTURE ESISTENTI

La scelta della tipologia di controventi è spesso condizionata da ragioni architettoniche. In alcuni casi, con una opportuna progettazione dell'intero sistema, è possibile combinare elementi con configurazione geometrica diversa.

Controventi con coprigiunti dissipativi



Controventi a **V rovescia**
combinati con controventi
a **croce di S. Andrea**

Scuola Media Busciolano, Potenza

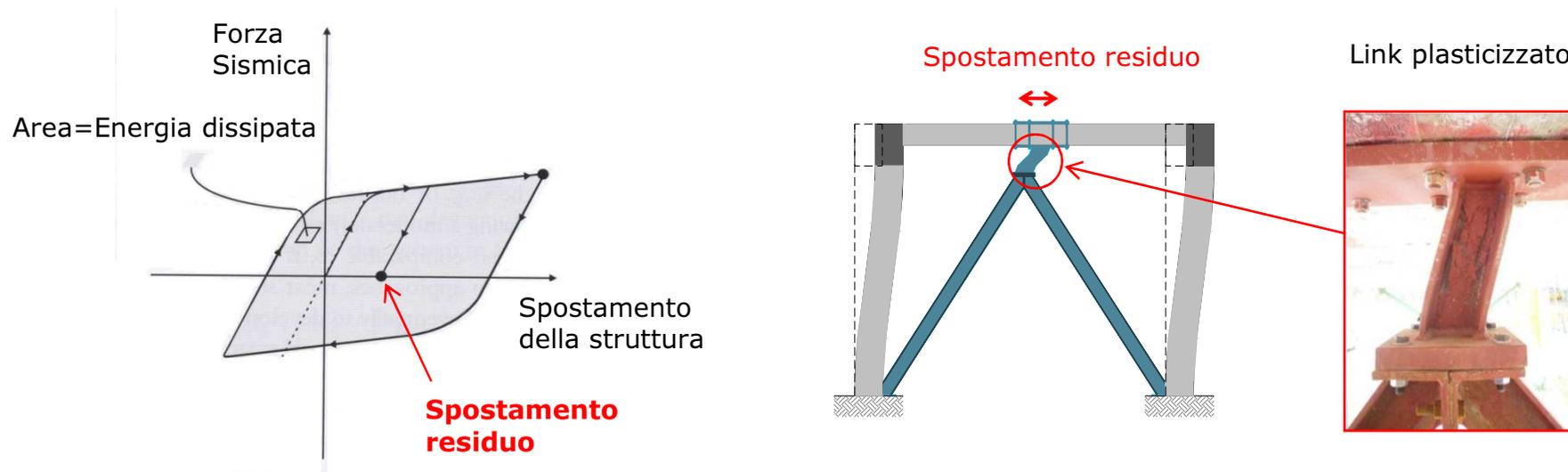
SISTEMI DISSIPATIVI TRADIZIONALI

Vantaggi

- ✓ **Incremento di rigidezza e duttilità della struttura**
- ✓ **Concentrazione delle deformazioni plastiche in appositi elementi**
- ✓ **Possibilità di ridurre o eliminare il danneggiamento degli elementi strutturali principali**

Svantaggi

- ✓ **Presenza di deformazioni residue nella struttura anche dopo la fine dell'evento sismico a causa delle deformazioni plastiche irreversibili**



SISTEMI DISSIPATIVI TRADIZIONALI

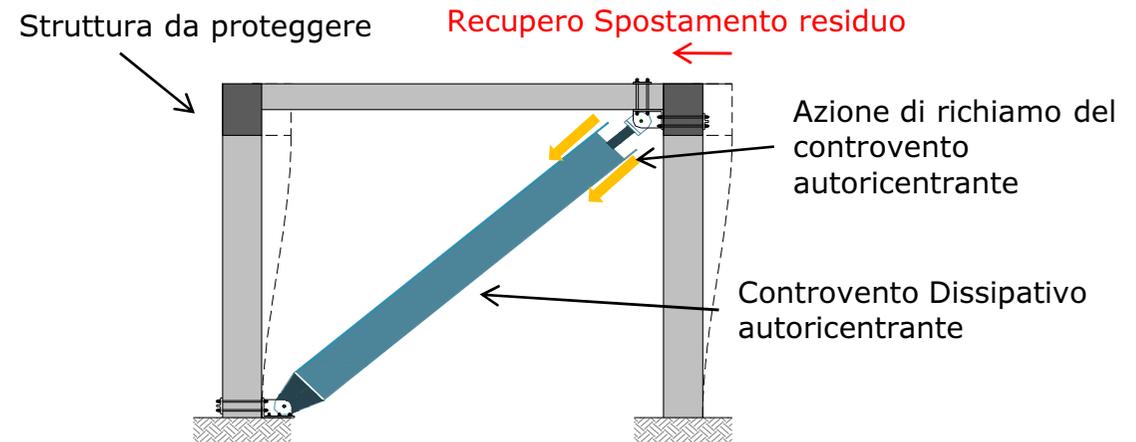
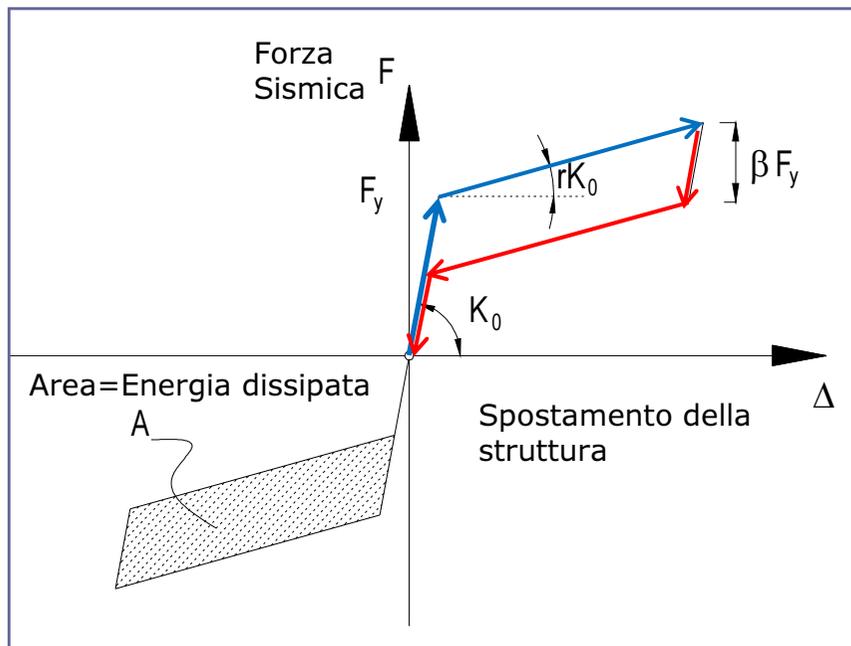
La presenza di spostamenti residui nella struttura anche dopo la fine dell'evento sismico a causa delle deformazioni plastiche irreversibili che si manifestano nella struttura stessa o nei dispositivi dissipativi rende l'edificio inagibile e comunque molto più vulnerabile nei confronti delle successive scosse.



SISTEMI DISSIPATIVI INNOVATIVI: SISTEMI AUTORICENTRANTI

Vantaggi

- ✓ Incremento di rigidezza e duttilità della struttura
- ✓ Concentrazione delle deformazioni plastiche in appositi elementi
- ✓ Possibilità di ridurre o eliminare il danneggiamento degli elementi strutturali principali
- ✓ **Annullamento degli spostamenti residui grazie all'azione di richiamo del dissipatore**



✓ **Comportamento elasto-plastico**

➔ **Dissipazione Energia**

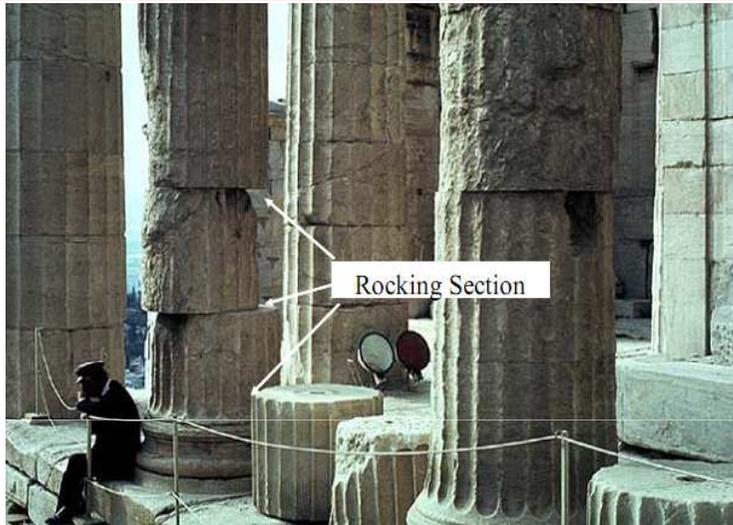
✓ **Azione di richiamo dei cavi post-tesi**

➔ **Annullamento deformazione residua**

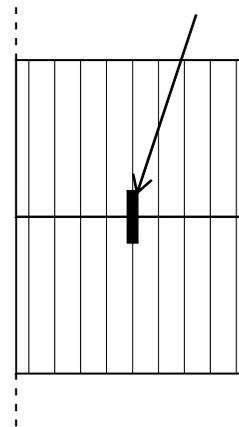
SISTEMI DISSIPATIVI INNOVATIVI: SISTEMI AUTORICENTRANTI

RADICI STORICHE E APPLICAZIONI RECENTI

Colonne Templi Greci e Romani

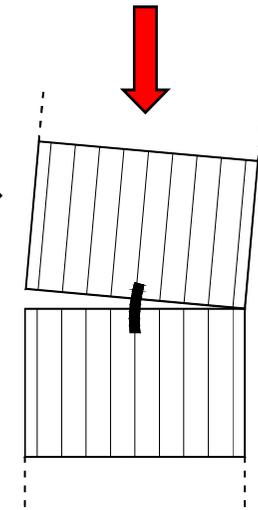


Connettore in piombo per il centraggio e la resistenza alle forze di taglio



Azione sismica
=
AZIONE RIBALTANTE

Peso copertura+peso colonna
=
AZIONE RICENTRANTE

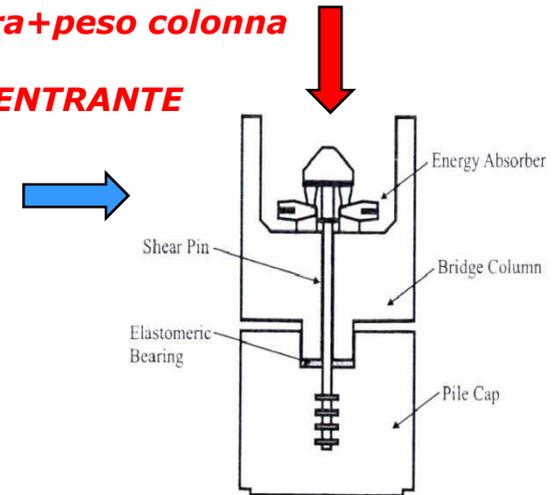


Ponte Ferroviario Rangitikei in Nuova Zelanda(1981)



Peso sovrastuttura+peso colonna
=
AZIONE RICENTRANTE

Azione sismica
=
AZIONE RIBALTANTE

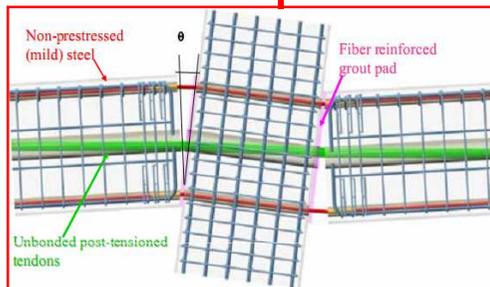


SISTEMI DISSIPATIVI INNOVATIVI: SISTEMI AUTORICENTRANTI

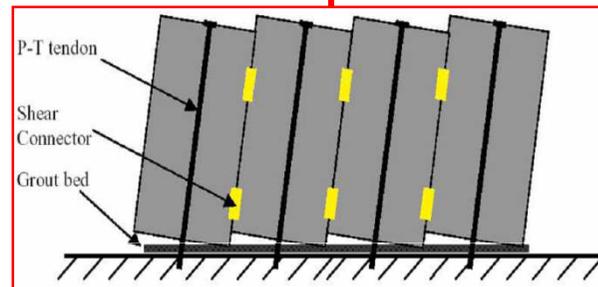
STATO DELL'ARTE

Negli ultimi 20 anni sono stati sviluppati diversi *Sistemi Autoricentranti* in cui l'azione di autocentramento non è più affidata al peso proprio della struttura ma alla presenza di appositi elementi post-tesi inseriti nel complesso strutturale

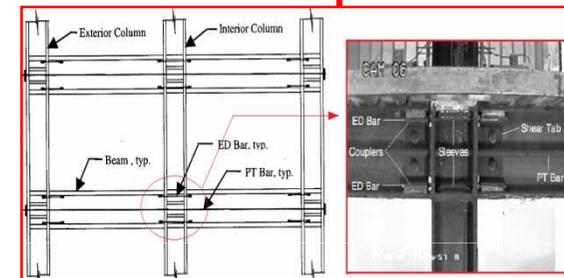
Sistemi Post-Tesi



a Telaio (pre-fabbricato)



a Muro (pre-fabbricato)

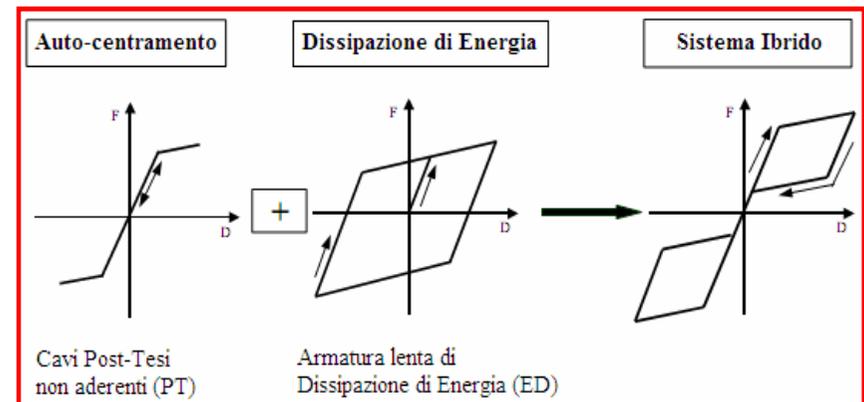


a Telaio (in acciaio)

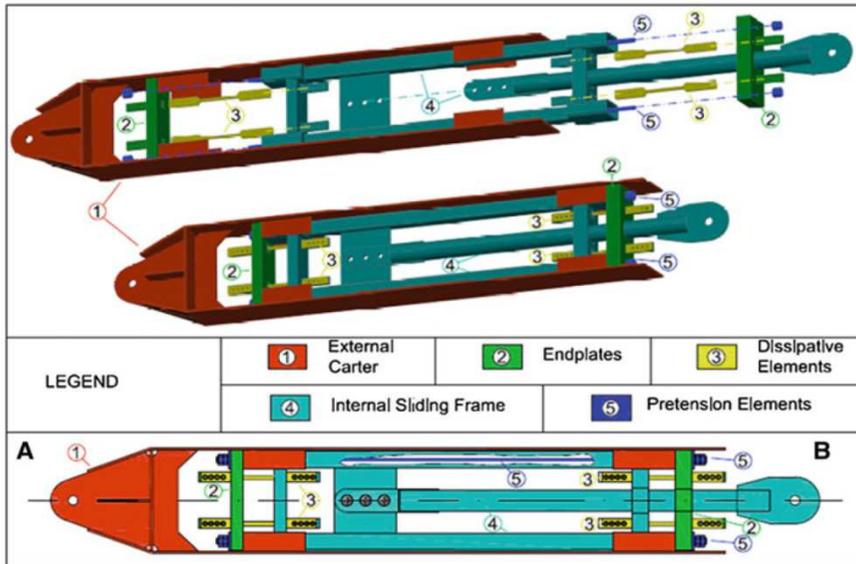
In tutti questi sistemi l'azione di autocentramento è assicurata dalla presenza dei cavi post tesi, mentre la dissipazione dell'energia sismica in ingresso è affidata ad elementi in acciaio dolce (non presollecitato).

L'utilizzo di tutti questi sistemi deve essere previsto già in FASE DI PROGETTAZIONE.

Sono poco flessibili per l'adeguamento di edifici esistenti



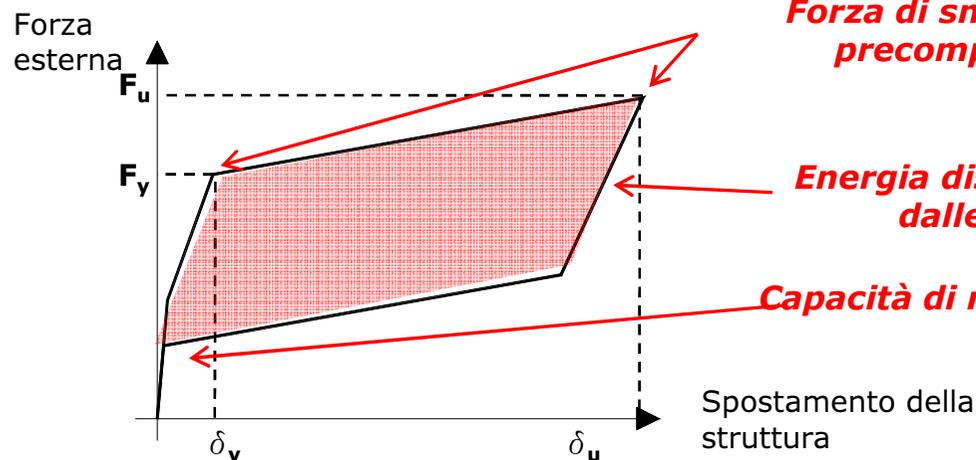
SISTEMI DISSIPATIVI INNOVATIVI: SISTEMI AUTORICENTRANTI



DISSIPATORE SISMICO SVILUPPATO ALL'UNIVERSITA' DI PISA

Recentemente è stato sviluppato e brevettato nel Dipartimento di Ingegneria Civile e Industriale dell' un dissipatore sismico autocentrante interamente in acciaio per la protezione sismica delle strutture di NUOVA PROGETTAZIONE e delle STRUTTURE ESISTENTI

- *Gli elementi in cui si localizzano le deformazioni plastiche possono essere sostituiti al termine dell'azione sismica*
- *I fusi sono realizzati impiegando apposite qualità dei materiali (ottimizzati per prestazioni sismiche)*
- *Il dissipatore può essere inserito all'interno della maglia strutturale di un edificio esistente o di nuova costruzione*



Forza di snervamento e Ultima: dipendono dalla forza di precompressione e dalle caratteristiche dei fusibili

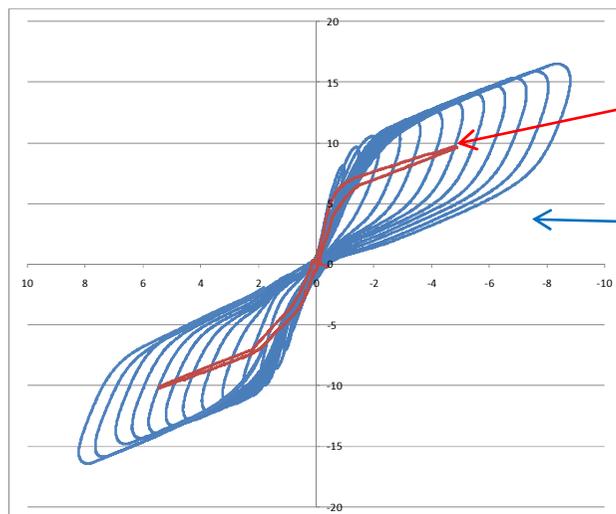
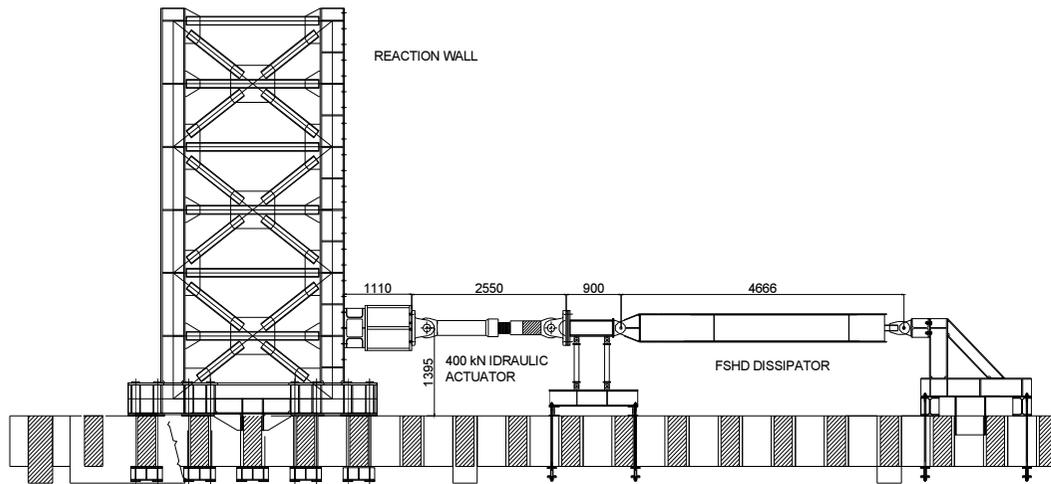
Energia dissipata: dipende essenzialmente dalle caratteristiche dei fusibili

Capacità di ricentramento: dipende essenzialmente dal livello di precompressione iniziale

SISTEMI DISSIPATIVI INNOVATIVI: SISTEMI AUTORICENTRANTI

DISSIPATORE SISMICO SVILUPPATO ALL'UNIVERSITA' DI PISA

Prove cicliche sul prototipo del dissipatore



**Comportamento ciclico del dissipatore
SENZA ELEMENTI DISSIPATIVI:**

**Comportamento ciclico del dissipatore
CON ELEMENTI DISSIPATIVI**

***Il dispositivo mostra un'ottima capacità di
ricentramento ed una buona stabilità dei cicli isteretici***

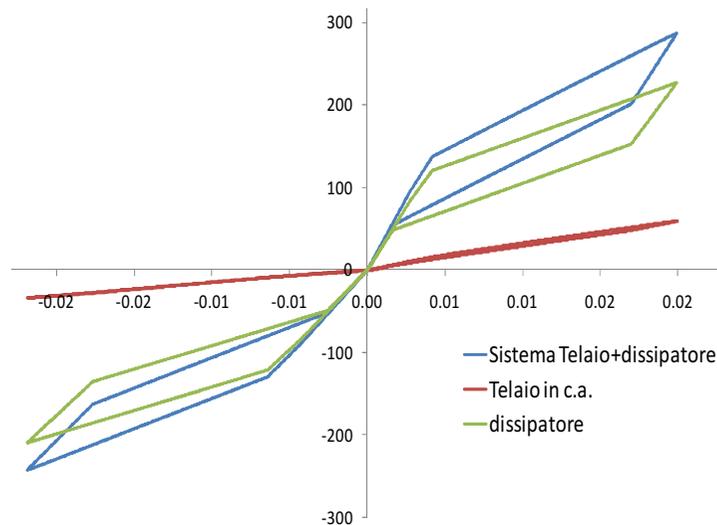
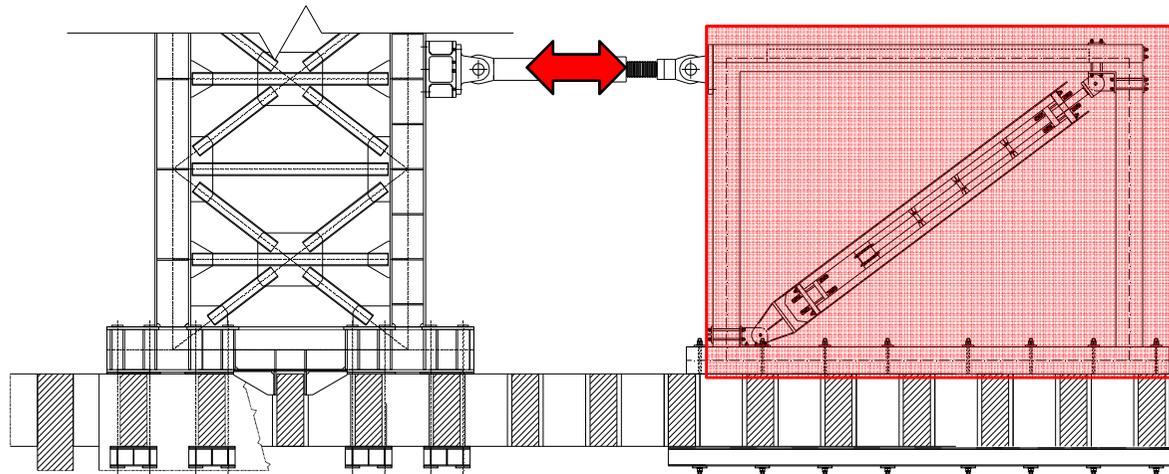
SISTEMI DISSIPATIVI INNOVATIVI: SISTEMI AUTORICENTRANTI

DISSIPATORE SISMICO SVILUPPATO ALL'UNIVERSITA' DI PISA

Analisi numeriche su un sistema telaio in c.a. - dissipatore

Muro di contrasto

Sistema telaio-dissipatore



L'energia dissipata dal telaio in c.a. è praticamente nulla



Il livello di danneggiamento è molto basso.

SISTEMI DISSIPATIVI PASSIVI: APPLICAZIONE AD UN CASO STUDIO

INFLUENZA DELLA DISPOSIZIONE DEI CONTROVENTI SUL COMPORTAMENTO STRUTTURALE

R.D. 2229/1939

Modello tridimensionale di 3 piani, 4x5 campate, dimensioni complessive di 23x18 m e un'altezza compresa tra 10 e 12 m.

Materiali

Calcestruzzo ad alta resistenza

Resistenza ammissibile a compressione **4.5 MPa**

Resistenza ammissibile a pressoflessione **5.0 MPa**

Resistenza ammissibile a taglio **6.0 MPa**

Acciaio Dolce

Resistenza ammissibile a trazione **140 MPa**

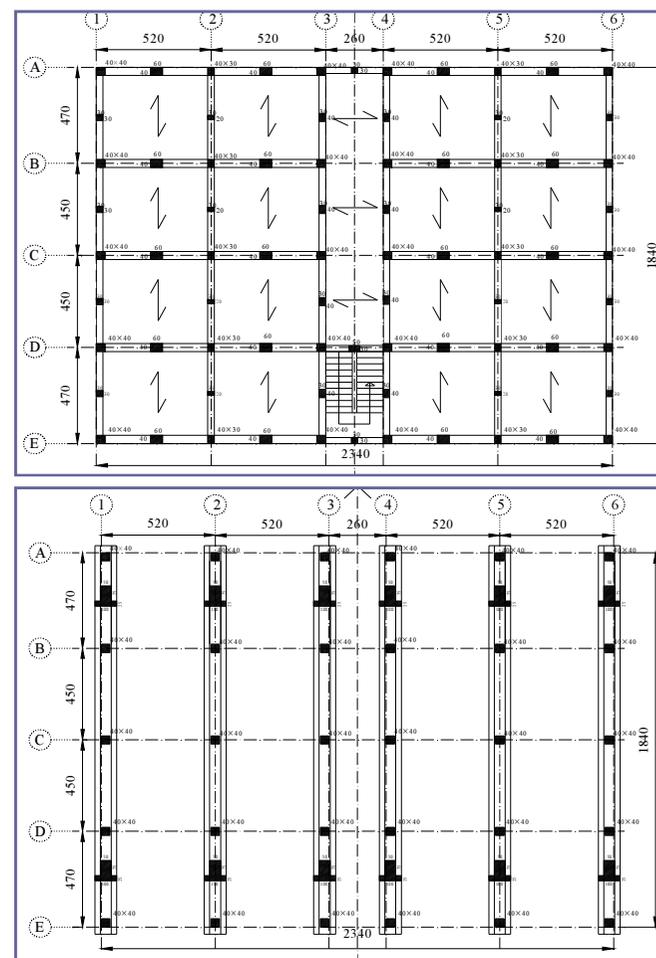
Coefficiente di omogeneizzazione **n = 8**

Parametri geotecnici

Capacità portante terreno **0.11 MPa**

Coefficiente di sottofondo **0.01 N/mm³**

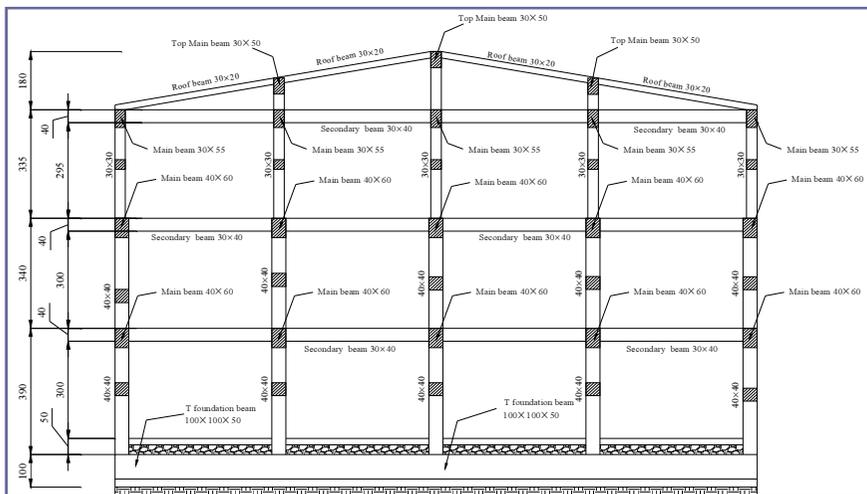
Progettazione per telai piani e per soli carichi verticali (R.D. 2229/1939)



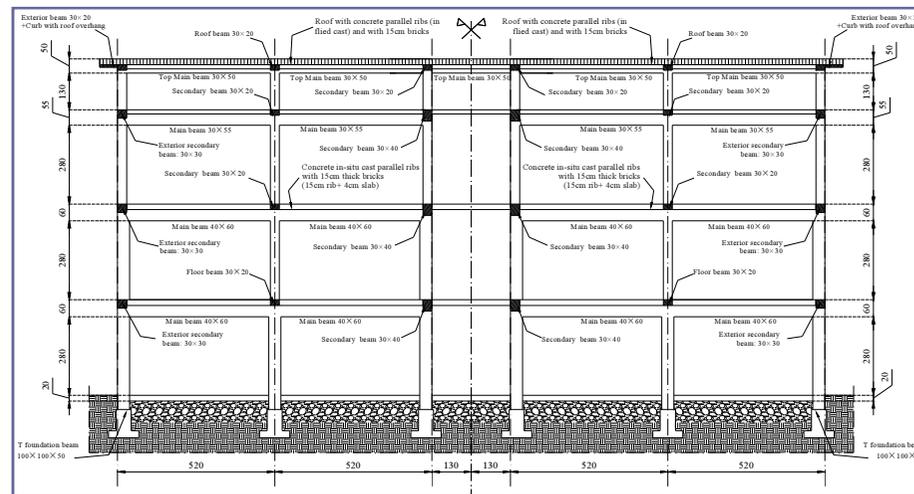
Pianta del piano terra e delle fondazioni.

SISTEMI DISSIPATIVI PASSIVI: APPLICAZIONE AD UN CASO STUDIO

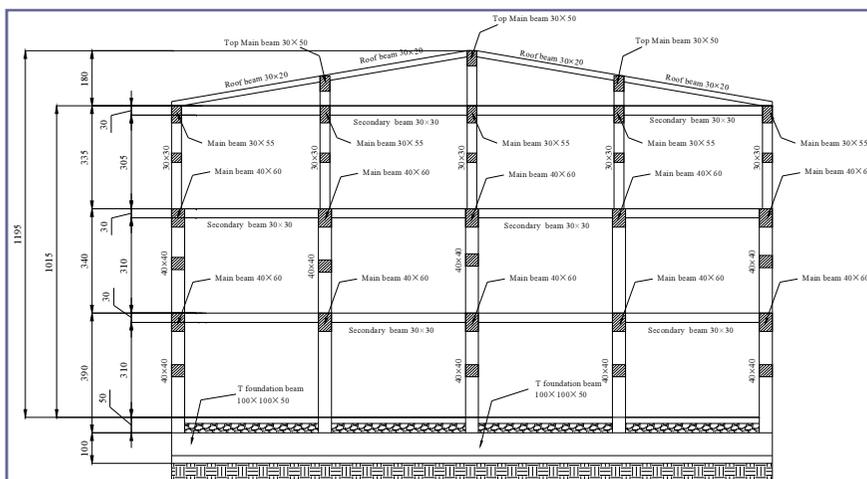
BENCHMARK PROGETTO DI RICERCA STEELRETRO: PROGETTO SIMULATO SECONDO R.D.2229/1939



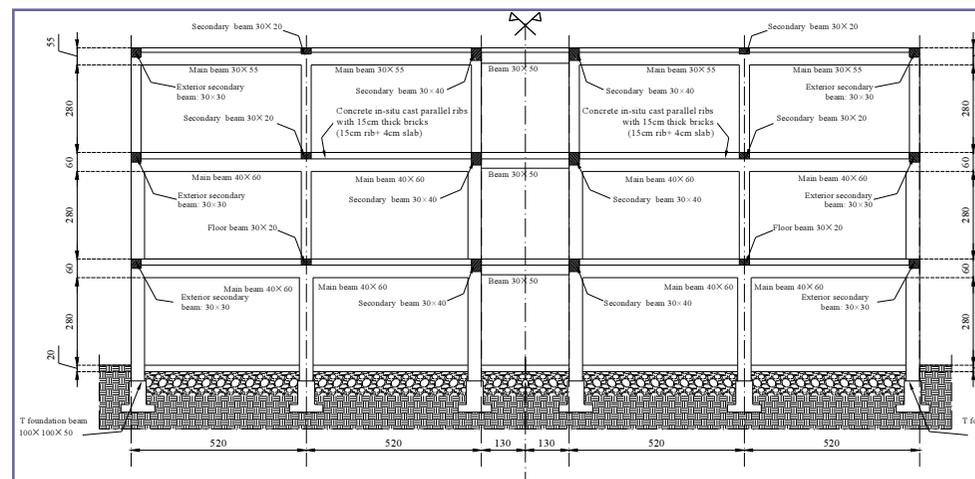
Telaio secondario interno



Telaio in corrispondenza del tetto



Telaio secondario esterno



Telaio principale esterno

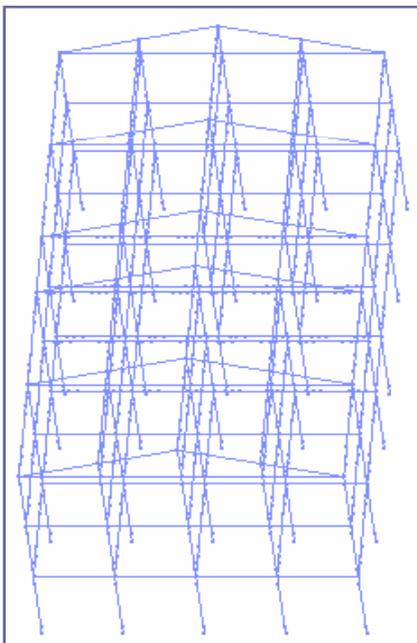
SISTEMI DISSIPATIVI PASSIVI: APPLICAZIONE AD UN CASO STUDIO

BENCHMARK PROGETTO DI RICERCA STEELRETRO: modellazione NON LINEARE della struttura

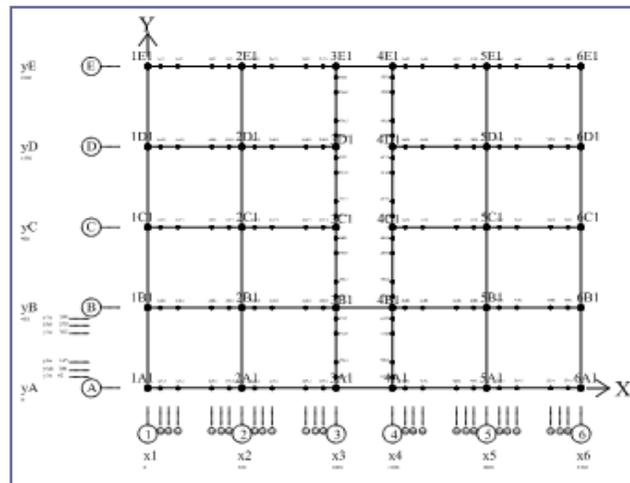
Realizzazione di un modello non lineare con **OpenSees** utilizzando elementi con sezione a FIBRE (modello a plasticità DIFFUSA)

OPEN System for Earthquake Engineering Simulation
- Pacific Earthquake Engineering Research Center,
University of California, Berkeley

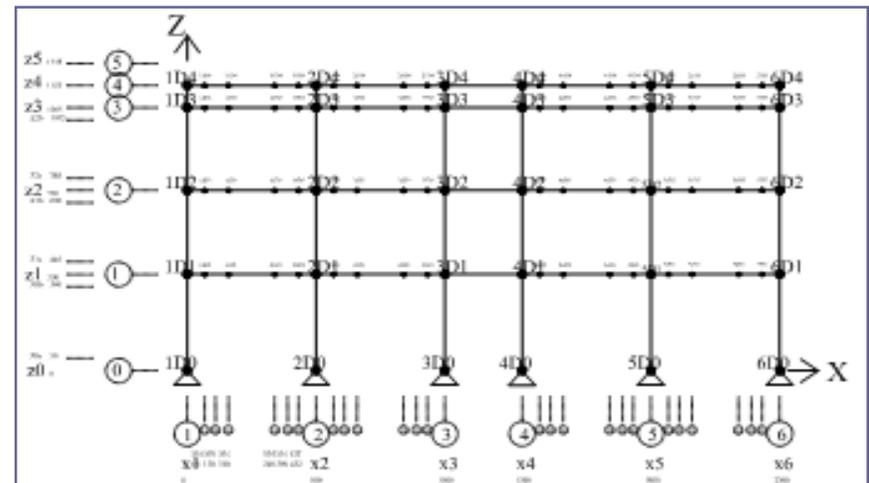
MODELLO TRIDIMENSIONALE NON LINEARE



Modello 3d



Vista in pianta

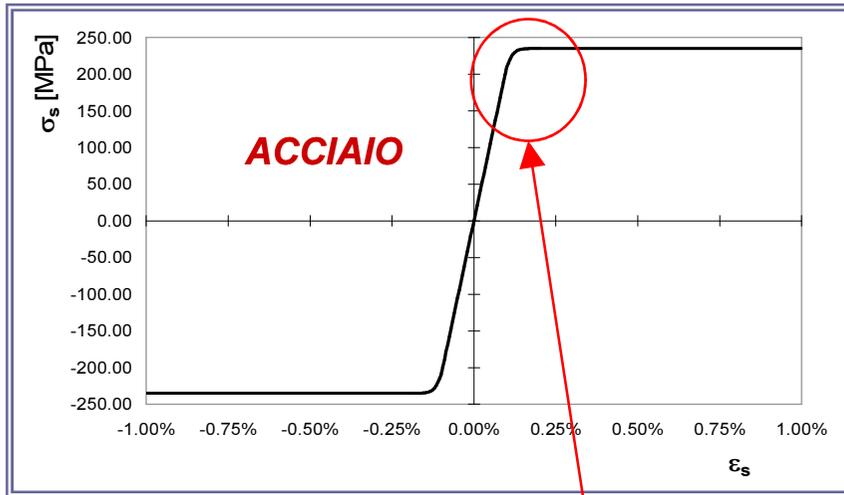


Telaio longitudinale tipo

SISTEMI DISSIPATIVI PASSIVI: APPLICAZIONE AD UN CASO STUDIO

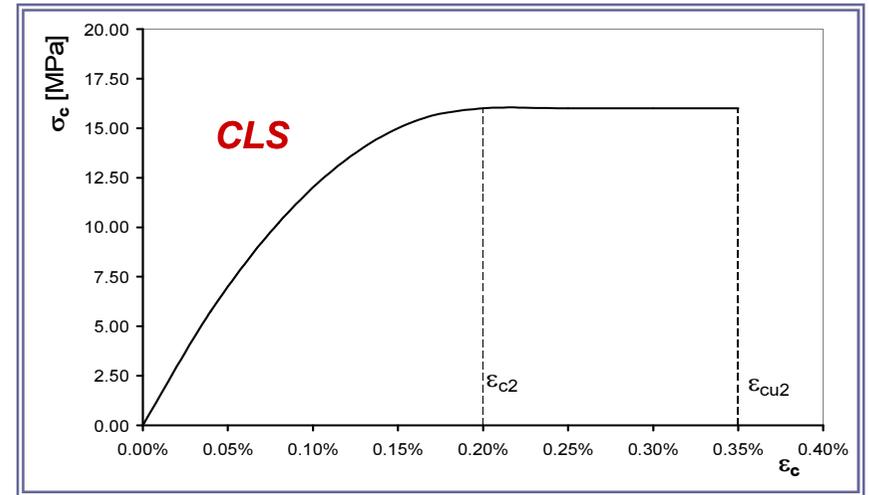
BENCHMARK PROGETTO DI RICERCA STEELRETRO: modellazione NON LINEARE, MATERIALI

LEGAMI COSTITUTIVI DI ACCIAIO E CLS



Giuffrè – Menegotto - Pinto

- Yield strength f_{yk} **230 MPa**
- Elastic modulus E_s **200000 MPa**
- Yield strain e_y **0.115 %**
- Strain hardening ratio β **0.0033**
- Model parameters
 $R0=20.00$
 $cR1=0.20$
 $cR2 =0.15$



Popovics

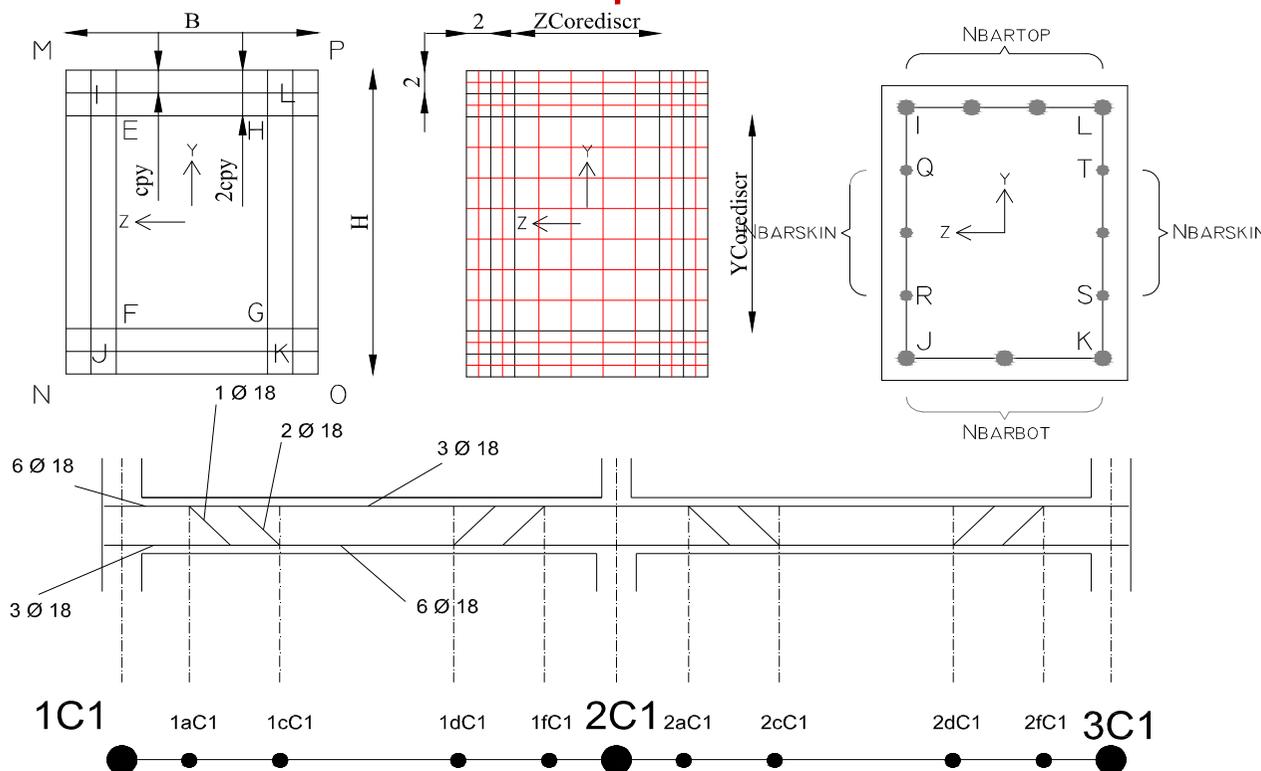
- Compressive strength f_{ck} **16.00 MPa**
- Elastic modulus E_{cm} **29000 MPa**
- Compressive strain ϵ_{c2} **0.20 %**
- Ultimate compressive strain ϵ_{cu2} **0.35 %**
- Tensile strength f_{ct} **0.00 MPa**
- Tensile strain e_c **0 %**
- Exponential curve parameter β **0.1**

SISTEMI DISSIPATIVI PASSIVI: APPLICAZIONE AD UN CASO STUDIO

BENCHMARK PROGETTO DI RICERCA STEELRETRO: modellazione NON LINEARE, sezione degli ELEMENTI

MODELLAZIONE ELEMENTI A FIBRE

- **Suddivisione della sezione di ogni elemento in fibre longitudinali di dimensione massima 20 mm per il copriferro e 40 mm per la parte interna;**
- **La discretizzazione dell'elemento tiene conto della variazione di armatura sulla lunghezza dell'elemento.**



Esempio modellazione sezione a fibre: dimensioni fibre maggiori nell'interno che nel copriferro, posizionamento armatura

Discretizzazione elemento trave: suddivisione in corrispondenza delle variazioni di armatura

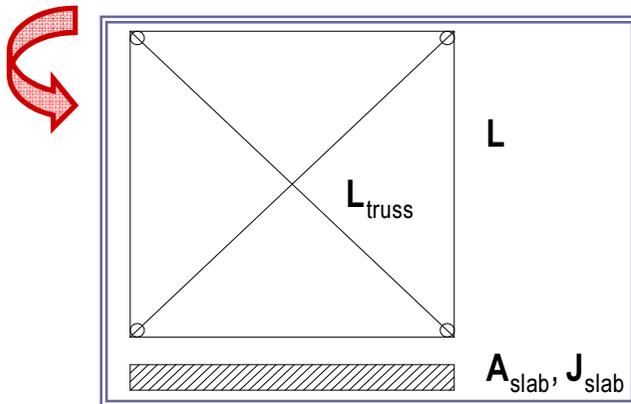
SISTEMI DISSIPATIVI PASSIVI: APPLICAZIONE AD UN CASO STUDIO

BENCHMARK PROGETTO DI RICERCA STEELRETRO: modellazione NON LINEARE, modellazione SOLAIO

MODELLAZIONE SOLAIO

1. Solaio non considerato in termini di rigidezza (**ASSENTE**);
2. Solaio modellato come piano completamente **RIGIDO**;
3. Solaio è modellato come un sistema di **PUNTONI equivalenti**;

La rigidezza equivalente dei puntoni viene valutata come:



$$K_{truss} = \frac{1}{\frac{L^3}{12E_{conc}J_{slab}} + \frac{L}{G_{conc}A_{slab}}}$$

$$K_{truss} = \frac{E_{steel}A_{truss}}{L_{truss}}$$

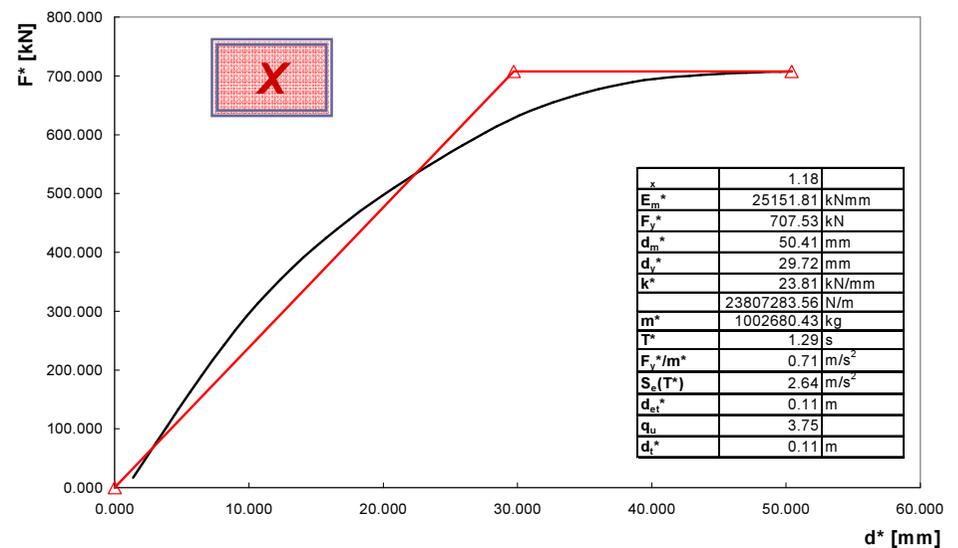
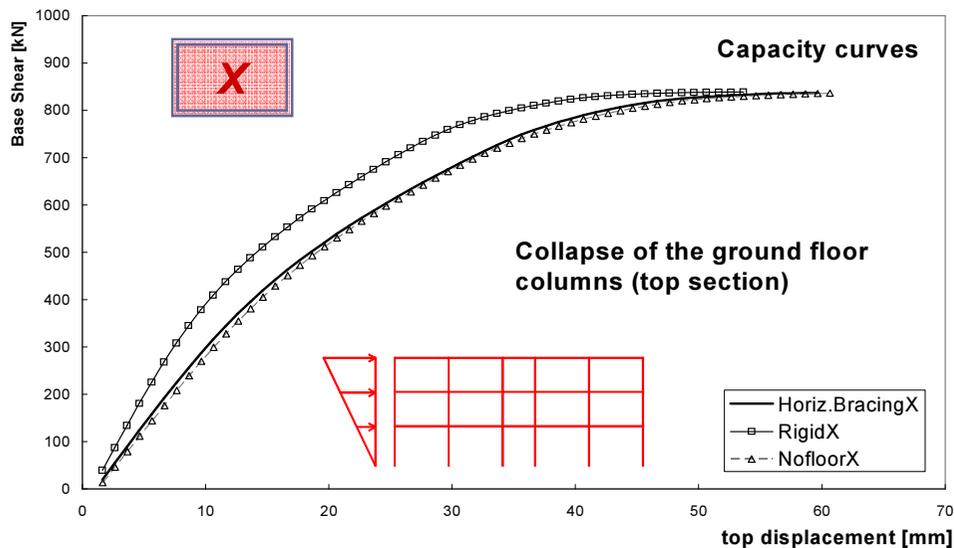
Sistema di puntoni equivalenti per la modellazione del comportamento rigido dei solai

SISTEMI DISSIPATIVI PASSIVI: APPLICAZIONE AD UN CASO STUDIO

BENCHMARK PROGETTO DI RICERCA STEELRETRO: analisi STATICA NON LINEARE, curve di capacità

Sul modello non lineare precedentemente descritto è stata eseguita una analisi STATICA NON LINEARE (Pushover), sui telai in entrambe le direzioni

Curve di capacità (Taglio alla base – spostamento in sommità)



Confronto dei risultati ottenuti considerando il solaio rigido, non considerandolo e con i puntoni equivalenti:



I modelli senza piano rigido e con puntoni in direzione X coincidono

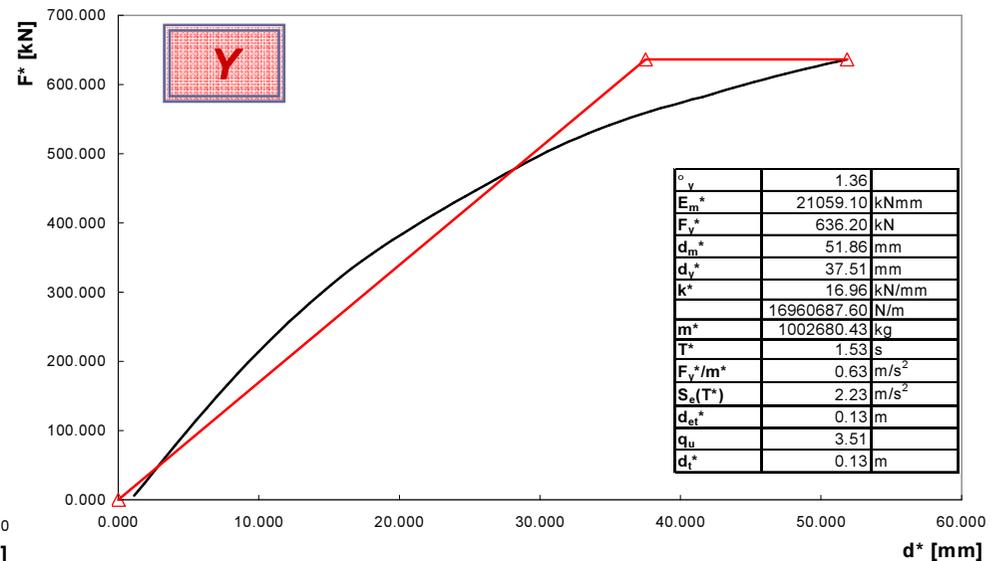
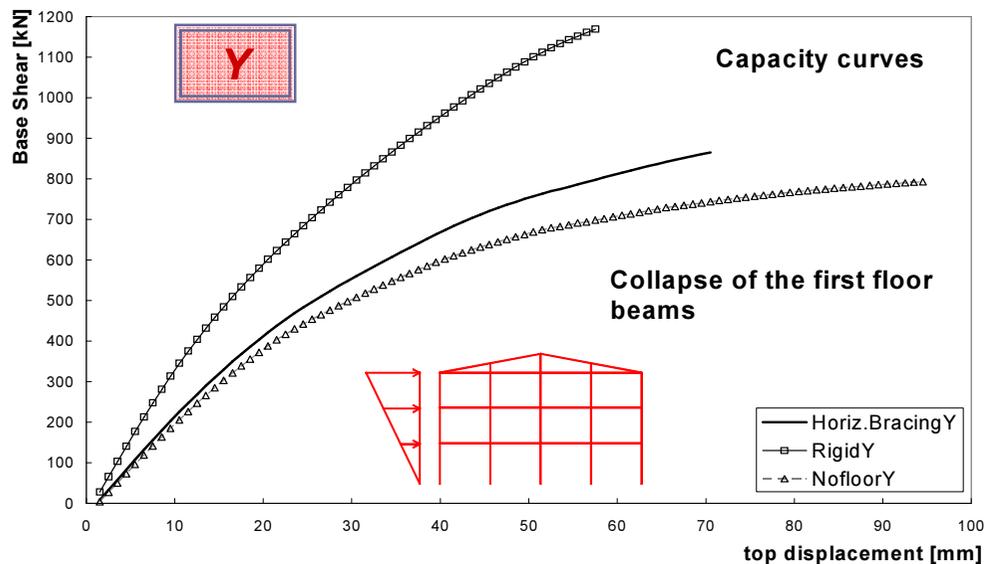
Il collasso avviene nelle colonne del piano terra (sommità)

SISTEMI DISSIPATIVI PASSIVI: APPLICAZIONE AD UN CASO STUDIO

BENCHMARK PROGETTO DI RICERCA STEELRETRO: analisi STATICA NON LINEARE, curve di capacità

Sul modello non lineare precedentemente descritto è stata eseguita una analisi STATICA NON LINEARE (Pushover), sui telai in entrambe le direzioni

Curve di capacità (Taglio alla base – spostamento in sommità)



Confronto dei risultati ottenuti considerando il solaio rigido, non considerandolo e con i puntoni equivalenti:



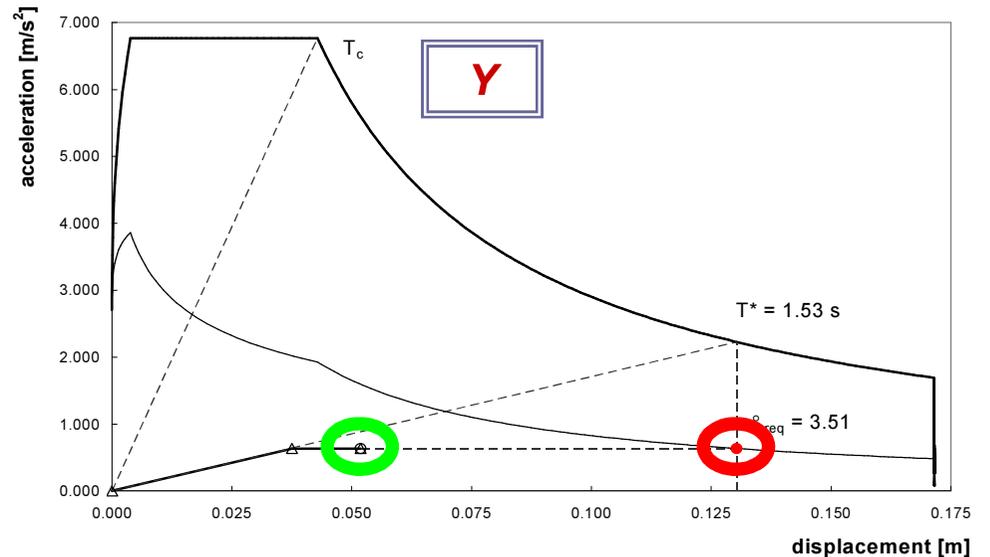
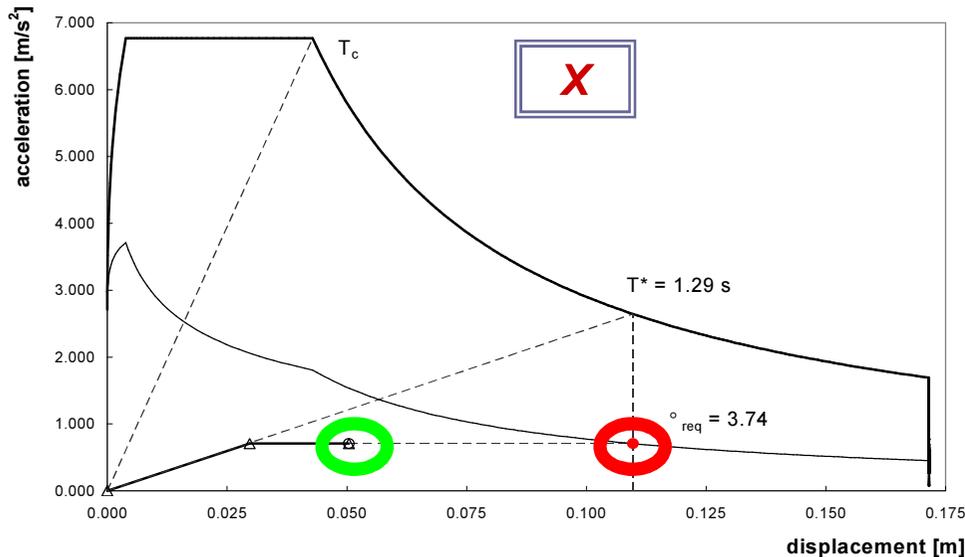
Le curve relative ai tre modelli mostrano un progressivo irrigidimento

Il collasso avviene nelle travi del primo impalcato

SISTEMI DISSIPATIVI PASSIVI: APPLICAZIONE AD UN CASO STUDIO

BENCHMARK PROGETTO DI RICERCA STEELRETRO: analisi STATICA NON LINEARE, valutazione vulnerabilità

Metodo N2, Fajfar



Sullo stesso grafico (spostamento – accelerazione) si riportano sia gli spettri elastici e anelastico che la curva di capacità del sistema SDOF equivalente (bilineare)

I punti **rossi rappresentano la duttilità richiesta alla struttura (in termini di spostamento)**

I punti **verdi rappresentano quanto la struttura può offrire in termini di spostamento - duttilità**

$$\mu_d = \frac{d}{d_y}$$

La struttura non soddisfa le richieste in termini di duttilità

ADEGUAMENTO

SISTEMI DISSIPATIVI PASSIVI: APPLICAZIONE AD UN CASO STUDIO

BENCHMARK PROGETTO DI RICERCA STEELRETRO: metodologie di retrofit, controventi in acciaio

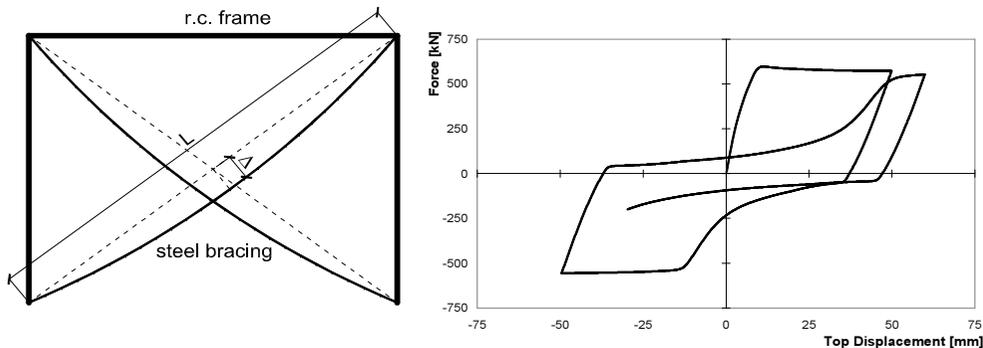
Tecniche di consolidamento di strutture in c.a. con controventi in acciaio (in x e y):

CONTROVENTI CONCENTRICI

- Grande incremento di rigidezza e duttilità
- Possono però portare a **forze concentrate** in corrispondenza delle zone di connessione con la struttura esistente;

N.B. Deve essere considerata una **"imperfezione iniziale"** per tenere conto degli effetti di instabilità dell'equilibrio (EN 1993-1-1:2005)

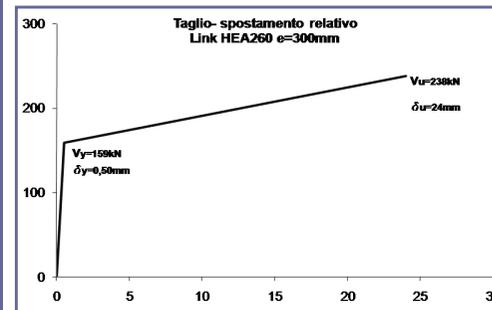
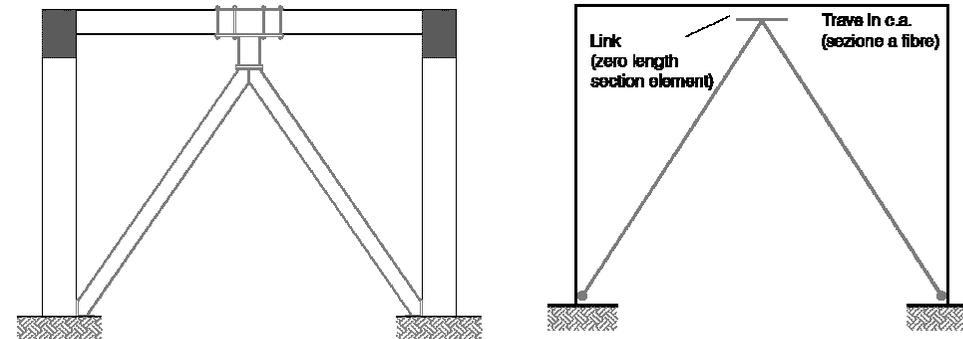
$$\Delta_{in} = \frac{L_{brace}}{500}$$



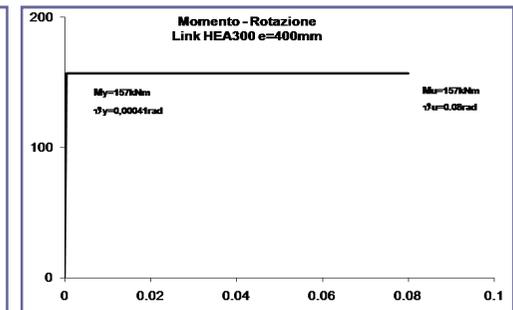
Comportamento ciclico del controvento

CONTROVENTI ECCENTRICI

N.B. Si è considerato il sistema a Y rovescia con LINK CORTI



Taglio - spost. relativo Link

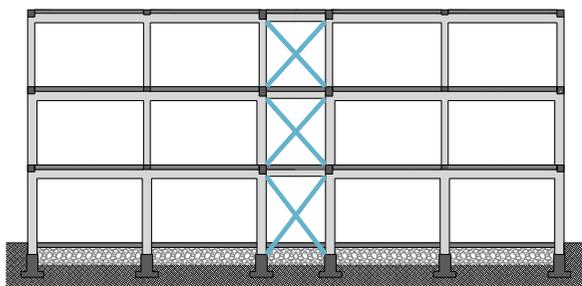


Momento - Rotazione

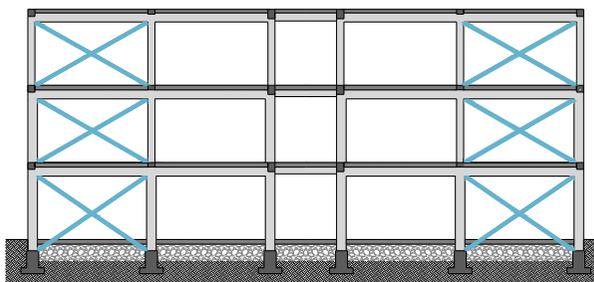
SISTEMI DISSIPATIVI PASSIVI: APPLICAZIONE AD UN CASO STUDIO

BENCHMARK PROGETTO DI RICERCA STEELRETRO: metodologie di retrofit, controventi in acciaio

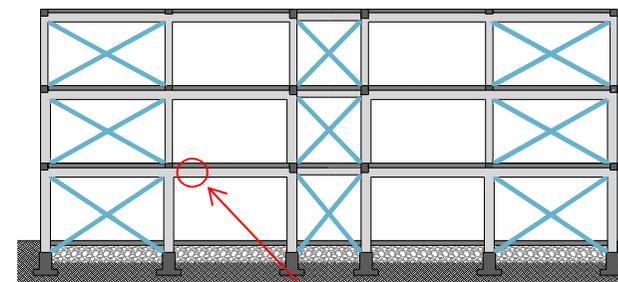
TELAI IN DIREZIONE X: possibili schemi di posizionamento controventi concentrici



Controventi campata centrale
SOLUZIONE X1

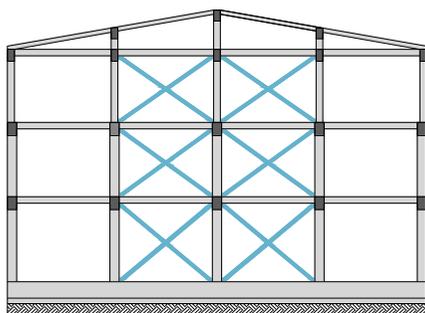


Controventi nelle due campate esterne
SOLUZIONE X2

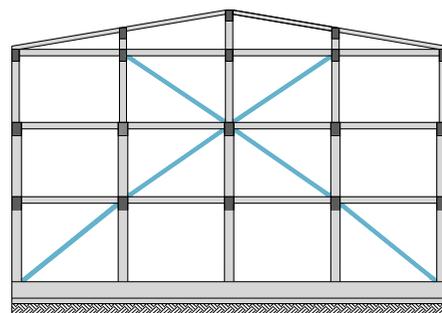


Controventi nelle due campate esterne e in quella centrale
SOLUZIONE X3

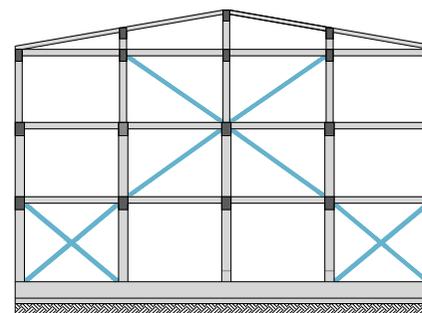
TELAI IN DIREZIONE Y: possibili schemi di posizionamento controventi concentrici



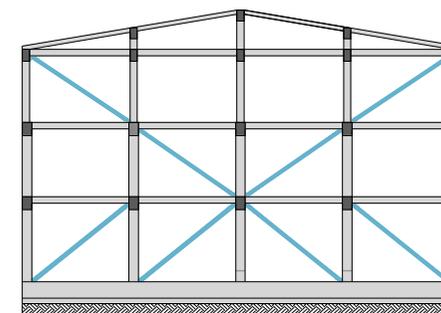
SOLUZIONE Y1



SOLUZIONE Y2



SOLUZIONE Y3



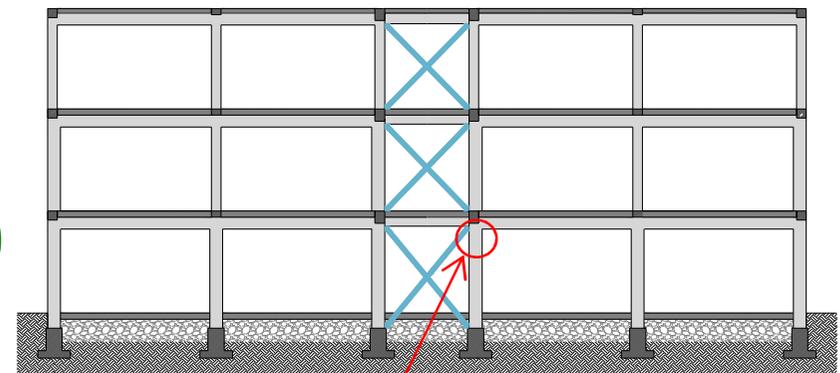
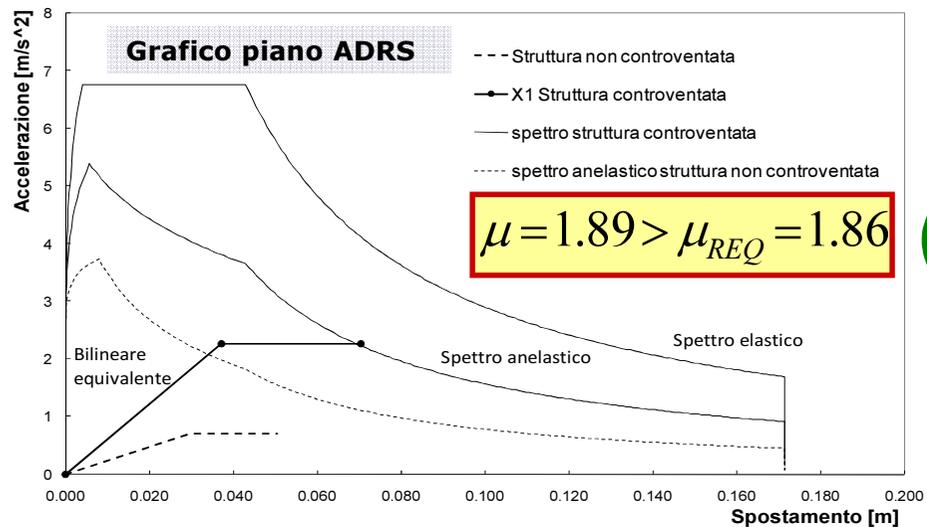
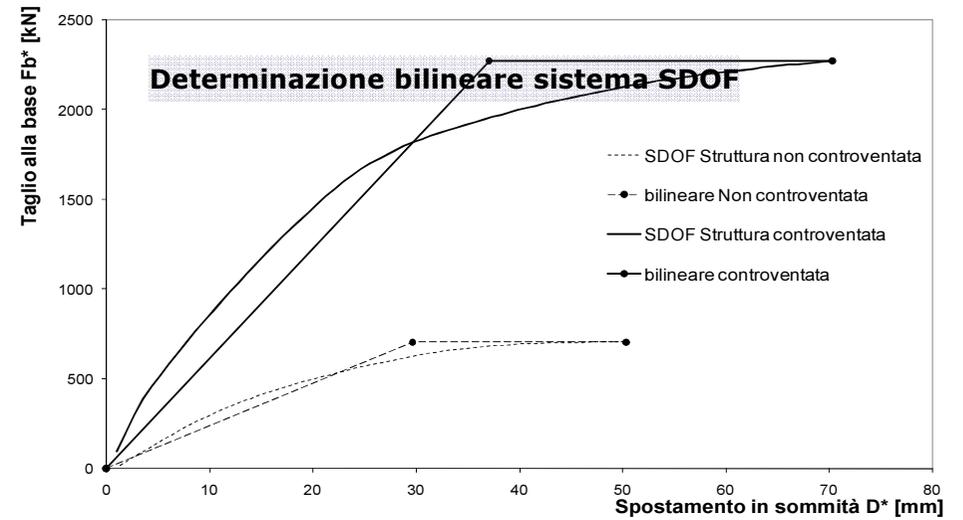
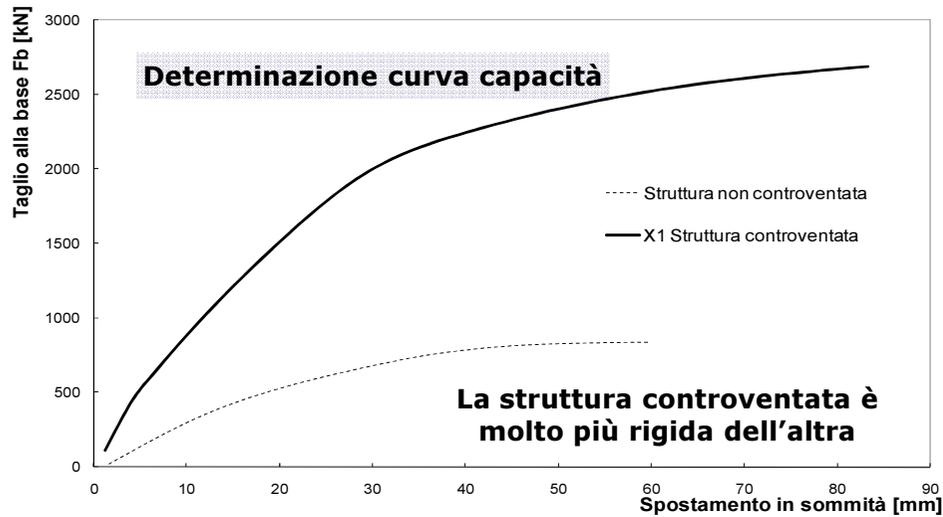
SOLUZIONE Y4

Sono stati impiegati come controventi profili tipo HEB140 (a parte il caso 4 del telaio y in cui si sono effettuate prove con profili tipo HEB120 e HEB160)

SISTEMI DISSIPATIVI PASSIVI: APPLICAZIONE AD UN CASO STUDIO

BENCHMARK PROGETTO DI RICERCA STEELRETRO: metodologie di retrofit, controventi CONCENTRICI in acciaio

Soluzione X1: procedura per la valutazione

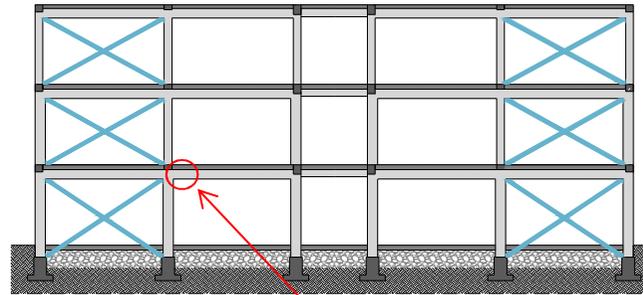
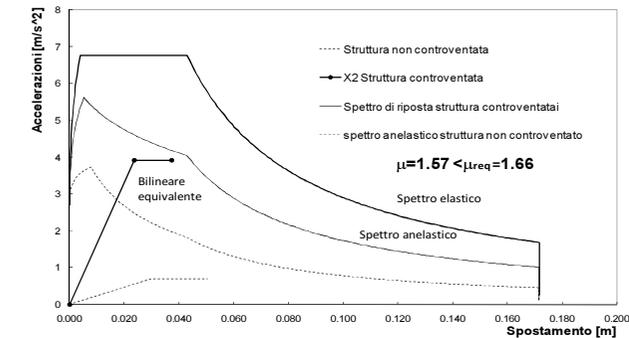
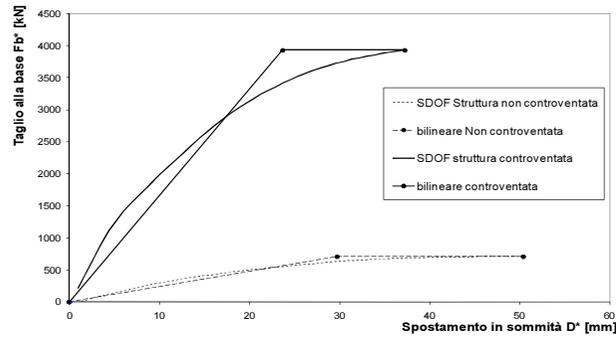
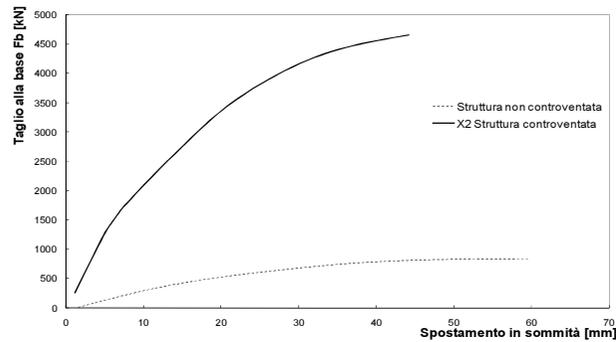


Meccanismo collasso: schiacciamento per pressoflessione nella sommità della colonna al piano terra

SISTEMI DISSIPATIVI PASSIVI: APPLICAZIONE AD UN CASO STUDIO

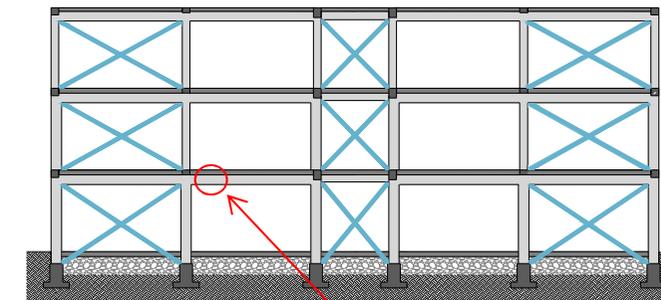
BENCHMARK PROGETTO DI RICERCA STEELRETRO: metodologie di retrofit, controventi CONCENTRICI in acciaio

Soluzione X2



collasso: pressoflessione nella sommità della colonna al piano terra

$$\mu = 1.57 < \mu_{REQ} = 1.66$$

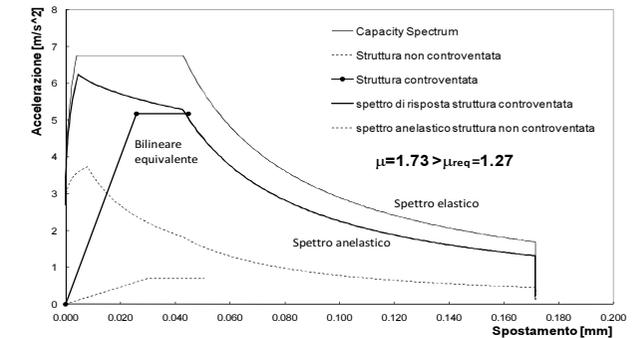
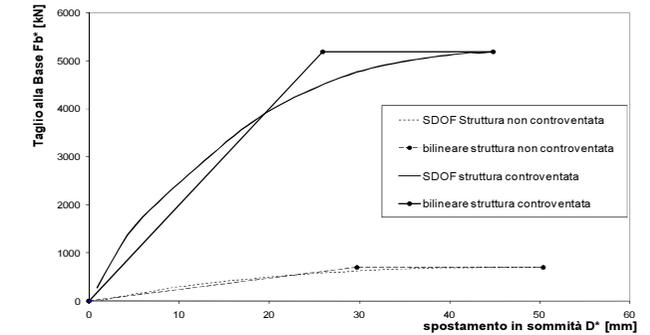
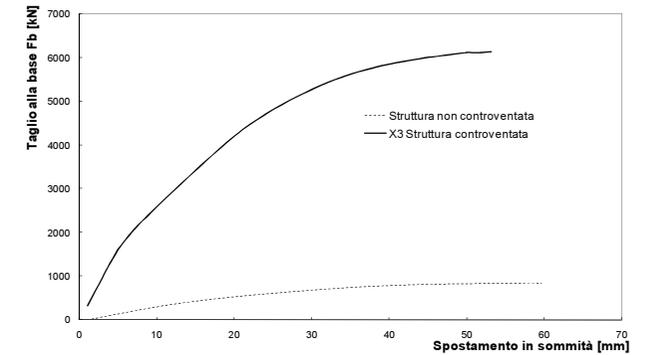


collasso: flessione trave primo impalcato

$$\mu = 1.73 > \mu_{REQ} = 1.27$$



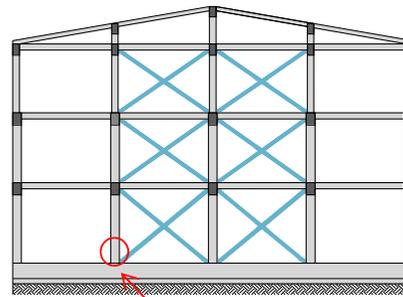
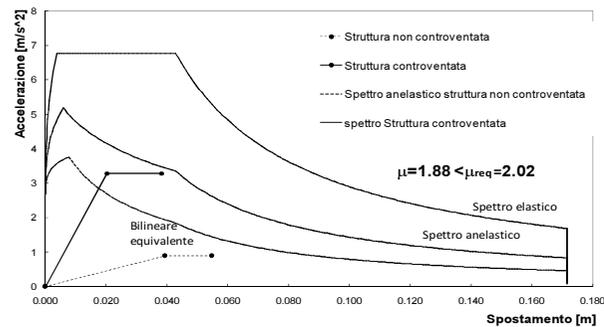
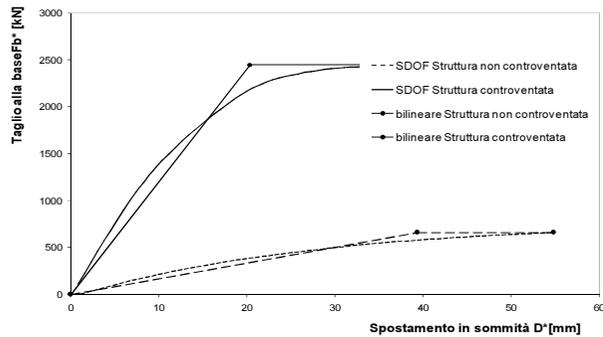
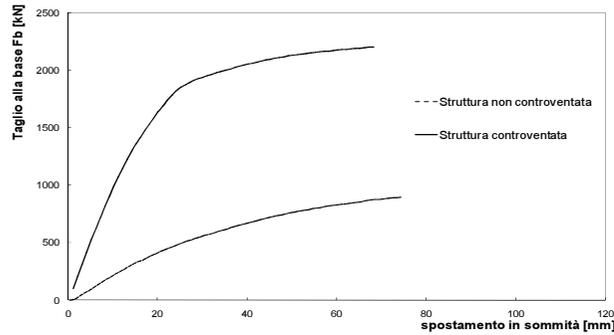
Soluzione X3



SISTEMI DISSIPATIVI PASSIVI: APPLICAZIONE AD UN CASO STUDIO

BENCHMARK PROGETTO DI RICERCA STEELRETRO: metodologie di retrofit, controventi CONCENTRICI in acciaio

SOLUZIONE Y1

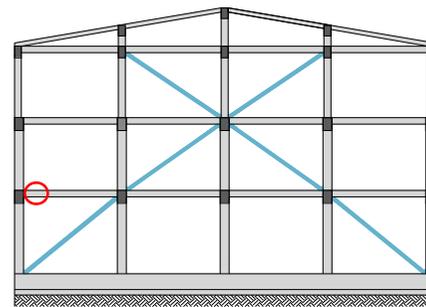
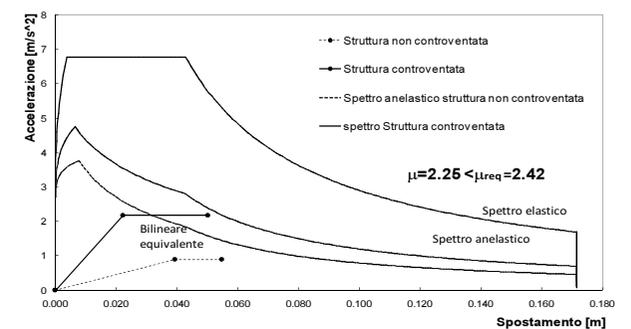
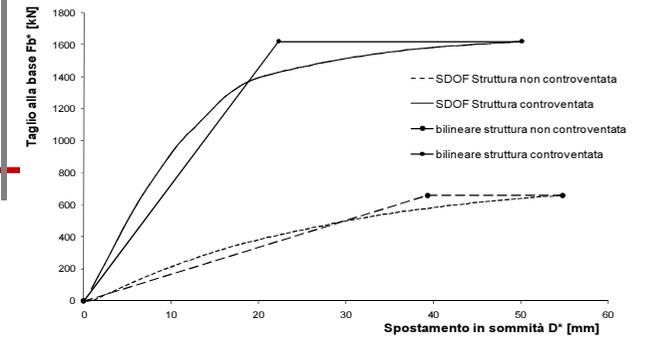
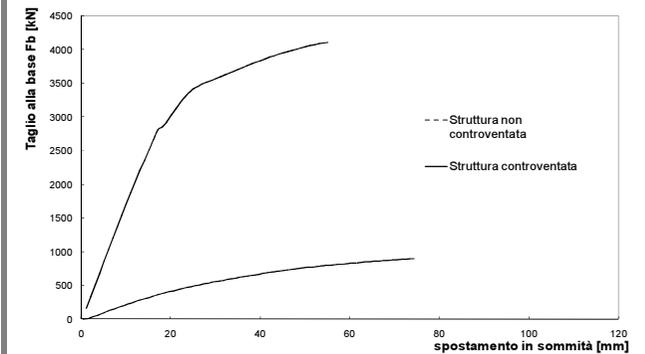


collasso: sforzo normale/momento nella sommità della colonna al piano terra

$$\mu = 1.88 < \mu_{REQ} = 2.02$$



SOLUZIONE Y2



collasso: flessione trave primo impalcato

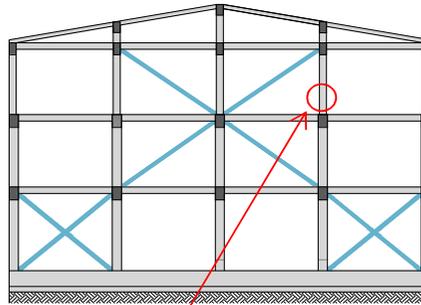
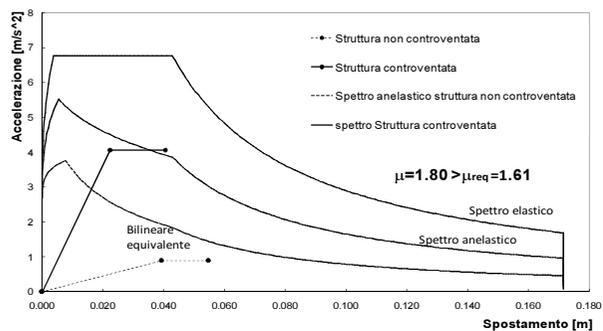
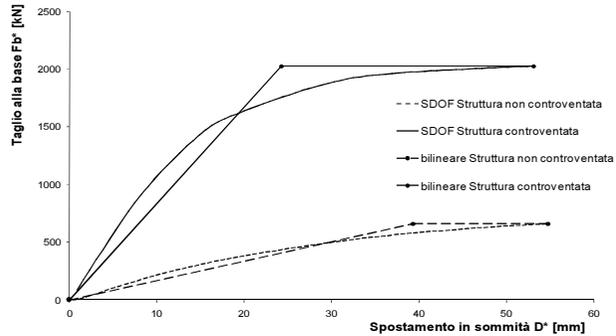
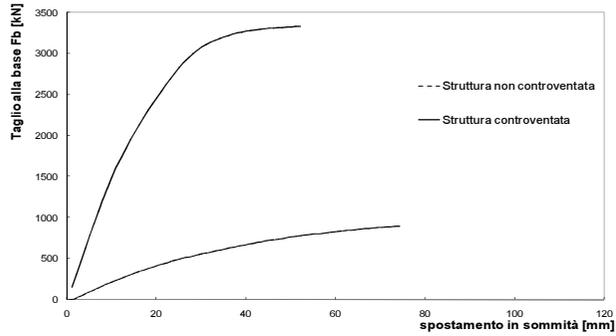
$$\mu = 2.25 < \mu_{REQ} = 2.42$$



SISTEMI DISSIPATIVI PASSIVI: APPLICAZIONE AD UN CASO STUDIO

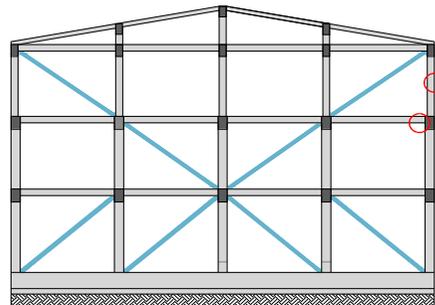
BENCHMARK PROGETTO DI RICERCA STEELRETRO: metodologie di retrofit, controventi CONCENTRICI in acciaio

SOLUZIONE Y3



collasso: sforzo normale di trazione/momento colonna

$$\mu = 1.80 > \mu_{REQ} = 1.61$$

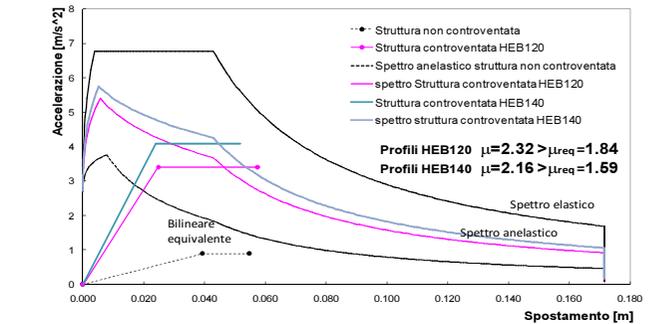
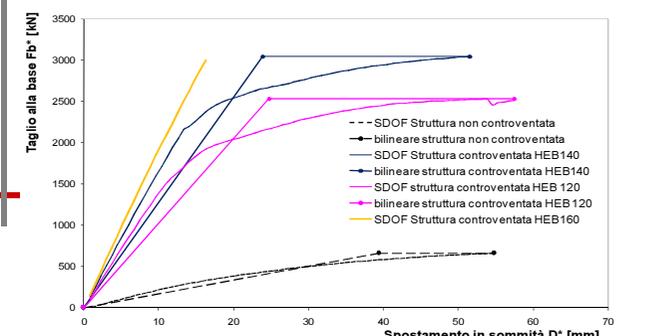
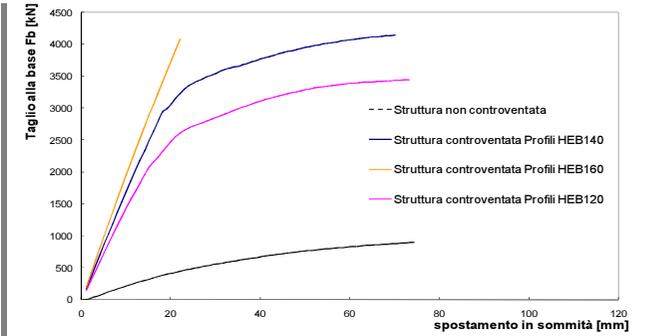


collasso: flessione trave terzo impalcato

$$\mu = 2.32 < \mu_{REQ} = 1.34$$



SOLUZIONE Y4



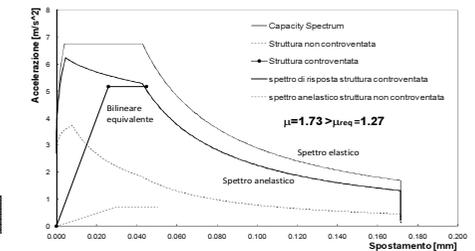
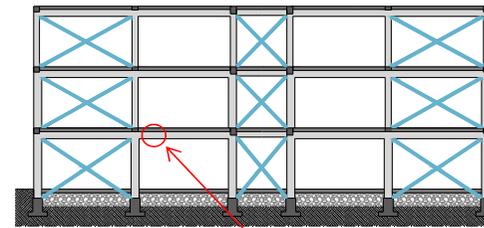
SISTEMI DISSIPATIVI PASSIVI: APPLICAZIONE AD UN CASO STUDIO

BENCHMARK PROGETTO DI RICERCA STEELRETRO: metodologie di retrofit, controventi **CONCENTRICI** in acciaio

Direzione X

Soluzione X3: migliore in termini di incremento di rigidità, resistenza e duttilità raggiunta (collasso nella trave del primo impalcato);

Soluzione X2: non garantisce sufficiente duttilità;

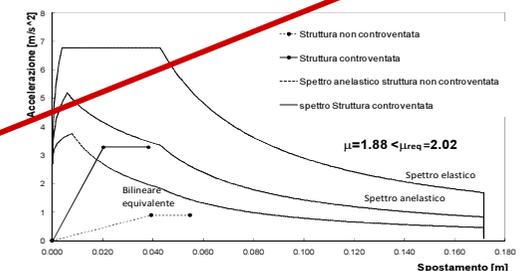
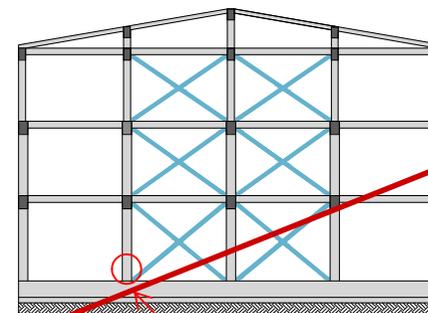
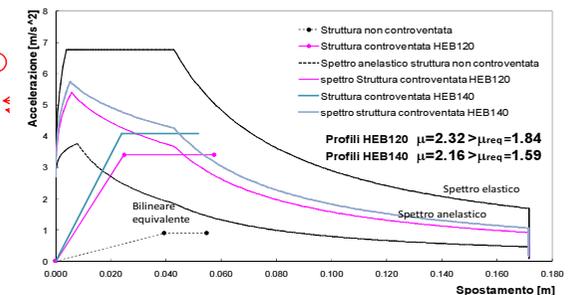
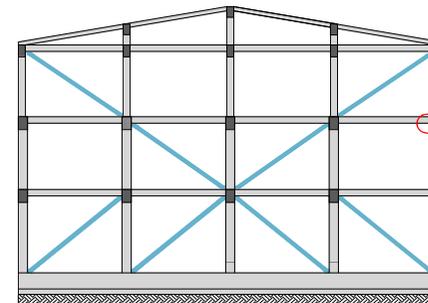


Direzione Y

Soluzione Y4: migliore in termini di incremento di rigidità, resistenza e duttilità raggiunta (collasso nella trave del primo impalcato);

Soluzione Y4 con HEB160: irrigidisce ma non garantisce adeguata duttilità;

Soluzione Y3 con HEB140 e HEB 120: curve più dolci che soddisfano la richiesta in spostamento;
Soluzione Y1-Y2: non garantisce sufficiente rigidità, resistenza e duttilità (concentra elevati sforzi assiali sulle colonne del piano terra).



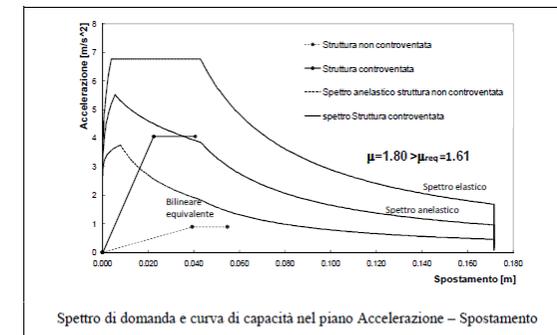
SISTEMI DISSIPATIVI PASSIVI: APPLICAZIONE AD UN CASO STUDIO

BENCHMARK PROGETTO DI RICERCA STEELRETRO: metodologie di retrofit, controventi CONCENTRICI in acciaio

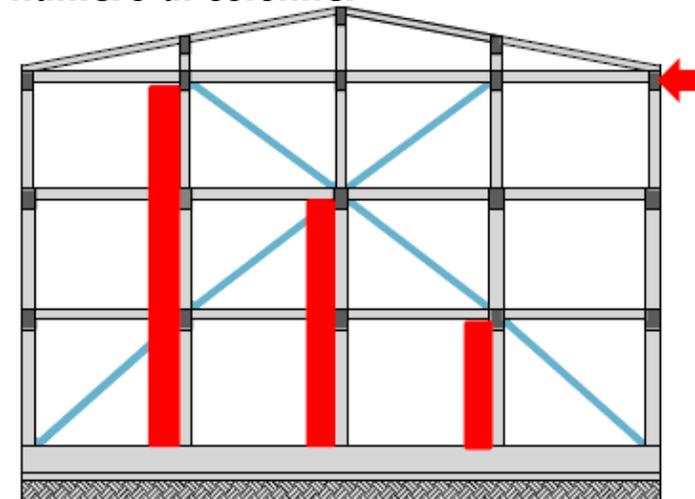
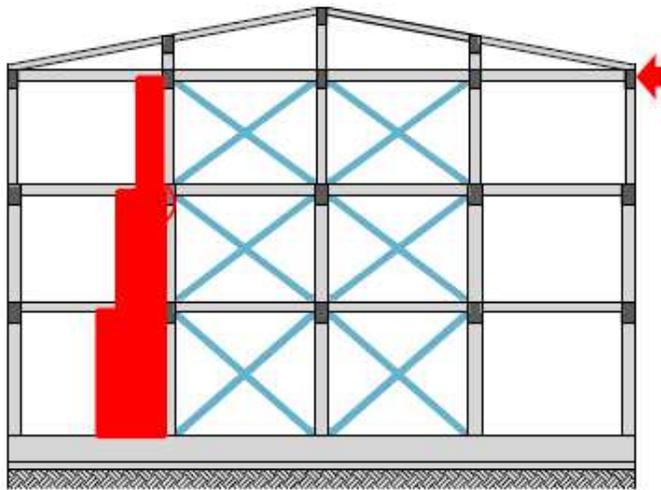
CONSIDERAZIONI GENERALI

Le soluzioni studiate con controventi CONCENTRICI in acciaio hanno i seguenti effetti sulla costruzione presa in esame:

- ✓ **Elevato aumento della RIGIDEZZA**
- ✓ **Elevato Aumento della RESISTENZA** (se i controventi sono ben distribuiti in funzione delle caratteristiche della struttura)
- ✓ **Piccola variazione della DUTTILITA'**



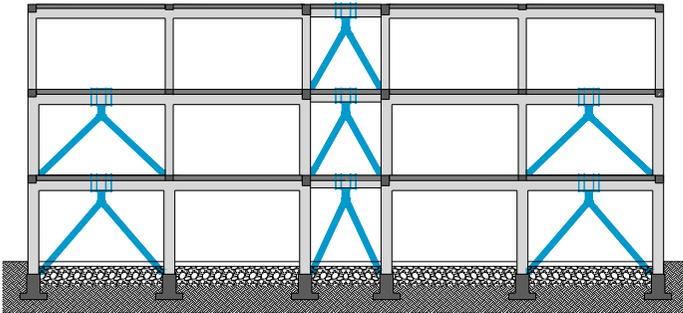
La soluzione Y1 genera un'elevato sforzo normale nelle colonne del piano terra, mentre la disposizione ad "albero" distribuisce lo sforzo su un maggior numero di colonne.



SISTEMI DISSIPATIVI PASSIVI: APPLICAZIONE AD UN CASO STUDIO

BENCHMARK PROGETTO DI RICERCA STEELRETRO: metodologie di retrofit, controventi ECCENTRICI in acciaio

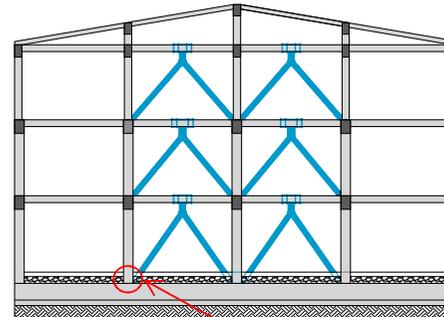
Soluzione telaio direzione X



Link profile = HEA260
 $e = 400 \text{ mm}$
 $V_y = 241 \text{ kN}$
 $\delta y = 0.67 \text{ mm}$
 $V_u = 362 \text{ kN}$
 $\delta u = 32 \text{ mm}$
 $M_y = 104 \text{ kNm}$
 $\theta_y = 0.00048 \text{ rad}$
 $M_u = 104 \text{ kNm}$
 $\theta_u = 0.08 \text{ rad}$

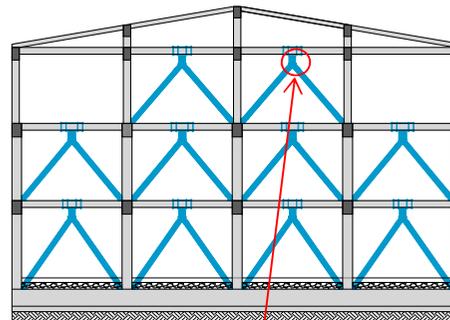
In direzione Y sono state provate differenti soluzioni, modificando sia il tipo di profilo impiegato che la lunghezza del Link

Soluzioni telaio direzione Y



Link profile = HEA400
 $e = 300 \text{ mm}$
 $V_y = 553 \text{ kN}$
 $\delta y = 0.50 \text{ mm}$
 $V_u = 830 \text{ kN}$
 $\delta u = 24 \text{ mm}$
 $M_y = 287 \text{ kNm}$
 $\theta_y = 0.00023 \text{ rad}$
 $M_u = 287 \text{ kNm}$
 $\theta_u = 0.08 \text{ rad}$

Y1



Link profile = HEA260
 $e = 300 \text{ mm}$
 $V_y = 241 \text{ kN}$
 $\delta y = 0.50 \text{ mm}$
 $V_u = 362 \text{ kN}$
 $\delta u = 24 \text{ mm}$
 $M_y = 104 \text{ kNm}$
 $\theta_y = 0.00036 \text{ rad}$
 $M_u = 104 \text{ kNm}$
 $\theta_u = 0.08 \text{ rad}$

Y2

Link profile = HEA260
 $e = 400 \text{ mm}$
 $V_y = 241 \text{ kN}$
 $\delta y = 0.67 \text{ mm}$
 $V_u = 362 \text{ kN}$
 $\delta u = 32 \text{ mm}$
 $M_y = 104 \text{ kNm}$
 $\theta_y = 0.00048 \text{ rad}$
 $M_u = 104 \text{ kNm}$
 $\theta_u = 0.08 \text{ rad}$

Y3

(Piani ultimo e terra)

Link profile = HEA260
 $e = 400 \text{ mm}$
 $V_y = 241 \text{ kN}$
 $\delta y = 0.67 \text{ mm}$
 $V_u = 362 \text{ kN}$
 $\delta u = 32 \text{ mm}$
 $M_y = 104 \text{ kNm}$
 $\theta_y = 0.00048 \text{ rad}$
 $M_u = 104 \text{ kNm}$
 $\theta_u = 0.08 \text{ rad}$

Y4

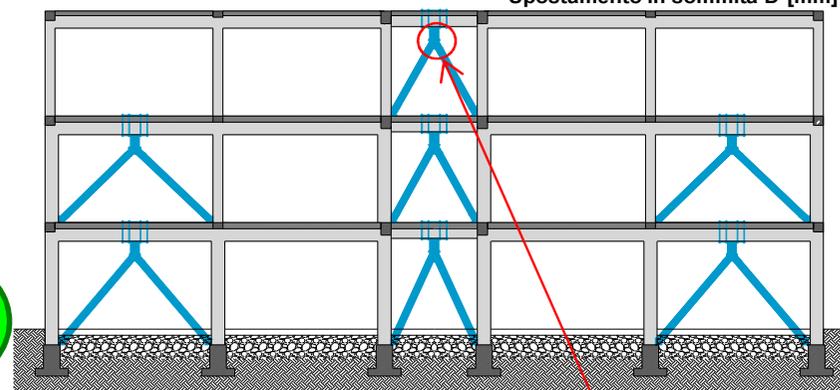
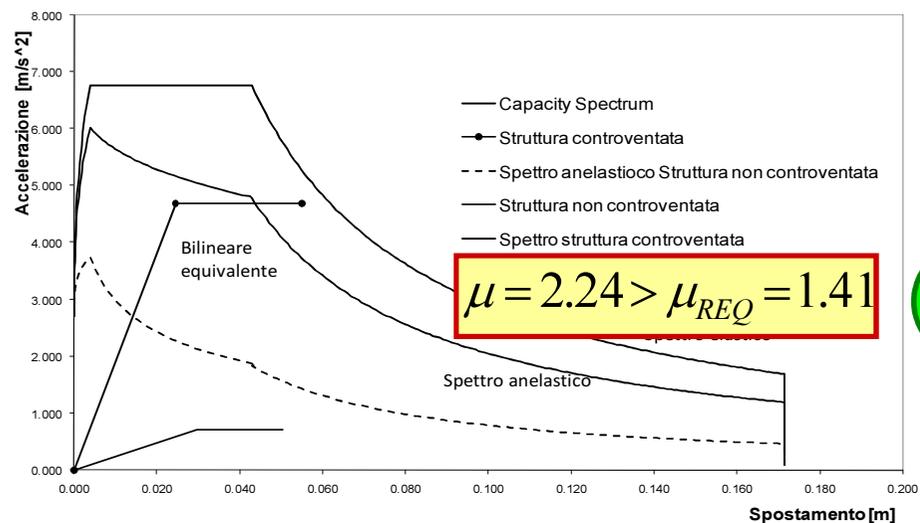
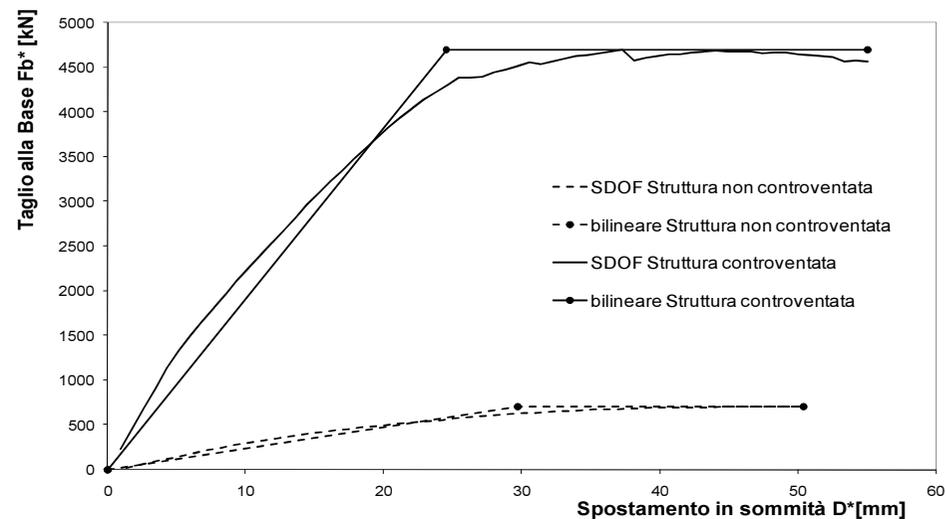
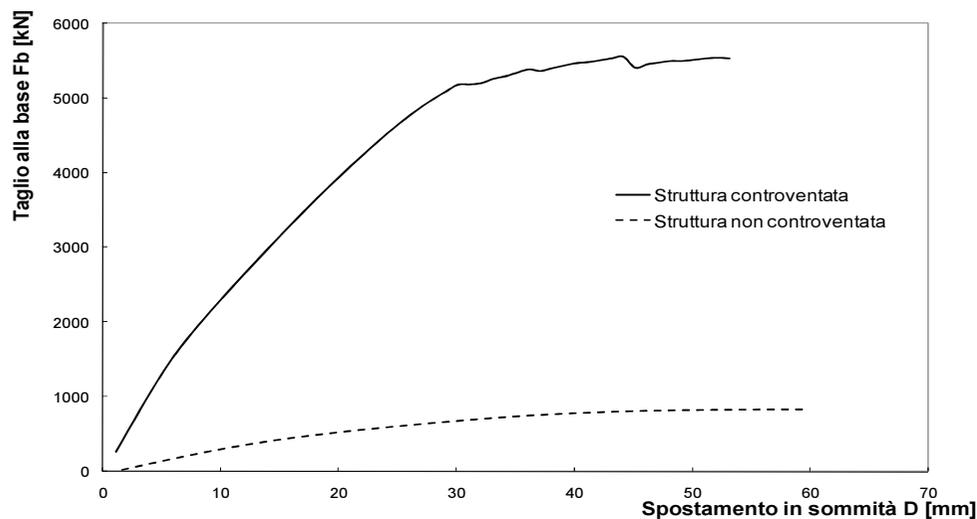
(Piano primo)

Link profile = HEA300
 $e = 400 \text{ mm}$
 $V_y = 318 \text{ kN}$
 $\delta y = 0.67 \text{ mm}$
 $V_u = 477 \text{ kN}$
 $\delta u = 32 \text{ mm}$
 $M_y = 157 \text{ kNm}$
 $\theta_y = 0.00041 \text{ rad}$
 $M_u = 157 \text{ kNm}$
 $\theta_u = 0.08 \text{ rad}$

SISTEMI DISSIPATIVI PASSIVI: APPLICAZIONE AD UN CASO STUDIO

BENCHMARK PROGETTO DI RICERCA STEELRETRO: metodologie di retrofit, controventi ECCENTRICI in acciaio

1° soluzione telaio direzione X

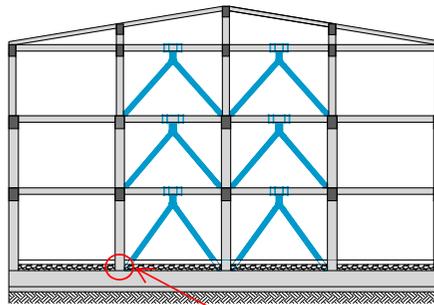
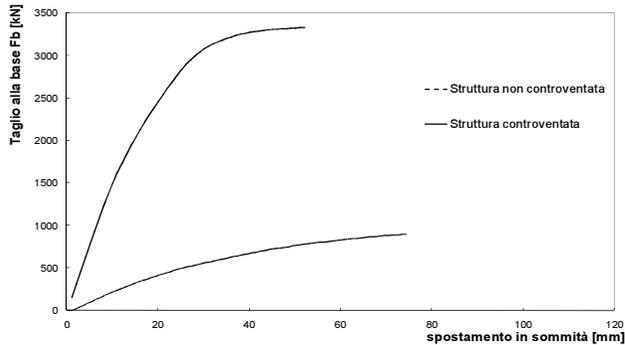


collasso: massima deformazione a taglio in corrispondenza del link del terzo impalcato

SISTEMI DISSIPATIVI PASSIVI: APPLICAZIONE AD UN CASO STUDIO

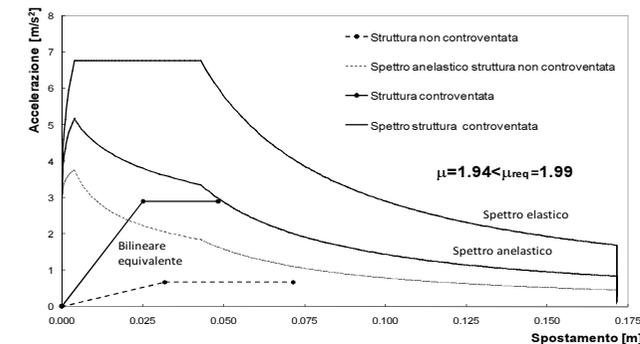
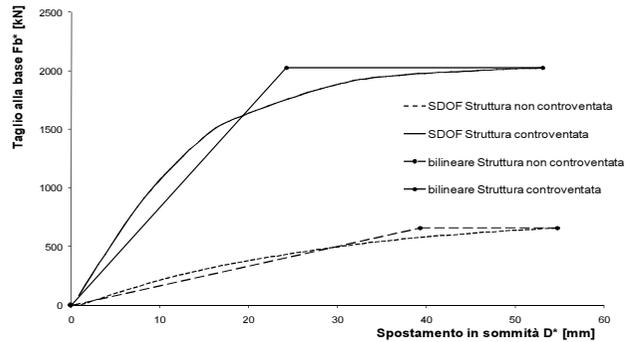
BENCHMARK PROGETTO DI RICERCA STEELRETRO: metodologie di retrofit, controventi ECCENTRICI in acciaio

SOLUZIONE Y1



collasso: sforzo normale/momento nella base della colonna al piano terra

$$\mu = 1.94 < \mu_{REQ} = 1.99$$

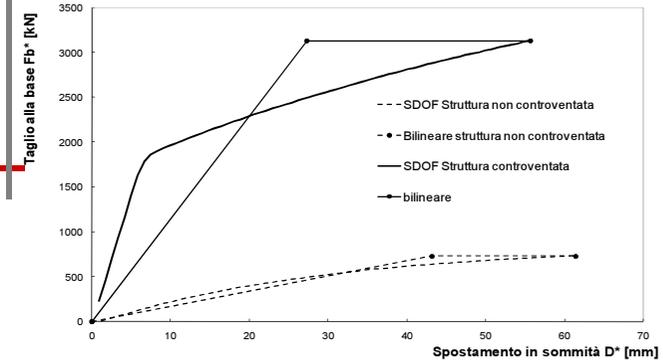
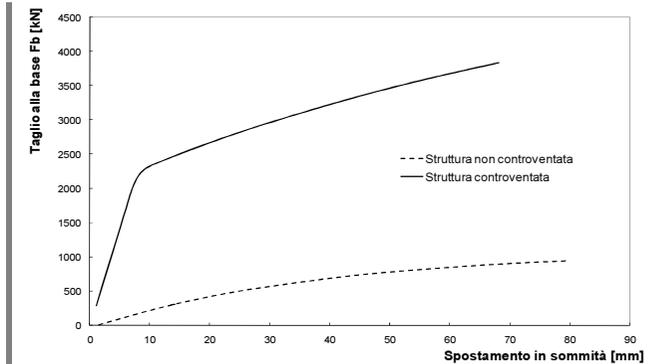


collasso: limite deformazione a taglio link terzo impalcato

$$\mu = 2.04 < \mu_{REQ} = 1.97$$



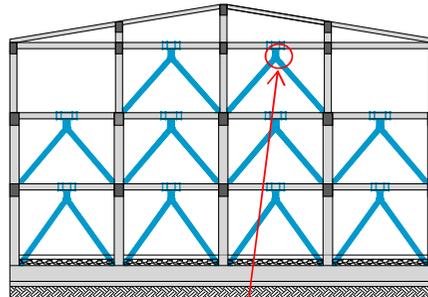
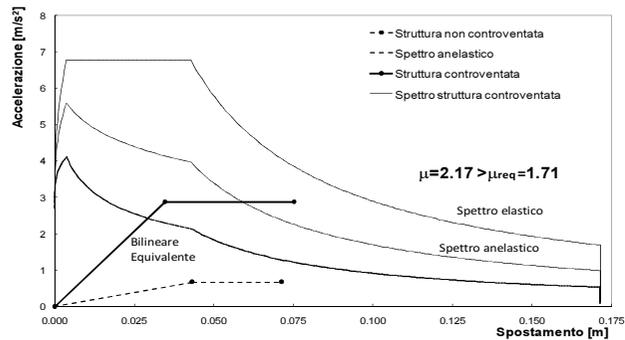
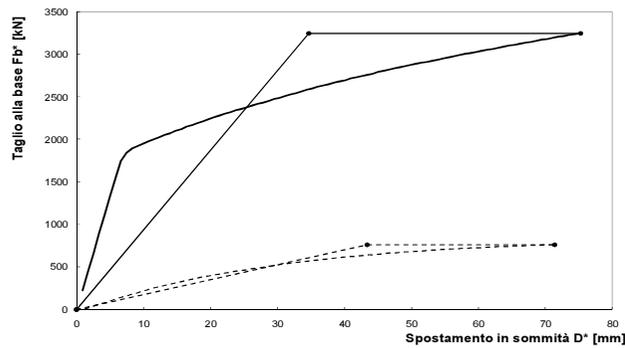
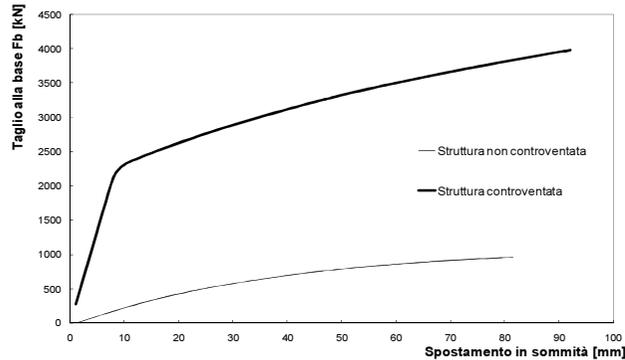
SOLUZIONE Y2



SISTEMI DISSIPATIVI PASSIVI: APPLICAZIONE AD UN CASO STUDIO

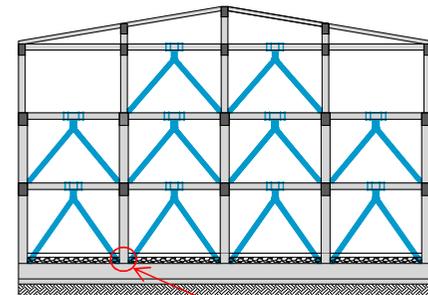
BENCHMARK PROGETTO DI RICERCA STEELRETRO: metodologie di retrofit, controventi ECCENTRICI in acciaio

SOLUZIONE Y3



collasso: limite deformazione a taglio link terzo impalcato

$$\mu = 2.17 < \mu_{REQ} = 1.91$$

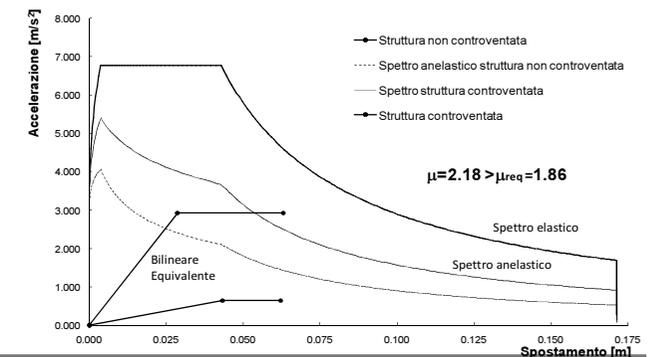
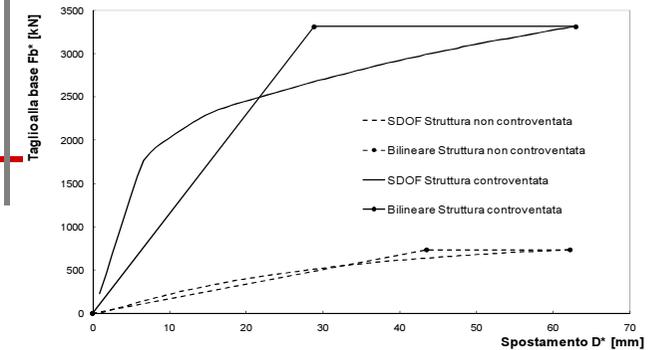
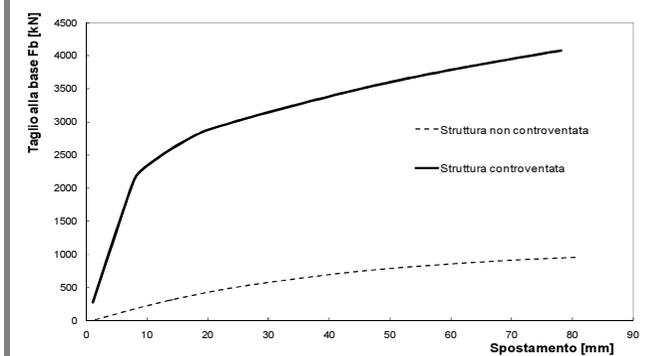


collasso: sforzo normale-flessione base colonna

$$\mu = 2.18 < \mu_{REQ} = 1.86$$



SOLUZIONE Y4

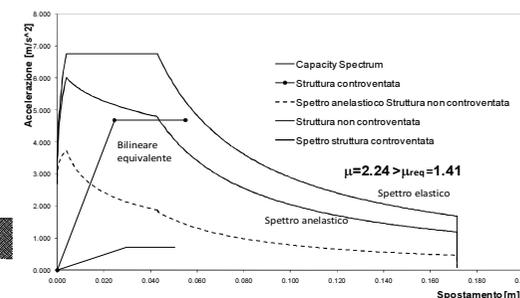
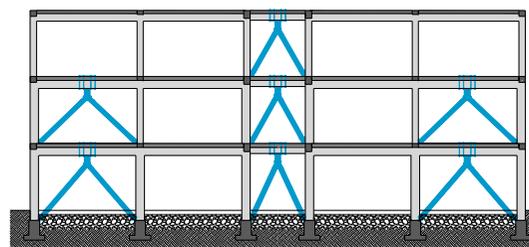


SISTEMI DISSIPATIVI PASSIVI: APPLICAZIONE AD UN CASO STUDIO

BENCHMARK PROGETTO DI RICERCA STEELRETRO: metodologie di retrofit, controventi ECCENTRICI in acciaio

Soluzione X1: buona sia in termini di rigidezza, resistenza e livello di duttilità garantito.

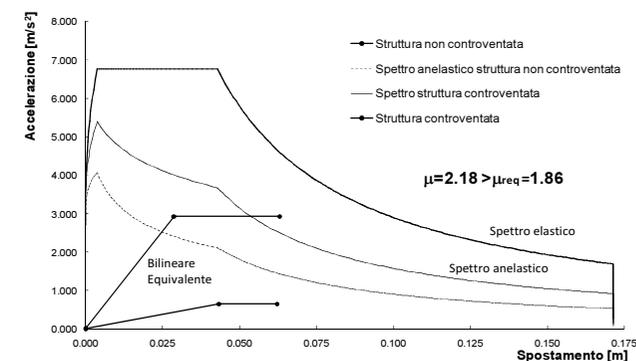
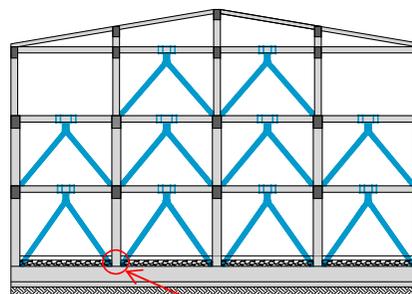
Direzione X



Soluzione Y4: incremento sia in termini di rigidezza che di resistenza e duttilità;

Soluzione Y4-HEA260/HEA300: fornisce il migliore "profilo" in termini di spostamenti (normalizzato rispetto allo spostamento dell'ultimo piano).

Direzione Y



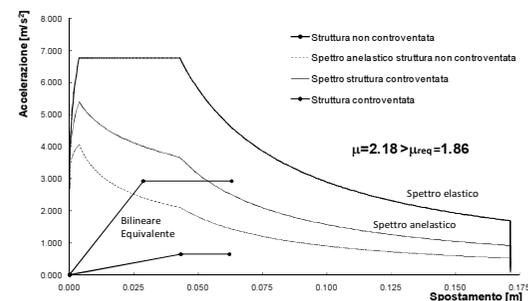
SISTEMI DISSIPATIVI PASSIVI: APPLICAZIONE AD UN CASO STUDIO

BENCHMARK PROGETTO DI RICERCA STEELRETRO: metodologie di retrofit, controventi ECCENTRICI in acciaio

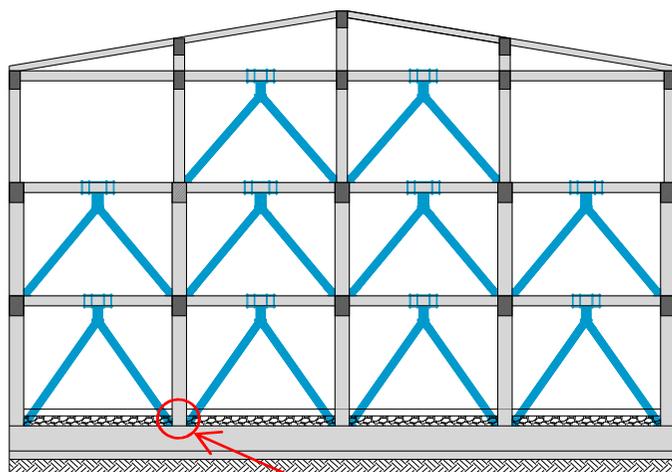
CONSIDERAZIONI GENERALI

Le soluzioni studiate con controventi ECCENTRICI in acciaio hanno i seguenti effetti sulla costruzione presa in esame:

- ✓ **Aumento della RIGIDEZZA** (minore rispetto alla soluzione con controventi concentrici)
- ✓ **Aumento della RESISTENZA**
- ✓ **Elevato aumento della DUTTILITA'**



La soluzione Y4 adotta una distribuzione dei controventi e della resistenza dei link lungo l'altezza dell'edificio che permette di ottenere uno spostamento di interpiano costante ai vari livelli, ottimizzando così il funzionamento dei controventi dissipativi



Normalized interstorey drift

