

ORDINE DEGLI INGEGNERI
DELLA PROVINCIA DI AVELLINO

CORSO DI AGGIORNAMENTO
SUL CONSOLIDAMENTO SISMICO DELLE STRUTTURE

AVELLINO, GIUGNO/OTTOBRE 2019



Relatori:

Gianmario Benzoni ⁽¹⁾

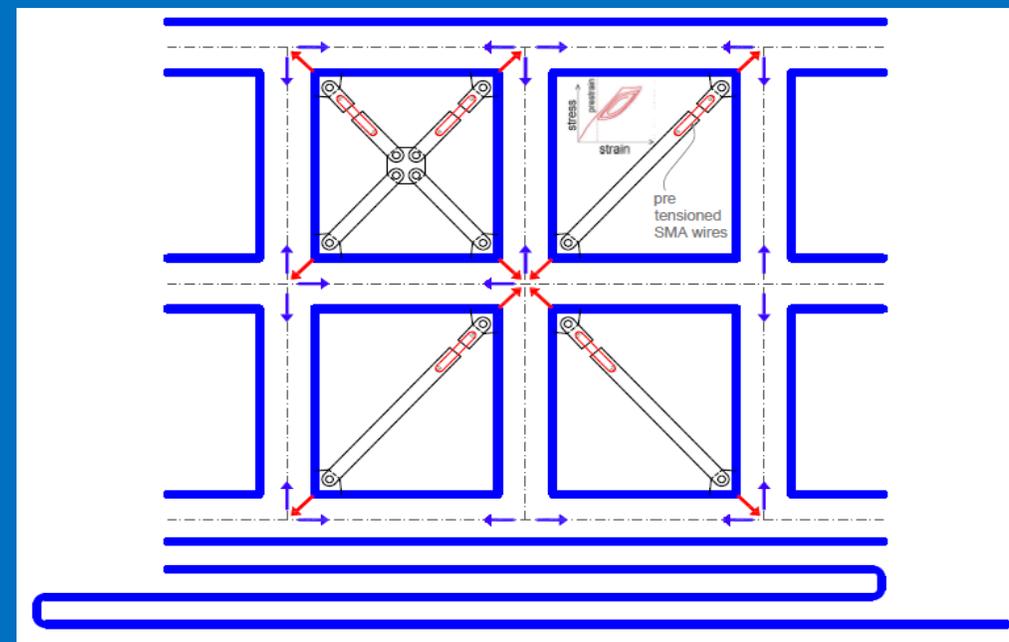
Luciano Feo ⁽²⁾

Fernando Fraternali ⁽²⁾

Giuseppe Rocchetta ⁽²⁾

⁽¹⁾ *University of California, San Diego*

⁽²⁾ *Università degli Studi di Salerno*

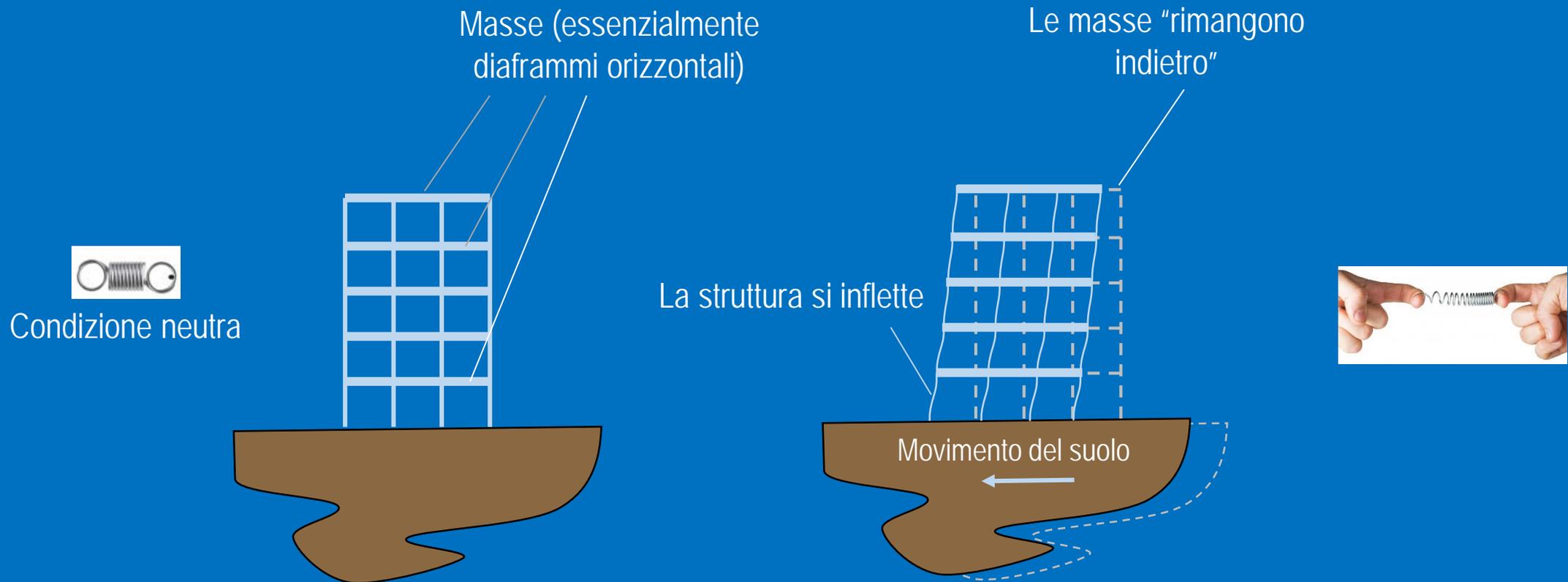


Lezione 1

- Riferimenti storici ed obiettivi fondamentali della protezione sismica delle strutture
- Casistica di dispositivi per isolamento sismico e dissipazione di energia

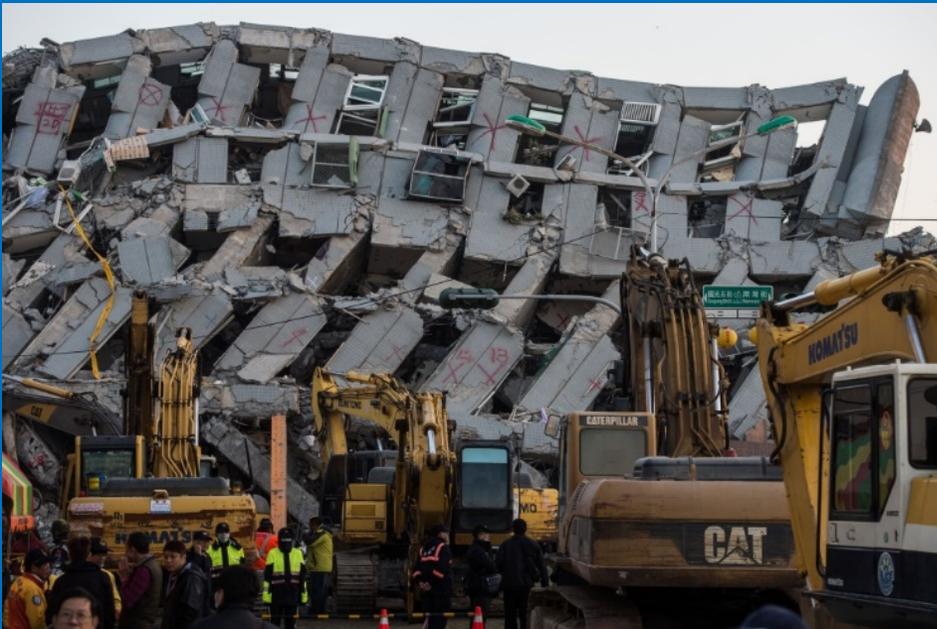
Obiettivi fondamentali della protezione sismica delle strutture

Quando il suolo si muove le strutture tendono a “rimanere indietro” a causa della loro massa (forze d’inerzia) quindi la struttura e’ sottoposta ad intensi sforzi e assorbe energia di deformazione



Maggiore e' l'energia di deformazione assorbita, maggiori sono i danni

Un obiettivo fondamentale delle tecniche di prevenzione sismica tradizionali è l'inserimento nella complesso strutturale sismo-resistente di elementi che possano assorbire l'energia di deformazione



Feb 9, 2016, Tainan Taiwan, 6.4 M
(Anthony Wallace/Afp/Getty Images)



La progettazione sismica tradizionale usa elementi sacrificali, come telai (MRF), pareti di taglio, diagonali ecc. Questi elementi si danneggiano ma prevengono il collasso



Danno a parete di taglio dopo evento sismico

La parete di taglio
assorbe la
maggior parte
dell'energia di
deformazione e si
danneggia

Il sistema verticale
si deforma meno,
assorbe una
quantita' minima
di energia di
deformazione e
soffre meno danni



Il sistema che resiste alle forze laterali (LRF) deve essere:

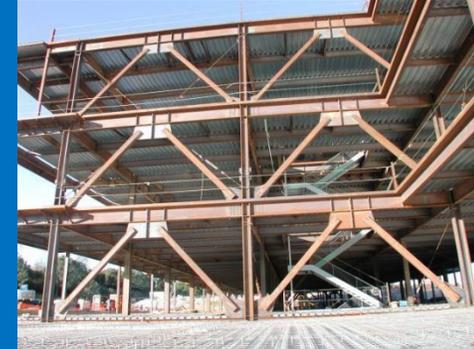
1. Più rigido del sistema verticale (VFR) per assorbire la maggior parte dell'energia sismica di deformazione
2. Duttile per sostenere danni senza crolli



Telai (MRF)



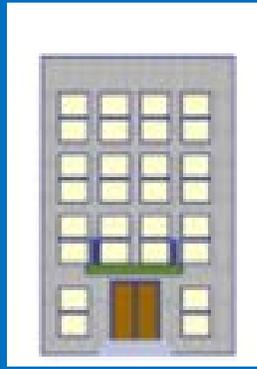
Pareti di taglio



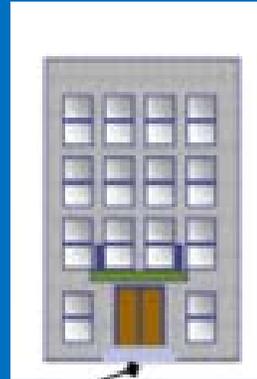
Diagonali

Data l'esistenza di elementi sacrificali, nelle strutture sismiche tradizionali per diversi livelli di intensita' sismica si accettano diversi livelli di danno

VISION 2000 Performance objectives



Nessun danno



Nessun danno strutturale



Lievi danni strutturali



Danni strutturali ingenti

Intensita' dell'evento

	intatto	operativo	sicuro	prossimo al collasso
EQ frequente (~1/100 anni)	○	○	○	
EQ raro (~1/500 anni)	○	○	○	
EQ molto raro (~1/1000 anni)		○	○	○

Edifici importanti/infrastrutture
Strutture essenziali
Edifici ordinari

Quali sono I costi di un evento sismico?

Terremoto	M€ (attualizzato)	Periodo
Belice 1968	8375	1968-2018
Friuli 1976	16917	1976-2006
Irpinia 1980	47470	1980-2023
Umbria-Marche 1997	12284	1997-2024
S. Giuliano 2002	1300	2002-2023
Abruzzo 2009	17458	2009-2047
Emilia 2012	8171	2012-2047
Italia centrale 2016	13163	2016-2047

Costo attualizzato dei terremoti in Italia degli ultimi 50 anni

Prospettiva 1:

Totale in 50 anni ~150 Miliardi di euro

3 miliardi all'anno

2500 euro per italiano (anche neonato)

Tanti soldi

Prospettiva 2:

3 miliardi/60 milioni = 50 euro/anno

Una famiglia di 3 persone ---> 150 /anno

E' la cifra media di un'assicurazione

Assicurare le case o adeguarle sismicamente?



Il Cretto di Gibellina
opera di «landart»
Alberto Burri
(in ricordo del terremoto del Belice 1968)

Se crediamo nell'adeguamento sismico chiediamoci Quanto sono efficaci le procedure correnti?

Una risposta ce la fornisce la situazione di Christchurch in Nuova Zelanda

- Evento del 22 Feb. 2011 (Mw 6.2*) (a seguito di Mw=7.1 di 6 mesi prima)
- 182 vittime di cui 135 dovute al crollo di due edifici in c.a.
- Circa il 50% di edifici in c.a. pre-1970 fortemente danneggiati (risultato atteso perche' mai adeguati sismicamente)
- Elevato numero di edifici in c.a. recenti moderatamente o severamente danneggiati ma con comportamento sismico adeguato al progetto
- Collasso di un edificio in c.a. del 1980 (maggior numero di vittime)

**Magnitudo momento (Mw): utilizzata dai sismologi per misurare l'intensità dei terremoti in termini di energia liberata.*

Molti danni sono stati ritenuti troppo costosi per essere riparati
(con problemi assicurativi aggiunti) per cui moltissimi edifici
sono stati parzialmente o totalmente demoliti

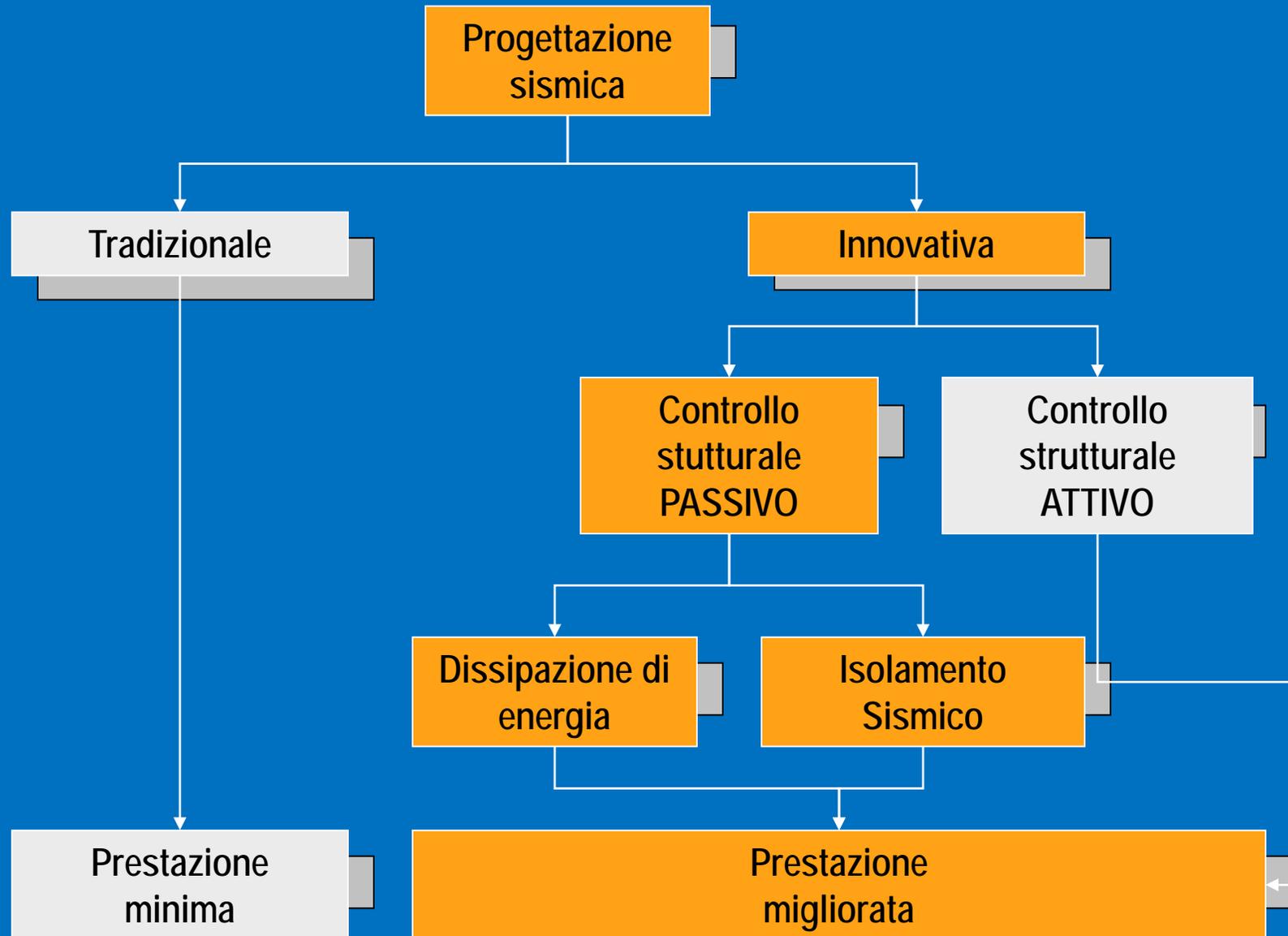


Il concetto di duttilita' e' chiaramente associato al danneggiamento. mentre il danno in civili abitazioni e' accettabile se e' assicurata la protezione della vita esso non e' accettabile se e' richiesto il rapido re-utilizzo della struttura dopo il sisma e se si vogliono contenere i costi di riparazione.

Abbiamo allora bisogno di strategie (tecnologiche e di progettazione) che consentano di minimizzare/eliminare i danni strutturali e non strutturali in casi di eventi di moderata o estreme intensita'

Possiamo operare su tre variabili:

- Capacita' sismica piu elevata attraverso il capacity-design
- Riduzione della domanda sismica: isolamento sismico**
- Meccanismi con duttilita' e danno contenuto: precompressione, sistemi "rocking", controventi dissipativi ecc.

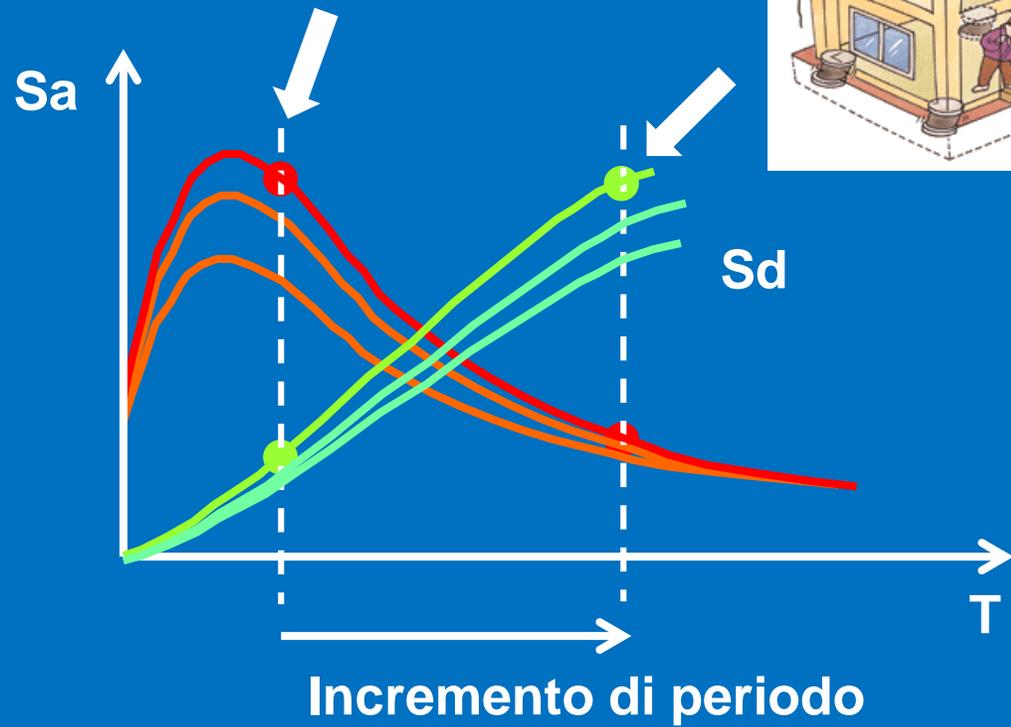
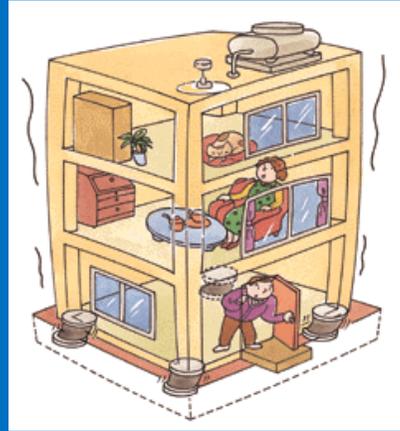


Concetti di base dell'isolamento sismico

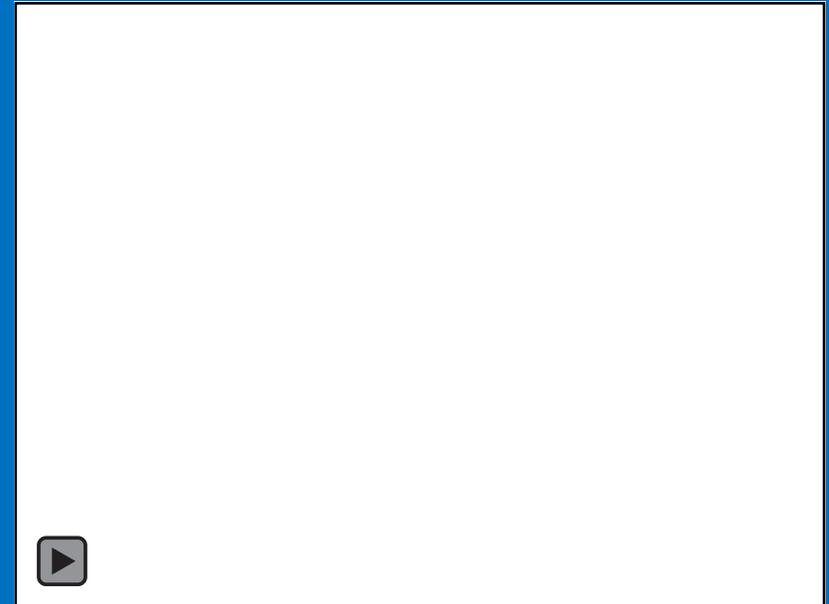


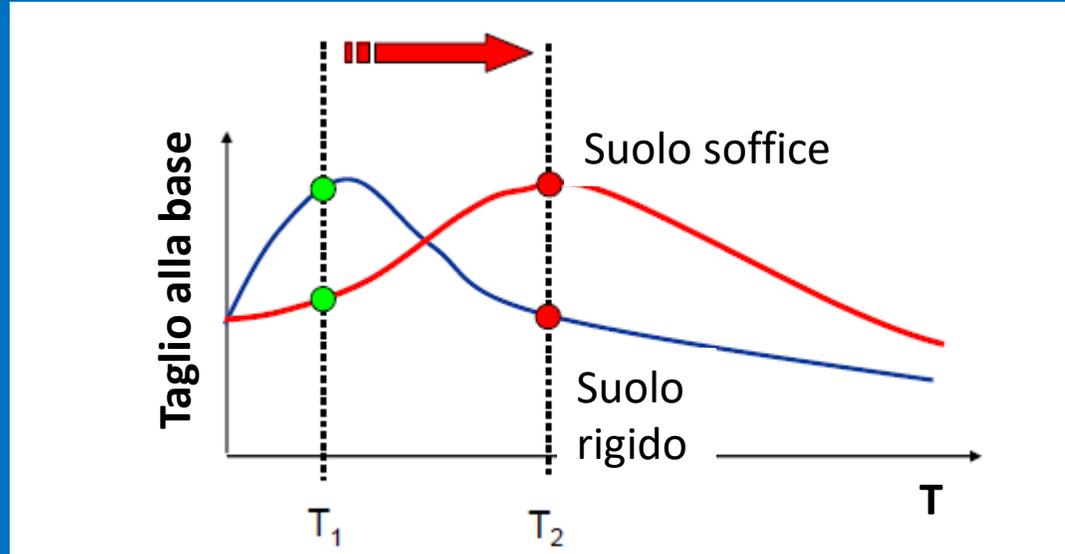
ISOLAMENTO SISMICO

Isolamento s.m. 1. Esclusione da rapporti o contatti con l'ambiente circostante, per lo più motivata da ragioni di sicurezza o di incompatibilità' (G.Devoto-G.C. Oli)



Video BUILDING MODEL
(vedi materiale supplementare)



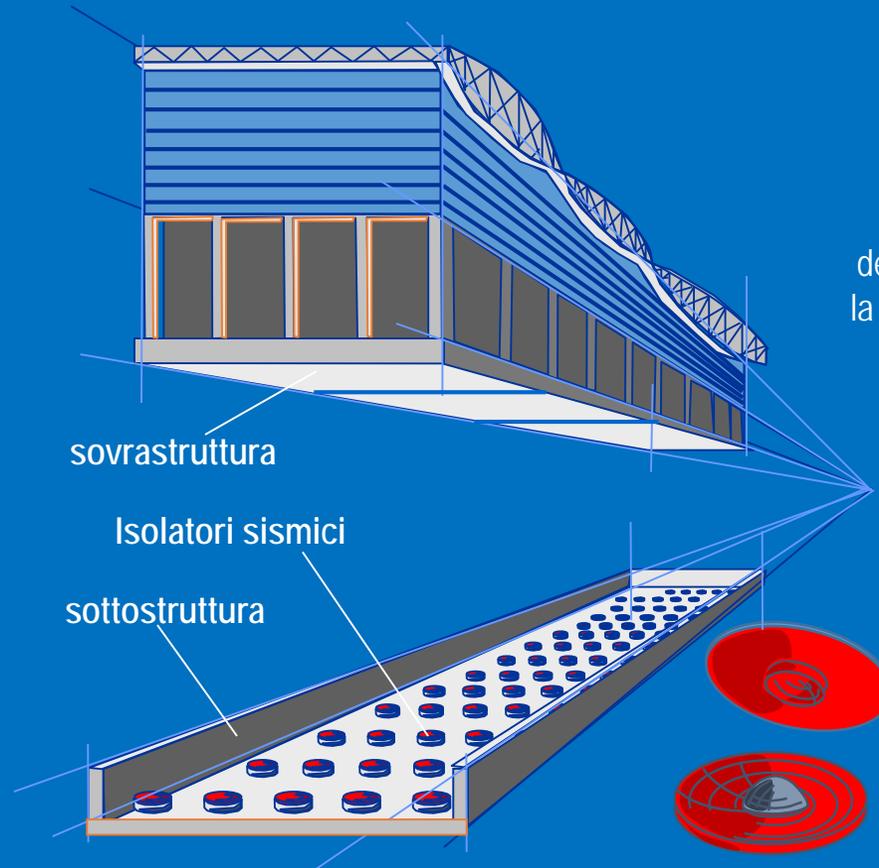


Periodo struttura
non isolata

Periodo struttura
isolata

Attenzione: Un terreno soffice tende a produrre moti del terreno con periodi più alti (e.g. Mexico City ~2s)

Come e' possibile "aumentare" il periodo proprio della struttura ?
"Disaccoppiamo" la sovrastruttura dalla sottostruttura inserendo elementi molto deformabili

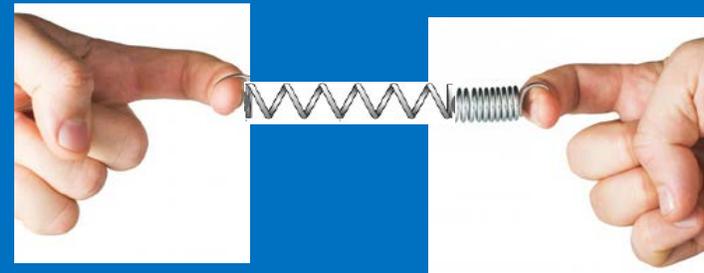


San Francisco International Flight Terminal,
isolato con 267 isolatori del tipo
Friction Pendulum

Isolatori che si
deformano e assorbono
la gran parte dell'energia
di deformazione



Gli elementi verticali
non si inflettono e non
assorbono energia di
deformazione



San Francisco International Flight Terminal



93,000 mq

Il requisito di progetto e' che la struttura rimanga elastica in un evento "estremo" (10% prob. in 100 anni con periodo di ritorno di 1000 anni).

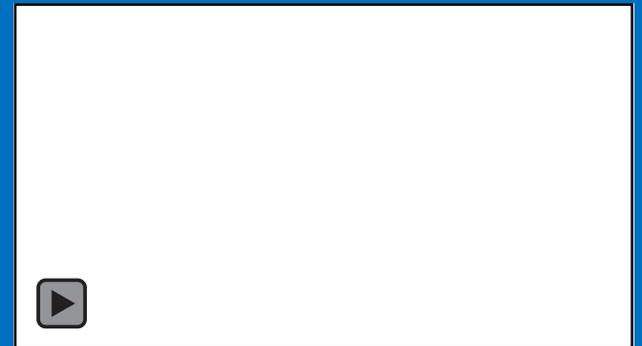
Massimo spostamento relativo lungo la parete a vetri di 280 mm per non avere rotture dei vetri (~1% interstory drift)

267 isolatori ad attrito (friction pendulum)

$T_{is}=3$ s $D_{max}=508$ mm

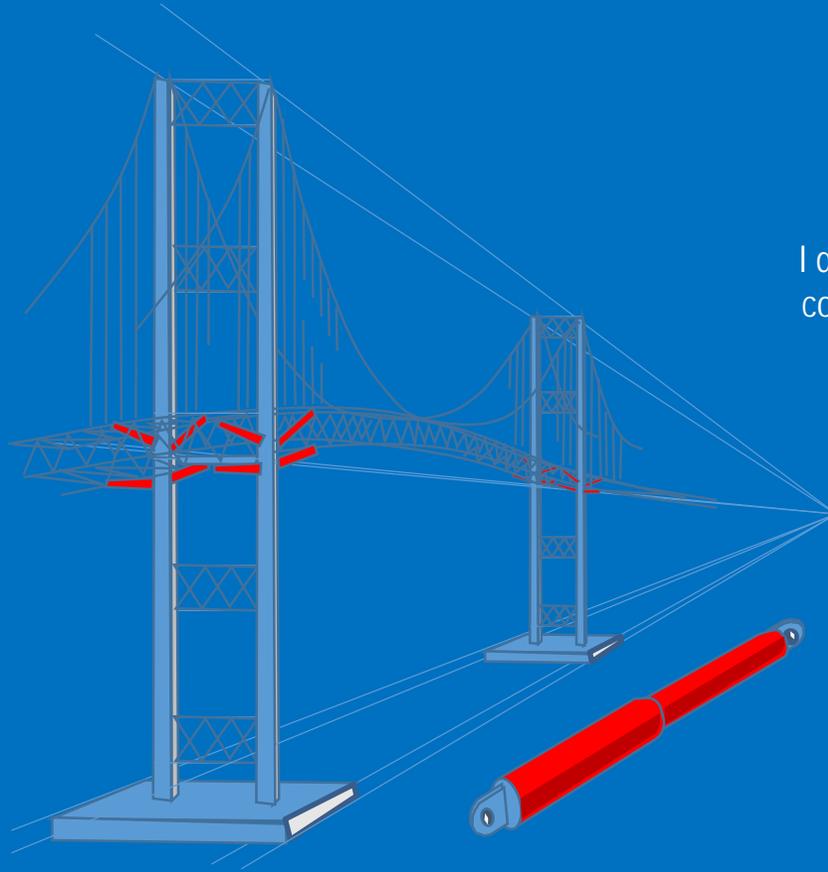


Video FRICTION PENDULUM
(vedi materiale supplementare)



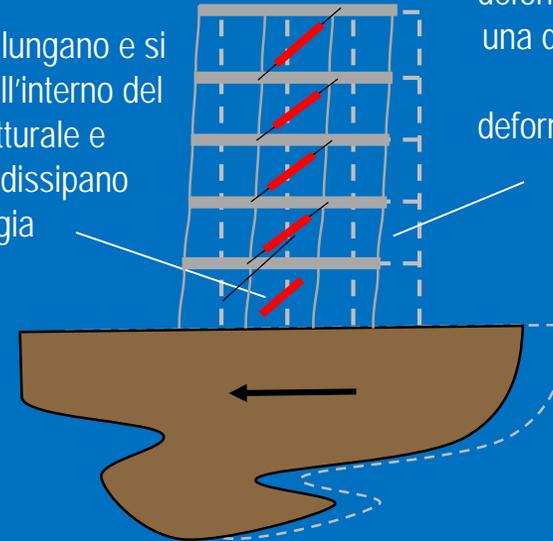
Concetti di base di interventi con dissipazione di energia

L'uso di dissipatori di energia ha lo scopo di aumentare il livello di smorzamento



Vincent Thomas Bridge, San Pedro CA
con 16 smorzatori viscosi (dampers)

I dampers si allungano e si contraggono all'interno del telaio strutturale e assorbono+dissipano energia



Il sistema verticale si deforma meno, assorbe una quantità minima di energia di deformazione e subisce danni minimi





334 kN

1.3 MN

334 kN

VINCENT THOMAS BRIDGE – LOS ANGELES

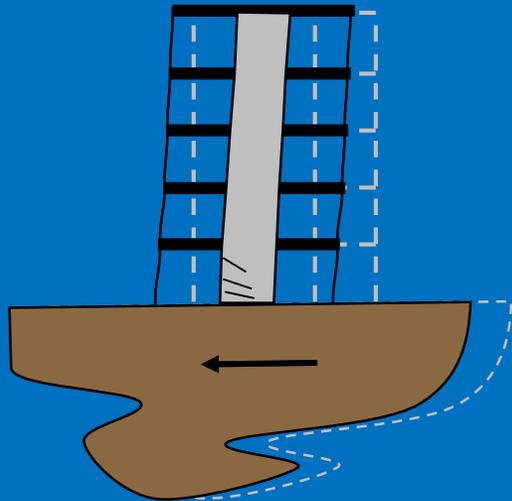
Massimo spostamento orizzontale +/- 0.66 m



Confronti tra diverse strategie di protezione sismica

Riassumendo:

**SISTEMA LATERALE
RESISTENTE (LRF)**

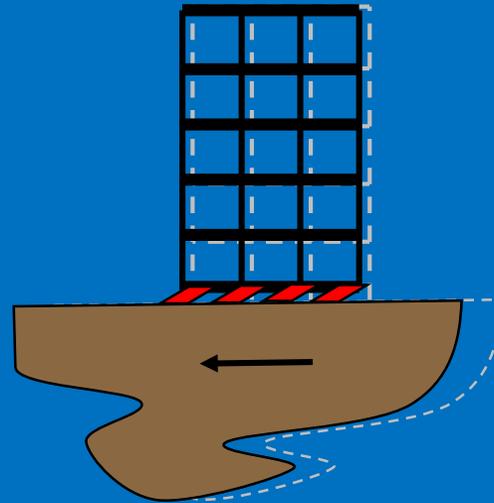


Energia di deformazione
~15%



■ LRF ■ VFR

ISOLAMENTO

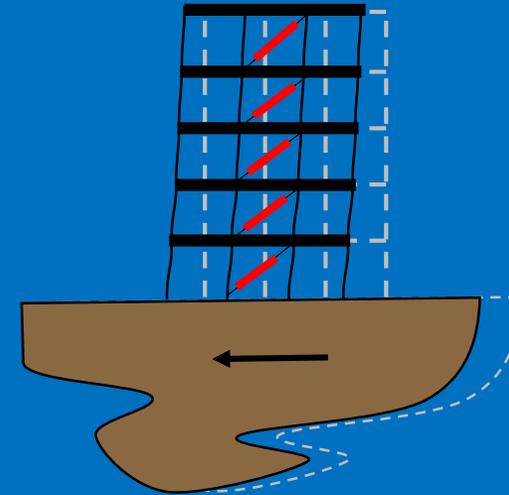


Energia di deformazione
~5%



■ Isolation ■ VFR

DISSIPAZIONE

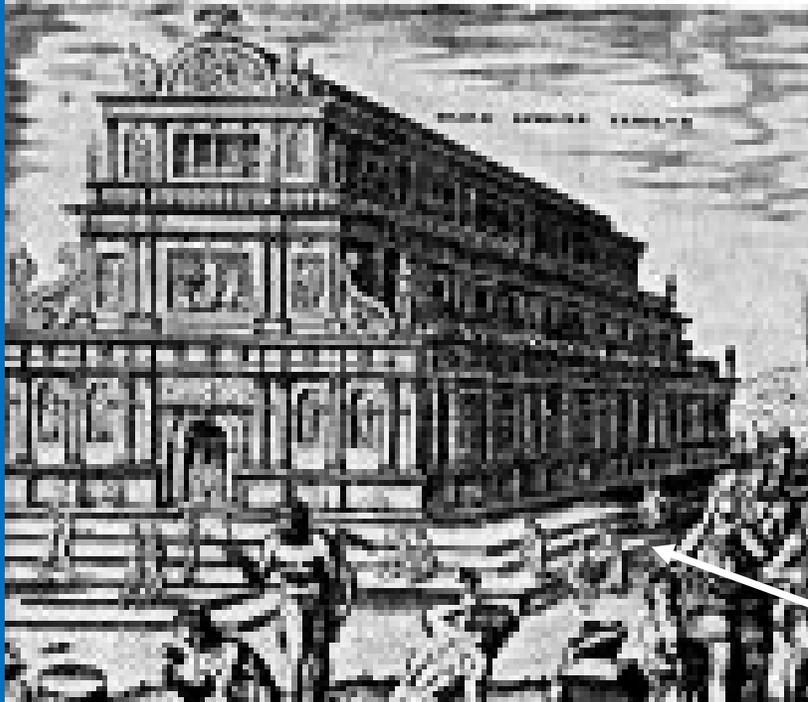


Energia di deformazione
~15%



■ Damper ■ VFR

- Riferimenti storici dell'isolamento sismico



Tempio di Diana ad Efeso

(attuale Turchia a circa 50 km da Sminrne)

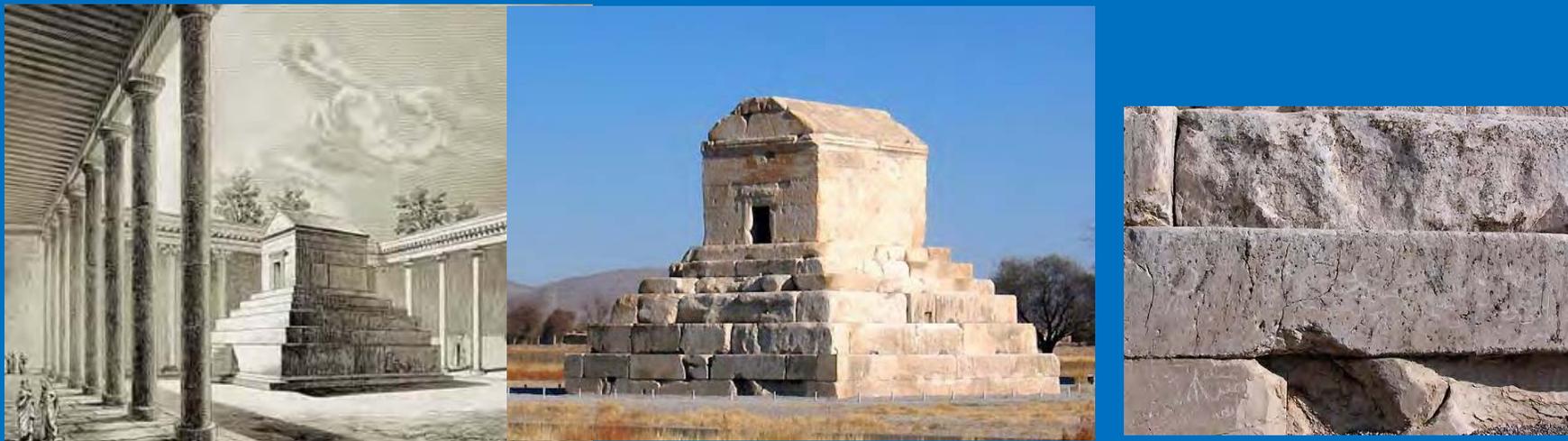
Localita' : Ephesus, Asia Minore

Costruito: 550 A.C.

*Era considerato una delle sette meraviglie del mondo per le sue spettacolari dimensioni
Oggi ne sopravvivono minimi resti*

***Inserimento di pelli e carbone
sotto le fondazioni***

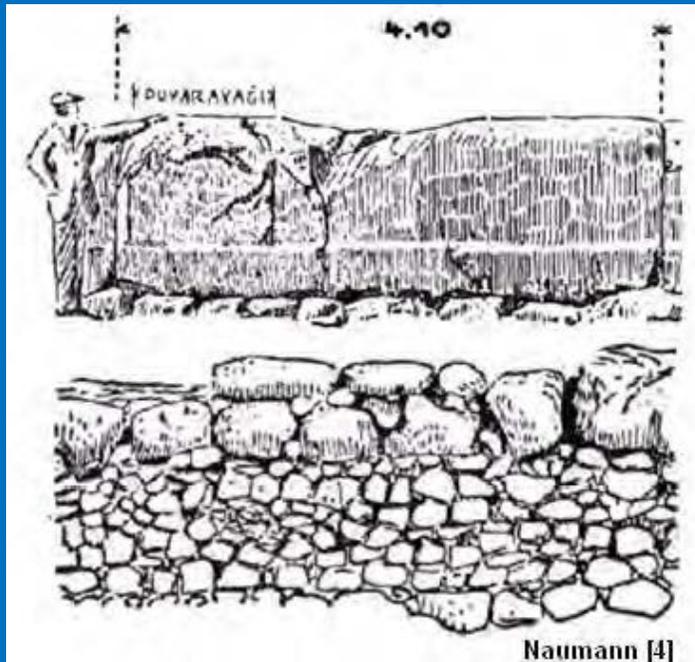
Graece magnificentiae vera admiratio exstat templum Ephesiae Dianae
CXX annis factum a tota Asia. in solo id palustri fecere, ne terrae motus
sentiret aut hiatus timeret rursus ne in lubrico atque instabili fundamenta
tantae molis locarentur, calcatis ea substravere carbonibus, dein velleribus
lanae (*Plinius, Naturalis Historia*)



Tomba di Ciro il Grande,
Pasargadae – sud-est IRAN (550 A.C.)

*Diversi strati di pietra lisciata con
nessuna malta o altro materiale tra di
loro*

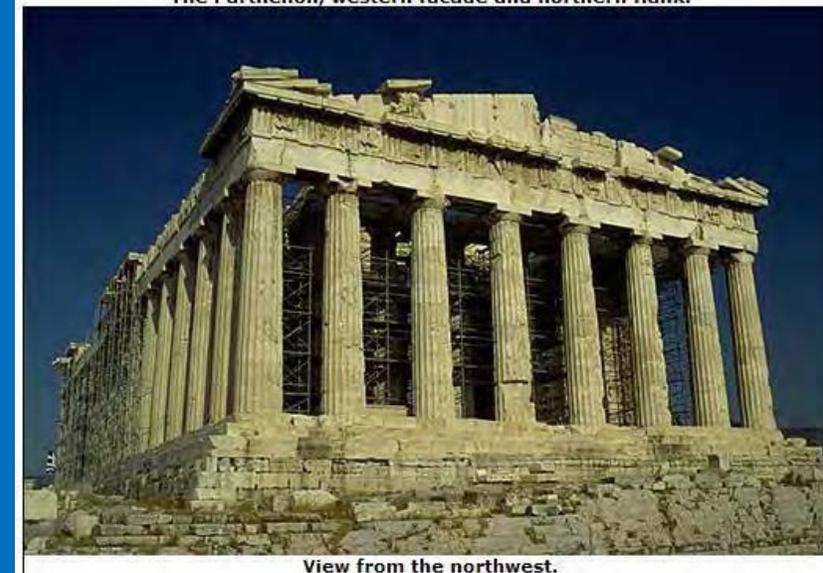
Il Partenone e l'Acropoli di Atene



Stati di pietra “ortostatici” senza
malta in monumenti
dell’Acropoli di Atene



The Parthenon, western facade and northern flank.



View from the northwest.

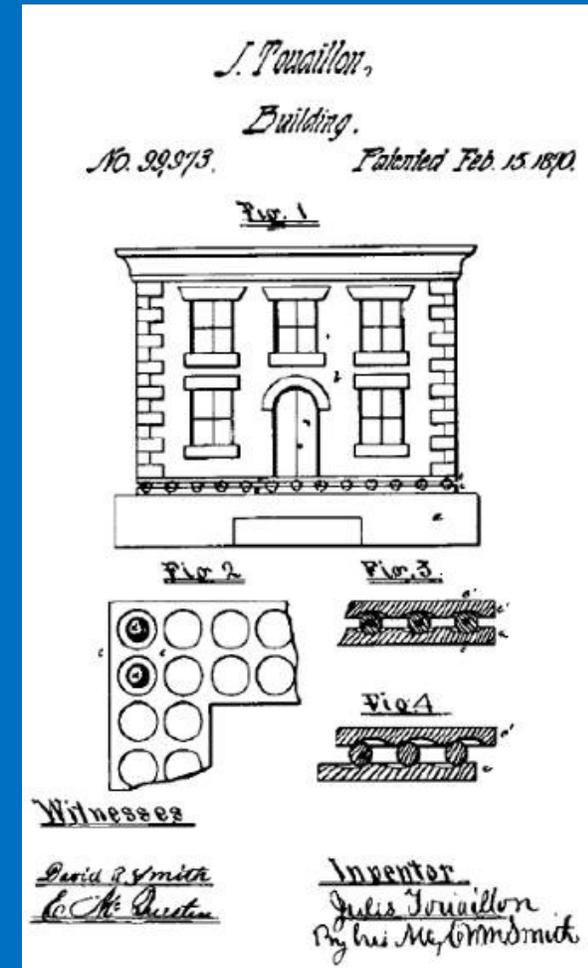


Obelisk of Theodosius (Egyti)
(Dikilitash (Egyptian) Obelisk
Istanbul
4 cubi in bronzo e in pietra

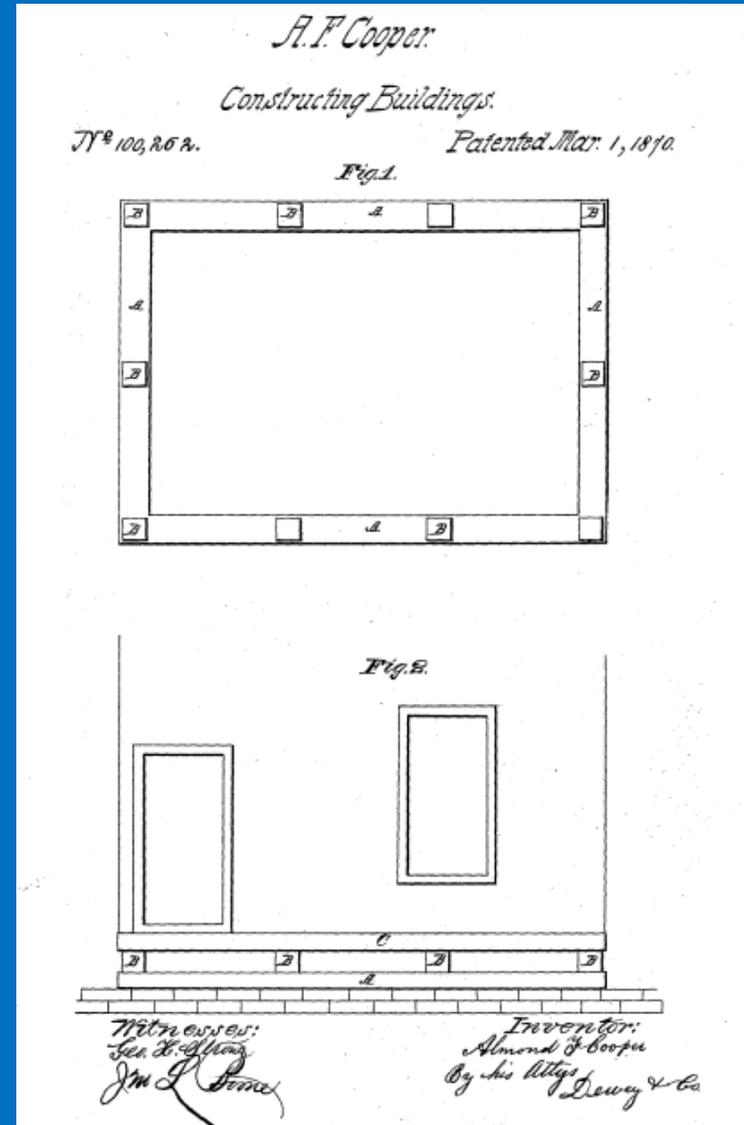
Costruzioni tradizionali di Lahijan (Iran)



Il primo documento che certifica l'idea di progettazione di un edificio con un sistema che disaccoppi il moto della struttura dal suolo, risale al 15 febbraio 1870, ad opera del francese Jules Touaillon. Il sistema ideato da Touaillon prevedeva l'uso di sfere portanti poste tra la base della sovrastruttura e la fondazione (US Patent -San Francisco nr. 338240, 1870).



Pochi giorni dopo, il 1 marzo 1870, Almond F. Cooper registrò il brevetto n. 100.262 per “Improved foundation for Buildings” in cui si prevede, sotto alle murature dell’edificio e sopra il cordolo di fondazione, l’inserimento di primordiali isolatori in gomma (India-rubber buffers).



Nel 1885, John Milne, uno scienziato britannico tra gli inventori della sismografia, professore di ingegneria mineraria presso l'Imperial College of Engineering a Tokyo dal 1875-1895, costruisce la sua casa in legno isolata alla base, fondata su pali sulle cui teste sono inserite delle piastre in ghisa con bordi, che contengono palline metalliche.



Sopra le palline metalliche e attaccate alla struttura ci sono piastre leggermente concave. Non contento per il comportamento del dispositivo sotto l'azione del vento, Milne cambiava successivamente la dimensione delle palline riducendone il diametro.

Dopo il terremoto di Messina-Reggio Calabria del 28/12/1908, con oltre 100.000 morti, una commissione speciale fu costituita per suggerire le modalita' della ricostruzione, mentre numerose iniziative private venivano messe in campo. Tra queste un concorso internazionale, bandito nella primavera del 1909 dalla Societa' Cooperativa Lombarda di Opere Pubbliche, ed uno in ottobre, dal Collegio Toscano degli ingegneri ed architetti. Entrambi i concorsi furono vinti da Arturo Danusso.



La commissione, nelle sue conclusioni, ritenne che due fossero gli approcci possibili per una edilizia antisismica: il primo prevede di isolare il fabbricato dal terreno per mezzo dell'interposizione di un letto di sabbia al di sotto delle fondazioni, oppure attraverso l'uso di rulli sotto le colonne che permettano all'edificio di muoversi orizzontalmente. Il secondo approccio, quello tradizionale a base fissa, prevede limitazioni nelle altezze ed è realizzabile imponendo al progettista la verifica alle azioni sismiche orizzontali, attraverso una forza laterale assegnata di progetto. Tra i due approcci proposti venne raccomandato il secondo.

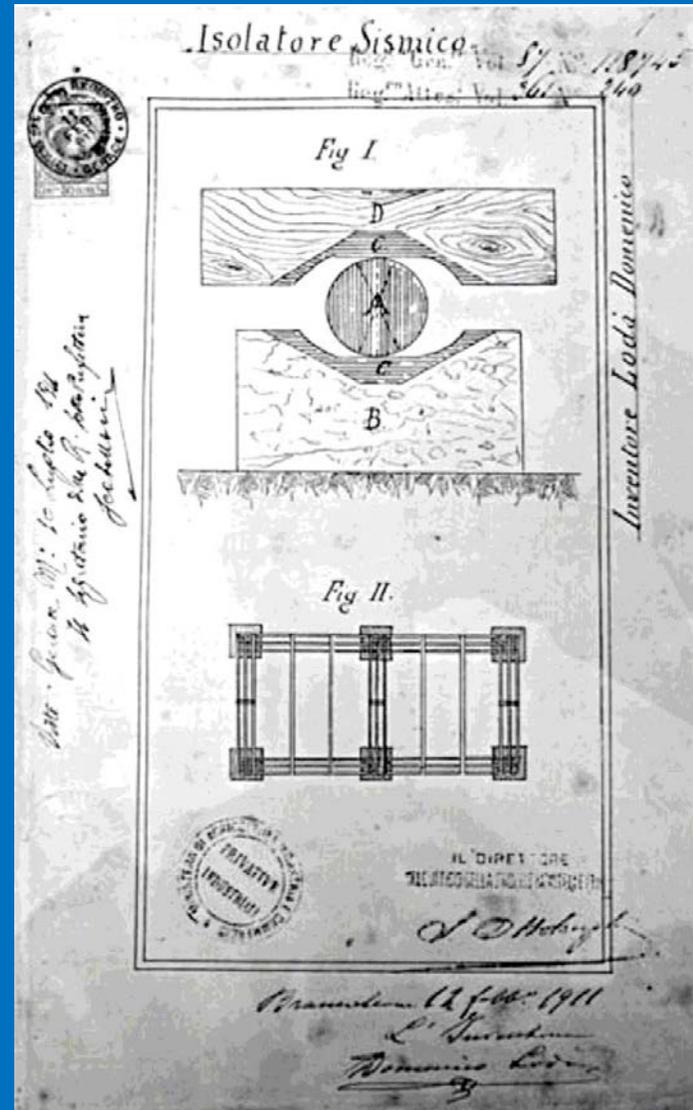
...sembra pertanto che la migliore direttiva verso la soluzione del problema sia rappresentata dal seguente quesito: Rendere minima, compatibilmente colle esigenze pratiche di una casa, la somma di energia che si trasmette dalla commozione tellurica al fabbricato. A molti e' parso che questo enunciato contenesse non l'inizio ma il termine della soluzione cercata. Essi hanno detto: riformiamo completamente il modo di appoggio dell'edificio sul terreno: anziche' radicarlo su salde fondamenta, liberiamolo in modo che esso poggi come sopra una specie di carrello mobile in tutte le direzioni col minimo possibile attrito. La forza di trascinamento del terremoto tendera' a svanire e l'edificio rimarra' imperturbabile, mentre la scossa infuriera' sotto i suoi piedi. Il ragionamento e' svelto, elegante e non fa una grinza. Ma, per tradurlo in atto, i proponenti hanno dovuto ricorrere ad una serie di congegni meccanici come rulli, sfere, molle e sospensioni elastiche, congegni che snaturano la casa poiche' convertono le fondamenta, che dovrebbero possedere una stabilita' secolare, in un sistema metallico che ha bisogno di essere curato, sorvegliato, lubrificato per cinquanta, per cento anni, di generazione in generazione e che alla fine, scosso da un terremoto, con suprema ingratitudine funzionera' male o non funzionera' affatto. Immaginate, per esempio, una delle sfere d'acciaio che per un secolo e' stata ferma a sopportare il peso del fabbricato e pensate soltanto all'attrito di primo distacco che essa dovrebbe vincere per mettersi in movimento e liberare la casa dagli effetti della scossa! Non mi sembra qui il caso di procedere ad una critica severa di questi sistemi meccanici. Chi ha visitato l'esposizione dei lavori presentati al recente concorso di Milano dove tali sistemi apparivano in grande numero con tutto il relativo corredo di modelli e disegni, ha riportato certamente l'impressione della loro insufficienza per i fini della pratica.

*Arturo Danusso, La statica delle costruzioni antisismiche
Atti della Societa' degli Ingegneri e degli Architetti in Torino 1909.*

Nel cinquantenario dei terremoti di Messina, (sulla rivista *Il cemento*, n. 57, 1960) Danusso scrive, ricordando il concorso internazionale di Milano del 1909:

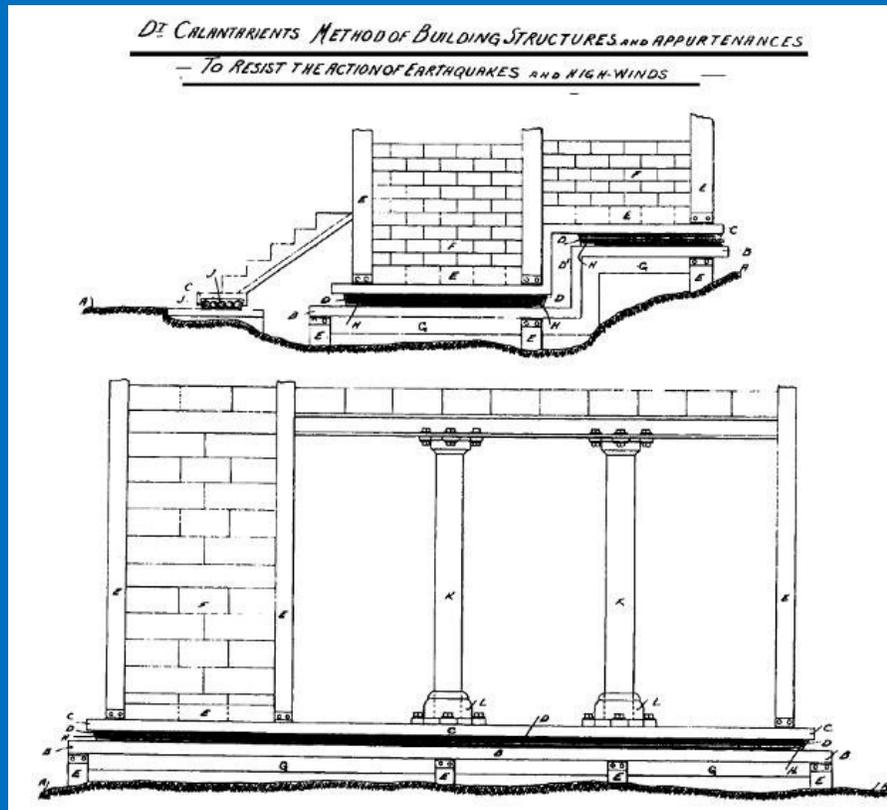
“Uscendo, mi incuriosì un minuscolo modello di casetta cubica, leggiadramente agghindata ai balconcini e alle finestre, e poggiata sui quattro angoli su mollette di ottone a spirale. Un foglietto a fianco notava candidamente: “la notizia del disastro mi ha provocato un forte dolore regionale e nazionale. Sono un orologiaio, ho pratica di molle, e penso che possano farvi servizio. Date, per favore, un colpetto col dito: vedrete la casa oscillare tranquillamente e poi fermarsi senza danno. Il terremoto farà lo stesso effetto. Non premiatemi, ma pensate e provvedete.”

10 gennaio 1909 - brevetto n. 100.443 per un sistema di Fondazioni asismiche, dell'ing. Mario Viscardini della Ferrobeton di Genova, molto simile a quello che brevetterà nel 1911, lo studioso Domenico Loda'.

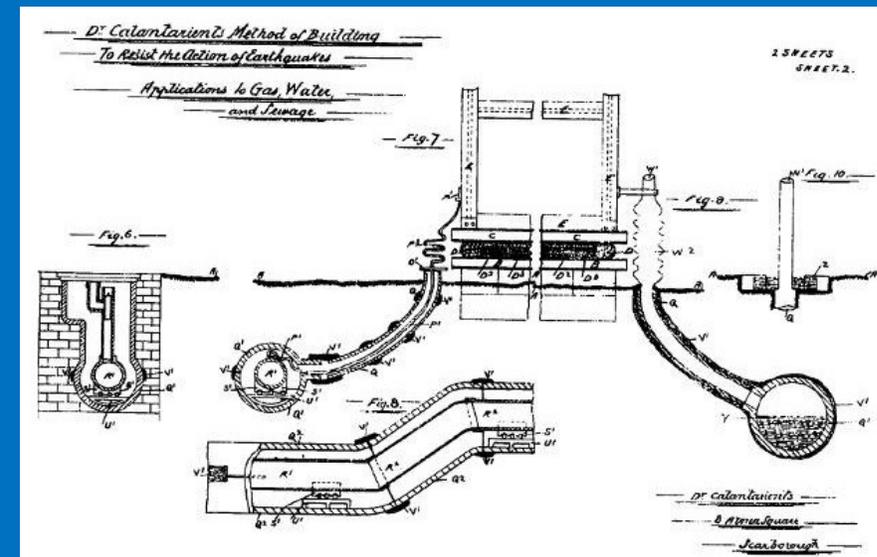


J.A. Calentarients nasce nel 1838 in Armenia. Dopo gli studi primari ad Istanbul, si trasferisce in Inghilterra, dove si laurea in medicina.

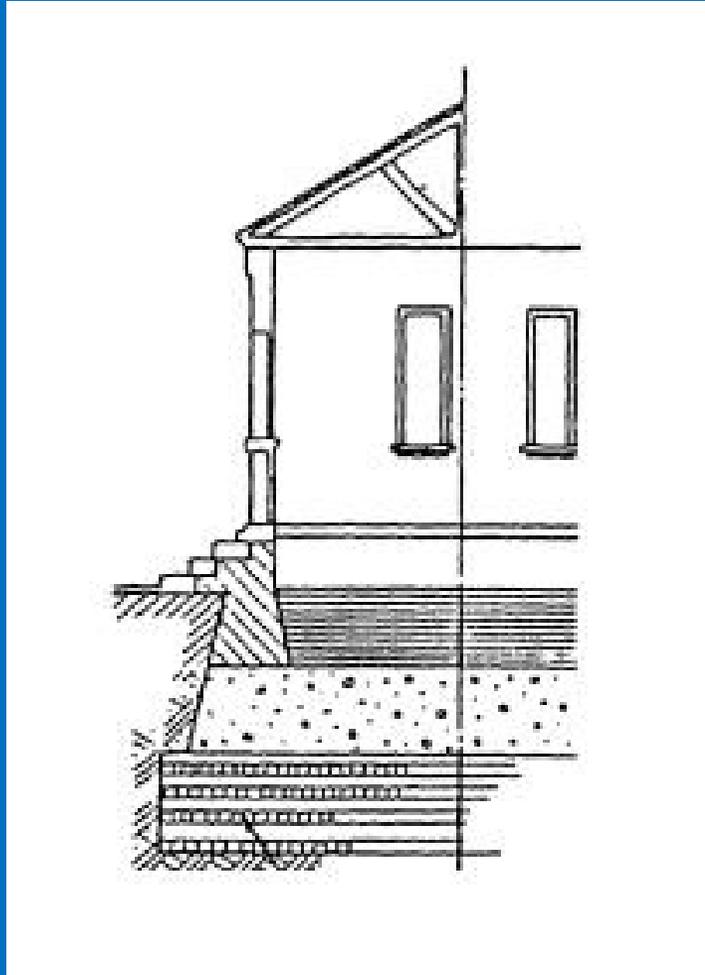
Nel 1909 brevetta un'invenzione del sistema di isolamento alla base per le costruzioni. (Brevetto italiano n. 101.901 del 26 aprile 1909).



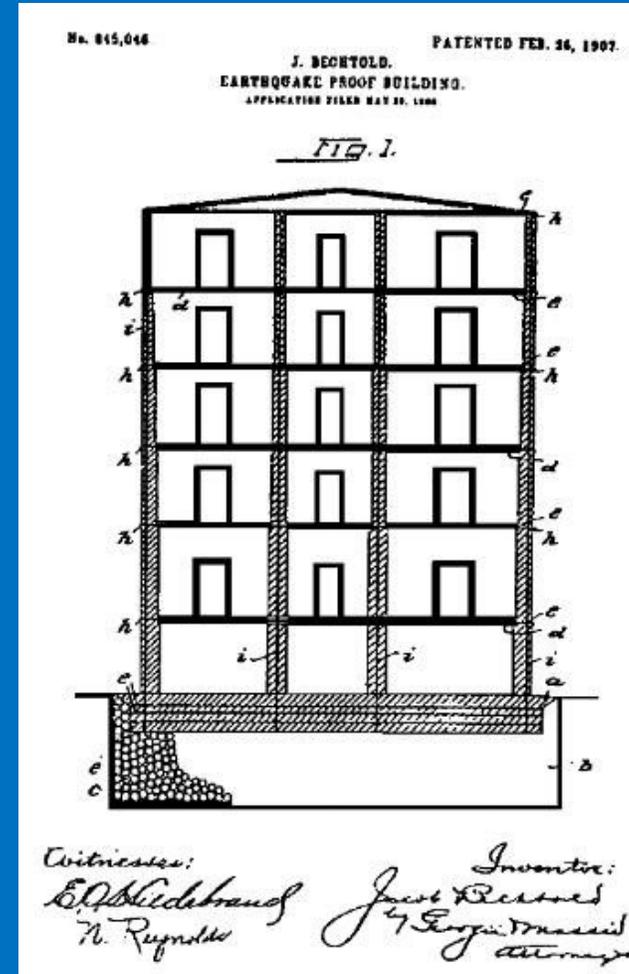
Strati di Mica con polvere di talco



Altri brevetti storici



1891 Kouzou Kawai



1906 Jakob Bechtold

A. Westwood
1897

(No Model.)

A. WESTWOOD,
MEANS FOR SUPPORTING ENDS OF GIRDERS, &c.

No. 592,852.

Patented Nov. 2, 1897.

FIG. 1.

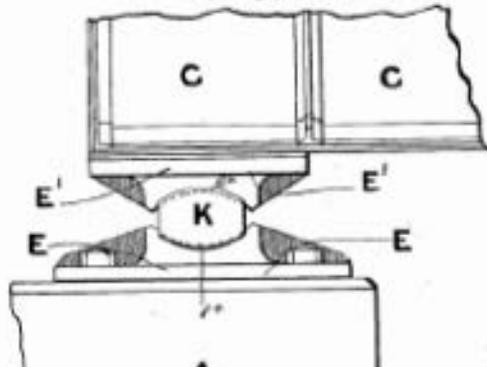
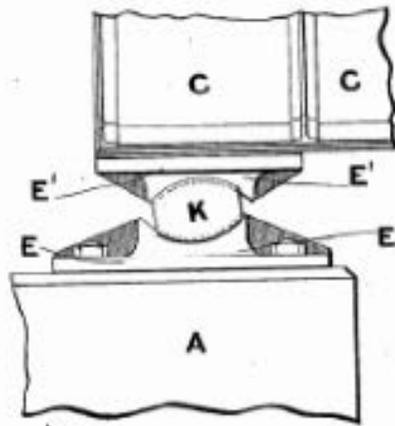
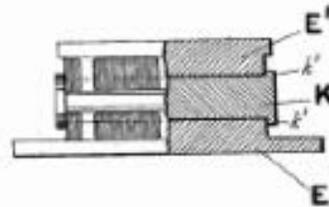


FIG. 2.



Witnesses
H. A. ...
G. A. ...

FIG. 3.



Inventor
Alfred Westwood
Richard ...
Attorneys

Oct. 17, 1967

A. L. K. PENKUHN

3,347,002

THREE POINT FOUNDATION FOR BUILDING STRUCTURES

Original Filed Feb. 12, 1964

FIG-2

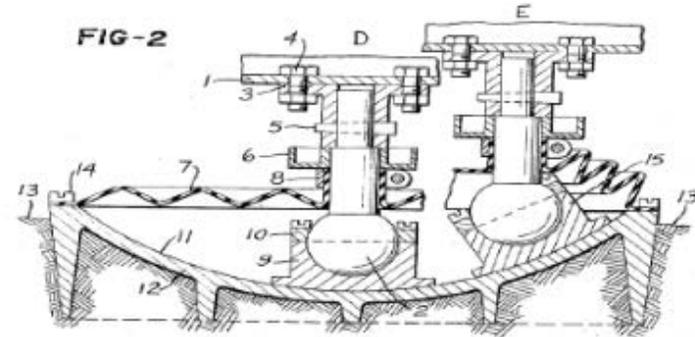


FIG-1

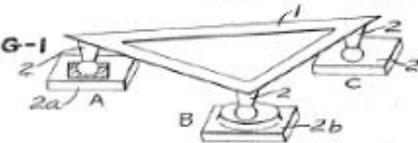


FIG-3

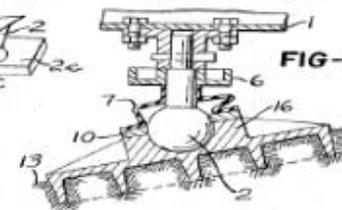


FIG-4

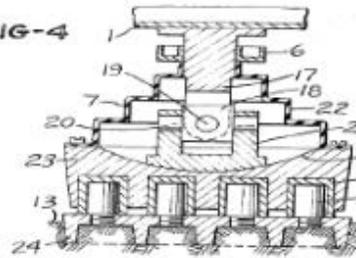
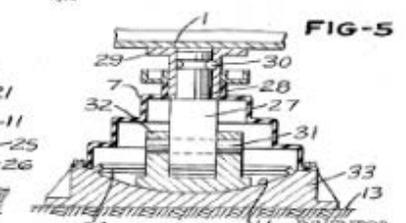


FIG-5



INVENTOR
ARNO L. K. PENKUHN
BY
Melvin H. Rosby

Penkuhn 1967

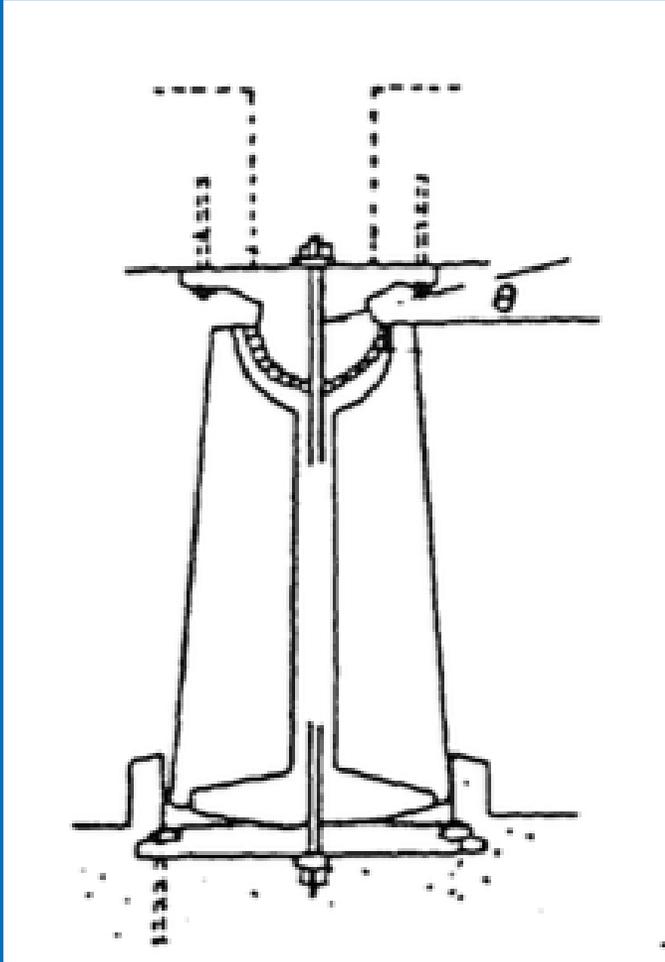


*Frank Lloyd Wright's
Imperial Hotel a Tokyo*

Uno strato superficiale di terreno di buona qualita' sopra uno strato di terreno soffice saturo. Pali corti terminati nello strato soffice.

L'edificio sopravvisse alla scossa del 1 settembre 1923 (magnitudo 7.9) , che distrusse quasi completamente la citta' di Tokyo (~140.000 morti).

...prime applicazioni in edifici:



PRIMA APPLICAZIONE

Fudo Chokin Bank, Himeji Branch-1934, Japan

Fudo Chokin Bank, Shimonoseki Branch-1934, Japan

Sistema di isolamento proposto da Ryuichi Oka nel
1928



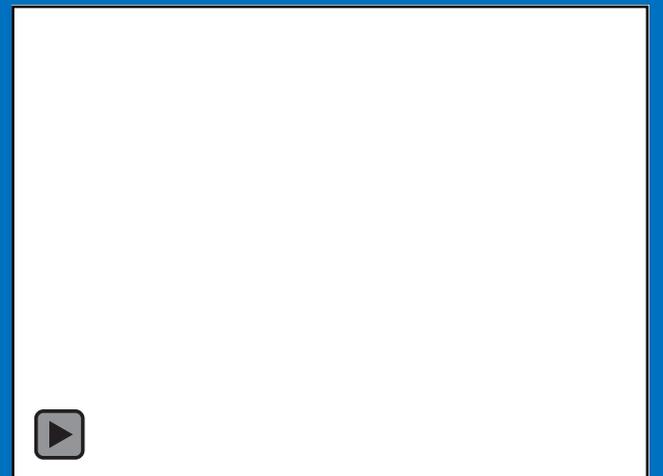
*Scuola "Pestalozzi" a
Skopje costruita dopo il
terremoto del Luglio 1963
(completata 1969)*

Prima applicazione europea



Video ELASTOMERICO
(vedi materiale supplementare)

Gli isolatori, composti dalla sovrapposizione di fogli di gomma spessi 7 cm, non armati, avevano una rigidezza vertical paragonabile a quella orizzontale e questo comportava una elevata deformabilita' della struttura anche in senso verticale, tanto che vi fu la necessita' di inserire vincoli aggiuntivi per stabilizzare l'edificio nei confronti del vento. Nel 2007 tutti gli isolatori sono stati sostituiti da isolatori moderni tipo HDRB (High Damping Rubber Bearing)

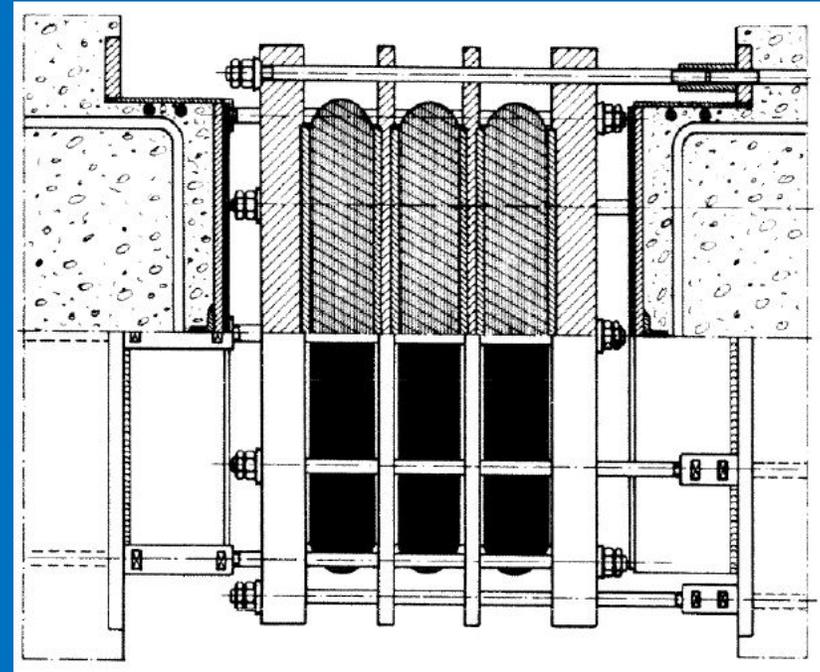


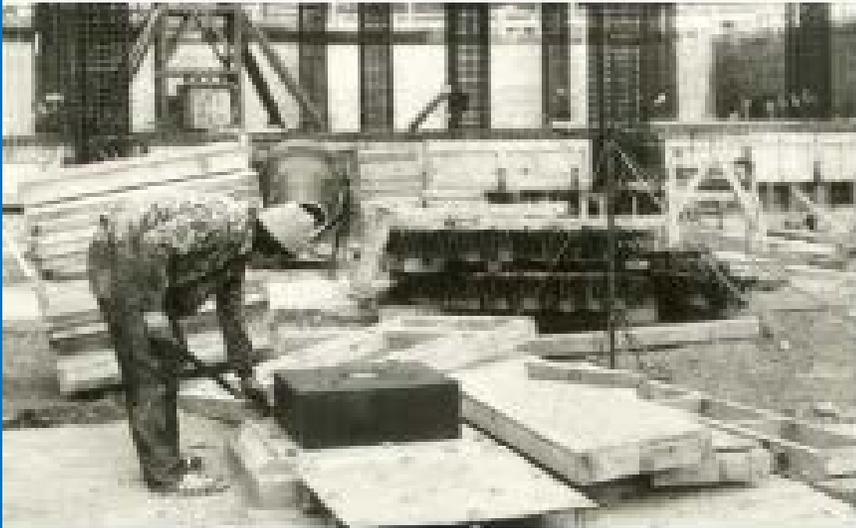


In costruzione durante il terremoto del Friuli 1976. Nessun danno subito

*Viadotto Somplago sulla Udine
Carnia:*

*6 Dispositivi elastici Forza = 3000 kN
Spostamento = ± 66 mm*



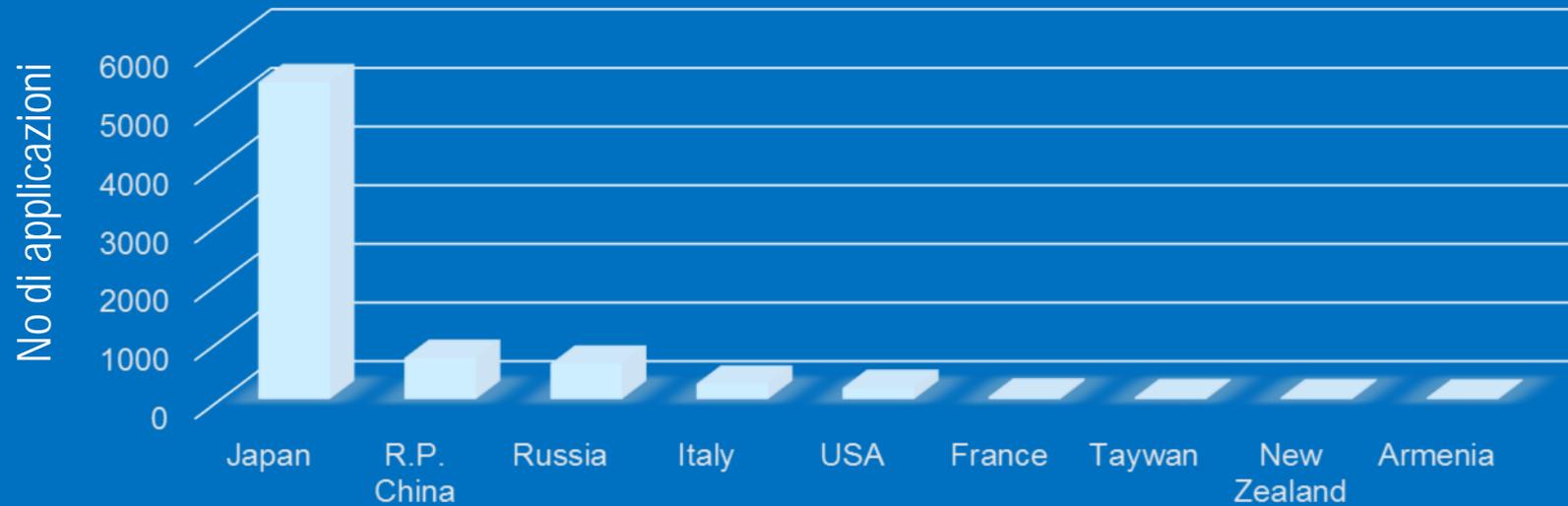


The first lead rubber bearing in the world being installed into the William Clayton Building, Wellington, New Zealand, 1981.



Il William Clyton Building di Wellington (NZ), del 1981, e' il primo edificio ad essere stato progettato con isolamento sismico alla base attraverso isolatori in gomma piombo (LRB).

Numero di applicazioni dell'isolamento ad edifici (dati Martelli 2010)



Il numero e' enormemente cresciuto negli ultimi anni. Vanno aggiunte applicazioni a ponti e strutture speciali (impianti industriali, serbatoi, musei, opera d'arte ecc.)

Caltrans SRMD Testing Facility presso la University of California, San Diego

E' un laboratorio che analizza la risposta sperimentale di dispositivi di modifica della risposta sismica ("seismic response modification devices" o SRMD), come i sistemi di dissipazione di energia e gli isolatori sismici, con particolare attenzione alle rilevanti strutture da ponte affidati in manutenzione al Dipartimento dei Trasporti della California ("California Department of Transportation" – Caltrans)

Direttore ed ideatore:

Gianmario Benzoni

Editor in Chief della rivista Ingegneria Sismica

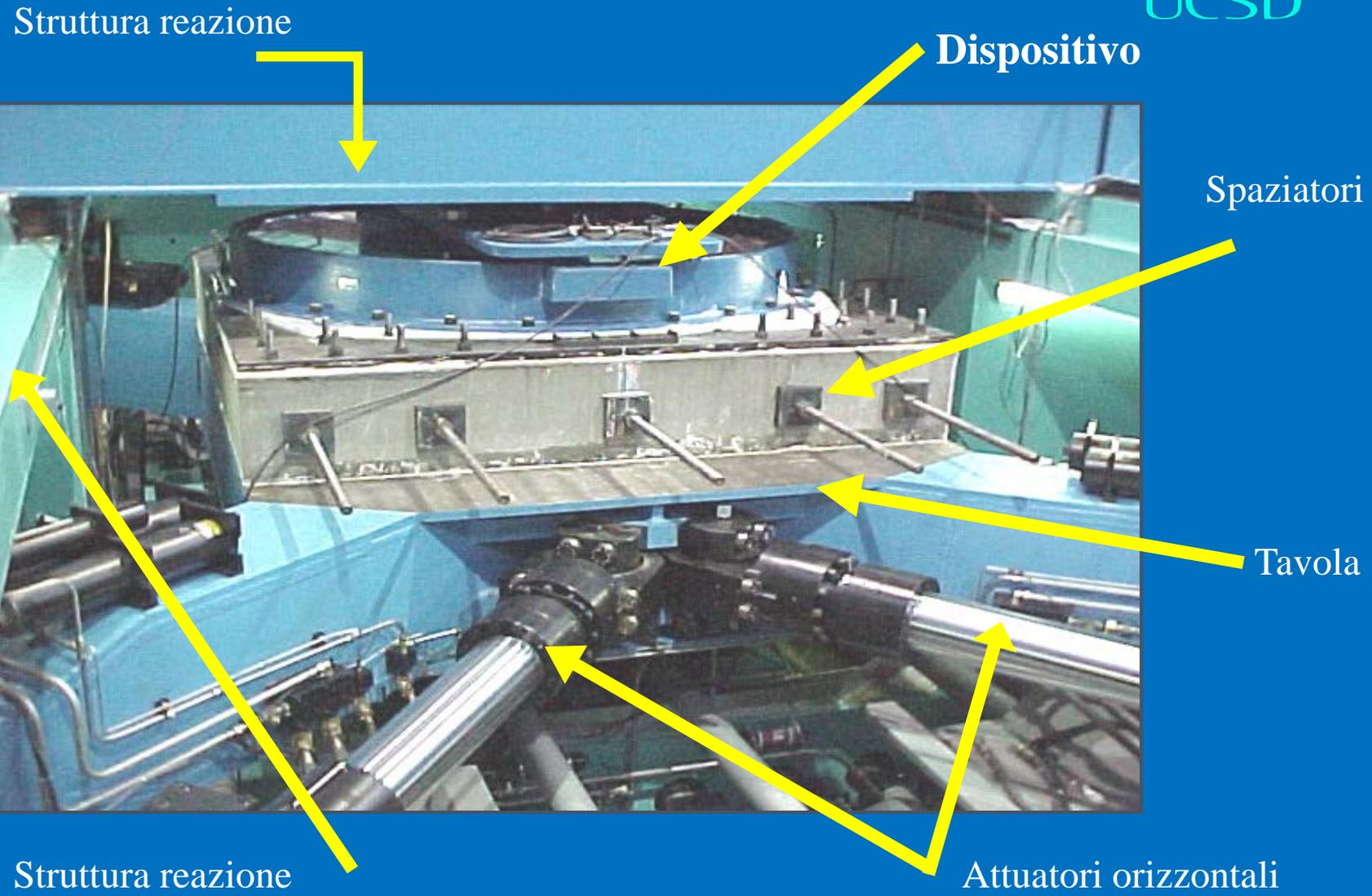
Presidente della Anti-Seismic Systems International Society (ASSISi)





SRMD

Caltrans Seismic Response Modification Device Test Facility

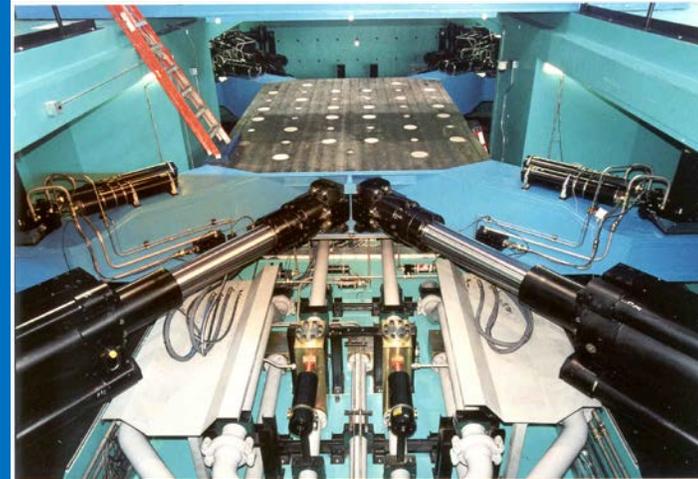


SRMD con dispositivo installato



SRMD

Caltrans Seismic Response Modification Device Test Facility



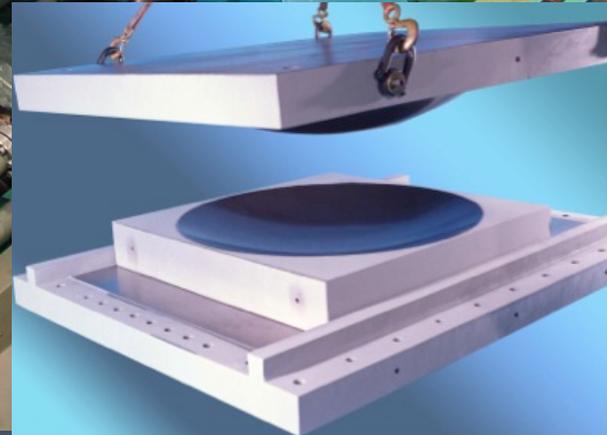
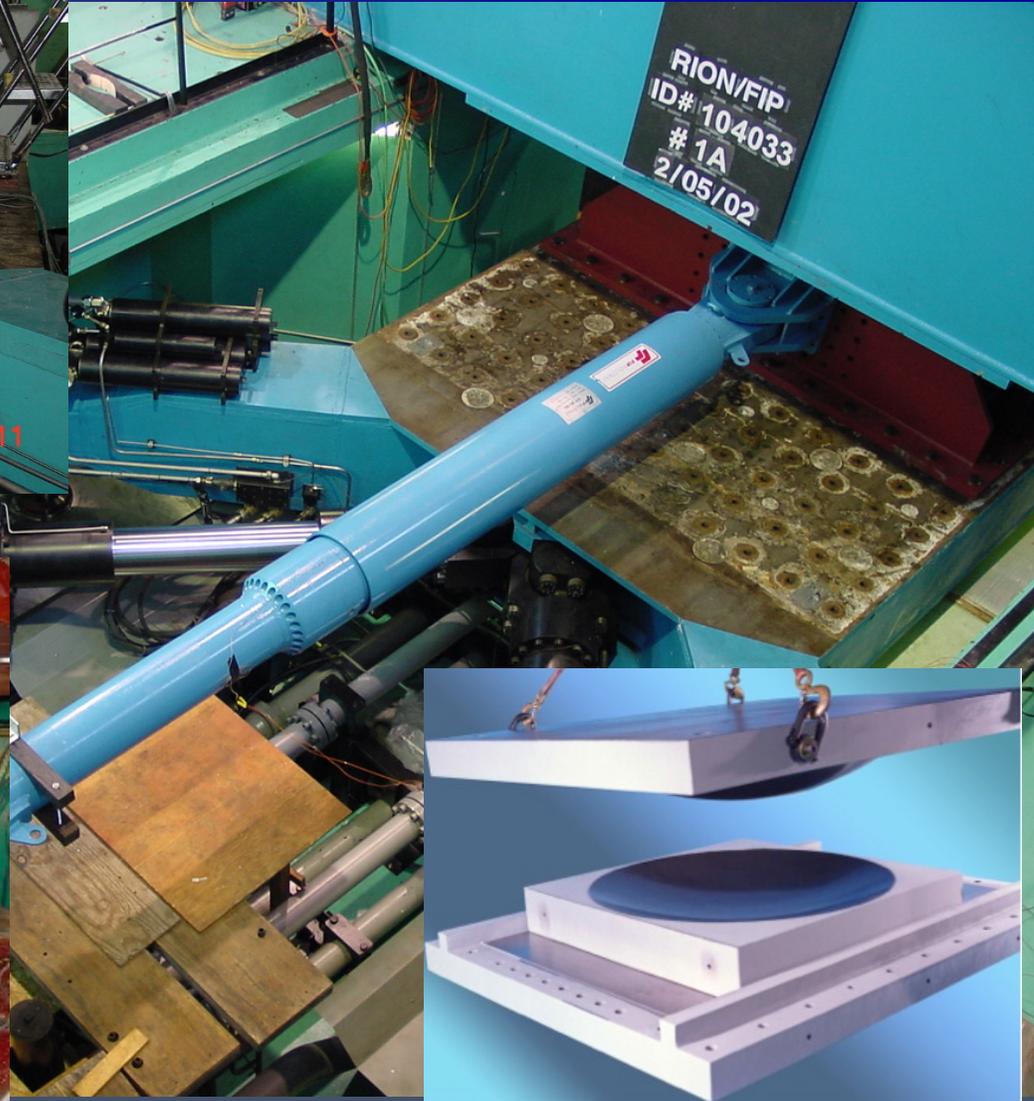
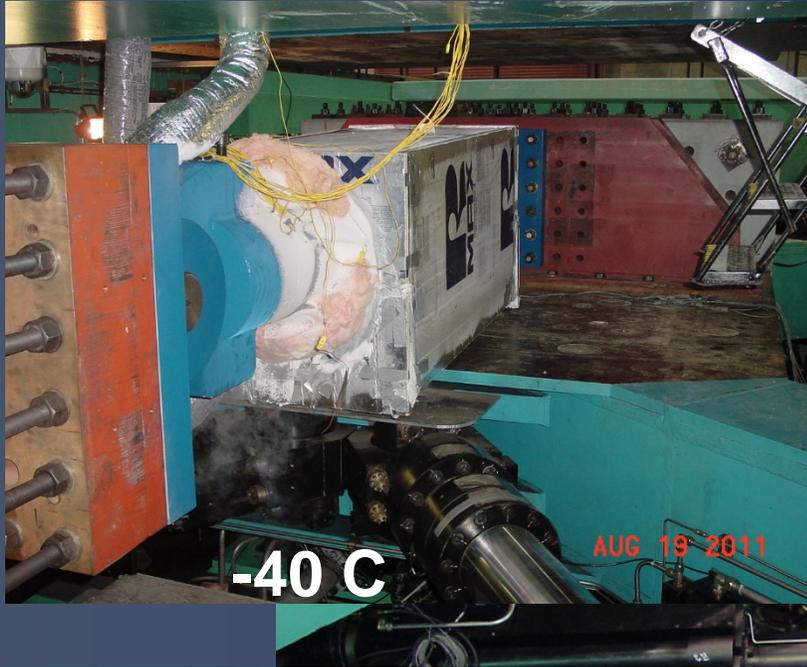
SRMD Specifiche Tecniche 6 Gradi di liberta'

	Verticale	Longitudinale	Trasversale
Forza	53,400 kN	8,900 kN	4,450 kN
Spostamento	+/- 0.127 m	+/- 1.22 m	+/- 0.61 m
Velocita'	254 mm/s	1778 mm/s	762 mm/s
Rotazione	+/- 5 deg.	+/- 2 deg.	+/- 2 deg.



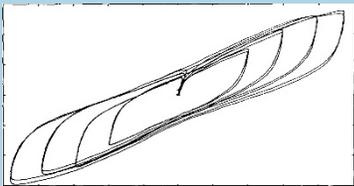
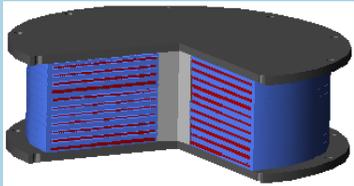
SRMD

Caltrans Seismic Response Modification Device Test Facility

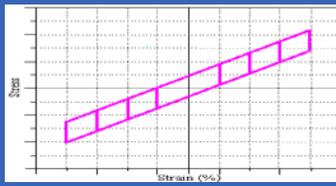
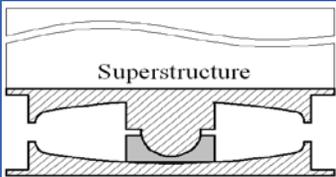


- Casistica di dispositivi per l'isolamento sismico

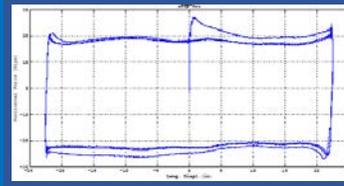
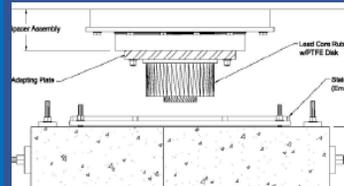
ELASTOMERICI



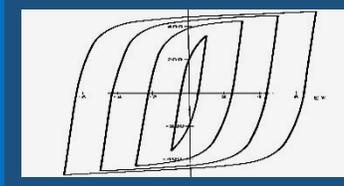
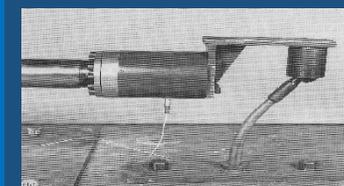
AD ATTRITO



IBRIDI



SNERVAMENTO



Isolatori elastomerici



Componenti principali:

- Strati di gomma – per introdurre flessibilità laterale (5-20 mm)
 - Strati in acciaio – per introdurre rigidità verticale limitando la deformazione laterale della gomma (2-3 mm)
 - Cilindro(i) piombo – per introdurre una sorgente di dissipazione
 - Rivestimento esterno di protezione in gomma
- Gomme sia naturali che sintetiche

Perche' la gomma?

Molto flessibile (basso modulo elastico E, e basso modulo a taglio G)

Elevata deformabilita' elastica

Alta deformazione a rottura (e' il materiale piu' deformabile che si conosca)

**Praticamente incompressibile (compressibilita' volumetrica)
Poisson ratio $\nu = 0.5$ (come l'acqua)**



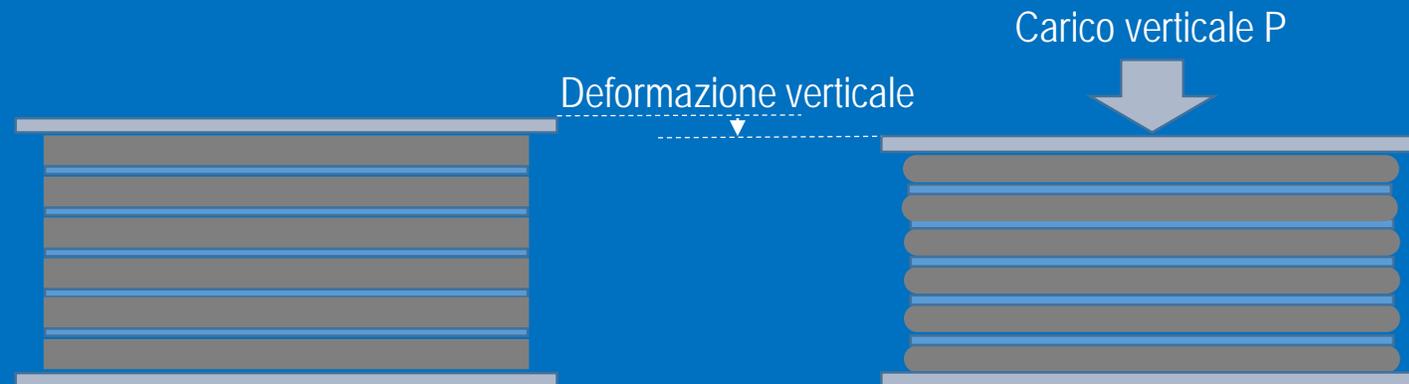
Perche' le piastre metalliche?

La gomma tende ad espandersi lateralmente sotto carico verticale. Le piastre metalliche confinano la gomma (limitano l'espansione laterale). Questo effetto aumenta la rigidezza verticale dell'isolatore

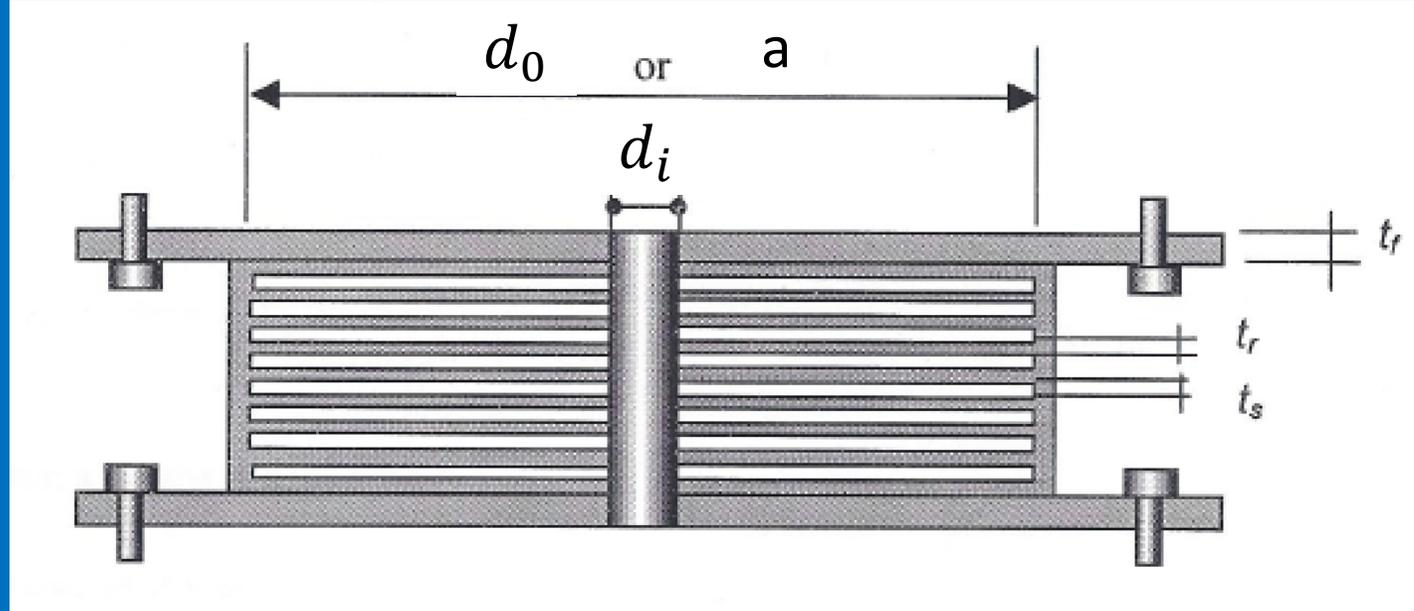
Senza piastre: alta deformazione vert., bassa rigidezza verticale



Con piastre: bassa deformazione vert., alta rigidezza verticale



Dispositivo con nucleo in piombo



t_r = spessore del singolo strato di gomma

t_s = spessore del singolo strato d'acciaio

t_f = spessore piastre terminali in acciaio

d_0 = diametro per dispositivo circolare

n = numero strati di gomma

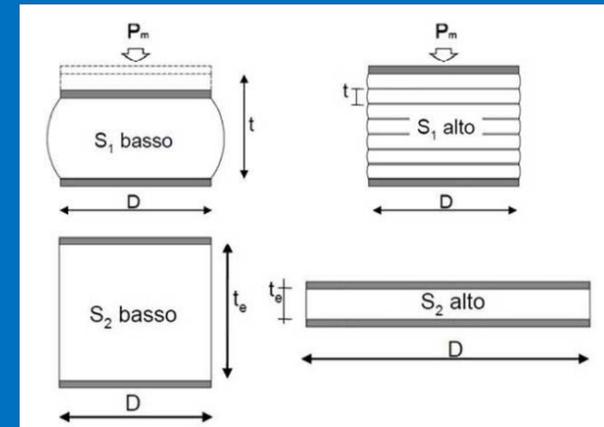
a = lato per dispositivo quadrato

d_i = diametro foro centrale (inserto in piombo)

Fattori di forma

- S1 **Fattore di forma primario** – E' un indice della rigidezza verticale del dispositivo. Infatti se riduco t (spessore del singolo strato di gomma), a parita' di diametro ho un aumento di confinamento e quindi di rigidezza verticale
- S2 **Fattore di forma secondario** – E' un indice della stabilita' del dispositivo. Se aumento il diametro a parita' dell'altezza totale della gomma il dispositivo e' piu stabile

	Senza foro	Con foro centrale
circolare	$S_1 = d_0/4t_r$ $S_2 = d_0/nt_r$	$S_1 = (d_0 - d_i)/4t_r$
quadrata	$S_1 = a/4t_r$ $S_2 = a/nt_r$	$S_1 = (4a - \pi d_i^2)/4t_r(4a + \pi d_i)$



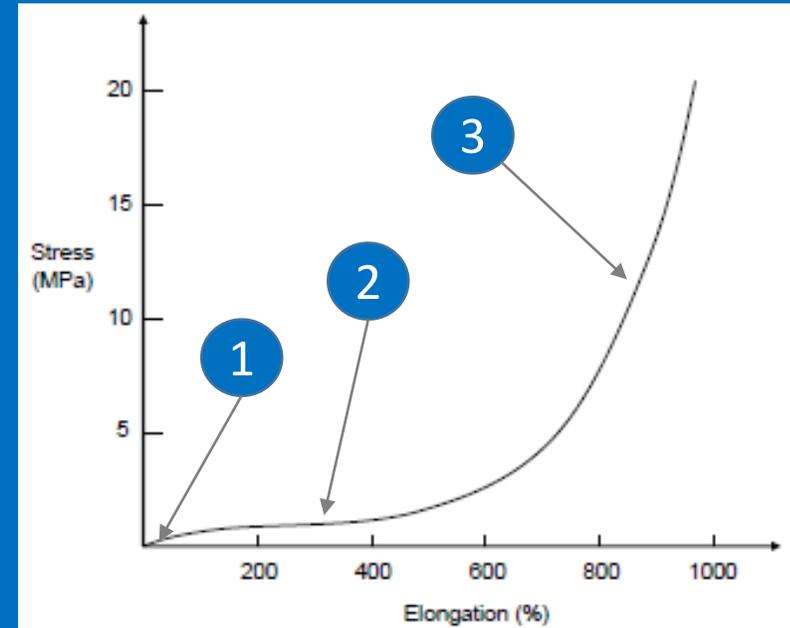
Proprieta' Meccaniche della gomma: Modulo elastico

La gomma e' effettivamente un materiale viscoelastico non lineare a bassi livelli di deformazione e si trasforma in un materiale isteretico nonlineare per grandi deformazioni

Il suo comportamento non ripercorre la stessa curva durante un ricarico ma il materiale recupera lentamente la forma originale quando scaricato

Comportamento a trazione:

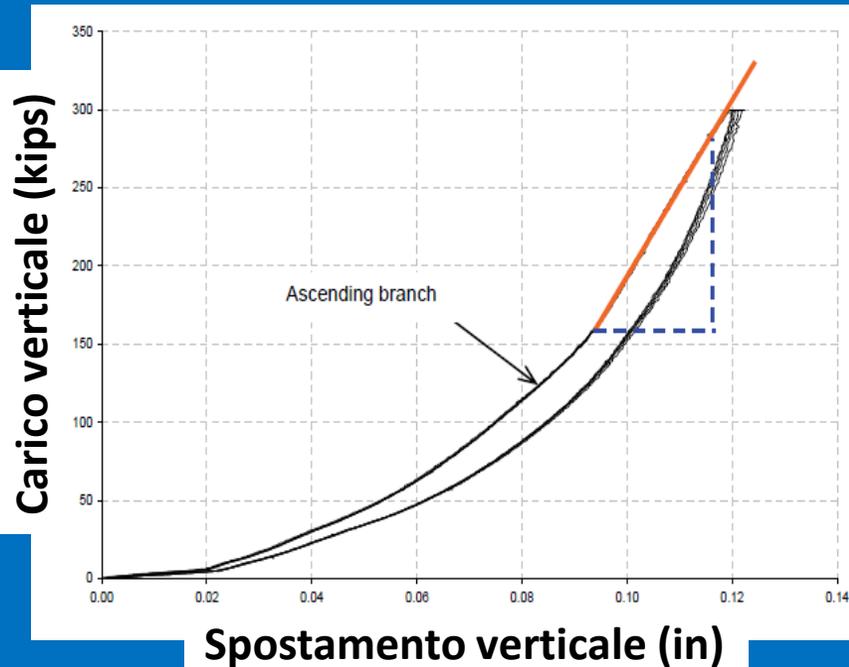
- 1 Alto modulo di elasticita' per ridotte deformazioni
- 2 Modulo piu' basso per deformazioni piu' elevate
- 3 Modulo di nuovo molto elevato per alte deformazioni



Test di trazione monodirezionale

Compressione:

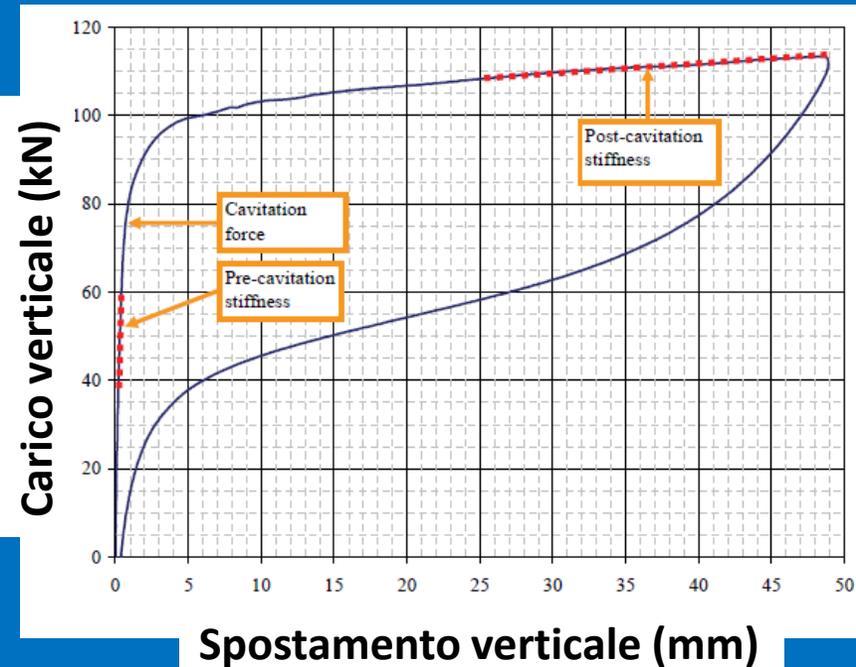
In compressione l'isolatore in gomma mostra una rigidezza verticale elevata in conseguenza di condizioni di confinamento e quasi incompressibilità della gomma. Per deformazioni verticali molto ridotte si nota una rigidezza vertical bassa, conseguenza di imperfezioni interne e non parallelismo delle piastre superiori e inferiori.



Esempio di test a compressione

Trazione

Per ridotti carichi di trazione l'isolatore mostra una rigidezza comparabile con quella di compressione. Ad un livello di carico che dipende dalla mescola di gomma (generalmente 1.5-2.5 Mpa) il dispositivo "cavita". Piccolissime fratture si sviluppano nella massa di gomma. A questo punto l'effetto confinamento è svanito e la rigidezza crolla



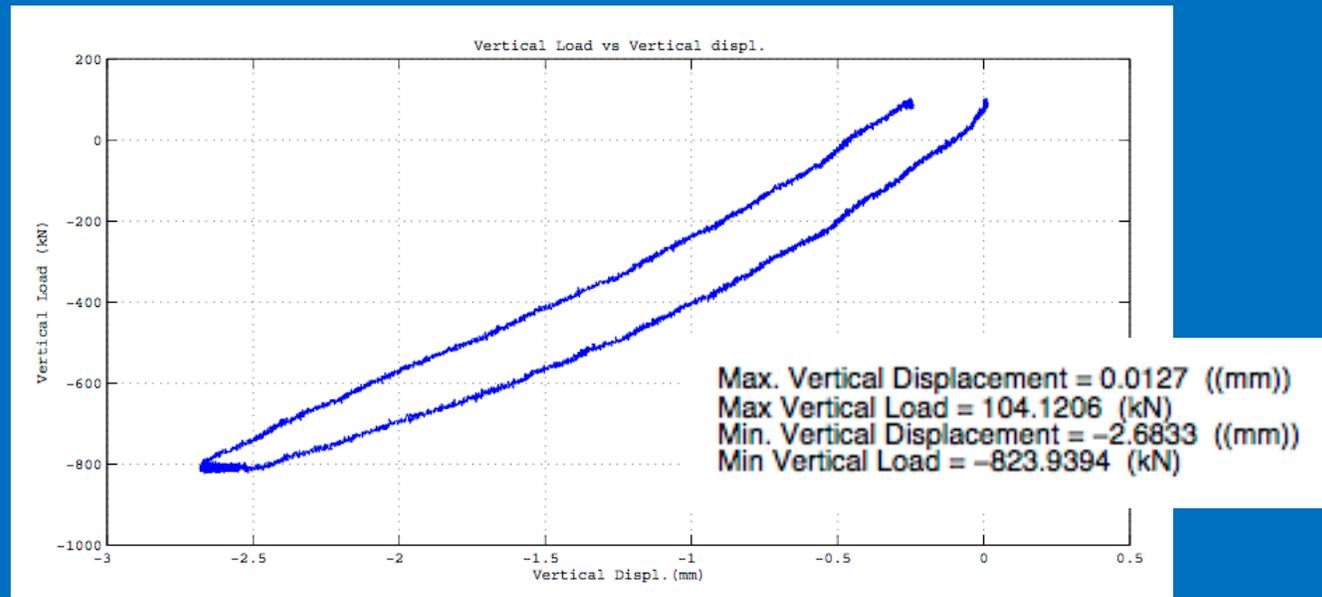
Esempio di test a trazione

Risposta sotto trazione

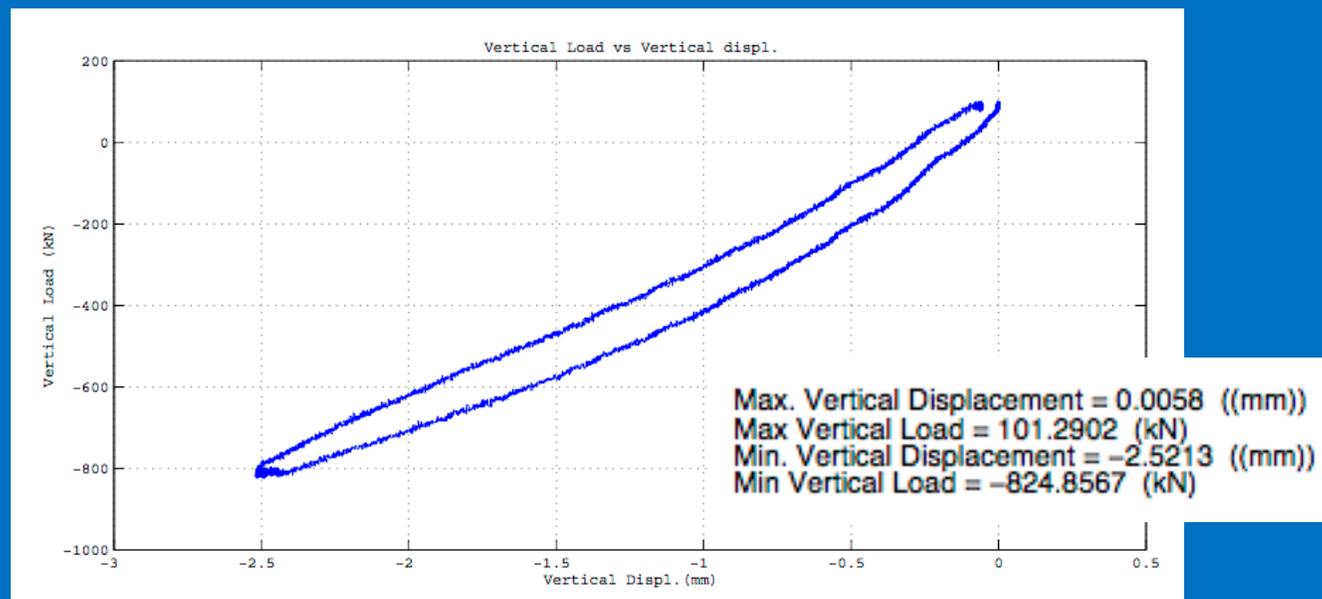
Dispositivo in gomma naturale per centrali nucleari

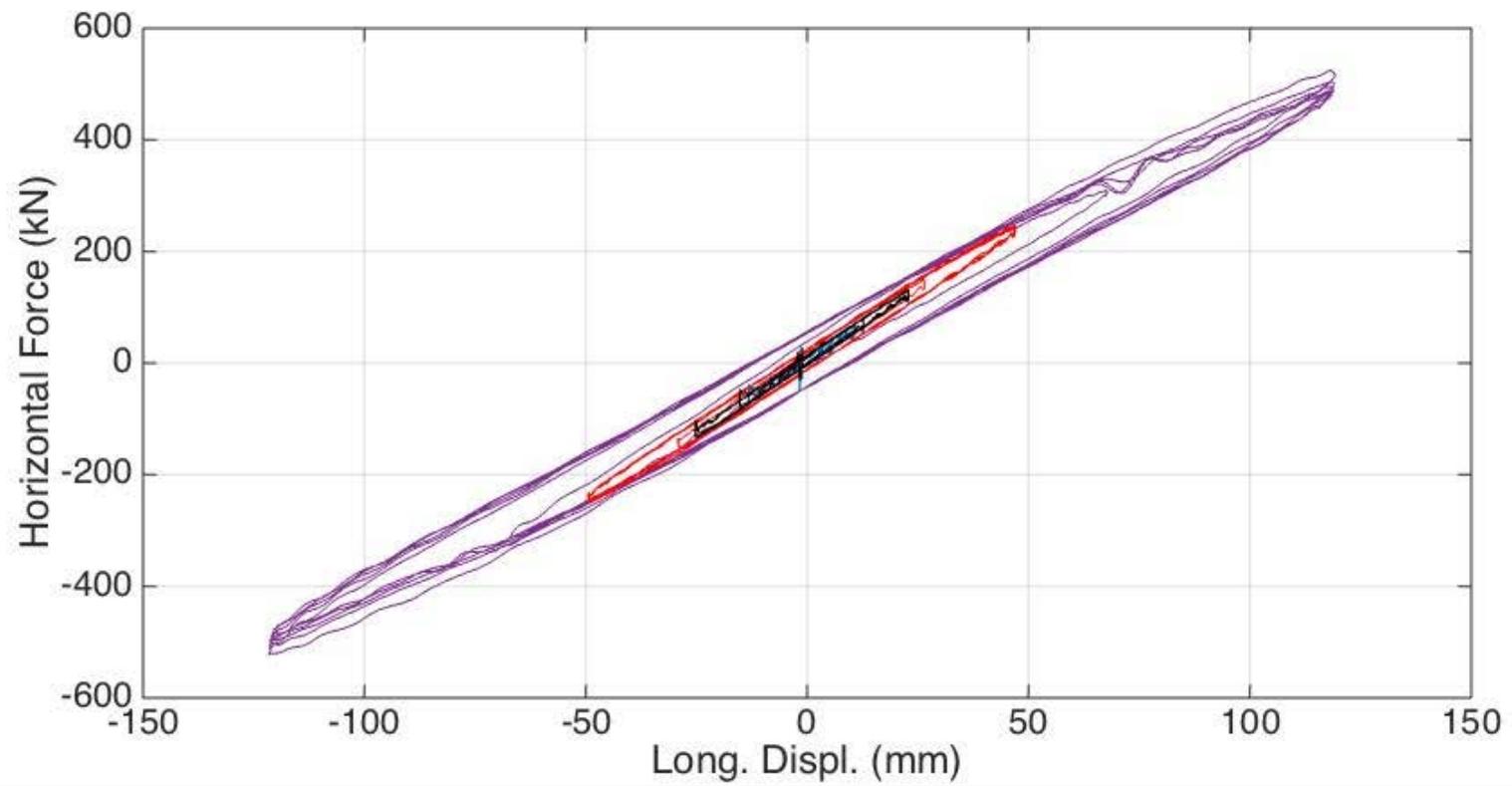
Test #	nome test	Label	DOF	spost (mm)	W (kN)	Freq (Hz)	vel (mm/s)	cicli	Commenti
Anchored									
1	rigidezza trazione	TS	Vert	/	-810	/	/	2	1st Cycle Ramp to -810 kN ONE Minute Hold Remove Vert Load (Interval = 10 min) 2nd Cycle Ramp to -810 kN ONE Minute Hold Ramp Rate = 1 MPa/min (1.5175 ton/s)
2	caratteriz. orizzontale	HC	Long	12	-810	0.4	30	5	
3	caratteriz. orizzontale	HC	Long	24	-810	0.4	60	5	
4	caratteriz. orizzontale	HC	Long	48	-810	0.4	121	5	
5	caratteriz. orizzontale	HC	Long	120	-810	0.4	302	5	
6	caratteriz. orizzontale	HC	Long	240	-810	0.4	603	5	rottura

13:36:24



13:53:04





Test 2-3-4-5

PROVA CON CARICO VERTICALE DI TRAZIONE

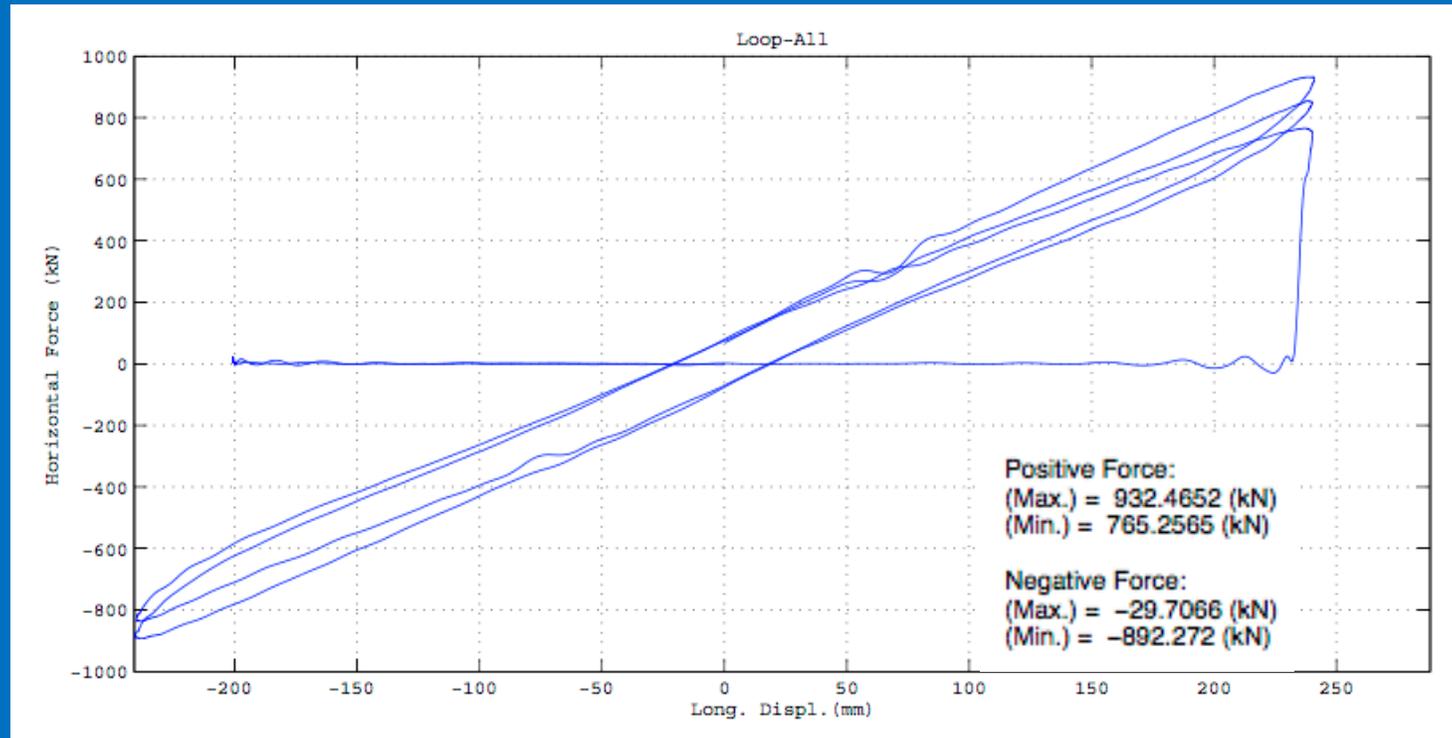
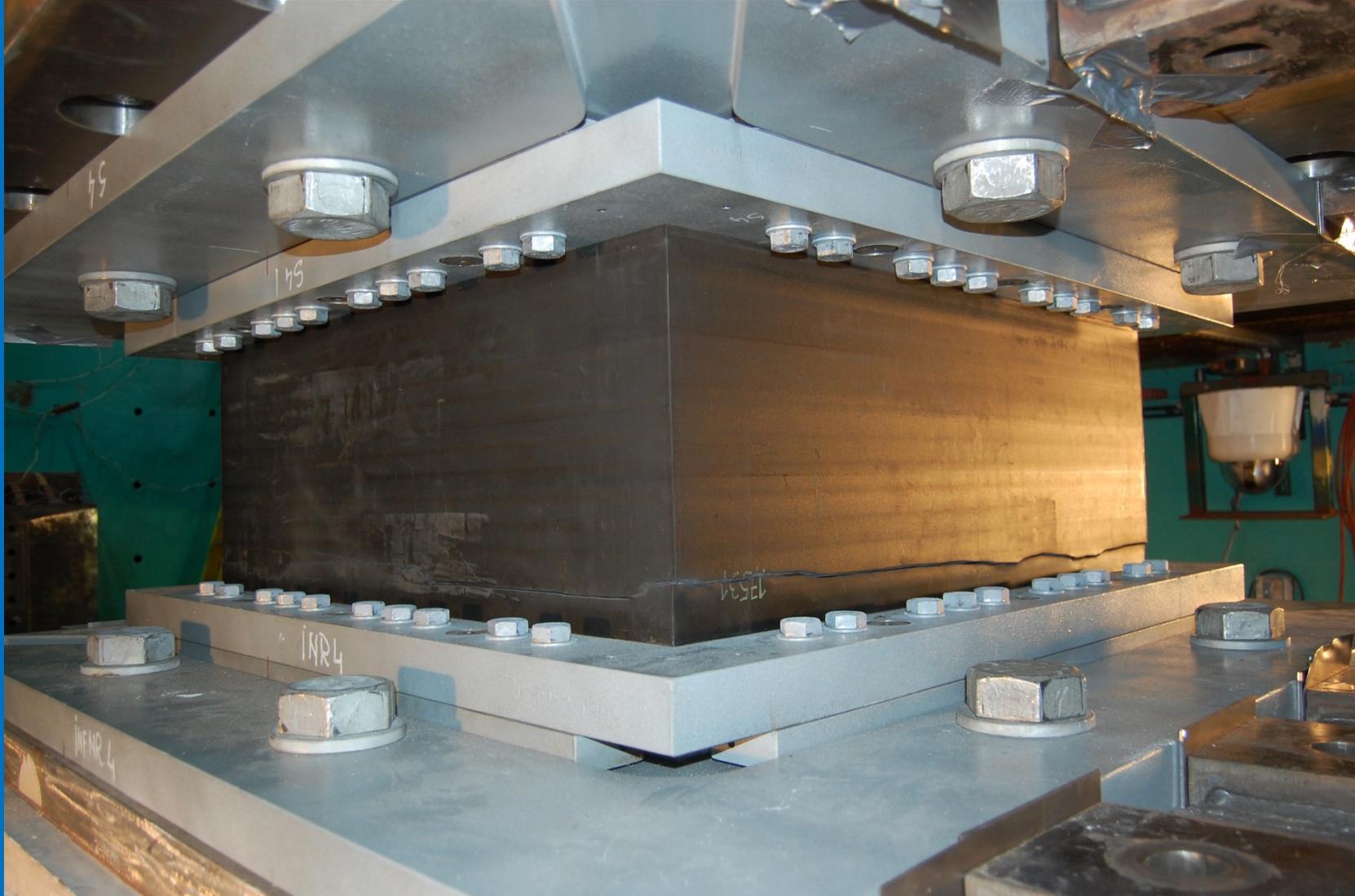
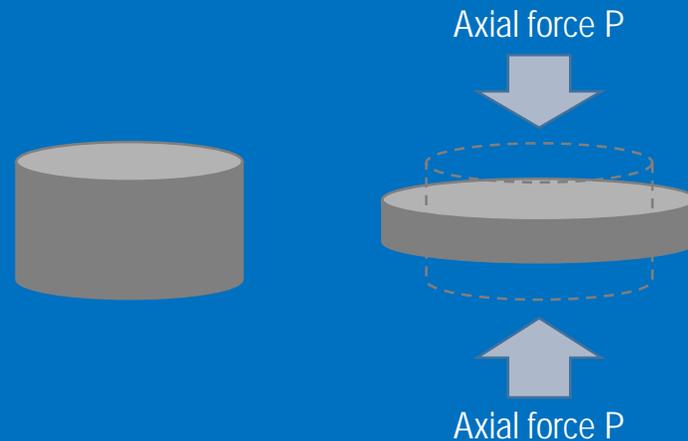


Immagine di una prova a trazione presso il Caltrans SRMD Testing Facility



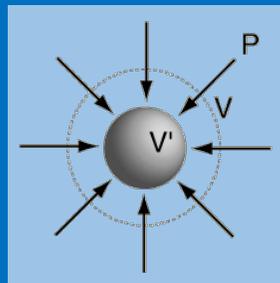
Proprieta' Meccaniche: comportamento a compressione

La gomma e' praticamente incompressibile con rapporto di Poisson molto prossimo a 0.5 (tra 0.498 e 0.499)



Incompressibile significa che l'espansione laterale e' uguale a quella verticale

Il comportamento a compressione e' descritto al meglio dal modulo di compressibilita' (bulk modulus) E_{∞} . E' molto elevato e purtroppo molto difficile da misurare. Un valore comunemente usato nell'analisi di isolatori elastomerici e **2000 MPa**.



Il modulo di compressibilita' misura il cambiamento in volume dovuto ad una pressione isotropa

Rigidezza a compressione

$$K_v = \frac{E_c \cdot A}{nt_r}$$

E_c modulo di Young apparente dell'isolatore
A area dell'isolatore escludendo il rivestimento

$$E_c = \left[\frac{1}{E_{ap}} + \frac{1}{E_\infty} \right]^{-1}$$

E_{ap} modulo di Young apparente del foglio di gomma
 E_∞ modulo di compressibilita' della gomma

$$E_{ap} = E_0 \cdot (1 + 2kS_1^2)$$

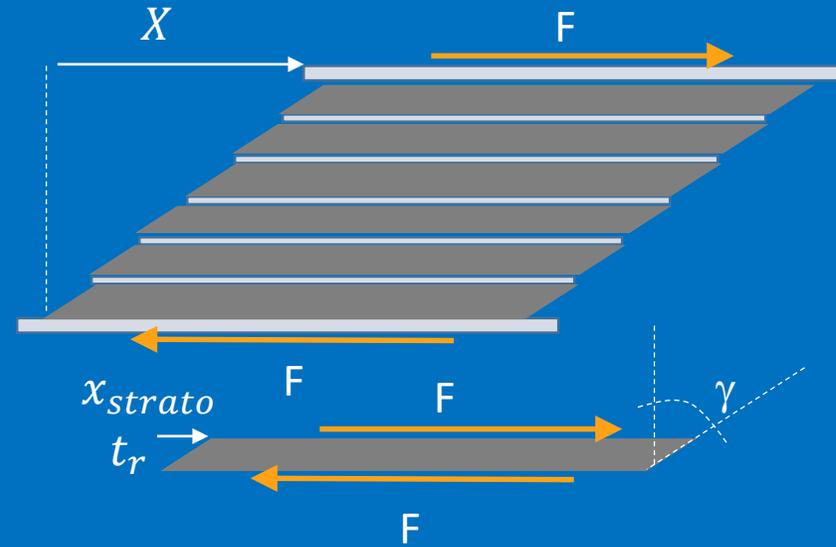
E_0 modulo di Young della gomma
k fattore correttivo legato alla durezza

Se G puo essere considerate indipendente dalla deformazione a taglio, ossia costante, si puo' scrivere: $E_0 = 3G$

Proprieta' Meccaniche: comportamento a taglio



Le piastre in acciaio non si deformano lateralmente quindi ognuno dei n strati di gomma e' soggetto alla stessa forza F e si deforma di $x_{strato} = X/n$



La deformazione a taglio γ si ottiene come:

$$\gamma = \frac{X}{nt_r} = \frac{x_{strato}}{t_r}$$

($\gamma = 100\%$ significa che uno strato di gomma ha uno spostamento laterale uguale all'altezza dello strato)

Rigidezza a taglio

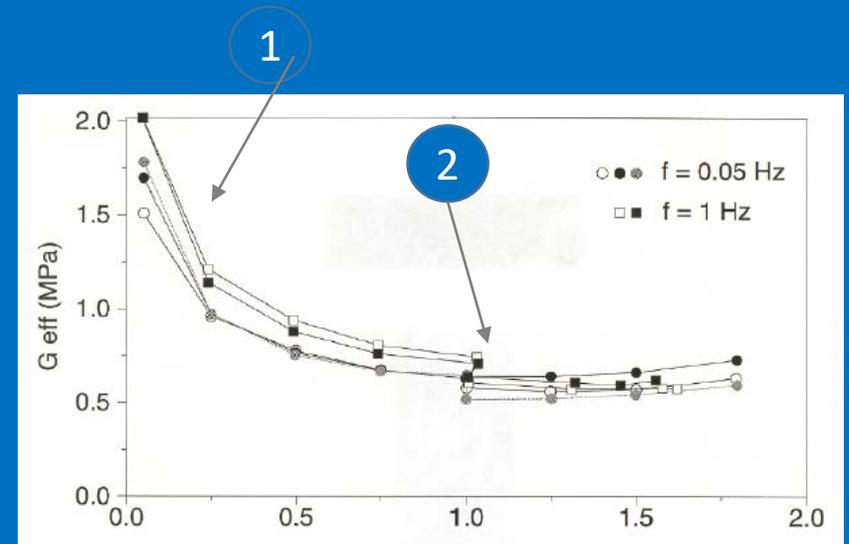
$$K_{eff} = \frac{G \cdot A}{nt_r}$$

Poiche' G e' dipendente dalla deformazione γ dobbiamo scrivere:

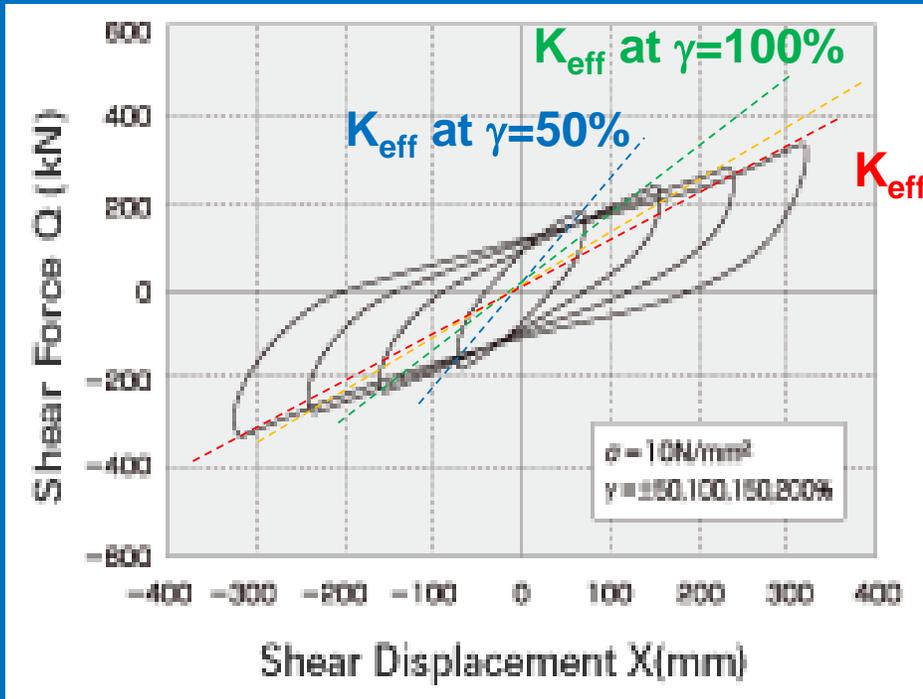
$$K_{eff} = \frac{G_{eq}(\gamma) \cdot A}{nt_r}$$

Il comportamento a taglio e' caratterizzato da:

- 1 Alto G per γ ridotti: fino a 3.0 MPa per deformazioni sotto il 20%
- 2 Ridotto G per deformazioni maggiori: ~ 0.7 MPa per $1 < \gamma < 2$
- 3 G cresce per valori piu alti di γ : 2.0 MPa per $\gamma > 3$



Esempio di dati per puro taglio



K_{eff} at $\gamma=150\%$

K_{eff} at $\gamma=200\%$

Deformazioni a taglio sono in genere limitate a $\gamma=1.5$ per spostamenti associati a MCE per prevenire instabilita'

$G = 0.7 \text{ MPa}$ generalmente usato per Progettazione per $\gamma=1.0-1.5$,
 $G=2 \text{ MPa}$ e' usato per vento ($\gamma < 0.1$)

Osservazioni generali:

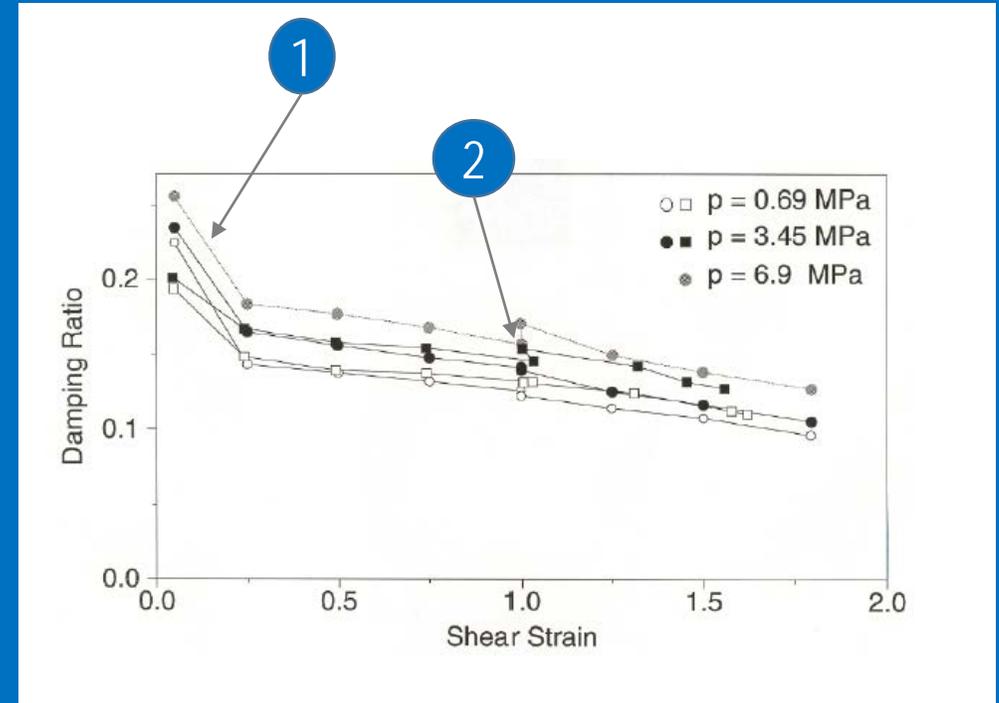
Gli isolatori in gomma hanno una rigidezza abbastanza elevate per basse deformazioni. Questa e' una caratteristica utile per le azioni del vento.

Per ponti in cui forti azioni di taglio si sviluppano a causa dell'azione di frenata, la rigidezza iniziale puo' essere troppo bassa

Proprieta' Meccaniche: smorzamento effettivo

Il fattore di smorzamento dipende dalla deformazione a taglio

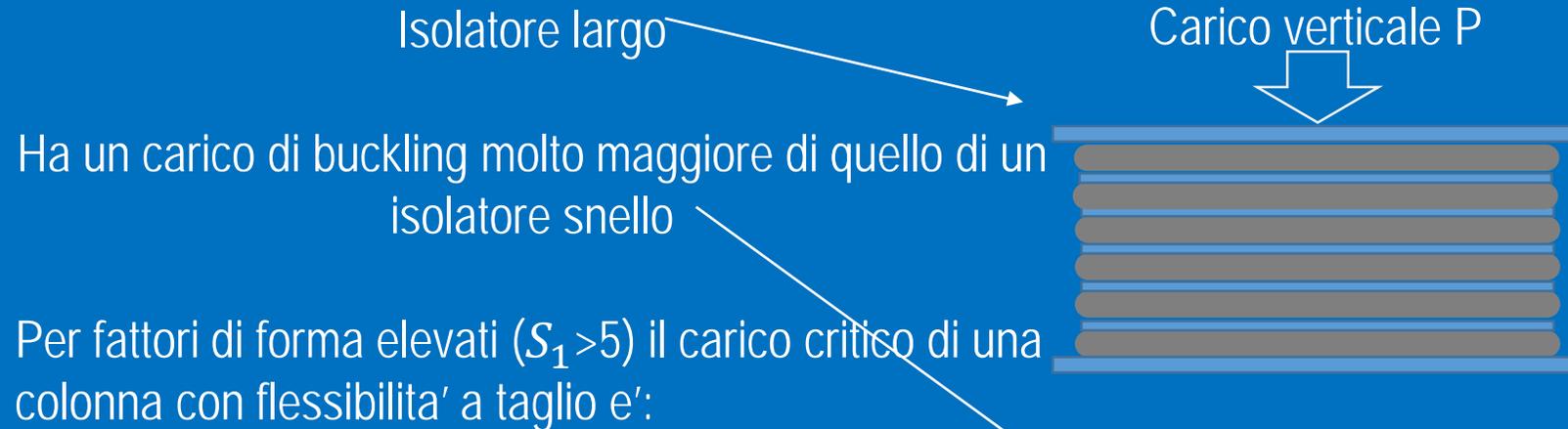
- 1 Valori elevate di smorzamento per ridotti valori di γ : fino a 0.3 per $\gamma < 0.2$
- 2 Fattore di smorzamento ridotto per γ piu alti: ~ 0.15 per $1 < \gamma < 2$
- 3 Smorzamento ulteriormente ridotto per alti valori di deformazione: < 0.10 per $\gamma > 3$



Tipicamente per la progettazione per massimo evento sismico (MCE) di HDRB si usa un fattore di smorzamento di 0.15

Buckling di un elastomero non deformato

Vengono trattati come colonne snelle con flessibilità a taglio (Gent, 1964)



$$P_{cr} = \pi \frac{\sqrt{E_r IGA}}{nt_r}$$

Sezioni quadrate (BxB) : $P_{cr} = 0.340 \frac{GB^4}{t_r (nt_r)}$

Sezioni circolari diametro D: $P_{cr} = 0.218 \frac{GD^4}{t_r (nt_r)}$

Carico verticale P



Dispositivi in gomma naturale o sintetica a basso smorzamento basso (NRB) (LDRB)



Pro:

Comportamento essenzialmente lineare sotto taglio per deformazioni in eccesso del 100%

Smorzamento = 2 - 3%

- Di facile fabbricazione
- Di facile modellazione
- Risposta scarsamente influenzata da velocità, storia di carico, temperatura, invecchiamento

Contro: non apportano significativo smorzamento aggiuntivo (spesso accoppiati ad altri dispositivi)

Dispositivi in gomma sintetica ad alto smorzamento (HDRB)

PROPRIETÀ	MESCOLA		
	MORBIDA (SOFT - S)	NORMALE (NORMAL - N)	DURA (HARD - H)
Durezza (Shore A)	40	60	75
Modulo di elasticità tangenziale G_{din} a $\gamma = 1$ (MPa)	0.4	0.8	1.4
Coefficiente di smorzamento viscoso equivalente ξ a $\gamma = 1$ (%)	10 / 15	10 / 15	10 / 15

Pro:

Concentrano nello stesso dispositivo le caratteristiche di isolamento e dissipazione richieste

Smorzamenti 10-20% al $\gamma=1$
Deformazione massima a taglio in eccesso del 300%

Contro:

Rigidezza a smorzamento dipendono da pressione di contatto velocità di carico, storia di carico e temperatura

HDRB sono sensibili allo scragging cioè ad una riduzione in rigidezza e smorzamento dopo i primi cicli di movimento per poi stabilizzarsi nei cicli successivi. Dopo un certo periodo di fermo le caratteristiche iniziali vengono recuperate.

Dispositivi in gomma-piombo (LRB)

Le mescole elastomeriche utilizzate normalmente per la produzione degli isolatori LRB sono caratterizzate, in genere da un modulo dinamico equivalente a taglio G_{din} pari a 0,4 Mpa (basso smorzamento).

Il piombo è di elevata purezza, superiore al 99,85%.



Pro:

Concentrano nello stesso dispositivo le caratteristiche di isolamento e elevata dissipazione

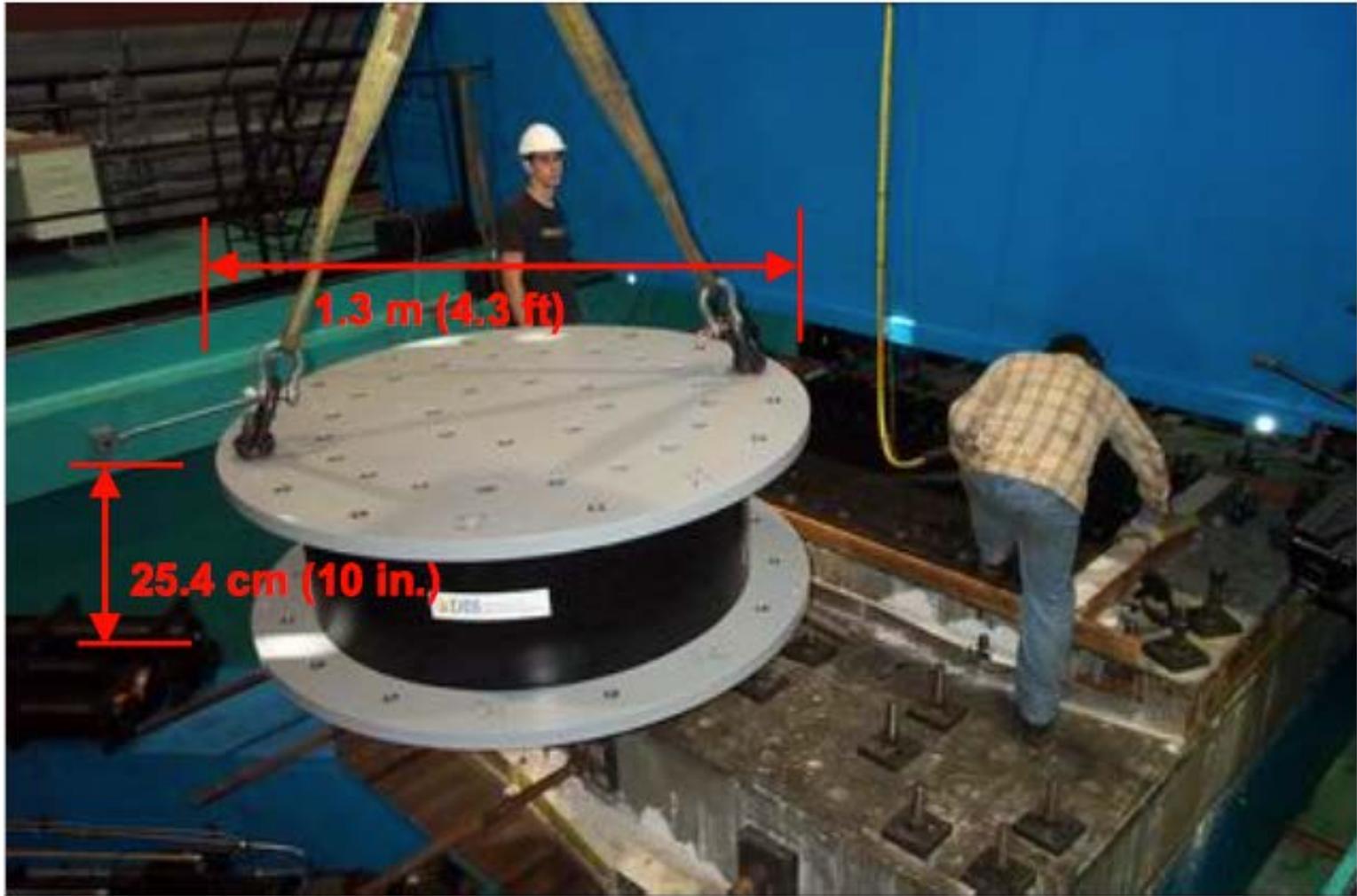
Smorzamenti fino al 30%

Basso snervamento del piombo ~ 10 Mpa.
Il piombo è essenzialmente elastico-perfettamente plastico quindi la rigidità plastica è essenzialmente quella della gomma

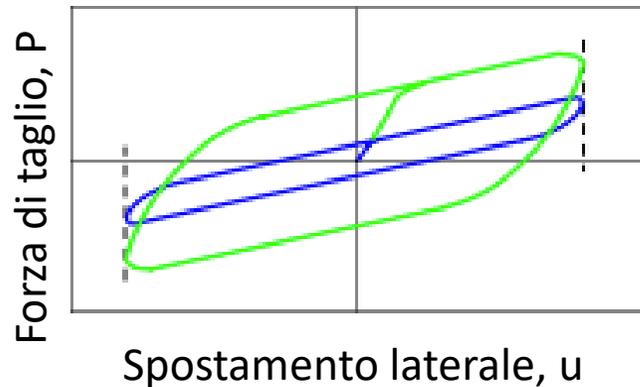
Con:

La tensione di snervamento si riduce con la ripetizione dei cicli a causa di un aumento di temperatura

La risposta isteretica è fortemente dipendente dall'ampiezza dello spostamento

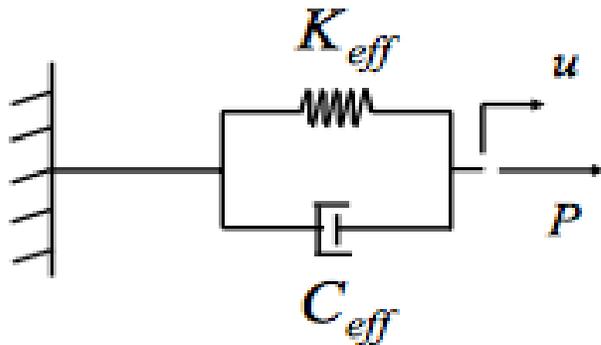


Modello matematico lineare per dispositivi in gomma naturale e sintetica



k_{eff} = rigidezza effettiva allo spostamento di progetto

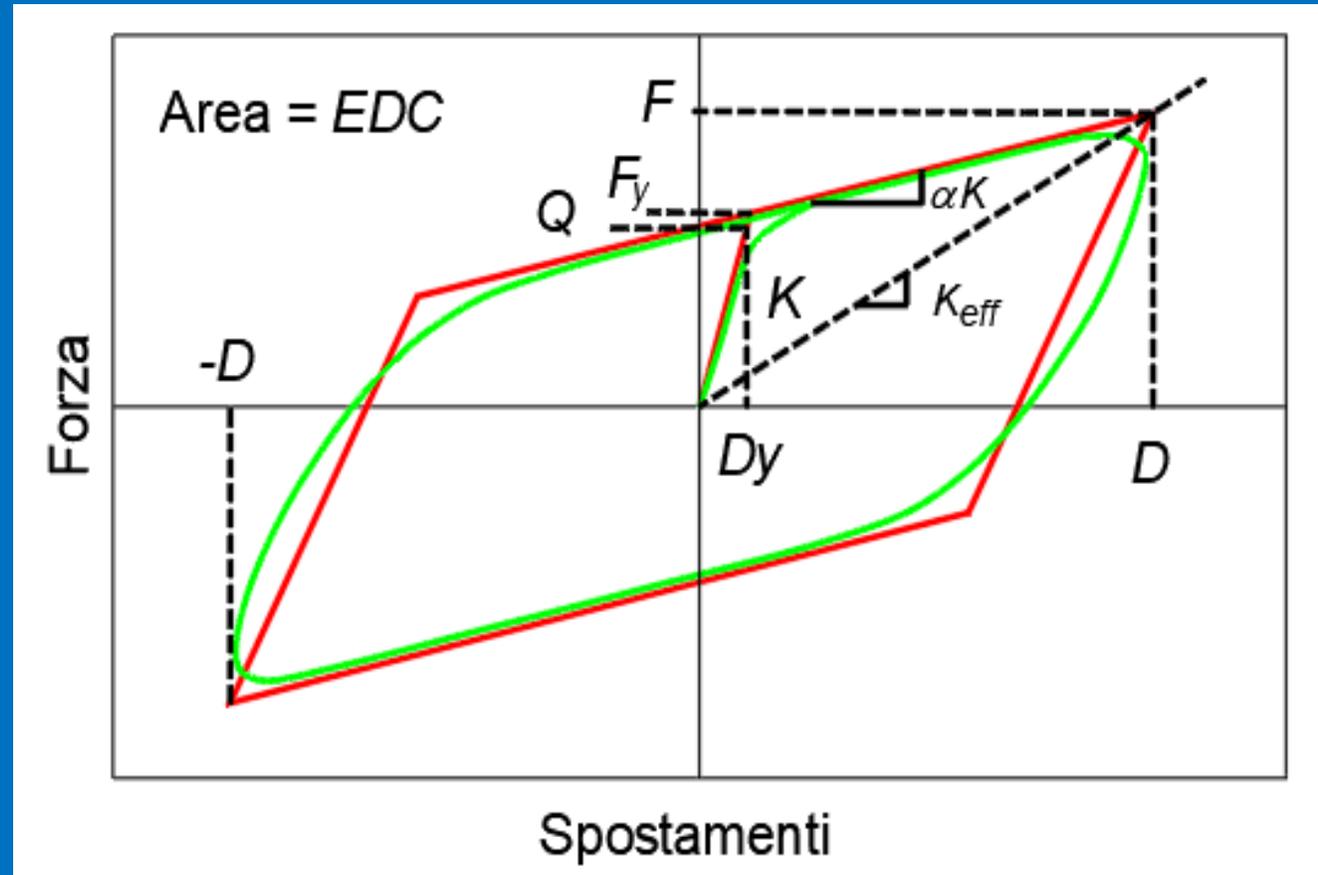
c_{eff} = smorzamento effettivo associato con lo spostamento di progetto



$$P(t) = k_{eff}u(t) + c_{eff}\dot{u}(t)$$

Le proprietà' effettive sono determinate allo spostamento di progetto e al periodo fondamentale della struttura

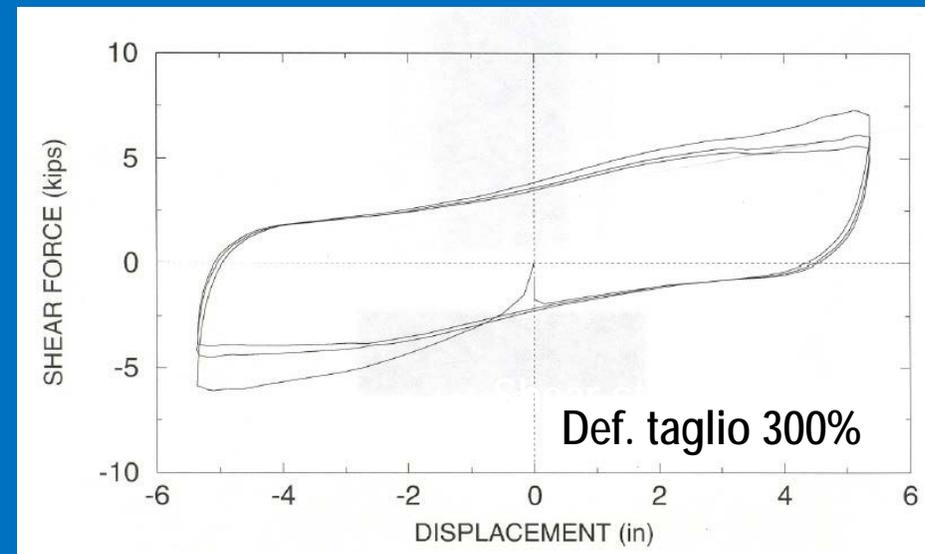
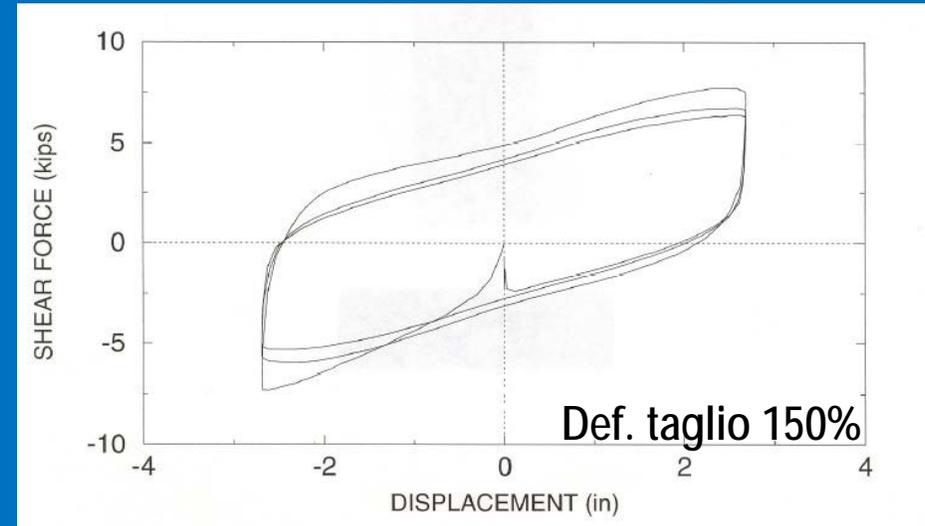
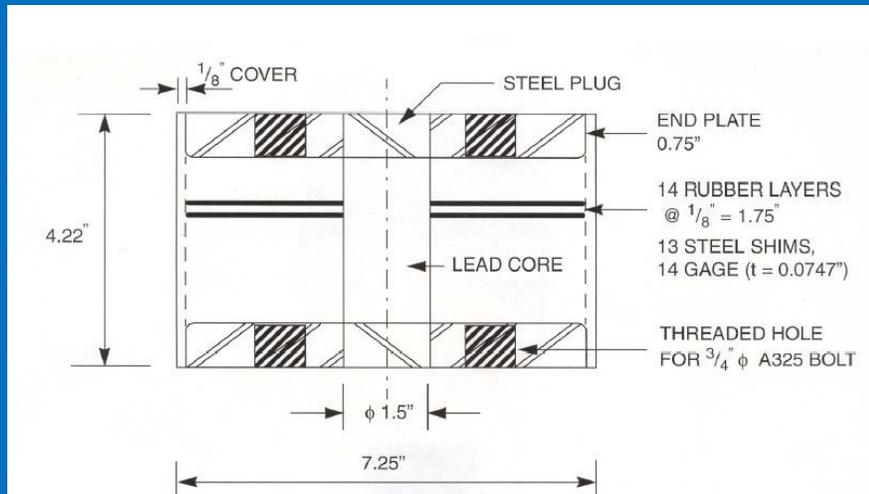
Modello bilineare idealizzato



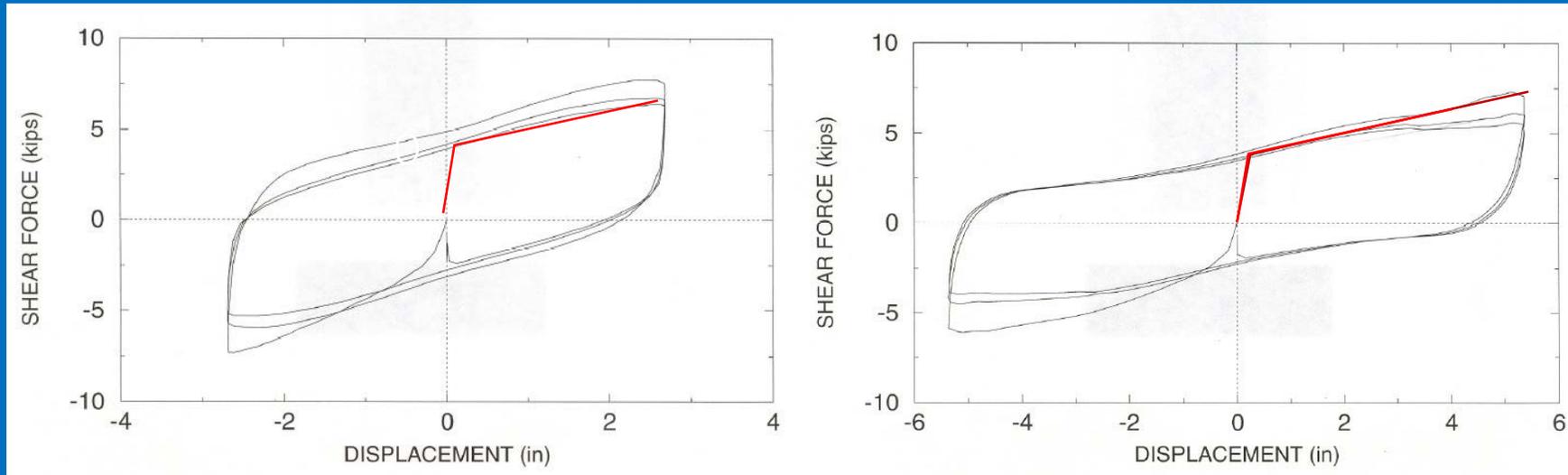
DISPOSITIVI GOMMA-PIOMBO (LRB)

Consideriamo la risposta forza di taglio-spostamento relative a diversi livelli di deformazione.

Questo specific dispositivo ha un nucleo di piombo di diametro pari al 21% del diametro della gomma
Prove fatte a pressione normale di 6.9 MPa e frequenza di 0.5 Hz.
Deformazione a taglio fino al 300%



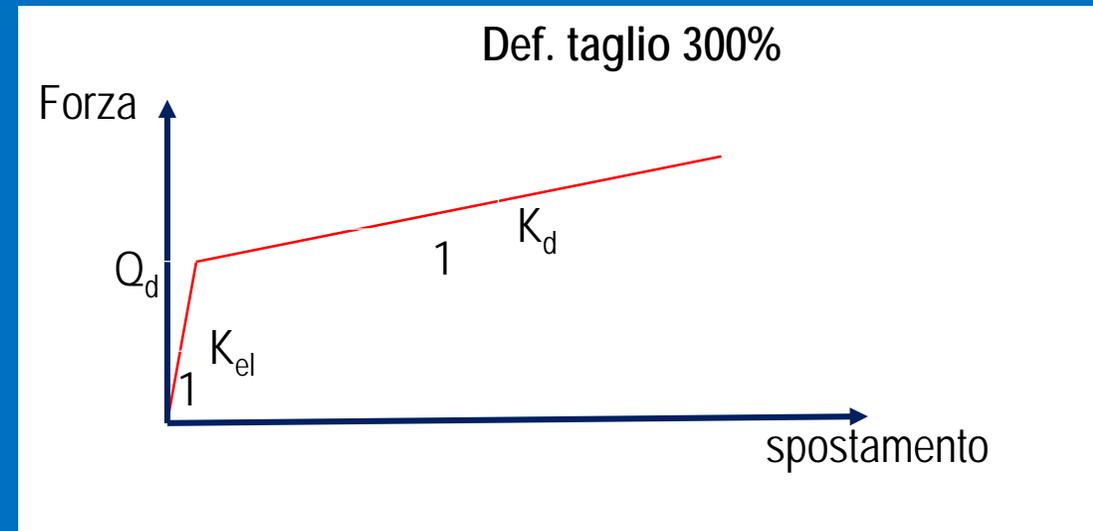
Per i LRB si assume generalmente un comportamento idealizzato bilineare



Def. taglio 150%

I parametri di risposta laterale sono:

1. Rigidezza elastica K_{el}
2. Resistenza caratteristica Q_d
3. Rigidezza post-elastica K_d



Comportamento della gomma:

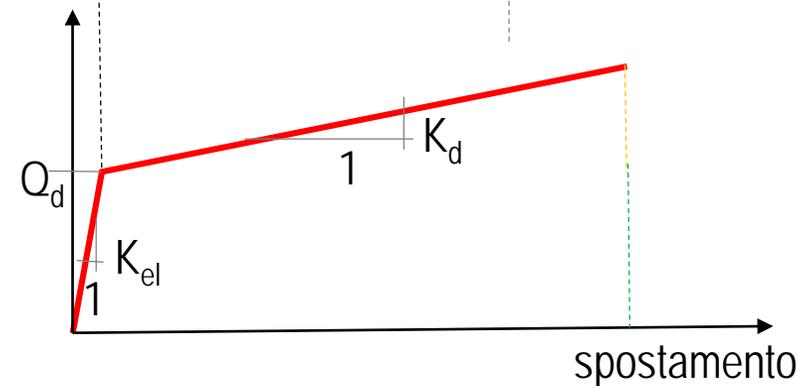
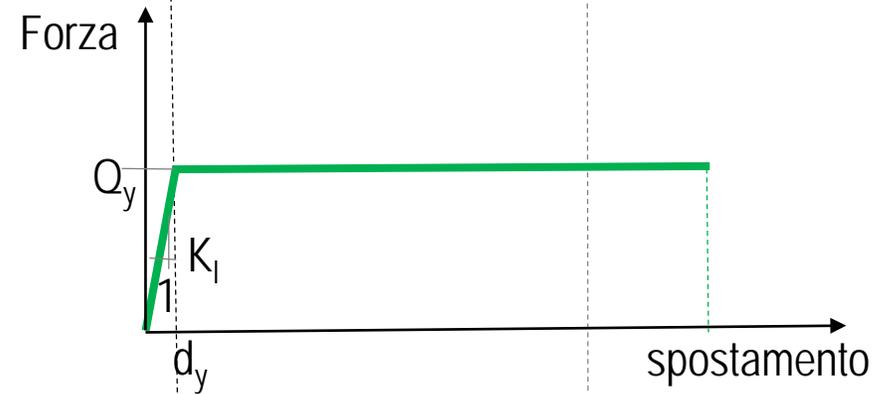
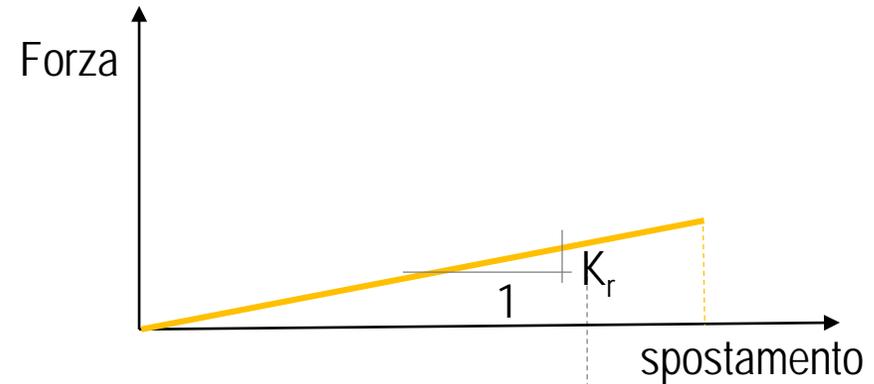
1. Rigidezza elastica della gomma $K_{el,r}$

Comportamento del piombo (lead):

1. Rigidezza elastica del piombo $K_{el,l}$
2. Resistenza a snervamento del piombo Q_y
3. Rigidezza post-elastica nulla

Comportamento combinato:

1. Rigidezza elastica $K_{el} = K_{el,r} + K_{el,l}$
2. Resistenza caratteristica $Q_d = K_{el,r}d_y + Q_y$
3. Rigidezza post-elastica $K_d = K_{el,r}$



Ipotesi:

1. Prima dello snervamento del nucleo sia la gomma come il piombo sono elastici e resistono le forze laterali
2. Il cambiamento in rigidità avviene allo snervamento del nucleo in piombo
3. Dopo lo snervamento del piombo la rigidità è fornita solo dalla gomma

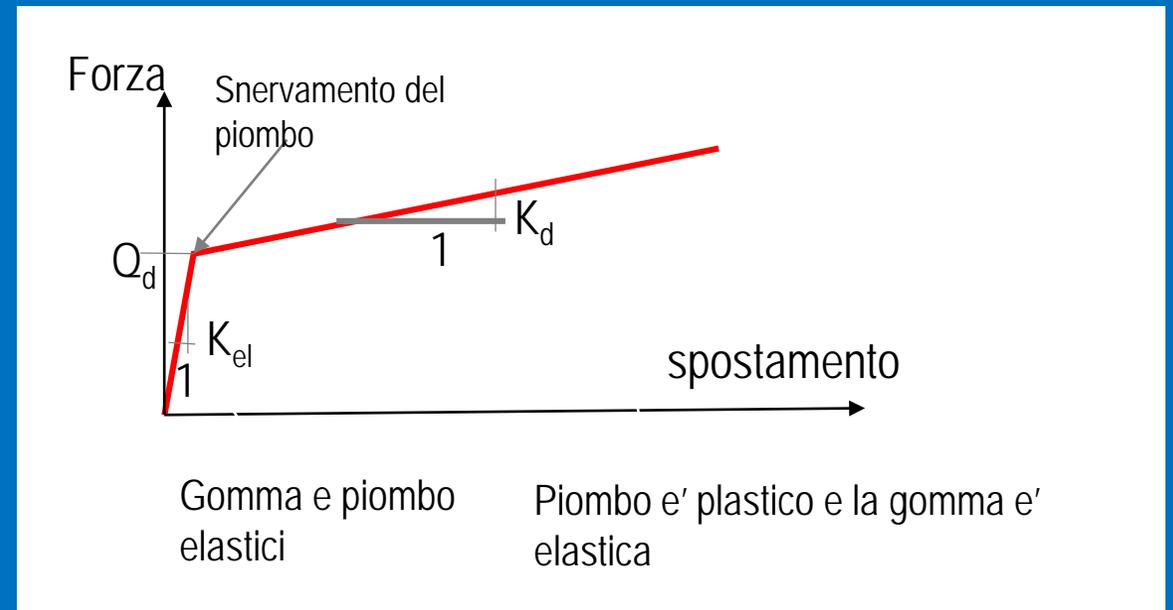
Sulla base di queste ipotesi:

$$K_{el} = K_{el,r} + K_{el,l} = \frac{G_r A_r}{h_r} + \frac{G_l A_l}{h_l} \approx \frac{G_l A_l}{h_l}$$
$$Q_d = A_l \sigma_l + K_{el,r} d_y \approx A_l \sigma_l$$
$$K_d = K_{el,r} = \frac{G_r A_r}{h_r}$$

dove

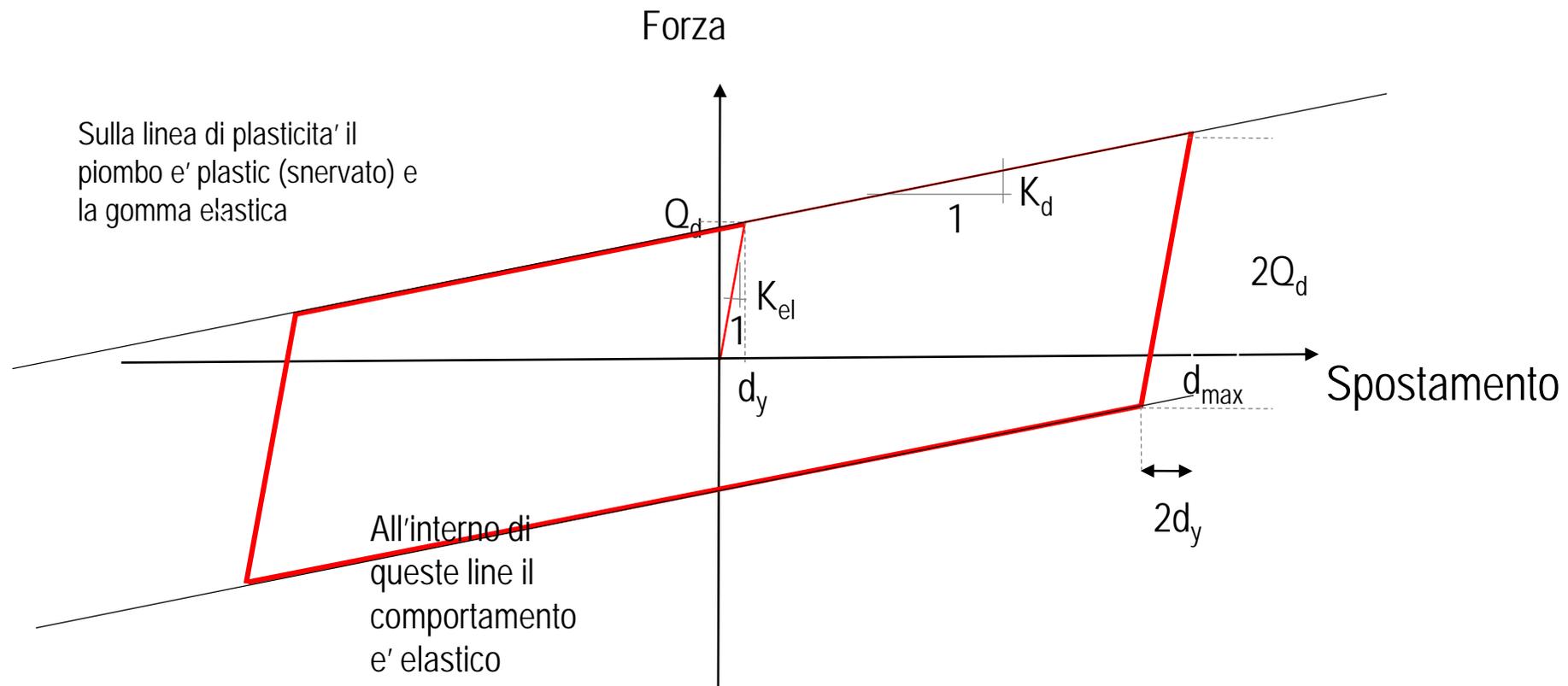
G_r , A_r , h_r sono il modulo a taglio, l'area della sezione e l'altezza totale della gomma

G_l (5.6 GPa), A_l , h_l sono il modulo a taglio, l'area della sezione e l'altezza del nucleo in piombo
 σ_l è lo sforzo di snervamento effettivo del piombo (~12MPa)



Il ciclo di una risposta idealizzata bilineare comporta che:

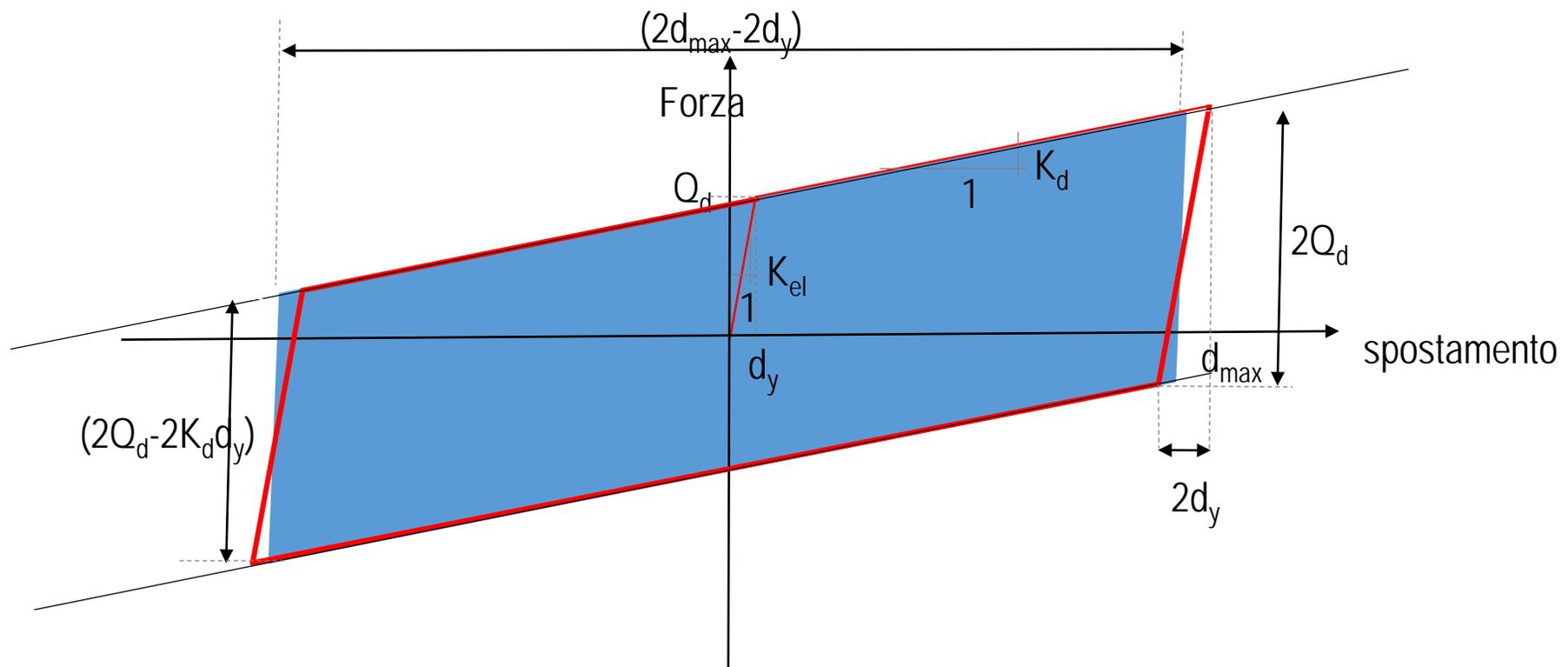
1. L'isolatore rimane elastico all'interno di due curve parallele di plasticità e la forza non può mai eccedere i limiti stabiliti da queste curve
2. La distanza tra le due curve di plasticità è due volte la resistenza caratteristica
3. Il ciclo è descritto tra due spostamenti uguali in direzione positiva e negativa



Energia dissipata per ciclo (EDC) per comportamento bilineare

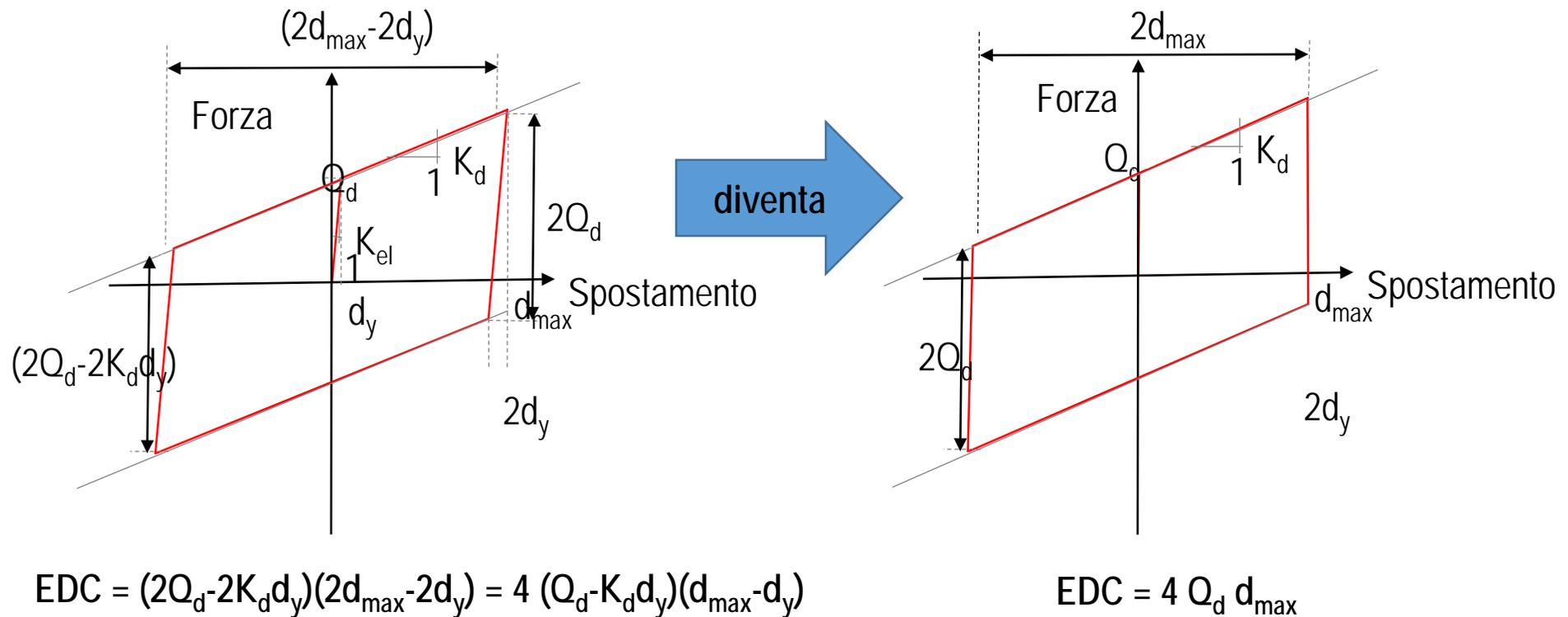
EDC e' l'area all'interno del ciclo (o del parallelogramma in blue)

$$EDC = (2Q_d - 2K_d d_y)(2d_{max} - 2d_y) = 4 (Q_d - K_d d_y)(d_{max} - d_y)$$



Ciclo forza-spostamento idealizzato

1. Rigidezza infinita nella fase elastica
2. Ciclo modellato come rigido-plastico
3. EDC calcolata come $EDC=4Q_d d_{max}$



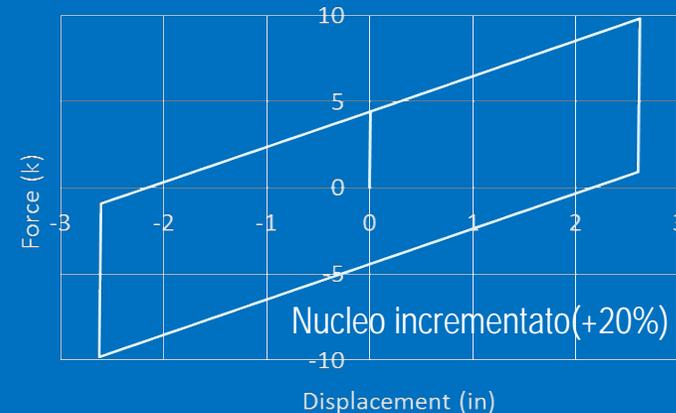
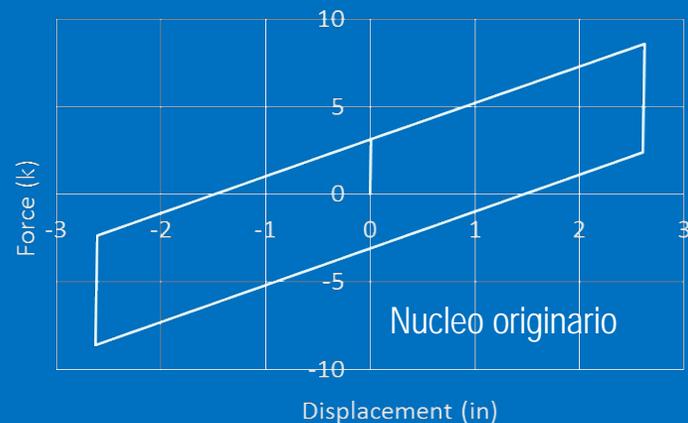
Cosa succede se aumento il diametro del nucleo di piombo?

aumento della rigidezza elastica $K_{el} \approx \frac{G_l A_l}{h_l}$

aumento della resistenza caratteristica $Q_d \approx A_l \sigma_l$

riduzione della rigidezza post – elastica $K_d = \frac{G_r A_r}{h_r}$

Esempio di incremento del 20% del diametro del piombo



Il nucleo in piombo incrementa principalmente la capacita' di dissipazione dell'isolatore. Lo smorzamento aumenta dal 23% (con un diametro del piombo =21% del diametro esterno della gomma) fino al 29% (diametro piombo=26% diametro esterno gomma)

Regola: Il fattore di smorzamento e' circa pari al rapport tra il diametro del nucleo in piombo e quello esterno della gomma per una deformazione a taglio $\gamma=150\%$.

Fattore di forma :

$S_1 = (d_0 - d_i) / 4t_r$ sezione circolare

$S_1 = (4a - \pi d_i^2) / 4t_r (4a + \pi d_i)$ sezione quadrata

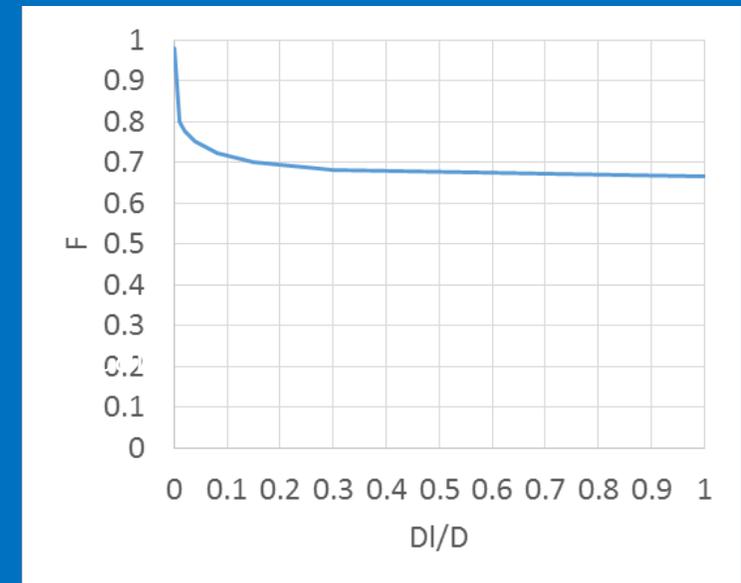
Nell'ipotesi di gomma incompressibile il modulo elastic effettivo della gomma in compressione dell'isolatore LRB e':

Sezione circolare : $E_c = 6GS^2F$

dove F e' un fattore geometrico definito come:

$$F = \frac{1 + \left(\frac{D}{D_l}\right)^2}{\left(1 - \frac{D}{D_l}\right)^2} + \frac{1 + \frac{D}{D_l}}{\left(1 - \frac{D}{D_l}\right) \ln\left(\frac{D}{D_l}\right)}$$

Valori tipici: $S \geq 10$ ($t/B \leq 1/40$ or $t/D \leq 1/40$), $F \approx 2/3$ e $E_c > 400G$
(isolatore molto piu rigido verticalmente che lateralmente)



Rigidezza vertical di un LRB:

$$\text{Sezione circolare: } k_v = \frac{E_c A_r}{h_r} = 6S^2 F \frac{G_r A_r}{h_r} = \mathbf{6S^2 F k_d}$$

Dove h_r e' l'altezza totale della gomma

VALORI TIPICI DI PROGETTO

Comportamento a taglio

$G_r = 0.7 \text{ MPa}$ per $\gamma = 50\% - 200\%$

$G_l = 5.6 \text{ GPa}$

$\sigma_l = 12 \text{ MPa}$

$\gamma = 150\%$ a spostamento per MCE

Comportamento verticale

Pressione vertical di servizio $p = 7 \text{ MPa}$

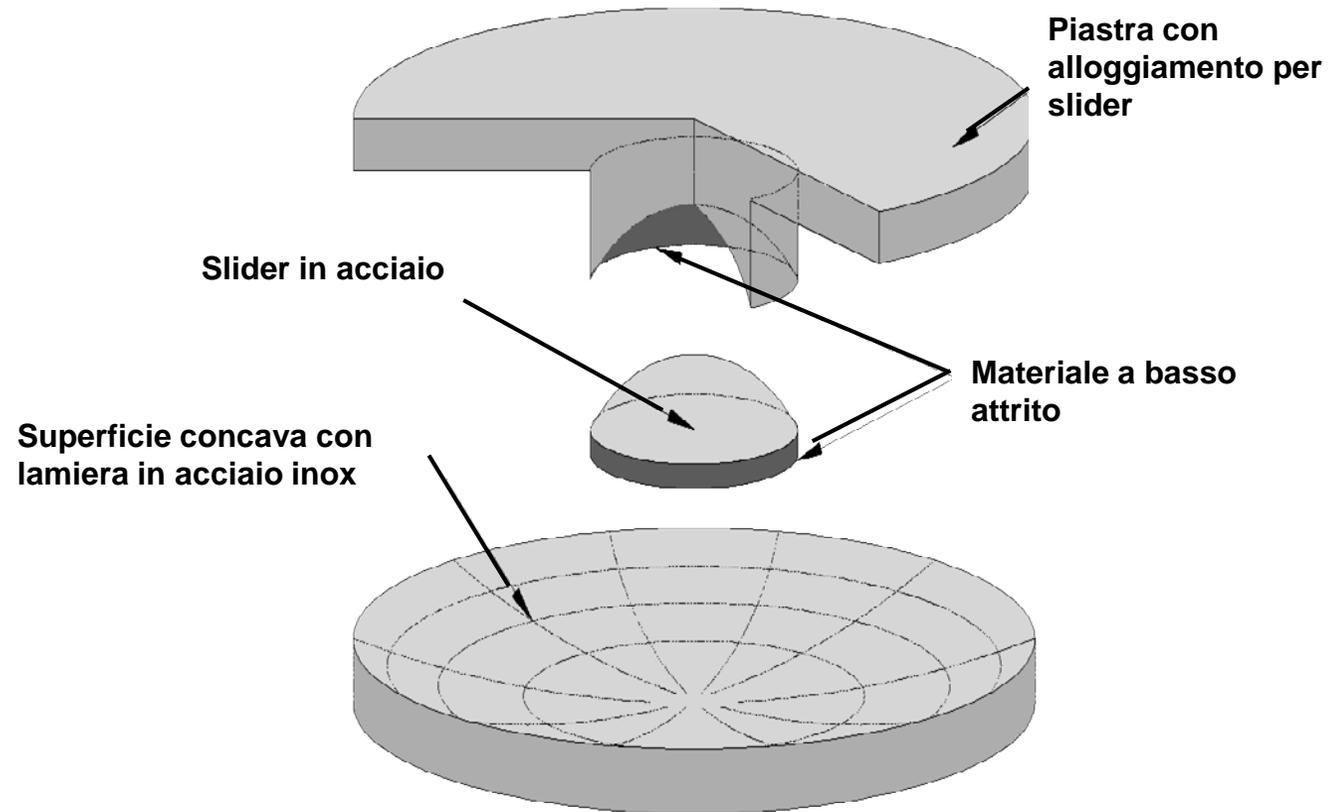
Fattore di forma primario $S \approx 10$

Rigidezza verticale: come gli altri elastomerici

Rigidezza rotazionale: come gli altri elastomerici

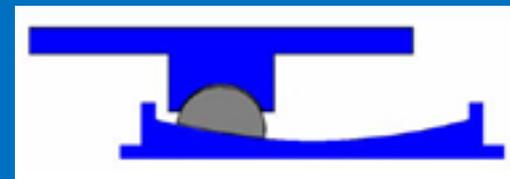
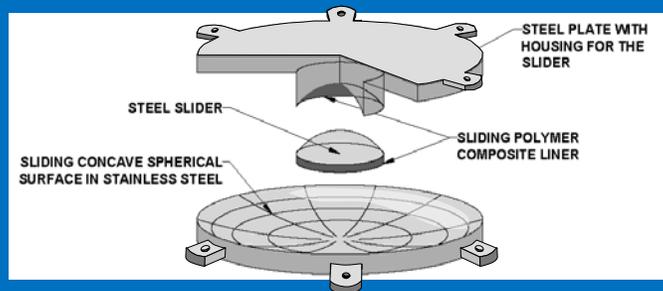
Carico critico: come gli altri elastomerici

Dispositivi ad attrito



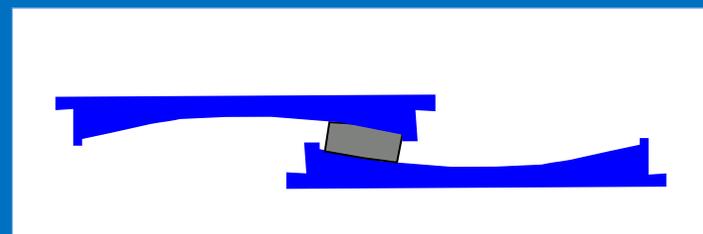
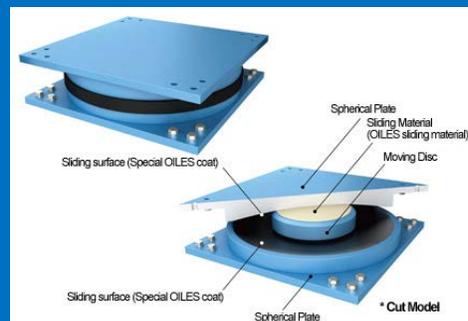
Tipi di pendoli ad attrito (friction pendulum - FP)

Pendolo semplice
(1 superficie scorr.)



Spostamento massimo contenuto

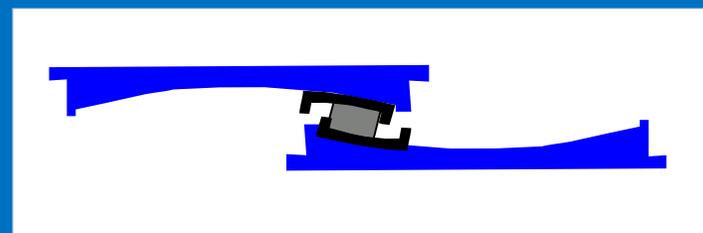
Doppio pendolo
(2 superfici scorr.)



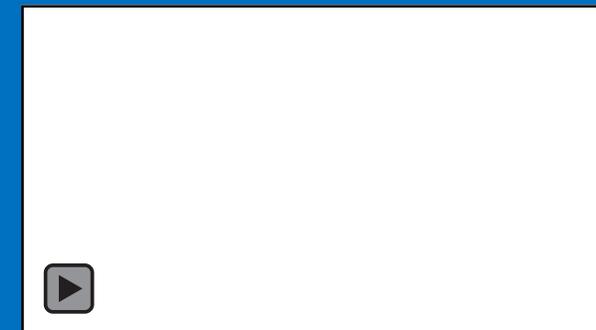
Ampio spostamento massimo
(dovuto alla doppia superficie di scorrimento)

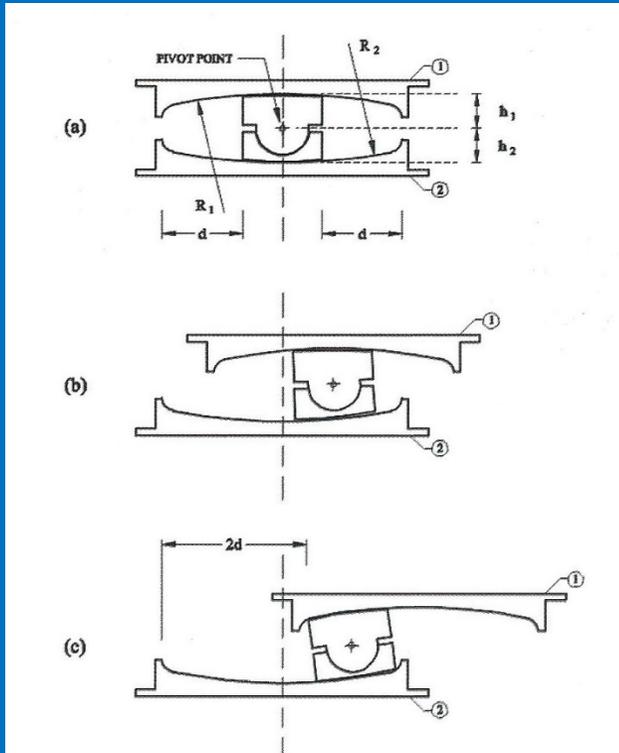
Video FRICTION
PENDULUM
(vedi materiale
supplementare)

Triplo pendolo
(2 doppi pendoli, uno
dentro l'altro)

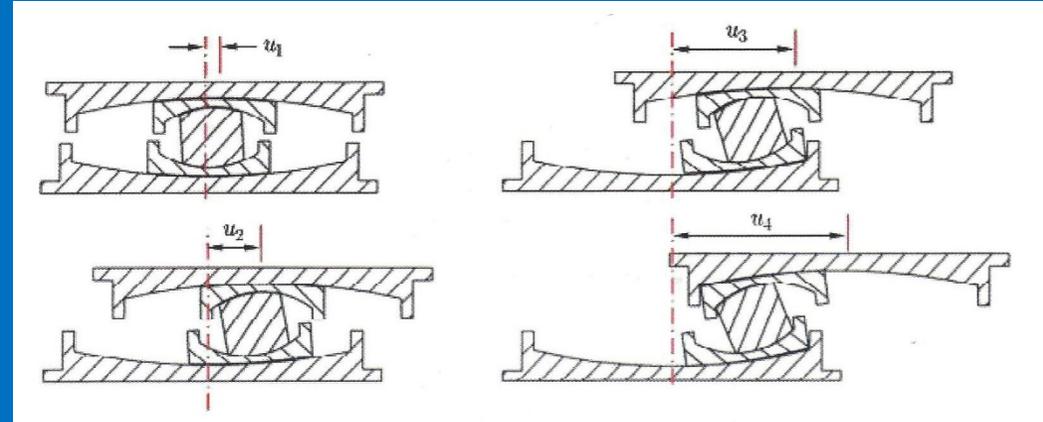


Spostamento massimo molto ampio
(grazie alle 4 superfici di scorrimento)





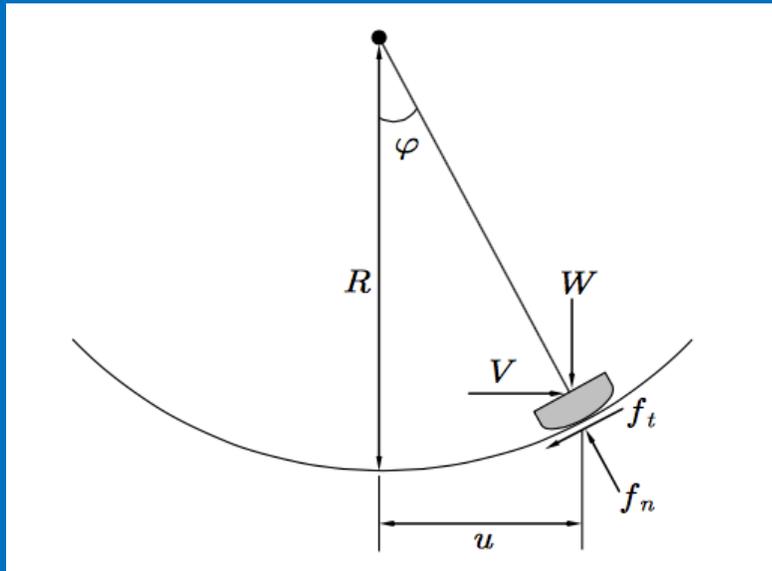
Doppio pendolo



Triplo pendolo

Caratteristiche peculiari:

- Periodo imposto funzione del raggio di curvatura
- Rigidezza orizzontale proporzionale al carico verticale (coincidenza in pianta tra centro di massa e centro di rigidezza)
- Spessore molto ridotto rispetto a dispositivi elastomerici di pari capacità di spostamento (molto adatti ad interventi su strutture esistenti)



$$V - f_t \cos \varphi - f_n \sin \varphi = 0$$

$$W + f_t \sin \varphi - f_n \cos \varphi = 0$$

In forma matriciale

$$\begin{pmatrix} V \\ W \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \varphi & \sin \varphi \\ -\sin \varphi & \cos \varphi \end{bmatrix} \begin{pmatrix} f_t \\ f_n \end{pmatrix}$$

Dalla geometria:

$$\sin \varphi = u / R$$

$$\cos \varphi = \sqrt{R^2 - u^2} / R$$

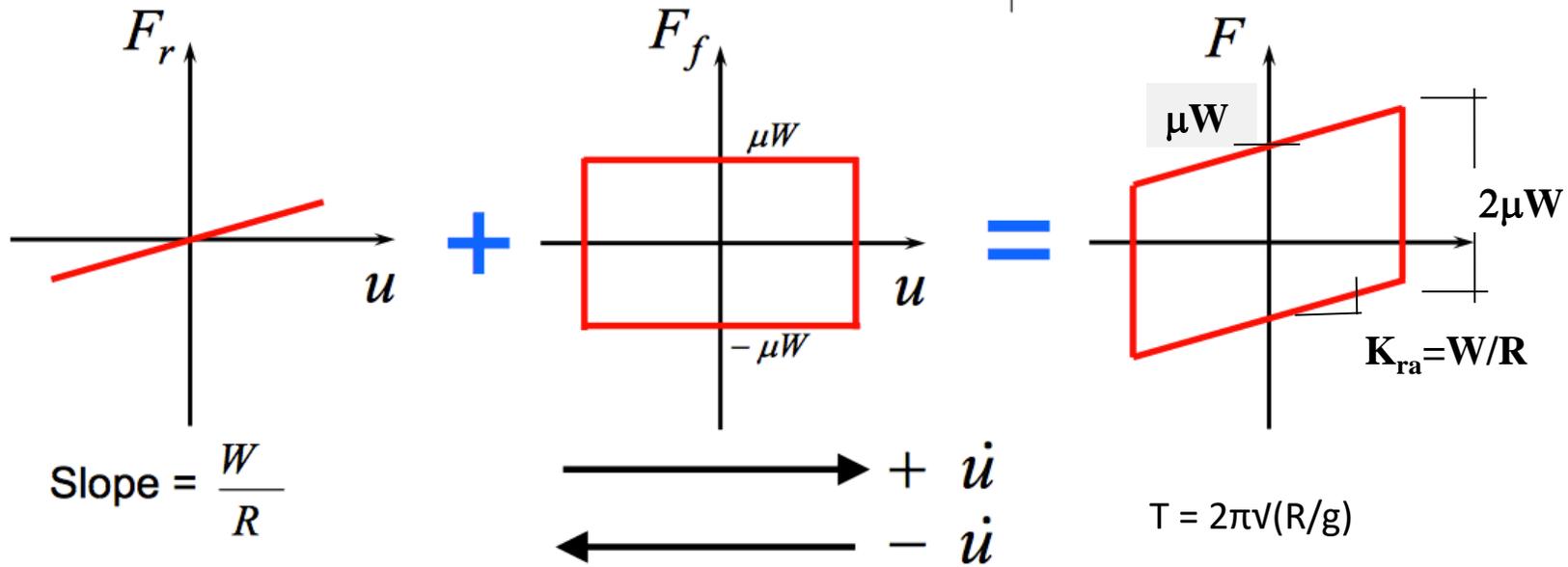
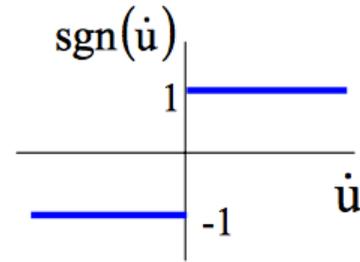
Essendo: $R \gg u$

$$\rightarrow \sqrt{R^2 - u^2} \approx R$$

$$f_t = \mu f_n$$

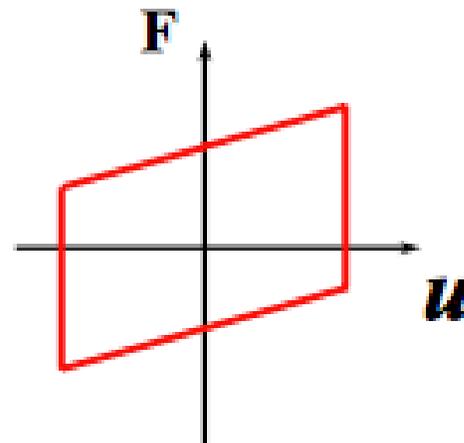
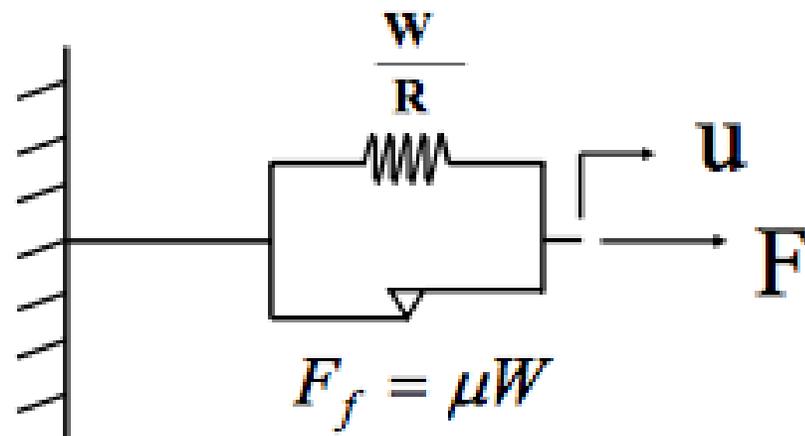
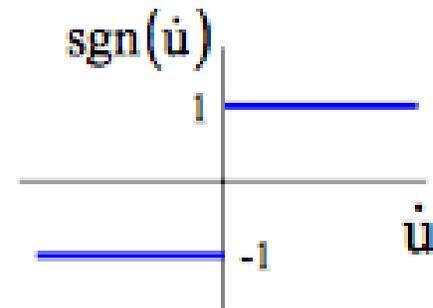
$$V = \mu W \operatorname{sgn}(\dot{u}) + \frac{W}{R} u$$

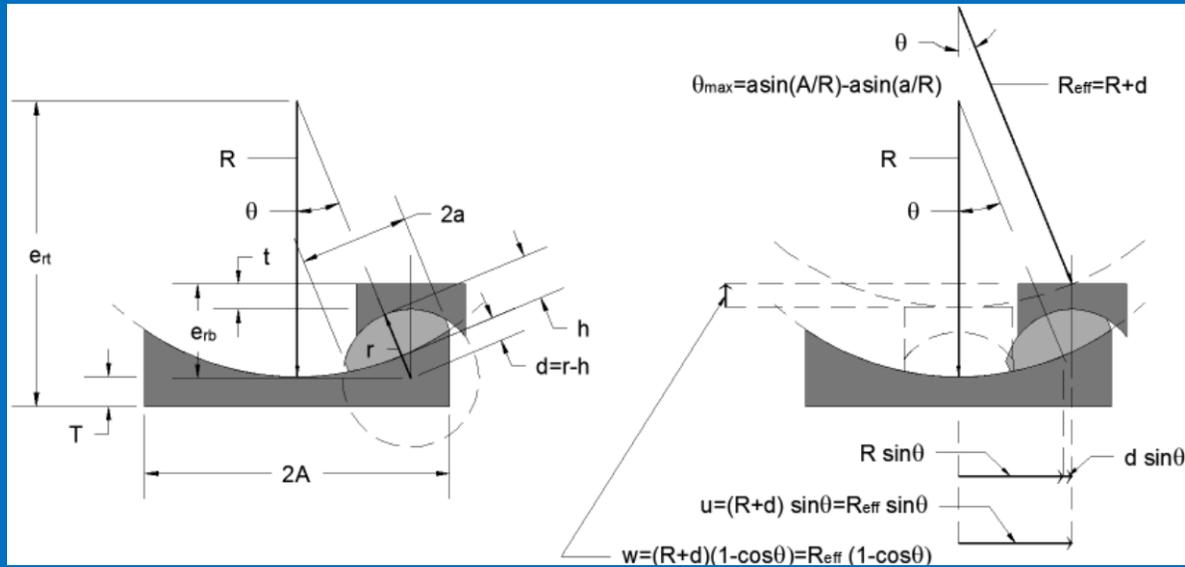
$$F = \frac{W}{R}u + \mu W \operatorname{sgn}(\dot{u}) = F_r + F_f$$



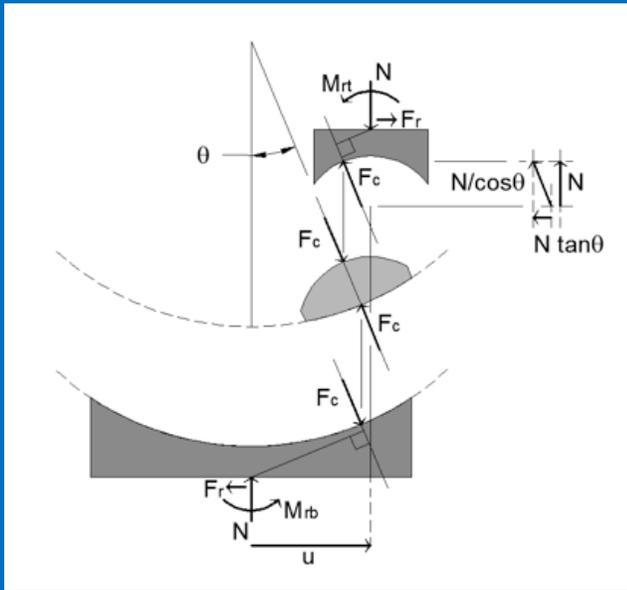
E' questo un modello accettabile per un FP?

$$F = \frac{W}{R}u + \mu W \operatorname{sgn}(\dot{u})$$





Variabile	Espressione esatta	Espressione approx.	Errore per $A < R/3$
Angolo massimo	$\theta_{\max} = \sin^{-1}\left(\frac{A}{R}\right) - \sin^{-1}\left(\frac{a}{R}\right)$ (3a)	$\theta_{\max} = \frac{A - a}{R}$ (3b)	<2%
Spst. radiale	$u = R_{\text{eff}} \sin \theta$ (4a)	$u = R_{\text{eff}} \theta$ (4b)	<2%
Spst. verticale	$w = R_{\text{eff}} (1 - \cos \theta)$ (5a)	$w = R_{\text{eff}} \theta^2 / 2$ (5b)	<3%

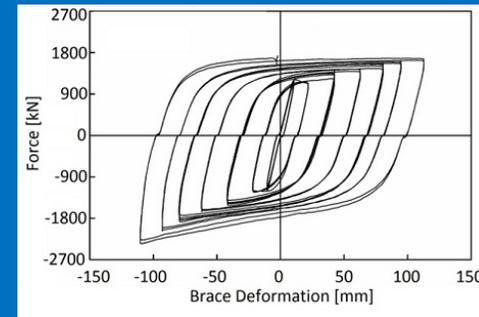
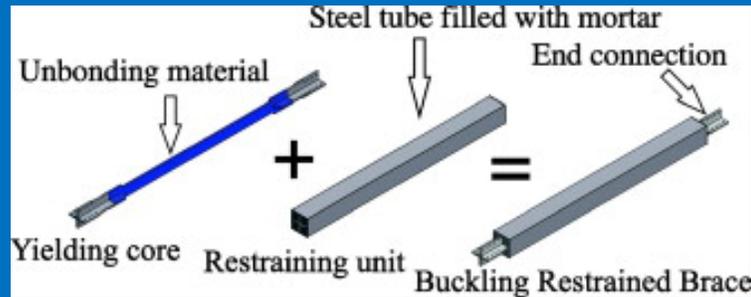


Variabile	Espressione esatta	Espressione approx.	Errore per $A < R/3$
Forza di contatto	$F_c = \frac{N}{\cos \theta} \quad (6a)$	$F_c = N$	$< 6\% \frac{A - a}{A} \quad (6b)$
Pressione di contatto	$p_c = \frac{N}{\cos \theta} \frac{1 + \sqrt{1 - (a/R)^2}}{2\pi a^2} \quad (7a)$	$p_c = \frac{N}{2\pi a^2}$	$< 6\% \frac{A - a}{A} \quad (7b)$
Forza di richiamo	$F_r = K_r \cdot u = \frac{N}{R_{eff} \cos \theta} \cdot u \quad (8a)$	$F_r = K_r \cdot u = \frac{N}{R_{eff}} \cdot u$	$< 6\% \frac{A - a}{A} \quad (8b)$

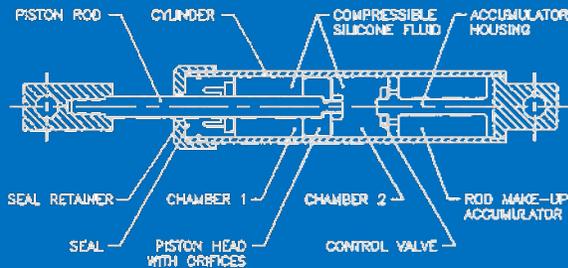
- Casistica di dispositivi per la dissipazione di energia

Tipi di dispositivi per la dissipazione di energia in funzione della natura delle forze dissipative

1. Dipendenti dallo spostamento (l'energia dissipata per ciclo EDC è proporzionale alla deformazione del dispositivo – esempio: dissipatori plastici (come i BRB))



2. Dipendenti dalla velocità (l'EDC dipende dalla velocità di carico del dispositivo – esempio: smorzatori viscosi a fluido)

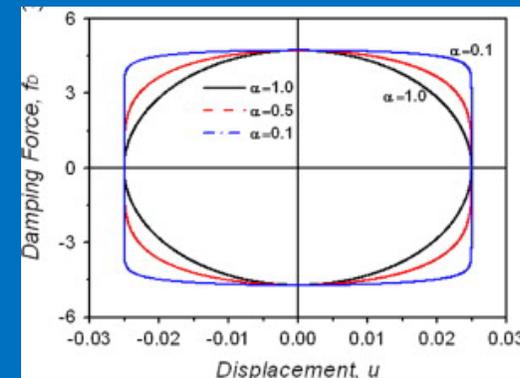


Viscous force $F_v = cv^a$

c = coefficient of viscosity

v = stroke velocity

a = viscous exponent (linear viscous for $a = 1$)



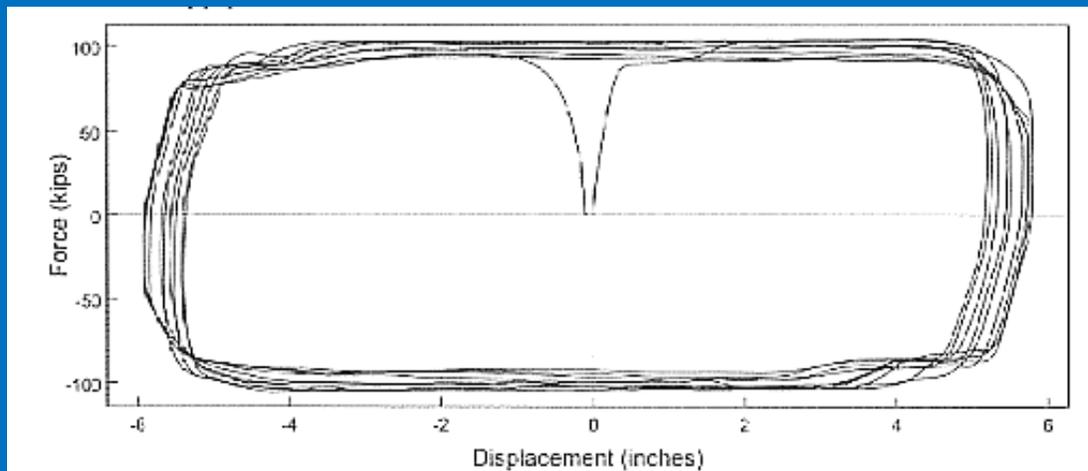
3. Di altra natura (molle ad attrito, dispositivo con leghe a memoria di forma, reticoli pentamode, ecc..)

Dispositivi viscosi (dampers)

Modello di Maxwell: molla lineare in serie con uno smorzatore non lineare (non-linear dashpot). La prima componente (molla elastica) schematizza la risposta elastica di tipo istantaneo del dispositivo, mentre la seconda componente modella la risposta dipendente dal tempo e le proprietà di smorzamento.

Legge costitutiva Maxwell: $F = C \left(\dot{x} - \frac{\dot{F}}{K} \right)^\alpha$

Legge semplificata: $F = C \dot{x}^\alpha$



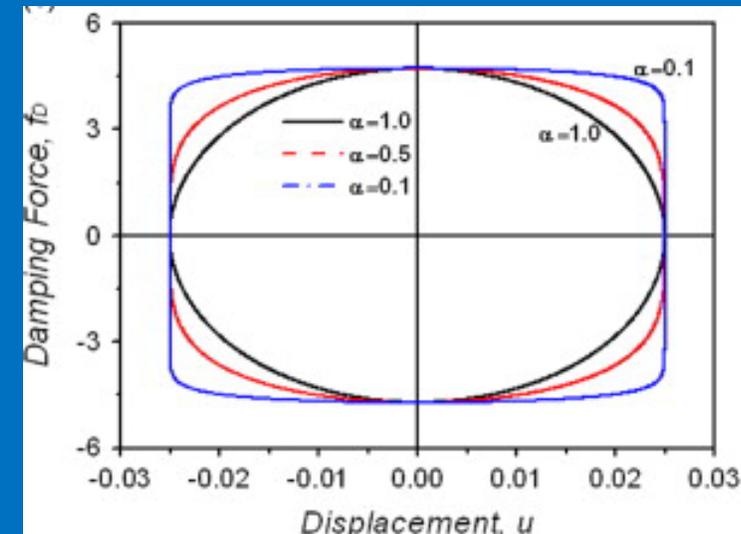
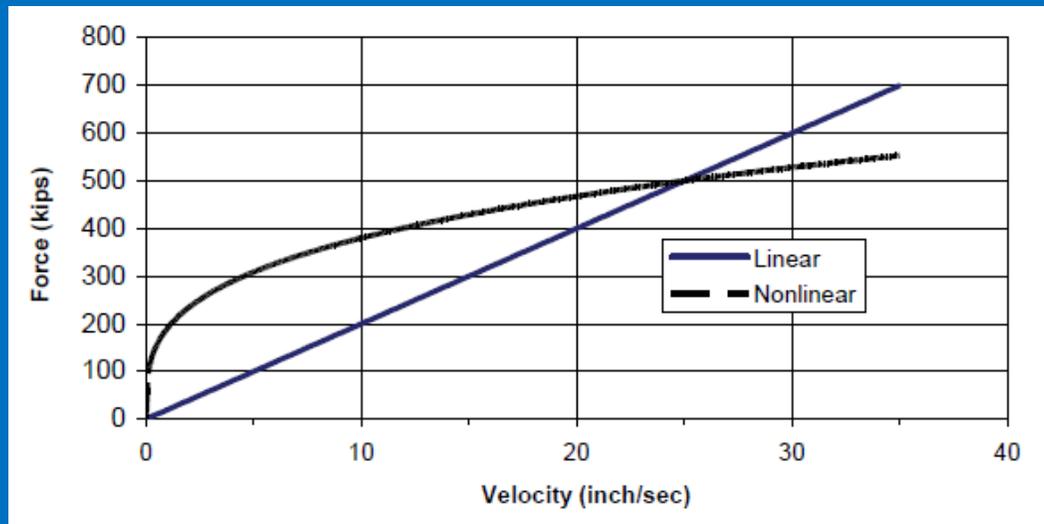
Per valori bassi di α , il ciclo forza-spostamento tende ad assumere una forma rettangolare

Il coefficiente di smorzamento viscoso effettivo puo' raggiungere valori del 50%

Smorzatori viscosi lineari e nonlineari

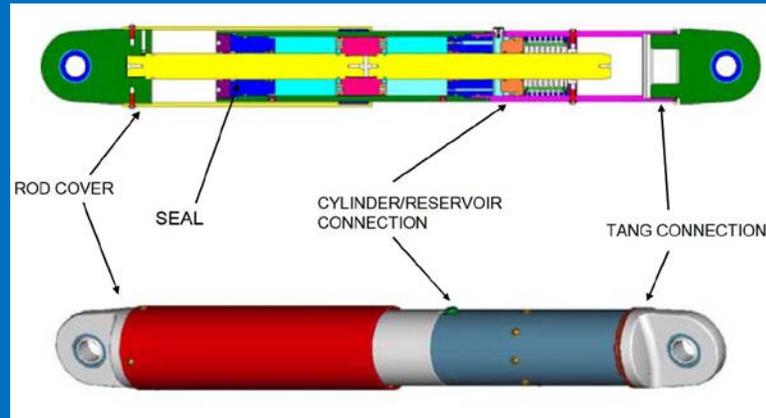
Gli smorzatori viscosi lineari sono quelli in cui l'esponente α è pari a 1.0.

Gli smorzatori nonlineari sono caratterizzati da valori di α nell'intervallo da 0.3 a 0.5. Sono impiegati per limitare l'ampiezza delle forze trasmesse in output per velocità che vanno fuori dal range operative ottimale e per massimizzare l'energia dissipata.



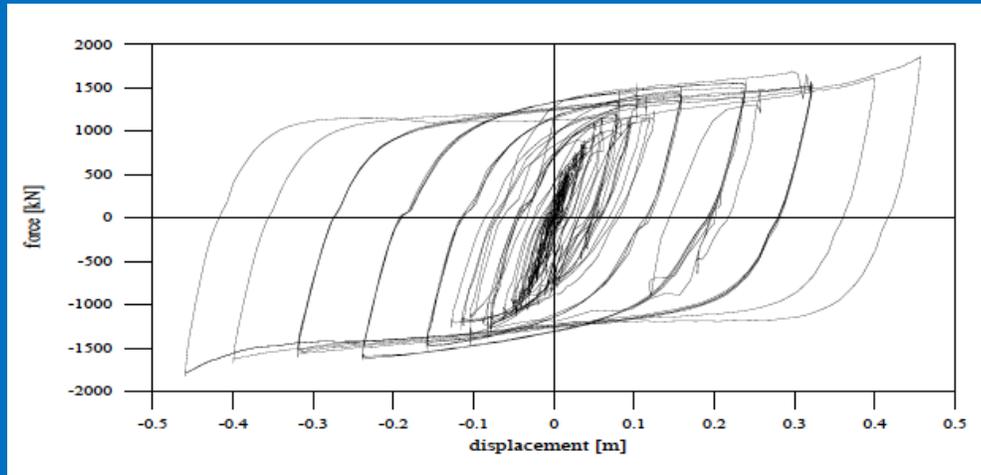
Valori diversi dell'esponente α sono ottenuti; (a) modificando gli orifizi attraverso i quali passa il fluido ;(b) usando valvole di sfogo ed amplificatori.

Dispositivi viscosi (dampers)



Dispositivi elastoplastici

Il comportamento dissipativo è governato dallo snervamento del materiale e dalla relativa dissipazione plastica



Vantaggi:

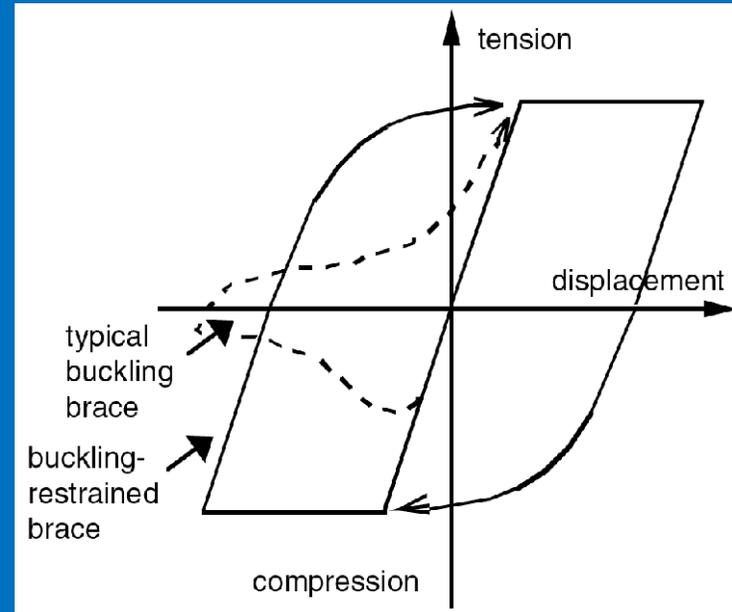
- Enorme capacità di dissipazione e funzionamento molto prevedibile



Svantaggi:

- Scarso/nullo ricentraggio

Controventi ad instabilità impedita (Buckling Restrained Braces - BRB)



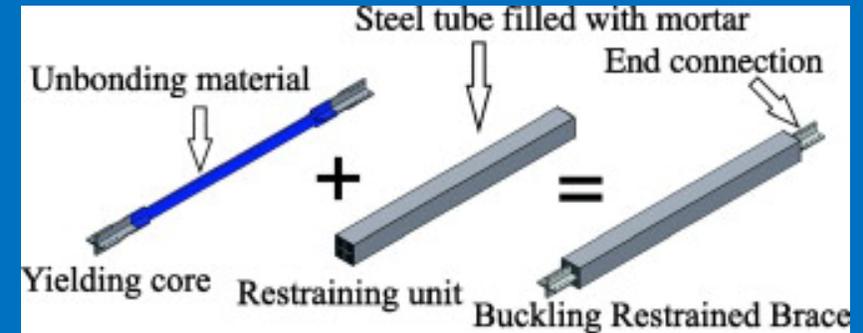
L'idea alla base dei BRB e' di impedire il buckling globale in modo da consentire lo svilupparsi di un pieno e stabile ciclo di isteresi degli elementi (diagonali) di controvento sollecitati a sforzo normale

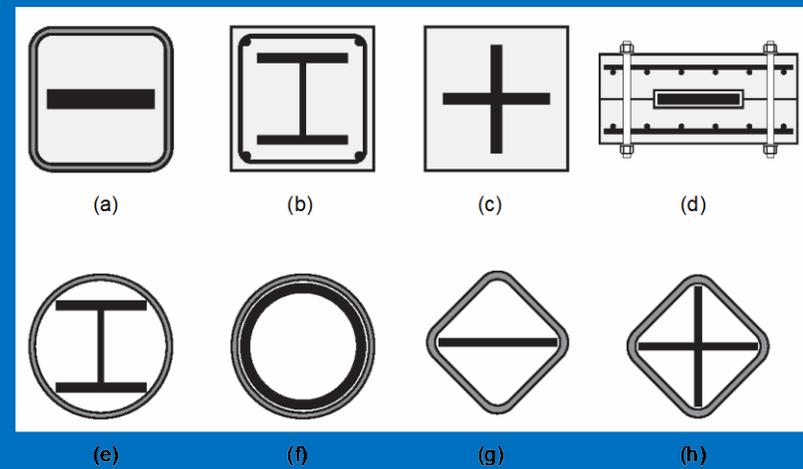
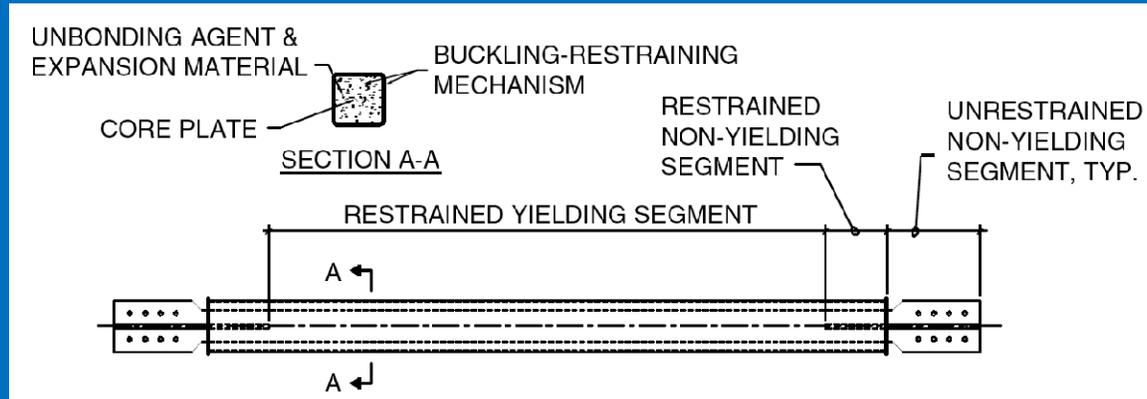
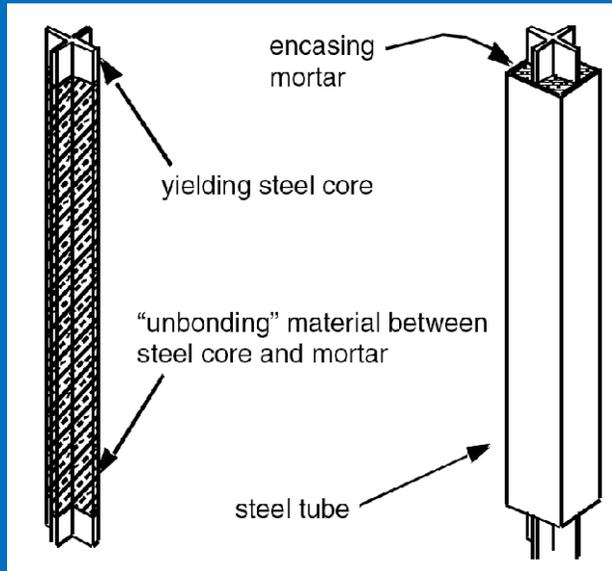
Informazioni di dettaglio sui BRB

Sviluppati in Giappone a metò degli anni 1980 (Watanabe et al., 1988)

Elementi chiave:

1. Un elemento in acciaio con sezione rettangolare o a croce è progettato per snervarsi sotto basso carico in compressione e trazione
2. Un tubo esterno a sezione rettangolare o circolare è progettato di modo che il suo carico di buckling sia maggiore del carico di rottura del tubo interno
3. Il tubo esterno è riempito di calcestruzzo per impedire il buckling del tubo interno
4. Uno strato di materiale non aderente separa il tubo interno dal riempimento in calcestruzzo del tubo esterno





Nel progettare e scegliere il meccanismo di unbonding, l'effetto di Poisson del nucleo in acciaio in compressione deve essere considerato con attenzione. Se mal dimensionato può risultare in un aumento della capacità a compressione del diagonale, potenzialmente critica per elementi strutturali adiacenti

Comportamento bilineare idealizzato dei BRB

I BRB sono progettati per avere uguale resistenza a trazione ed a compressione

Forza di snervamento a trazione/compressione

$$F_y = f_y A_c$$

f_y = tensione snervamento acciaio

A_c = area dell'anima in acciaio

$$\text{Rigidezza elastica } K_{el} = \left(\frac{L_e}{E_s A_e} + \frac{L_c}{E_s A_c} \right)^{-1}$$

E_s = modulo elastico acciaio = 200GPa

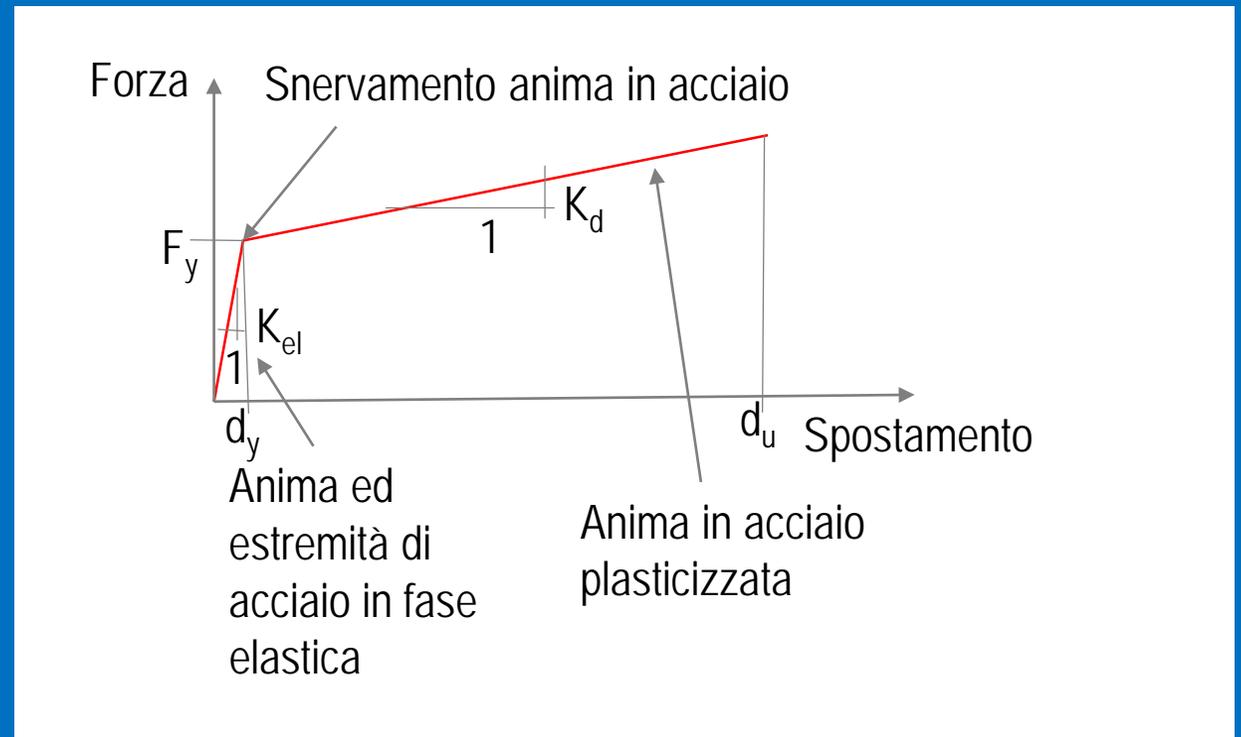
A_e = area degli elementi terminali

L_e = lunghezza degli elementi terminali

L_c = lunghezza dell'anima in acciaio

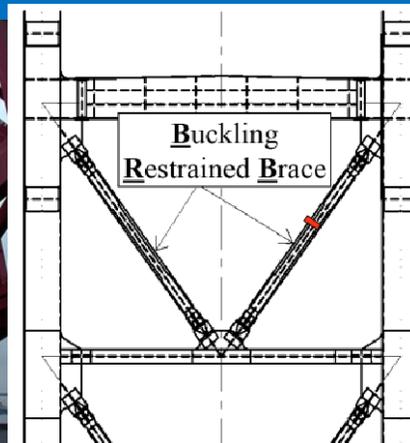
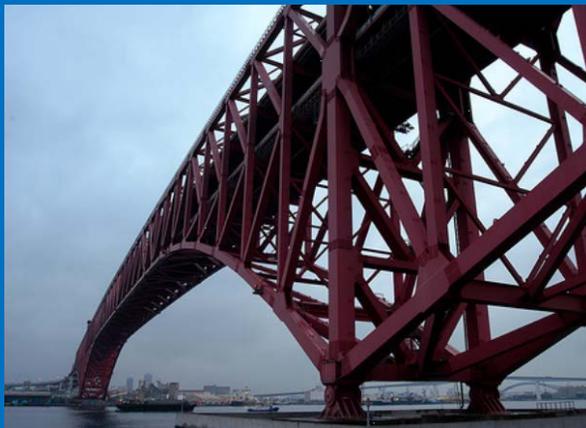
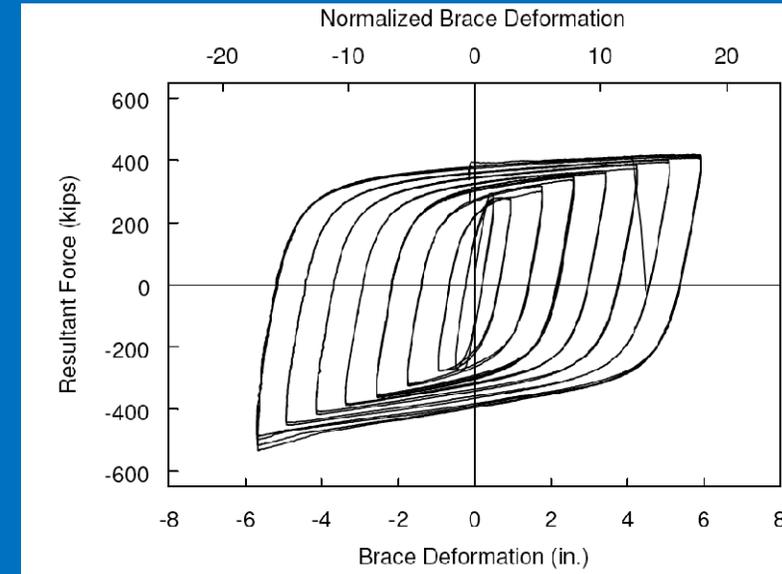
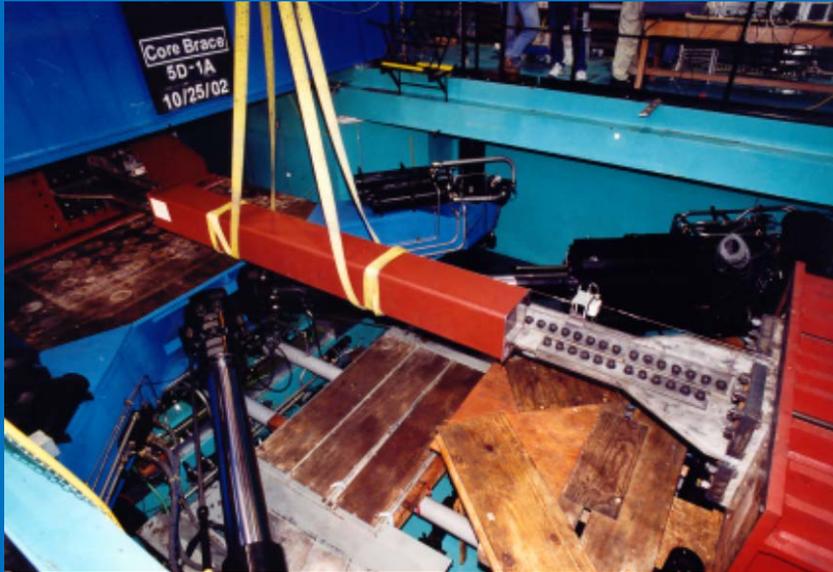
$$\text{Spostamento di snervamento } d_y = \frac{F_y}{K_{el}}$$

$$\text{Rigidezza post - elastica } K_d = 0.05 K_e$$



$$\text{Spostamento ultimo } d_u = 20d_y$$





Minato Bridge , costruito nel 1974 e danneggiato durante Kobe 1995. L'adeguamento sismico del 2007 ha impiegato una serie di isolatori a scorrimento sotto l'impalcato e la sostituzione di alcuni diagonali con BRB



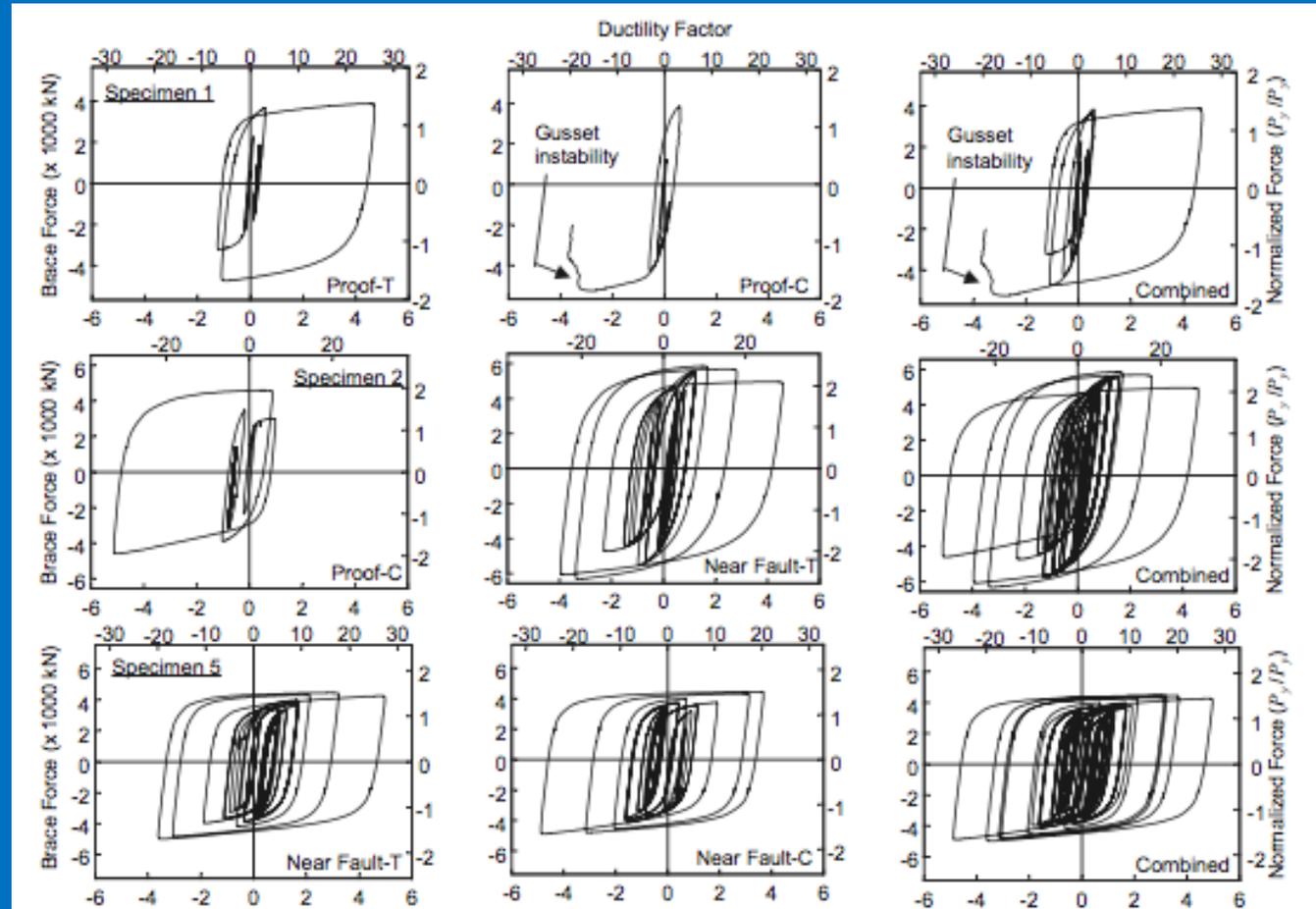
Owatari Bridge
(Nuova costruzione con BRBs)

BRBs Usati come
diaframma duttile (Japan)



Capacita' di raggiungere grandi deformazioni (=5%) in condizioni Near-Fault in regime sia quasi statico che dinamico ($> 30\% s^{-1}$)

Capacita' di sostenere protocolli di prova severi e ripetuti, con deformazioni inelastiche cumulate molto elevate



Deformazione dell'anima (%)

ORDINE DEGLI INGEGNERI
DELLA PROVINCIA DI AVELLINO

CORSO DI AGGIORNAMENTO
SUL CONSOLIDAMENTO SISMICO DELLE STRUTTURE

AVELLINO, GIUGNO/OTTOBRE 2019



Relatori:

Gianmario Benzoni ⁽¹⁾

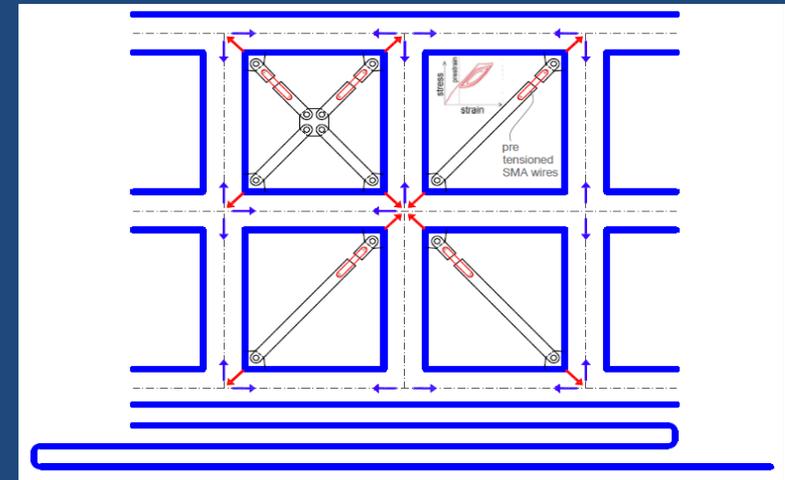
Luciano Feo ⁽²⁾

Fernando Fraternali ⁽²⁾

Giuseppe Rocchetta ⁽²⁾

⁽¹⁾ *University of California, San Diego*

⁽²⁾ *Università degli Studi di Salerno*



Lezione 2

- Linee guida progettuali per interventi di adeguamento sismico

LINEE GUIDA PROGETTUALI

D.M. 2018 – Edifici e CIRCOLARE 7/2019

TIPOLOGIE DEI DISPOSITIVI

CARATTERISTICHE MECCANICHE

QUALIFICAZIONE DEI DISPOSITIVI

PROCEDURA DI ACCETTAZIONE

MODELLAZIONE

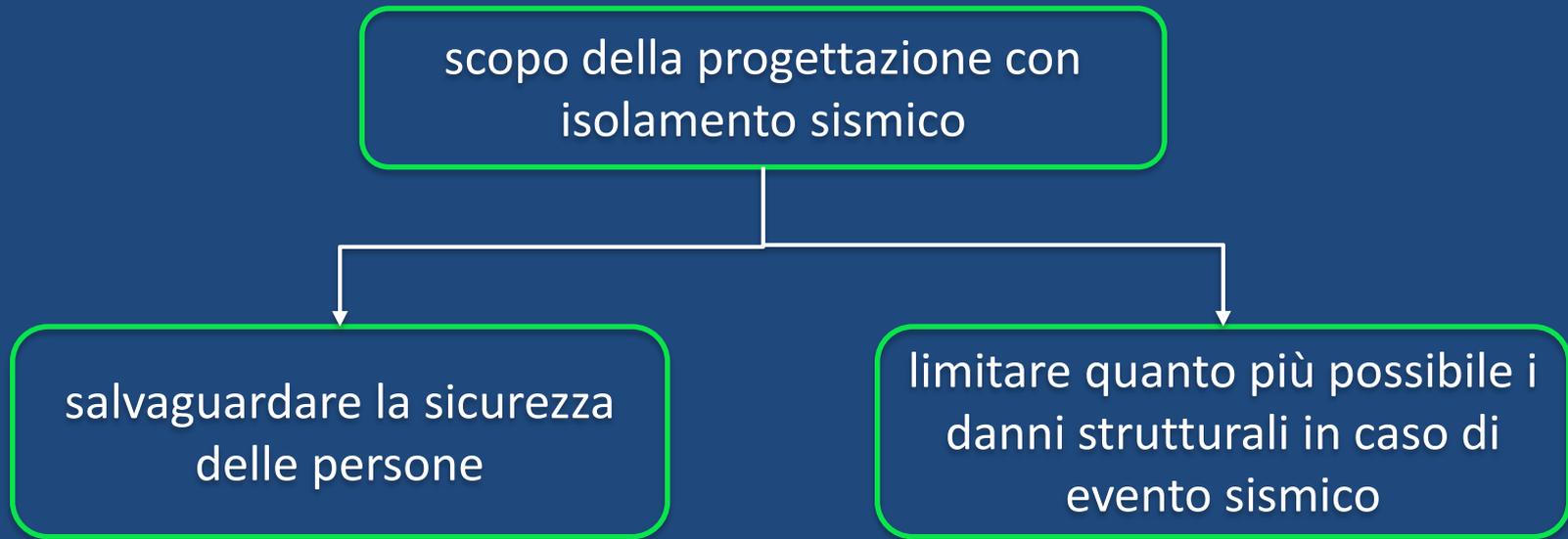
PROGETTAZIONE (METODI DI ANALISI)

VERIFICHE

COLLAUDO

IMPLEMENTAZIONE NEL MODELLO DI CALCOLO

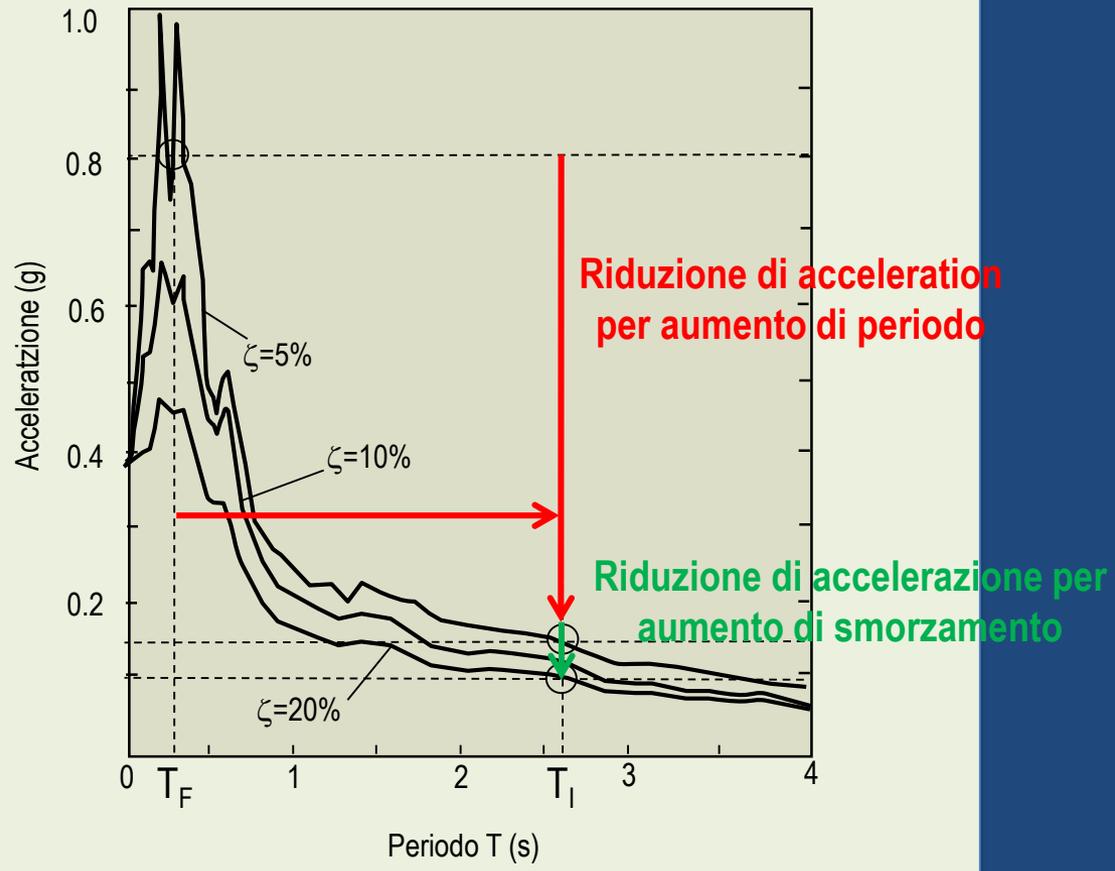
LINEE GUIDA PROGETTUALI



Per soddisfare questi obiettivi il sistema di isolamento deve essere:

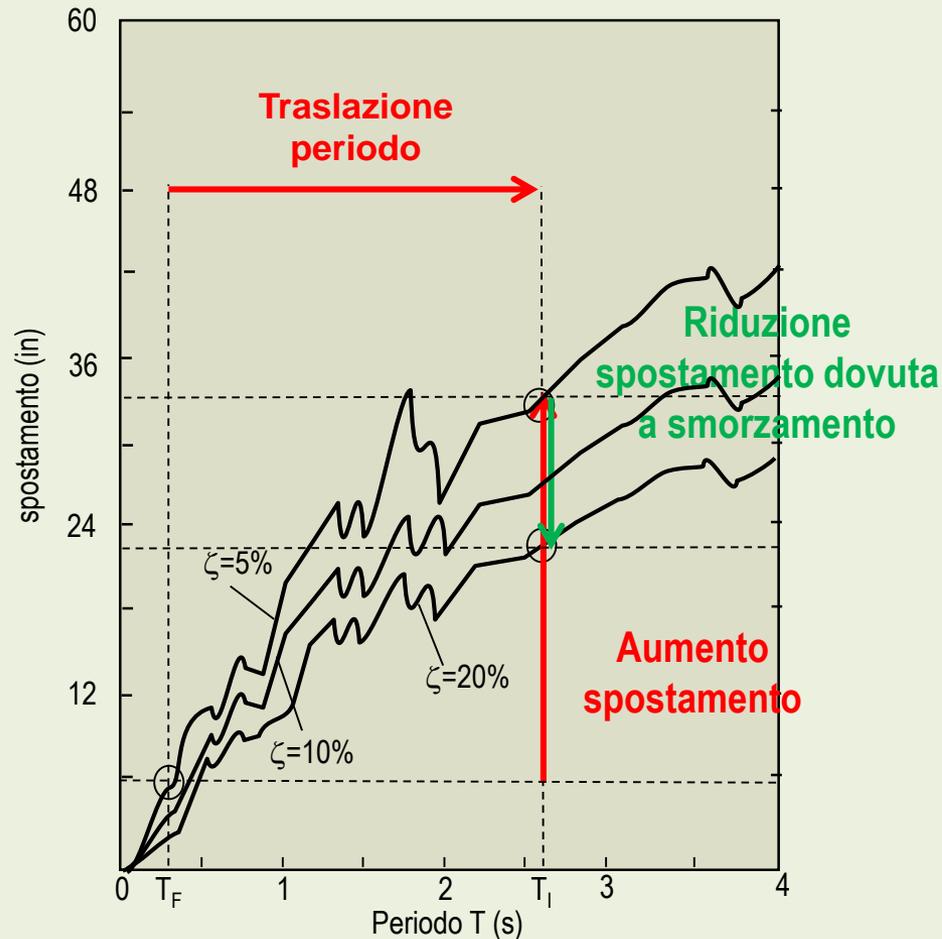
- sufficientemente stabile e capace di sostenere le forze e gli spostamenti richiesti dal terremoto di progetto ed inoltre, in corrispondenza della stessa eccitazione sismica;
- la struttura al di sopra del sistema di isolamento deve rispondere in fase elastica.

LINEE GUIDA PROGETTUALI



Il periodo della struttura isolata e' scelto sulla base del desiderato/richiesto livello di accelerazione ($1s < T_I < 3s$)

LINEE GUIDA PROGETTUALI



Lo spostamento del Sistema isolante e' critico per verificare la stabilita' dell'isolatore e le dimensioni del gap attorno all'edificio ($300\text{mm} < D < 900\text{mm}$).
Va notato che lo smorzamento reduce sia spostamento che accelerazione.

LINEE GUIDA PROGETTUALI

Predimensionamento

La procedura di pre-dimensionamento di un sistema di isolamento si porta a termine agevolmente, anche attraverso semplici calcoli manuali, svolgendo le seguenti operazioni:

- a. Determinazione del periodo e valore di smorzamento del sistema di isolamento. Sulla base della scelta di valori target di accelerazione e spostamento vengono identificati la rigidezza ed il fattore di smorzamento dell'intero sistema isolante.
- b. I valori complessivi di rigidezza e smorzamento vengono ripartiti tra i singoli isolatori;
- c. Scelta e progettazione di dettaglio dei dispositivi di isolamento

LINEE GUIDA PROGETTUALI

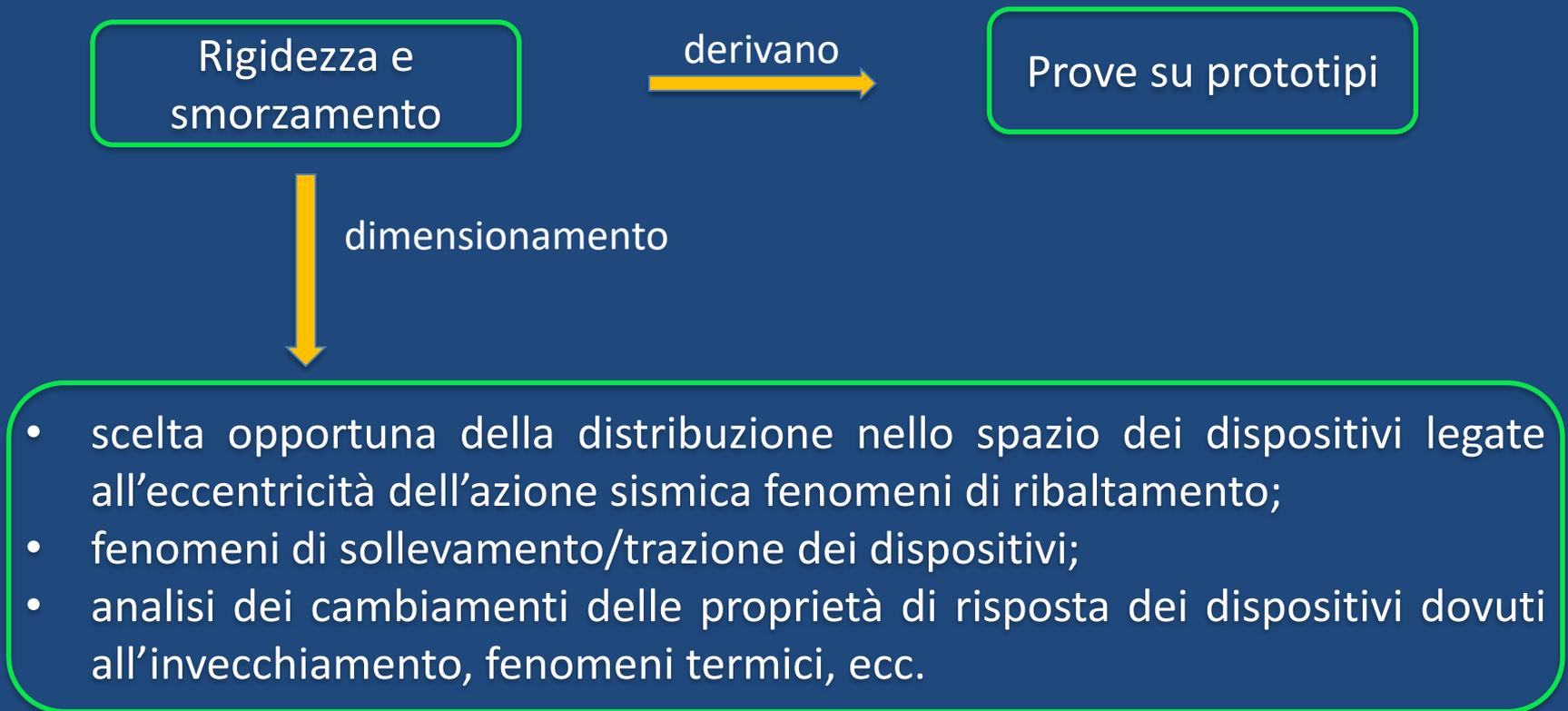
Progettazione verifica

Una volta completata la procedura di pre-dimensionamento, si passa alla fase successiva della progettazione e verifica del sistema di isolamento, che riguarda lo svolgimento di un'analisi non lineare dell'intera struttura ed una verifica di capacità.

Procedura di progetto e verifica sopra esposta è di natura iterativa, richiedendo analisi diversificate a seconda del sistema di isolamento adottato, al fine di tener conto delle condizioni limite di risposta dei vari dispositivi.

LINEE GUIDA PROGETTUALI

L'aspetto più delicato dell'analisi riguarda infatti la modellazione della risposta nominale dei dispositivi e la messa in conto della variabilità dei parametri fondamentali del loro comportamento.



TIPOLOGIE DEI DISPOSITIVI

DISPOSITIVO DI VINCOLO TEMPORANEO

Questi dispositivi sono utilizzati per obbligare i movimenti in uno o più direzioni secondo modalità differenziate a seconda del tipo e dell'entità dell'azione

DISPOSITIVI DEL TIPO A FUSIBILE

Impediscono i movimenti relativi fra le parti collegate sino al raggiungimento di una soglia di forza oltre la quale, al superamento della stessa, consentono tutti i movimenti.

Si utilizzano per escludere il sistema di protezione sismica nelle condizioni di servizio.

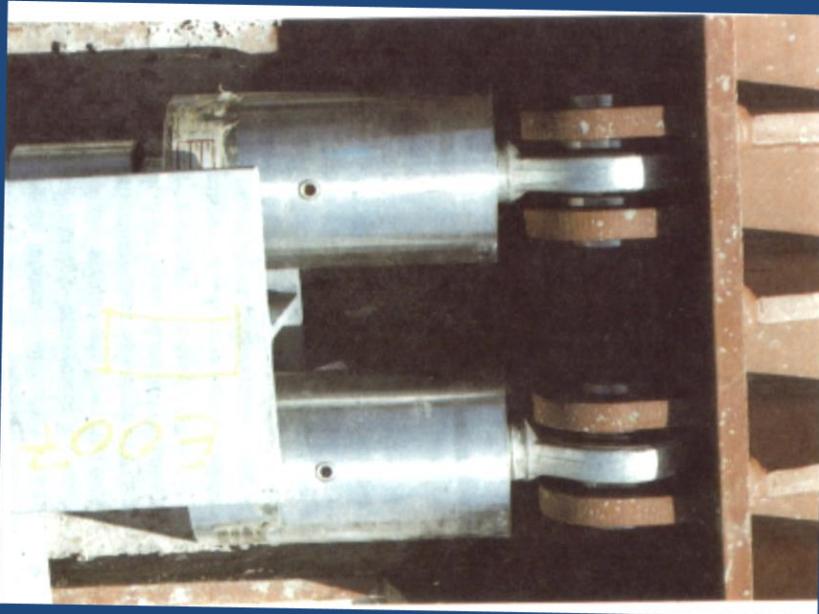


TIPOLOGIE DEI DISPOSITIVI

DISPOSITIVO DI VINCOLO TEMPORANEO

Questi dispositivi sono utilizzati per obbligare i movimenti in uno o più direzioni secondo modalità differenziate a seconda del tipo e dell'entità dell'azione

DISPOSITIVI DINAMICI



caratterizzati dalla capacità di solidarizzare gli elementi che collegano, in presenza di movimenti relativi rapidi, quali quelli sismici, e di lasciarli liberi, o quasi, in presenza di movimenti relativi lenti imposti o dovuti ad effetti termici.

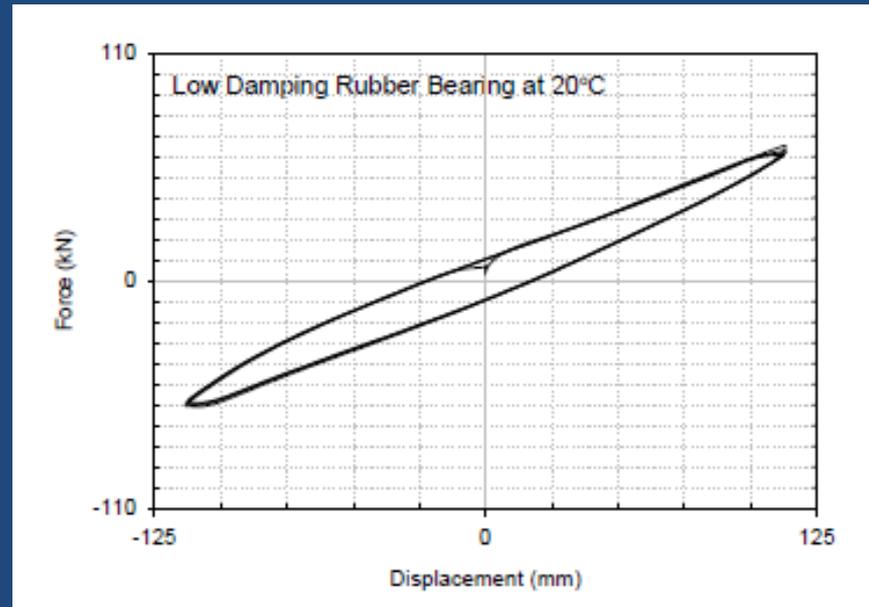
TIPOLOGIE DEI DISPOSITIVI

DISPOSITIVI DIPENDENTI DALLO SPOSTAMENTO

DISPOSITIVI A COMPORTAMENTO LINEARI

Dispositivi in gomma naturale o sintetica a basso smorzamento basso (NRB) (LDRB)

Smorzamento = 2 - 3%

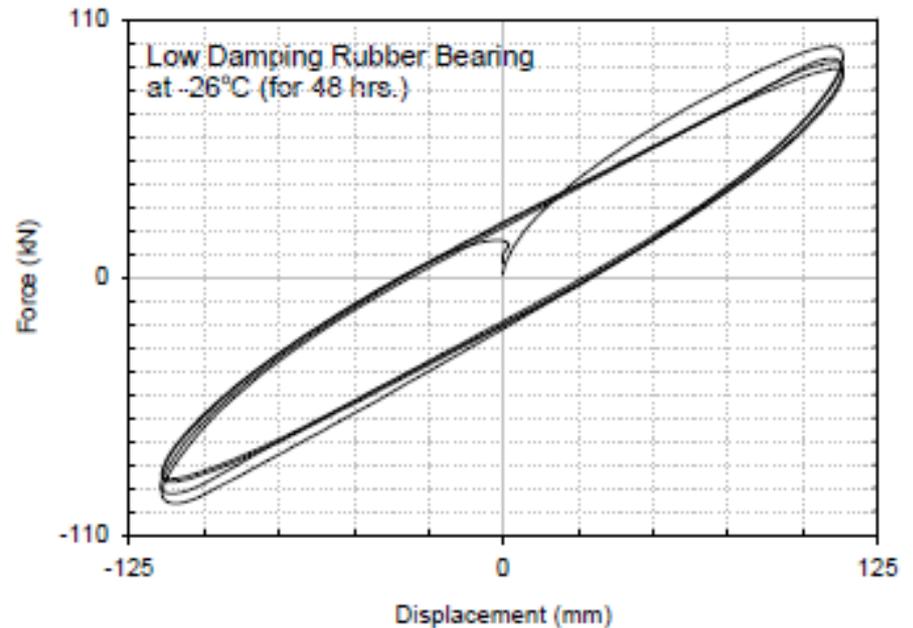


TIPOLOGIE DEI DISPOSITIVI

DISPOSITIVI DIPENDENTI DALLO SPOSTAMENTO

DISPOSITIVI A COMPORTAMENTO NON LINEARI

Dispositivi in gomma-piombo (LRB)



TIPOLOGIE DEI DISPOSITIVI

DISPOSITIVI DIPENDENTI DALLA VELOCITA'

detti anche *Dispositivi a comportamento viscoso* o “*Viscosi*”: caratterizzati dalla dipendenza della forza soltanto dalla velocità o da velocità e spostamento contemporaneamente; il loro funzionamento è basato sulle forze di reazione causate dal flusso di un fluido viscoso attraverso orifizi o sistemi di valvole.

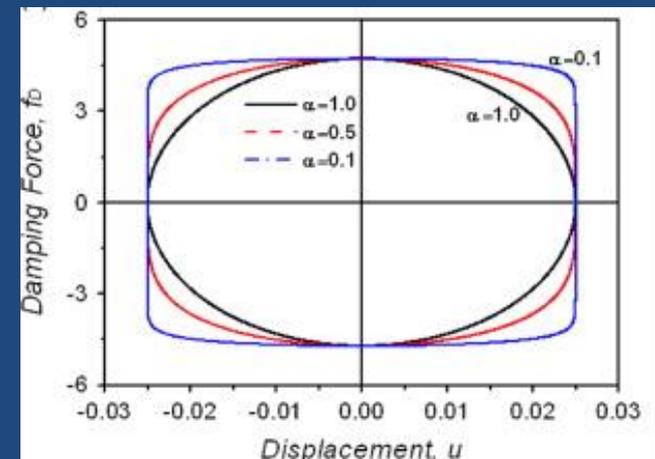
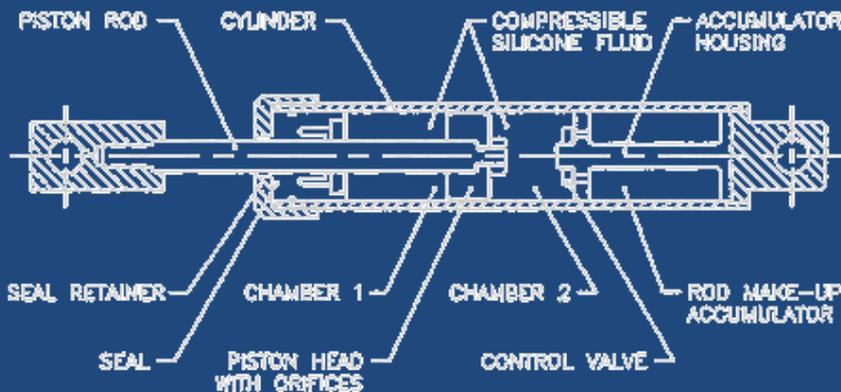


Forza viscosa $F_v = cv^\alpha$

c = coefficiente di viscosità

v = velocità di movimento

α = esponente viscoso (per $\alpha = 1$ forza viscosa lineare)



TIPOLOGIE DEI DISPOSITIVI

RION ANTIRION MAIN BRIDGE -GREECE



$$\text{Force} = C v^{0.15}$$

$$C = 3000 \text{ kN}/(\text{m}/\text{s})^{0.15}$$

$$v_{\text{max}} = 1.6 \text{ m}/\text{s}$$

$$F_{\text{max}} = 3220 \text{ kN}$$

$$\text{Stroke} = \pm 0.9 \text{ m}$$

$$\text{Length} = 6.14 \text{ m}$$

5 cycles

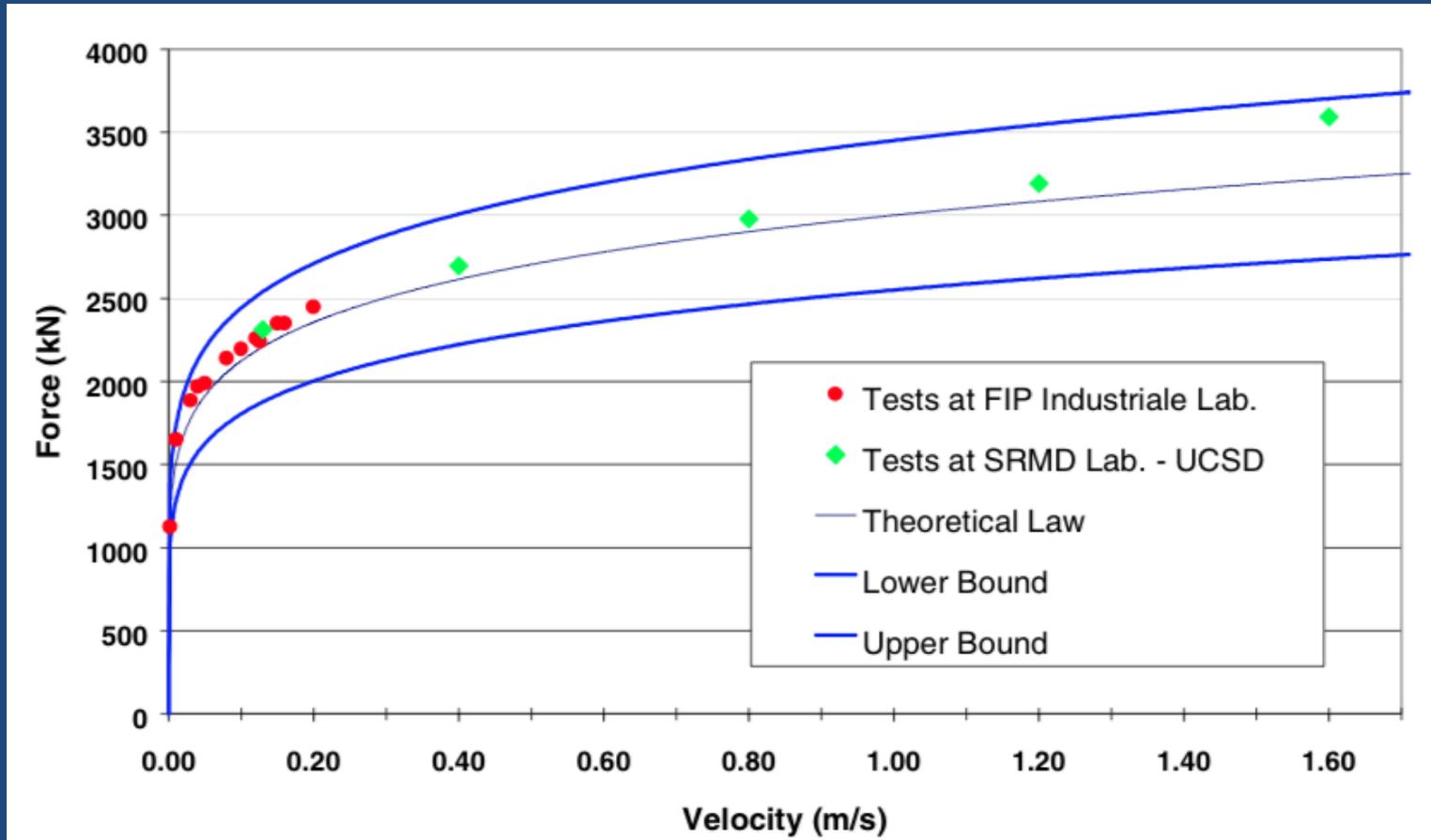
Displ: +/-300 mm

Velocity: 800 mm/s



TIPOLOGIE DEI DISPOSITIVI

RION ANTIRION MAIN BRIDGE -GREECE



Confronto sperimentale e teorico

Green = test su prototipi UCSD

Red = test su prototipi della FIP

TIPOLOGIE DEI DISPOSITIVI

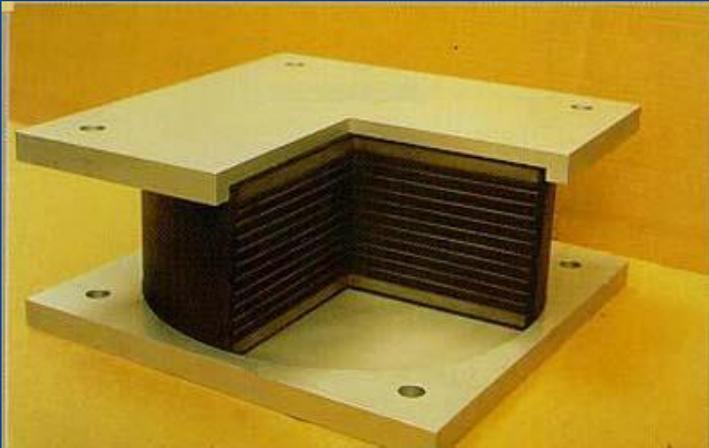
ISOLATORI

svolgono fundamentalmente la funzione di sostegno dei carichi verticali, con elevata rigidezza in direzione verticale e bassa rigidezza o resistenza in direzione orizzontale, permettendo notevoli spostamenti orizzontali

ISOLATORI ELASTOMERICI

Componenti principali:

- Strati di gomma per introdurre flessibilità laterale (5-20 mm)
- Strati in acciaio per introdurre rigidezza verticale limitando la deformazione laterale della gomma (2-3 mm)
- Rivestimento esterno di protezione in gomma



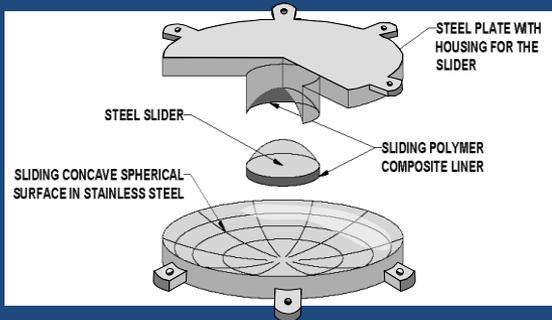
TIPOLOGIE DEI DISPOSITIVI

ISOLATORI

svolgono fundamentalmente la funzione di sostegno dei carichi verticali, con elevata rigidezza in direzione verticale e bassa rigidezza o resistenza in direzione orizzontale, permettendo notevoli spostamenti orizzontali

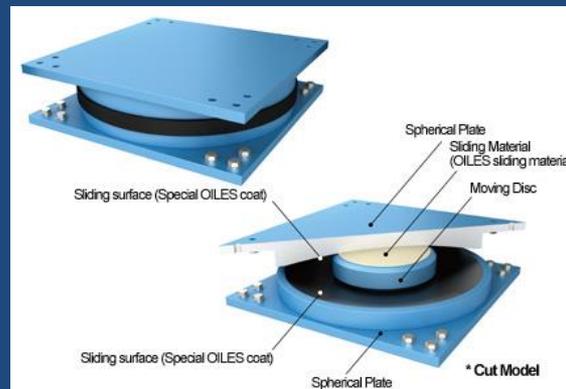
ISOLATORI A SCORRIMENTO

costituiti da appoggi a scorrimento, con superficie piana o curva



Pendolo singolo

(1 superfici di scorrimento)



Pendolo doppio o triplo

(piu superfici di scorrimento)

- Dissipazione energia attraverso l'attrito
- Frequenza di funzionamento dipendente dal raggio di curvatura (pendolo)
- **Autoricentranti (?)**

CARATTERISTICHE MECCANICHE

D.M. 2018 – § 11.9.7

Rigidezza alla traslazione orizzontale

$$k_e = \frac{G_{din}A}{t_r}$$

Deformazione a taglio

$$\gamma = \frac{D}{t_r}$$

Rigidezza estensionale verticale

$$k_v = \frac{E_c A'}{t_r}$$

G_{din} modulo dinamico equivalente a taglio

E_c modulo di elasticità istantaneo dell'elastomero rinforzato

A area trasversale lorda

A' area sez. trasv. lamine acciaio

D spostam. max in direzione orizzontale

t_r spessore totale elastomero

CARATTERISTICHE MECCANICHE

D.M. 2018 - § 11.9.7

Fattore di forma primario

$$S_1 = \frac{A'}{L} = \frac{D}{4t_i}$$

Fattore di forma secondario

$$S_2 = \frac{D}{t_e}$$

A' superficie in comune tra il singolo strato di elastomero e la singola lamina di acciaio

L superficie laterale libera del singolo strato di elastomero

t_e spessore totale degli strati di elastomero

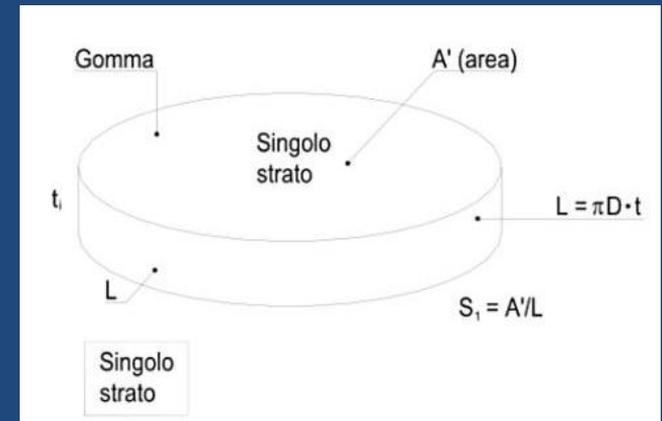
t_i spessore dell' i -esimo strato di gomma

D dimensione in pianta della singola piastra di acciaio parallela all'azione

sismica

S_1 è un indice della rigidità verticale del dispositivo. Infatti se riduco t (spessore del singolo strato di gomma), a parità di diametro ho un aumento di confinamento e quindi di rigidità verticale

S_2 è un indice della stabilità del dispositivo. Se aumento il diametro a parità dell'altezza totale della gomma il dispositivo è più stabile



CARATTERISTICHE MECCANICHE

Isolatori elastomerici – instabilità (Circolare 7/2019)

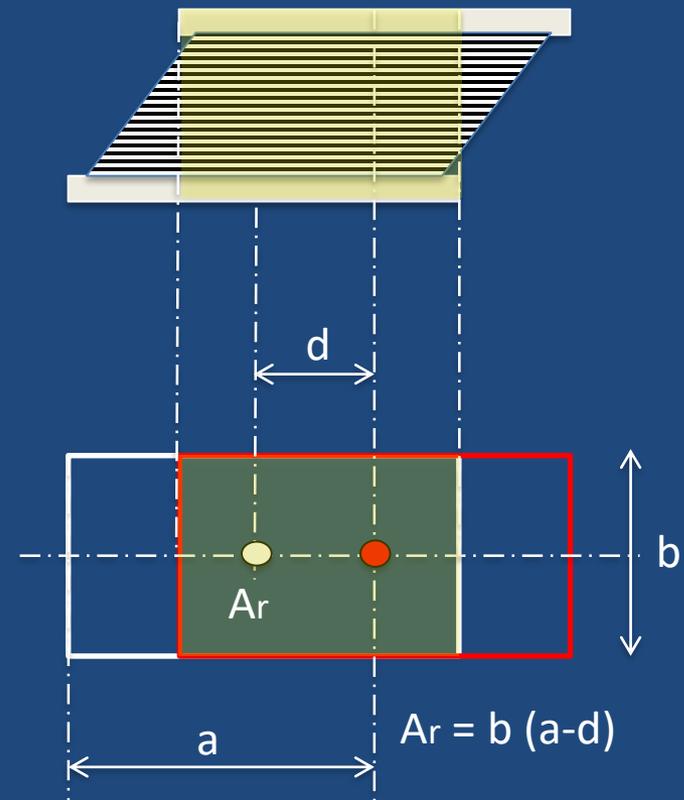
secondo quanto prescritto dalla Circolare

Area ridotta efficace per un isolatore elastomerico di forma rettangolare

$$A_r = \min \begin{cases} (b_x - d_{rftx} - d_{Ex}) \cdot (b_y - d_{rfty} - 0.3 \cdot d_{Ey}) \\ (b_x - d_{rftx} - 0.3 \cdot d_{Ex}) \cdot (b_y - d_{rfty} - d_{Ey}) \end{cases}$$

dove:

- b_x e b_y sono i lati dell'isolatore rettangolare;
- d_{Ex} , d_{Ey} sono gli spostamenti relativi, misurati tra le facce superiori e inferiori degli isolatori, prodotti dalla azione sismica in direzione x ed y ;
- d_{rft} sono gli spostamenti relativi misurati tra le facce superiori e inferiori degli isolatori, prodotti dalle azioni di ritiro, fluage e termiche (ridotte al 50%), ove rilevanti.



CARATTERISTICHE MECCANICHE

Isolatori elastomerici – instabilità (Circolare 7/2019)

secondo quanto prescritto dalla Circolare

Area ridotta efficace per un isolatore elastomerico di forma circolare

$$A_r = 2R^2(\theta - \text{sen}(\theta) \cdot \text{co s}(\theta))$$

Ovvero:

$$A_r = 2R^2 \left(\theta - \frac{1}{2} \text{sen}(2\theta) \right)$$

poiché

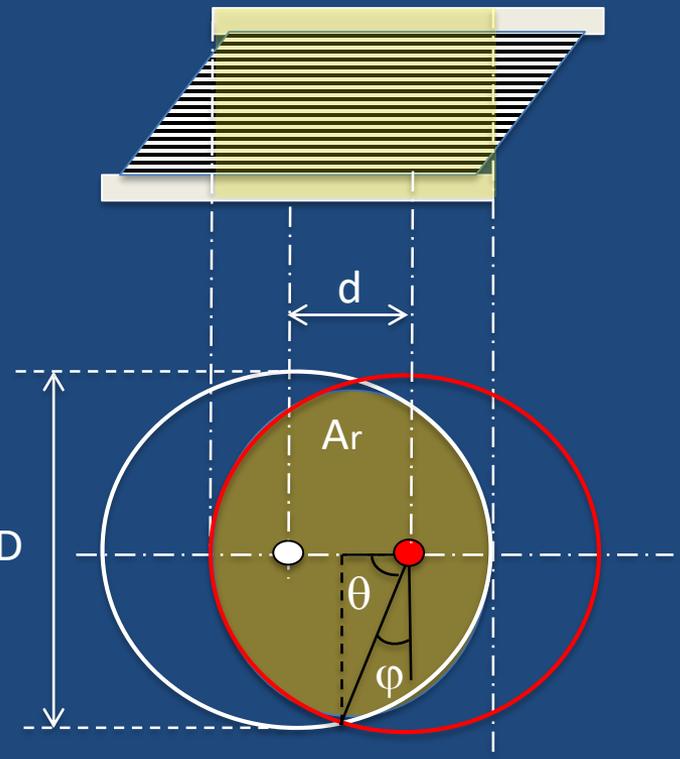
$$d = 2R \text{co s}(\theta)$$

Si può scrivere:

$$\theta = \arccos \left(\frac{d}{D} \right)$$

poiché

$$\varphi = 2\theta = 2 \cdot \arccos \left(\frac{d}{D} \right)$$



$$A_r = \frac{D^2}{4} \cdot (\varphi - \text{sen}(\varphi))$$

CARATTERISTICHE MECCANICHE

Isolatori elastomerici – instabilità (Circolare 7/2019)

E' opportuno rispettare le seguenti limitazioni:

Il carico massimo verticale agente sul singolo isolatore dovrà essere inferiore al carico critico V_{cr} diviso per un coefficiente di sicurezza 2.0.

$$V_{cr} = G_{din} \cdot A_r \cdot S_1 \cdot b_{min}/t_e$$

dove:

b_{min} è il minore tra b_x e b_y per gli isolatori rettangolari

G_{din} è il modulo di taglio dinamico dell'elastomero

t_e è lo spessore del singolo strato di elastomero

S_1 è il fattore primario di forma

A_r è l'area efficace ridotta

$$P_{max} < V_{cr}/2$$

P_{max} : max carico verticale agente

CARATTERISTICHE MECCANICHE

Isolatori elastomerici – instabilità (Circolare 7/2019)

Per la progettazione di tali dispositivi è opportuno che si rispettino le seguenti limitazioni:

- la tensione max σ_s agente nella generica piastra in acciaio sia non maggiore di f_{yk} , ovvero:

$$\sigma_s = 1.3 \cdot V \frac{(t_1 + t_2)}{A_r \cdot t_s} \leq f_{yk}$$

dove:

- t_1, t_2 sono gli spessori degli strati di gomma a contatto con la piastra;
- t_s è lo spessore della piastra ($t_s \geq 2\text{mm}$);
- A_r è l'area ridotta efficace dell'isolatore.

CARATTERISTICHE MECCANICHE

Isolatori elastomerici – instabilità (Circolare 7/2019)

E' opportuno rispettare le seguenti limitazioni:

$$\gamma_t \leq 5 \quad \text{e} \quad \gamma_s \leq \gamma^*/1.5 \leq 2$$

Isolatore rettangolare

α_x e α_y rotazioni attorno
alle dir. x e y

$$a^2 = (\alpha_x \cdot b_x^2) + (\alpha_y \cdot b_y^2)$$

Isolatore circolare

$$a^2 = 3\alpha \cdot D^2 / 4$$

$$\gamma_t = \gamma_c + \gamma_s + \gamma_\alpha$$

è la deformazione a taglio totale di progetto

$$\gamma_c = 1.5 \cdot V / (S_1 \cdot G_{din} \cdot A_r)$$

è la deformazione di taglio dell'elastomero prodotta dal carico di compressione V

$$\gamma_s = d_2 / t_e$$

e la deformazione di taglio dell'elastomero per lo spostamento sismico totale, inclusi gli effetti torsionali

$$\gamma_\alpha = a^2 / 2 \cdot t_i \cdot t_e$$

è la deformazione di taglio dell'elastomero prodotta dalla rotazione angolare

$$\gamma^*$$

è la deformazione di taglio massima raggiunta nelle prove di qualificazione relative all'efficacia dell'aderenza elastomero-acciaio, senza segni di rottura

CARATTERISTICHE MECCANICHE

Isolatori elastomerici – instabilità (Circolare 7/2019)



$$\gamma_c = 1.5 \cdot \frac{V}{(S_1 \cdot G_{din} \cdot A_r)}$$



$$\gamma_\alpha = \frac{a^2}{2t_i t_e}$$



$$\gamma_s = \frac{d_2}{t_e}$$

QUALIFICAZIONE DEI DISPOSITIVI

QUALIFICAZIONE DEI DISPOSITIVI

Le procedure di qualificazione hanno lo scopo di dimostrare che il dispositivo è in grado di mantenere la propria funzionalità nelle condizioni d'uso previste durante tutta la vita di progetto.

I dispositivi antisismici, per i quali si applica quanto specificato al punto A) del § 11.1, devono essere conformi alla norma europea armonizzata UNI EN 15129 e recare la Marcatura CE.

Nel caso di dispositivi antisismici non ricadenti, o non completamente ricadenti, nel campo di applicazione della norma europea armonizzata UNI EN 15129, si applica il caso C) del §11.1.

In aggiunta a quanto previsto ai punti A) o C) del § 11.1, ogni fornitura deve essere accompagnata da un manuale contenente le specifiche tecniche per la posa in opera e la manutenzione.

QUALIFICAZIONE DEI DISPOSITIVI

D. M. 2018 § 11.1

A) materiali e prodotti per i quali sia disponibile, per l'uso strutturale previsto, una norma europea armonizzata il cui riferimento sia pubblicato su GUUE.

C) materiali e prodotti per uso strutturale non ricadenti in una delle tipologie A o B. In tali casi il fabbricante dovrà pervenire alla Marcatura CE sulla base della pertinente "Valutazione Tecnica Europea" (ETA), oppure dovrà ottenere un "**Certificato di Valutazione Tecnica**" rilasciato dal Presidente del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

Valutazione Tecnica Europea (ETA)

è un documento di natura volontaria che contiene le prestazioni di un prodotto da costruzione. Il rilascio di ETA, sono competenza dei Organismi di valutazione tecnica).

QUALIFICAZIONE DEI DISPOSITIVI

UNI EN 15129

La norma riguarda la **progettazione** dei **dispositivi antisismici** inclusi nelle strutture con lo scopo di modificarne la risposta all'azione sismica. Specifica inoltre i **requisiti funzionali** e le **regole generali di progettazione** in situazioni sismiche e non sismiche, le proprietà dei **materiali**, i requisiti di fabbricazione e di esecuzione delle **prove**, nonché i criteri per la valutazione e verifica di costanza della **prestazione**, di **installazione** e di **manutenzione**. Fornisce anche i criteri per la marcatura CE.

PROCEDURA DI ACCETTAZIONE

PROCEDURA DI ACCETTAZIONE

DIRETTORE DEI LAVORI

```
graph TD; A[DIRETTORE DEI LAVORI] --> B[prima della messa in opera, è tenuto ad accertare e a verificare la prescritta documentazione di qualificazione, e a rifiutare le eventuali forniture non conformi]; A --> C[effettuare la verifica geometrica e delle tolleranza dimensionali, nonché le prove di accettazione];
```

prima della messa in opera, è tenuto ad accertare e a verificare la prescritta documentazione di qualificazione, e a rifiutare le eventuali forniture non conformi

effettuare la verifica geometrica e delle tolleranza dimensionali, nonché le prove di accettazione

Le prove di accettazione devono essere eseguite e certificate da un Laboratorio di cui all'articolo 59 del DPR 380/2001, dotato di adeguata competenza, attrezzatura ed organizzazione

PROCEDURA DI ACCETTAZIONE

I dispositivi rientranti nel campo di applicazione della norma europea armonizzata UNI EN 15129, si fa riferimento a tale norma con riferimento alle prove di controllo di Produzione in Fabbrica (*Factory Production Control tests*).



condizione

- il campionamento dei dispositivi sia stato effettuato, sui lotti destinati allo specifico cantiere, dal Direttore dei Lavori del cantiere stesso;
- le prove siano eseguite e certificate da un Laboratorio di cui all'articolo 59 del DPR 380/2001, dotato di adeguata competenza, attrezzatura ed organizzazione.
- I suddetti certificati riportino esplicitamente l'indicazione del o dei cantieri ove viene utilizzata la fornitura.

PROCEDURA DI ACCETTAZIONE

I dispositivi **NON** rientranti nel campo di applicazione della norma europea armonizzata UNI EN 15129, **le prove di accettazione, che rimangono obbligatorie**, saranno eseguite secondo le modalità e con i criteri di valutazione riportate nelle specifiche tecniche europee, oppure nella **Certificazione di valutazione tecnica**, di riferimento. Qualora i risultati dei controlli di accettazione non risultassero soddisfacenti, il Direttore dei lavori rifiuta la fornitura.

PROCEDURA DI ACCETTAZIONE

DISPOSITIVI DI
ISOLAMENTO

DOCUMENTI ARRIVO IN CANTIERE

DOP
CPR 305/2011
(obbligatoria dal 30/06/2013)
e
CE
(obbligatoria da 01/08/2011)

Targa identificativa sui singoli
dispositivi

PROCEDURA DI ACCETTAZIONE

DISPOSITIVI DI
ISOLAMENTO

PROVE PRIMA DELLA MESSA IN OPERA



D.M. 2018 (**§ 11.9.3**)

[.....] verifica geometrica e delle tolleranza dimensionali,
nonché le prove di accettazione di seguito specificate.

PROCEDURA DI ACCETTAZIONE

DISPOSITIVI DI
ISOLAMENTO

PROVE PRIMA DELLA MESSA IN OPERA



Le prove di accettazione devono essere effettuate su almeno il 20% dei dispositivi. **MINIMO 4.**

(elastomerici) **D.M. 2018 - § 11.9.7**

(isolatori a scorrimento) **D.M. 2018 - § 11.9.8**

(dispositivi a vincolo rigido «fusibili») **D.M. 2018 - § 11.9.8**

(dispositivi a vincolo provvisorio) **D.M. 2018 - § 11.9.10**

PROCEDURA DI ACCETTAZIONE

Il documento principale, attorno al quale ruota tutto il processo di Marcatura CE dei prodotti da costruzione in base alle disposizioni del Reg. (UE) 305/2011 è la Dichiarazione di Prestazione (D.O.P.).

Questo documento che deve essere messo a disposizione del cliente nelle modalità stabilite dal Regolamento stesso e deve contenere le seguenti informazioni:

- Il numero identificativo della D.o.P.
- Il codice identificativo unico del prodotto-tipo
- L'identificazione del prodotto da costruzione effettivamente immesso sul mercato (es. numero della serie, del lotto o della commessa)
- Il nome e Indirizzo del Fabbricante
- Il sistema o i sistemi di valutazione della costanza della prestazione
- La norma armonizzata o Documento di valutazione tecnico di riferimento
- Identificazione dell'Organismo di Certificazione (se appropriato)
- La descrizione dell'attività svolta dall'Organismo di certificazione
- La documentazione rilasciata dall'Organismo di certificazione

PROCEDURA DI ACCETTAZIONE

- Il numero di riferimento della documentazione tecnica specifica (se utilizzata)
- L'uso o gli usi previsti
- La prestazione delle caratteristiche essenziali del prodotto da costruzione concernenti l'uso o gli usi previsti tenendo conto delle disposizioni del luogo ove il prodotto è immesso sul mercato
- L'elenco delle caratteristiche essenziali
- La prestazione di almeno una delle caratteristiche essenziali
- La prestazione, espressa in livelli o classi, o in una descrizione, del prodotto da costruzione in relazione a tutte le caratteristiche essenziali contenute nella corrispondente valutazione tecnica europea
- L'identificazione del Soggetto che rilascia la Dichiarazione di Prestazione
- Per le caratteristiche essenziali elencate, per le quali non sia dichiarata la prestazione, bisogna indicare le lettere NPD (nessuna prestazione determinata)

MODELLAZIONE

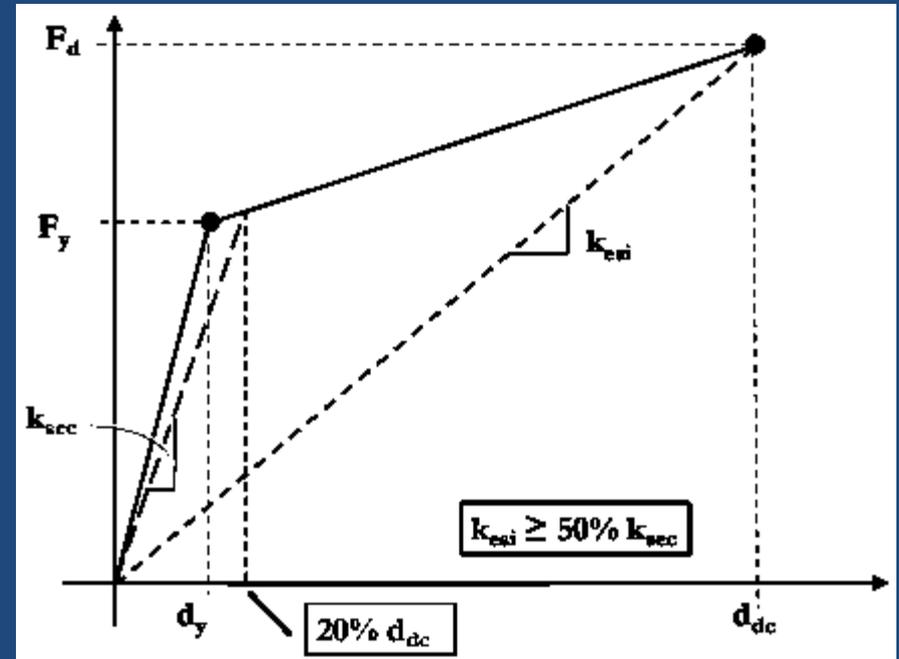
MODELLAZIONE

Modello lineare equivalente

APPLICABILITA' D.M. 2018 - § 7.10.5.2

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

$$K_{esi} \geq 0.5K_{sec}$$



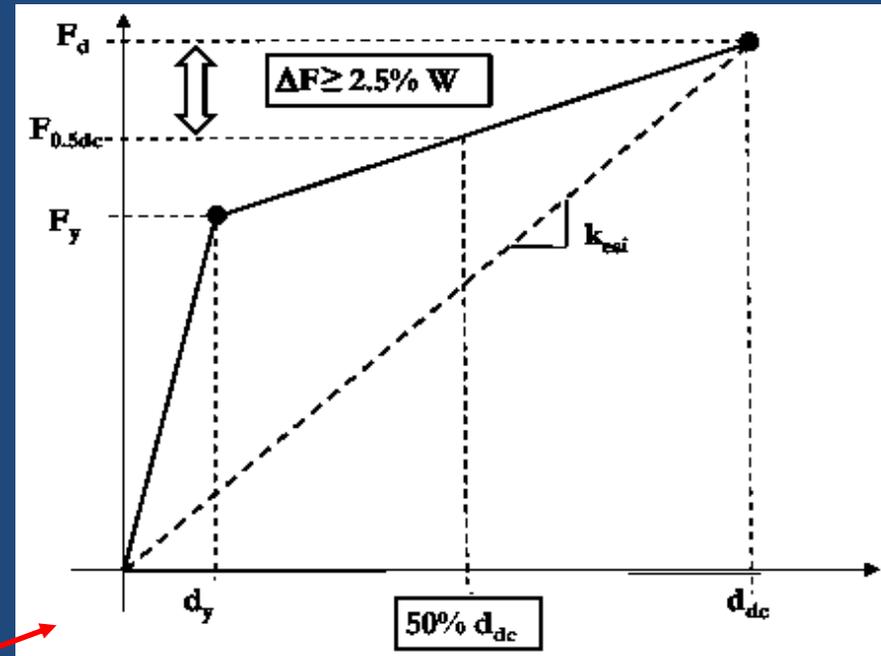
- b) lo smorzamento lineare equivalente del sistema di isolamento è **abbastanza** inferiore al 30%

MODELLAZIONE

Modello lineare equivalente

APPLICABILITA' D.M. 2018 - § 7.10.5.2

- c) le caratteristiche forza-spostamento del sistema d'isolamento non variano di più del 10% per effetto di variazioni della velocità di deformazione, (in un campo del $\pm 30\%$ intorno al valore di progetto), e dell'azione verticale sui dispositivi, (nel campo di variabilità di progetto)
- c) l'incremento della forza nel sistema d'isolamento per spostamenti compresi tra $0,5 d_{cr}$ e d_{cr} è almeno pari al 2.5% del peso totale della sovrastruttura



$$\Delta F (\text{ sistema di isolamento}) \geq 2.5\% W_{sovr} \quad \text{per} \quad 0.5 d_{dc} \leq d \leq d_{dc}$$

essendo d_{dc} = spostamento di progetto del centro di rigidità dovuto all'azione sismica allo SLC

e) $\frac{K_v}{K_{esi}} \geq 800$ Si trascura la deformabilità verticale

PROGETTAZIONE (METODI DI ANALISI)

Analisi statica lineare (DM2018)

APPLICABILITA' D.M. 2018 - § 7.10.5.3.1

- a) Il sistema d'isolamento può essere modellato come lineare, in accordo con il § 7.10.5.2 (vedi punto a) della Modellazione);
- b) Altezza della sovrastruttura ≤ 20 m, max 5 piani, Lmax (pianta) ≤ 50 m;
- c) Periodo equivalente: $3T_{bf} \leq T_{is} \leq 3 s$, T_{bf} periodo a base fissa calcolato secondo il punto 7.10.5.3.1

$$T_{is} = 2\pi \sqrt{\frac{M}{K_{esi}}}$$

T_{bf} stimato con espressioni approssimate

M = massa tot della sovrastruttura

K_{esi} = rigidezza equivalente orizzontale al piano di isolamento senza effetti torsionali

PROGETTAZIONE (METODI DI ANALISI)

Analisi statica lineare (DM2018)

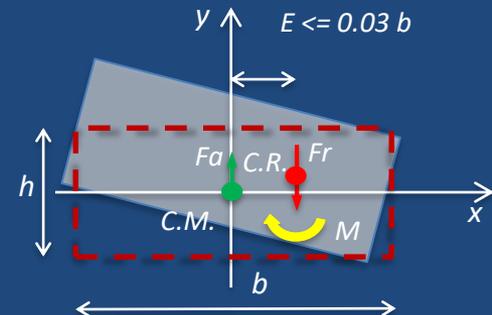
APPLICABILITA' D.M. 2018 - § 7.10.5.3.1

- d) La sottostruttura deve essere ∞ rigida ($T_{\text{sott}} \leq 0.05s$). Diversamente a causa della deformabilità della sottostruttura, l'isolamento non disaccoppierebbe il moto. La sovrastruttura non potrebbe oscillare sugli isolatori
- e) Per poter trascurare gli effetti della deformabilità verticale degli oscillatori deve verificarsi che:

$$T_V = \sqrt{\frac{M}{K_V}} \leq 0.1s \quad K_V \geq 800K_{esi}$$

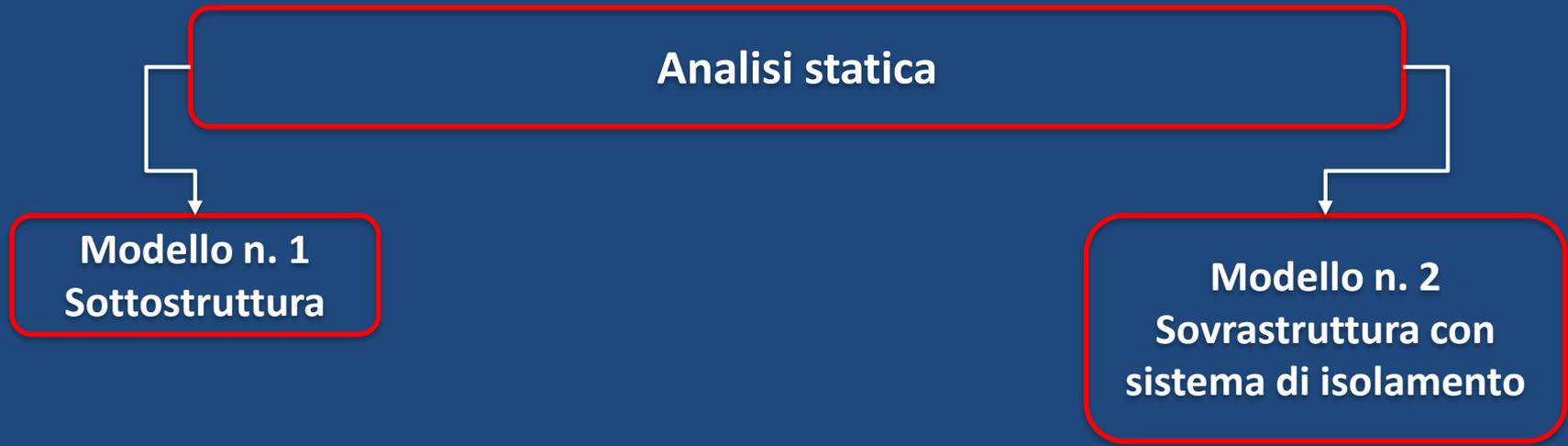
- f) Nessun isolatore risulta in trazione per l'effetto combinato dell'azione sismica e dei carichi verticali

- g) Eccentricità rigidezza-massa sistema di isolamento $\leq 3\%$ (vale anche per l'analisi dinamica lineare)

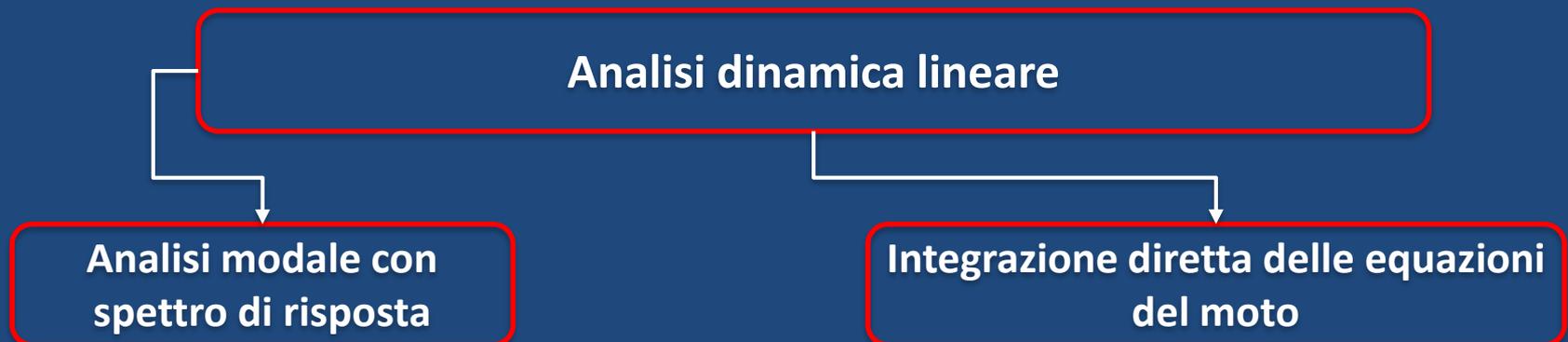


PROGETTAZIONE (METODI DI ANALISI)

Analisi statica lineare (D.M.2018)



Per i due modelli si adotterà il corrispondente valore del coefficiente di smorzamento viscoso di ξ . Sul modello n.1 agiscono le forze ricavate dal modello n.2 e le forze d'inerzia prodotte direttamente dal moto del terreno.



PROGETTAZIONE (METODI DI ANALISI)

Analisi statica lineare (D.M. 2018) - § 7.10.5.3.1

Può essere utilizzato un modello ad un solo gdl con sopra la massa della sovrastruttura (assunta come corpo rigido) che può traslare sul sistema di isolamento. Il modello descrive il modo attraverso due traslazioni orizzontali indipendenti con l'aggiunta degli effetti torsionali.

$$T_{is} = 2\pi \sqrt{\frac{M}{K_{esi}}}$$

Le forze orizzontali da applicare a ciascun piano della sovrastruttura, in ciascuna direzione orizzontale, si esprimono come:

$$f_i = m_j \cdot S_e(T_{is}, \xi_{esi})$$

La cui risultante, applicata al sistema di isolamento e ripartita tra gli elementi della sottostruttura in proporzione alle rigidezze dei dispositivi di isolamento, vale:

$$F = M \cdot S_e(T_{is}, \xi_{esi})$$

PROGETTAZIONE (METODI DI ANALISI)

Analisi statica lineare (D.M. 2018) - § 7.10.5.3.1

Indicando con d_{dc} lo spostamento del centro di rigidità del sistema di isolamento sotto l'azione di F , si scrive:

$$d_{dc} = \frac{M \cdot S_e(T_{is}, \xi_{esi})}{K_{esi,min}}$$

dove $K_{esi,min}$ è il valore minimo di K_{esi} del sistema di isolamento
E dove S_e è l'accelerazione spettrale.

Per i singoli dispositivi isolatori, gli effetti torsionali (accidentali) si portano in conto amplificando gli spostamenti secondo i coefficienti riportati di seguito:

$$\delta_{xi} = 1 + \frac{e_{tot,y}}{r_y^2} y_i \quad \delta_{yi} = 1 + \frac{e_{tot,x}}{r_x^2} x_i \quad \begin{aligned} d_{xi} &= d_{dc} \cdot \delta_{xi} \\ d_{yi} &= d_{dc} \cdot \delta_{yi} \end{aligned}$$

in cui:

x_i e y_i sono le coordinate del dispositivo rispetto al centro di rigidità;

$e_{tot,x,y}$ è l'eccentricità totale nella direzione x, y;

$r_{x,y}$ sono le componenti, in direzione x e y del raggio torsionale del sistema di isolamento.

PROGETTAZIONE (METODI DI ANALISI)

Analisi statica lineare (D.M. 2018) - § 7.10.5.3.1

Per la sovrastruttura, gli effetti torsionali (accidentali), ai fini della verifica degli elementi strutturali, si portano in conto amplificando le sollecitazioni f_i , applicate nei baricentri di ogni impalcato, per i coefficienti riportati di seguito:

$$\delta = 1 + 0.6 \cdot \frac{x}{L_e}$$

x = distanza dell'elemento resistente dal baricentro geometrico dell'edificio, presa perpendicolarmente alla direzione dell'azione sismica;

L_e = distanza tra i due elementi resistenti più lontani, misurata come sopra.

$$E_x + 0.3 \cdot E_y$$

$$E_y + 0.3 \cdot E_x$$

Combinazione la cui risultante è calcolata come SRSS

La Circolare 2019 consiglia sempre di eseguire un'analisi statica lineare (anche quando non è applicabile), come strumento preliminare per la verifica del sistema di isolamento e la stima del taglio alla base.

PROGETTAZIONE (METODI DI ANALISI)

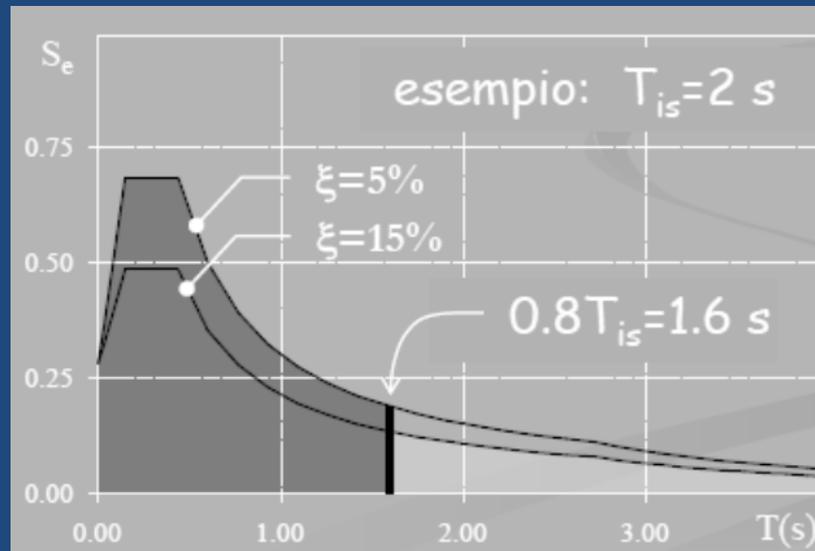
Analisi dinamica lineare con spettro di risposta (D.M. 2018) - § 7.10.5.3.2

Ammessa nel rispetto delle condizioni di cui al § 7.10.5.2.

Regole per combinazione degli effetti:

- Sono le stesse riportate per gli edifici a base fissa

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



PROGETTAZIONE (METODI DI ANALISI)

Analisi dinamica lineare con spettro di risposta (D.M. 2018) - § 7.10.5.3.2

Influenza della componente verticale K_V se:

- sito non in zona 3 o 4
- $K_V < 800K_{esi}$
- strutture di tipo spingente
- elementi pressoché orizzontali con $L > 20\text{m}$
- elementi precompressi (eccetto solai con $L < 8\text{m}$)
- elementi a mensola con $l > 4\text{m}$
- pilastri in falso
- edifici con piani sospesi

PROGETTAZIONE (METODI DI ANALISI)

Analisi dinamica lineare integrazione al passo (D.M. 2018) - § 7.10.5.3.2

CONSIDERAZIONI IMPORTANTI A PROPOSITO DELLO SMORZAMENTO:

Lo smorzamento di Rayleigh può essere applicato nella modellazione a elementi finiti come segue:

$c = a_0 m + a_1 k$ dove m e k rappresentano la matrice di massa e di rigidità della struttura

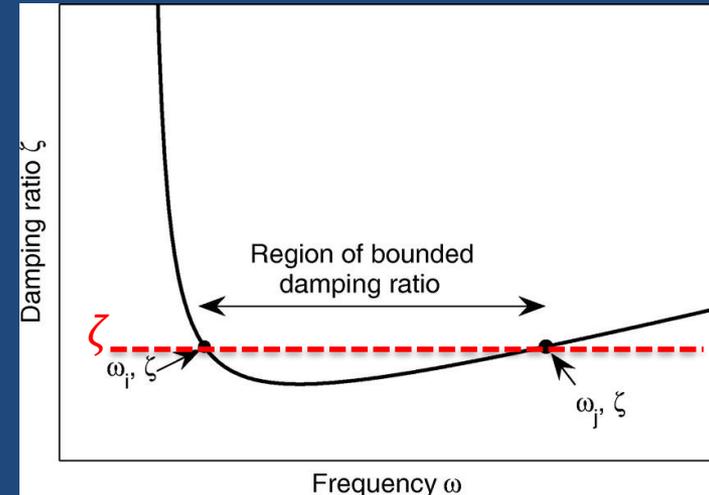
I coefficienti a_0 and a_1 derivano dalla scelta di due frequenze di riferimento (ω_i, ω_j) e dal valore di smorzamento modale. I coefficienti si ottengono come:

$$a_0 = \zeta \frac{2\omega_i\omega_j}{\omega_i + \omega_j} \text{ and } a_1 = \zeta \frac{2}{\omega_i + \omega_j}$$

Il valore di smorzamento per il modo n si ottiene come:

$$\zeta_n = \frac{a_0}{2\omega_n} + \frac{a_1\omega_n}{2}$$

ed e' limitato solo nel range di frequenze tra ω_i e ω_j
Per questa ragione normalmente come prima frequenza (ω_i) viene scelta quella corrispondente al primo modo di vibrare, mentre un valore alto di frequenza viene scelto come secondo limite (ω_j), allo scopo di includere nel range il maggior numero di modi possibili.



PROGETTAZIONE (METODI DI ANALISI)

Analisi dinamica lineare integrazione al passo (D.M. 2018) - § 7.10.5.3.2

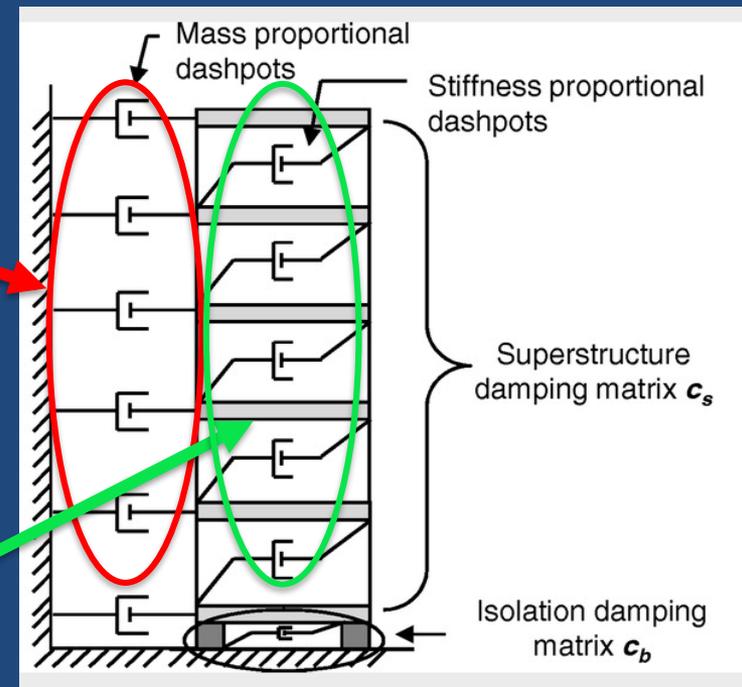
se il damping alla Rayleigh viene utilizzato per una struttura isolata, la matrice di smorzamento della sovrastruttura \mathbf{c}_s e' ottenuta come:

$$\mathbf{c}_s = a_0 \mathbf{m}_s + a_1 \mathbf{k}_s$$

Per calcolare I coefficient a_0 e a_1 come frequenza inferiore (ω_i) e' opportune scegliere la frequenza fondamentale **della struttura isolata**. In caso contrario viene erroneamente attribuito al primo modo della struttura una capacità di smorzamento superiore a quanto disponibile attraverso il sistema di isolamento.

Questo smorzamento eccessivo per il primo modo è il risultato della componente proporzionale alla massa del modello di Rayleigh che può essere visualizzato come un Sistema di smorzatori ad ogni piano

Se viene applicato uno smorzamento proporzionale alla rigidità vengono imposti termini limitati di smorzamento di interpiano coerenti con il target di funzionamento a corpo rigido della sovrastruttura



VERIFICHE

SLD (D.M. 2018) - § 7.10.6.1

Sottostruttura e fondazioni

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

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

Sistema di isolamento e connessioni

- I dispositivi del s.i. non devono subire danni che possano comprometterne il funzionamento nelle condizioni di servizio. Tale requisito si ritiene normalmente soddisfatto se sono soddisfatte le verifiche dello *SLV* dei dispositivi;
- Il caso di sistemi a comportamento non lineare, eventuali spostamenti residui al termine dell'azione sismica allo *SLD* devono essere compatibili con la funzionalità della costruzione;
- Le connessioni, strutturali e non, (impianti), fra la struttura isolata e il terreno o le parti di strutture non isolate, devono assorbire gli spostamenti relativi allo *SLD* senza subire alcun danno o limitazione d'uso.

VERIFICHE

SLV (D.M. 2018) - § 7.10.6.2.1

Coefficienti di sicurezza

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

Sollecitazioni sottostruttura

Il modello include anche la sottostruttura.

Gli elementi devono essere verificati rispetto alle sollecitazioni ottenute direttamente dall'analisi

VERIFICHE

SLV (D.M. 2018) - § 7.10.6.2.1

Sollecitazioni sottostruttura

Il modello non include la sottostruttura.

Gli elementi devono essere verificati rispetto alle sollecitazioni prodotte dalle forze trasmesse dal sistema d'isolamento combinate con le sollecitazioni prodotte dalle accelerazioni di risposta direttamente applicate alla sottostruttura. Le forze d'inerzia direttamente applicate ad essa possono essere assunte pari al prodotto delle masse della sottostruttura per l'accelerazione del terreno $a_g S$ ($T \leq 0,05s$)

La combinazione delle sollecitazioni deve essere eseguita adottando le regole riportate in § 7.3.5, tenendo in conto gli effetti pseudo-statici indotti dagli spostamenti relativi prodotti dalla variabilità spaziale del moto unicamente nei casi previsti ai §§ 3.2.4.1 e 3.2.4.2.

VERIFICHE

SLV (D.M. 2018) - § 7.10.6.2.1

Sollecitazioni
sovrastuttura

La domanda sugli elementi strutturali della sovrastruttura e della sottostruttura e sul terreno deve essere valutata, nel caso di analisi lineare, considerando un fattore di comportamento $q \leq 1.50$ nel caso degli edifici

Giunti di separazione e
impianti

- Le parti dei dispositivi non impegnate nella funzione dissipativa devono rimanere in campo elastico, e comunque con un coefficiente di sicurezza almeno pari a 1.5.
- Nelle costruzioni di classe d'uso IV, le eventuali connessioni, strutturali e non, particolarmente quelle degli impianti, fra la struttura isolata e il terreno o le parti di strutture non isolate devono assorbire gli spostamenti relativi previsti dal calcolo, senza danni.
- Al fine di evitare il martellamento tra diverse parti tra loro contigue si dovranno rispettare i criteri enunciati al § 7.2.1, nella sezione "*Distanza tra costruzioni contigue*", e, per i ponti, al § 7.9.5.2.

VERIFICHE

SLC (D.M. 2018) - § 7.10.6.2.2

- Per garantire una maggiore sicurezza al sistema di isolamento, la verifica di essi è agli SLC
- I dispositivi del sistema d'isolamento devono essere in grado di sostenere, senza rotture, gli spostamenti d_2 , valutati per un terremoto riferito allo SLC
- Nel caso di sistemi a comportamento non lineare, allo spostamento ottenuto con l'azione sismica detta, occorre aggiungere il maggiore tra
 1. lo spostamento residuo allo SLD;
 2. il 50% dello spostamento corrispondente all'annullamento della forza, seguendo il ramo di scarico a partire dal punto di massimo spostamento raggiunto allo SLD.
- Per gli impianti pericolosi che attraversano i giunti di separazione devono essere progettate per consentire gli spostamenti relativi della sovrastruttura isolata, con lo stesso livello di sicurezza adottato per il progetto del sistema d'isolamento.

Evitare o limitare azioni di trazione negli isolatori

- Carico verticale $V \geq 0$

Minimizzare le differenze di comportamento degli isolatori

- tensioni di compressione il più possibile uniformi

COLLAUDO

Circolare 7/2019

Collaudo in c.o.

- controllo della posa in opera dei dispositivi, nel rispetto delle tolleranze e delle modalità di posa prescritte dal progetto;
- nonché la verifica della completa separazione tra sottostruttura e sovrastruttura e tra quest'ultima ed altre strutture adiacenti;
- taglio dei pilastri e delle pareti di fondazione o, se esistenti, dei vecchi pali di fondazione;
- Messa sotto carico degli isolatori.

COLLAUDO

Circolare 7/2019

Accertamenti
sulla costruzione

- il sistema di isolamento e i singoli dispositivi che lo compongono;
- la rigidità della sottostruttura (deve essere elevata);
- La parte inferiore delle sovrastruttura sorretta dagli isolatori (elevata rigidità);
- i giunti strutturali (“gap”) orizzontali e verticali;
- cavi e tubazioni.

Accertamenti
sugli isolatori

Prima dell'ordine

Prima
dell'installazione

che siano **qualificati** in
accordo con la Normativa

prove di **accettazione** positive e
presenziando a quelle più significative,
verificandone la corretta esecuzione ed
analisi

COLLAUDO

Circolare 7/2019

Visite periodiche

- Il collaudatore deve avere specifiche competenze tecniche, acquisite attraverso precedenti esperienze dei lavori di struttura con isolamento sismico, o attraverso corsi universitari o di specializzazione universitaria.

Documentazione

- Certificati delle prove di accettazione in cantiere (D.L.);
- Certificati di qualificazione dei dispositivi scelti;
- Certificati delle prove sui materiali dei dispositivi;
- Documenti di origine, forniti dal produttore.

A discrezione del collaudatore

- estendere gli accertamenti;
- prove speciali di caratterizzazione dinamica del sistema di isolamento;
- verifica delle caratteristiche della costruzione rispetto a quelle attese

SEQUENZA DI PROGETTAZIONE:

La progettazione di una struttura isolata inizia con la preliminare scelta di periodo e smorzamento basati sulla desiderata domanda di accelerazione/spostamento

- 
1. Determinare periodo e smorzamento del sistema isolato
 2. Determinare rigidezza e fattore di smorzamento degli isolatori
 3. Selezionare gli isolatori sulla base di rigidezza e smorzamento
 4. Analizzare l'edificio per determinare la domanda
 5. Verificare la capacita' (forza, spostamento, stabilita')

1. Determinare periodo e smorzamento del sistema isolato

1.1 ANALISI DEI CARICHI:

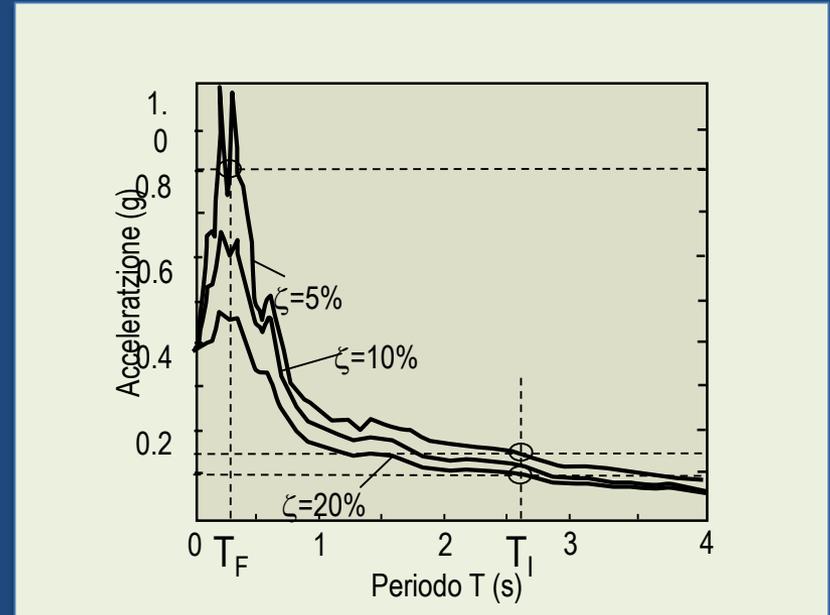
goal: determinare i carichi applicati agli elementi strutturali e la massa sismica di ogni piano

1.2 ANALISI MODALE DELL' EDIFICIO A BASE FISSA

goal: determinare l'importanza (fattori di partecipazione di massa) e i periodi di vibrazione dei modi fondamentali

1.3 ANALISI DEI CARICHI: Carichi sismici

Goal: Determinare lo spettro di risposta da usare per il progetto



1.4 DETERMINARE RIGIDEZZA E SMORZAMENTO DEL SISTEMA DI ISOLAMENTO SULLA BASE DEL TARGET DI ACCELERAZIONE E SPOSTAMENTO

1.4.1. Analisi modale approssimata dell'edificio

1.4.2. Identificare periodo/fattori di smorzamento per mantenere l'accelerazione massima al di sotto del livello di soglia desiderata

2. Determinare rigidezza e fattore di smorzamento degli isolatori

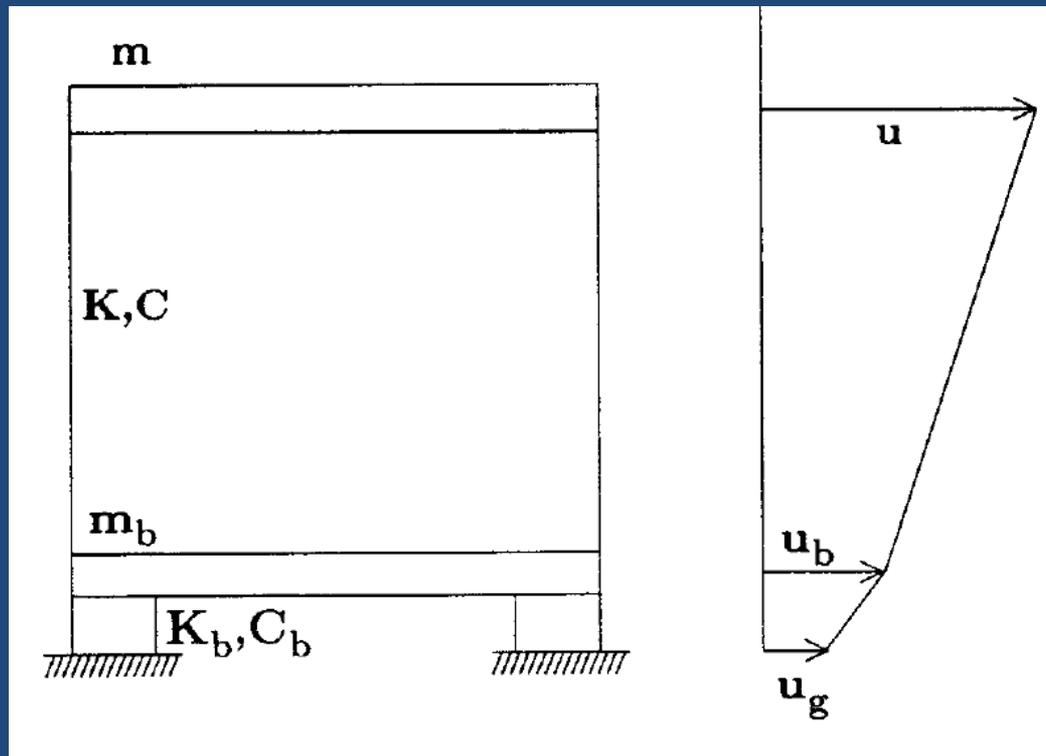
Gli isolatori devono essere scelti in modo da fornire rigidezza e smorzamento alla struttura con accelerazioni e spostamenti al di sotto dei valori di soglia

Per questo scopo usiamo *l'analisi modale per il sistema isolato* sotto precisi limitazioni:

A causa della intrinseca non linearità del sistema di isolamento l'analisi sarà solo approssimata e la rigidezza effettiva e lo smorzamento dovranno essere identificati attraverso qualche procedura di linearizzazione equivalente o con il supporto di modelli F.E.

Questo approccio, nella sua semplicità è molto utile per osservare alcuni aspetti di massima dell'intervento con isolamento

Consideriamo un sistema di massa m , rigidità K e coefficiente viscoso C installato sopra un sistema di isolamento di massa m_b , rigidità K_b e coefficiente C_b

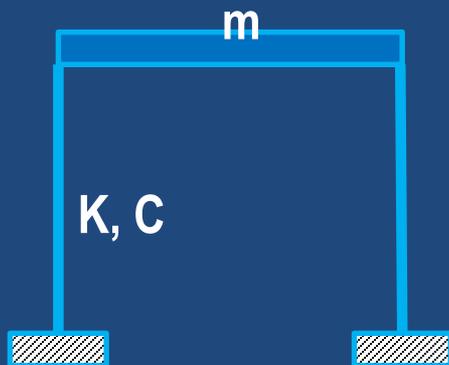


(J. M. Kelly)

Chiaramente abbiamo a che fare con un sistema a 2 gradi di liberta'

Il nostro Sistema a due gradi di liberta' si trova tra queste due configurazioni

Struttura a base fissa (SDOF)

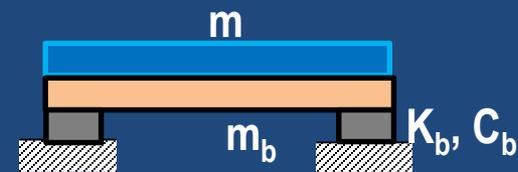


$$\omega_s = \sqrt{\frac{K}{m}} \rightarrow T_s = \frac{2\pi}{\omega_s}$$

$$\xi_s = \frac{c}{2m\omega_s}$$

Corpo rigido isolato (SDOF)

Con massa $M=m+m_b$



$$\omega_b = \sqrt{\frac{K_b}{M}} \rightarrow T_b = \frac{2\pi}{\omega_b}$$

$$\xi_b = \frac{c_b}{2M\omega_b}$$

IPOTESI:

1. $m_b < m$ ma dello stesso ordine di grandezza e $\gamma = m/M = m/(m+m_b) < 1$
2. $\omega_s > \omega_b$ con $\varepsilon = \left(\frac{\omega_b}{\omega_s}\right)^2$ con ordine di grandezza 10^{-2}
3. ξ_s e ξ_b sono di ordine di grandezza 10^{-2}

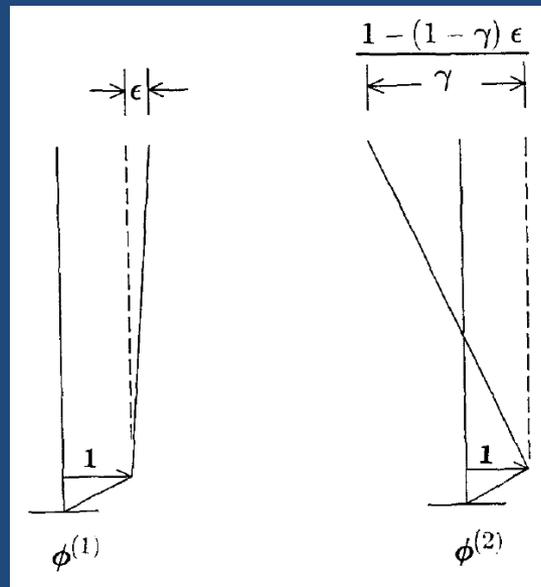
Con queste ipotesi i due modi di vibrare della struttura isolata sono:

Primo modo

$$\omega_1 = \omega_b \sqrt{1 - \gamma\varepsilon}$$

$$\xi_1 = \xi_b(1 - 3/2 \gamma\varepsilon)$$

$$\Gamma_1 = 1 - \gamma\varepsilon$$



Secondo modo

$$\omega_2 = \omega_s \sqrt{\frac{(1 + \gamma\varepsilon)}{1 - \gamma}}$$

$$\xi_2 = \left[\frac{\xi_s}{\sqrt{1 - \gamma}} + \frac{\gamma \xi_b \sqrt{\varepsilon}}{\sqrt{1 - \gamma}} \right] \left(1 - \frac{\gamma\varepsilon}{2} \right)$$

$$\Gamma_2 = \gamma\varepsilon$$



NOTE:

Le equazioni precedent mostrano quando l'intervento di isolamento e' molto efficace: Il fattore di partecipazione del secondo modo, che e' il modo associato alla deformazione strutturale, e' dell'ordine di $\varepsilon = \left(\frac{\omega_b}{\omega_s}\right)^2$. Questo significa che e' molto ridotto quando le frequenze ω_s e ω_b sono ben separate. In questo caso l'effetto l'isolamento e' molto forte e il primo modo di vibrazione ha essenzialmente il 100% della massa partecipante (valori tipici $T_1 > 3T_F$ and $\varepsilon = (T_F/T_1)^2 < 0.11$)

Inoltre poiche' il fattore di partecipazione del secondo modo e' molto piccolo, il secondo modo e' praticamente ortogonale all'input sismico. Anche in caso di sisma con forte contenuto di energia vicino alla frequenza del secondo modo, il moto del terreno sara' marginalmente trasmesso alla struttura. Il sistema di isolamento quindi "deflette" l'energia sismica attraverso questa proprieta' di ortogonalita'



A proposito di smorzamento:

L'isolamento con gomma naturale puo introdurre valori di smorzamento del 10-20% (senza considerare soluzioni con dissipazione molto alta tipi HDRB e LRB).

Una struttura ha generalmente un valore di smorzamento dell'ordine del 2%.

L'analisi strutturale convenzionale generalmente assume un valore el 5% poiche' un certo livello di danno e' atteso per elementi strutturali e non. Poiche' una struttura isolata ha lo scopo di eliminare (o ridurre) il danno, dovremmo assumere un valore inferiore al 5%. In ogni caso esiste una sostanziale differenza tra il livello di smorzamento proprio della struttura e del sistema isolante. Questa condizione generalmente risulta nell'accoppiamento delle equazioni del moto che richiede un'analisi di maggior dettaglio.

Se trascuriamo questo aspetto possiamo osservare che lo smorzamento della struttura e' aumentato per la presenza degli isolatori di $\sqrt{\varepsilon}$

$$(\xi_2 = \left[\frac{\xi_s}{\sqrt{1-\gamma}} + \frac{\gamma \xi_b \sqrt{\varepsilon}}{\sqrt{1-\gamma}} \right] \left(1 - \frac{\gamma \varepsilon}{2} \right)).$$

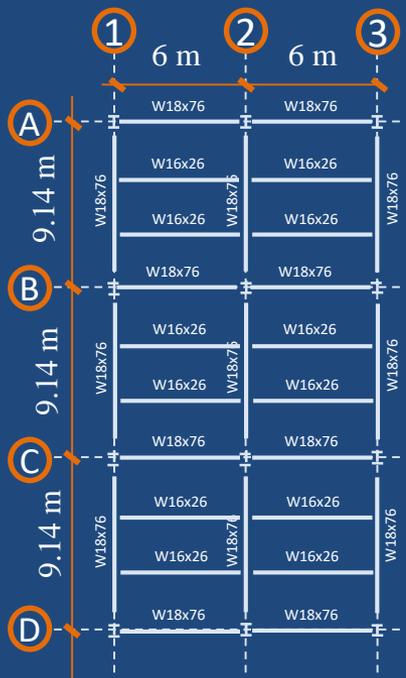
Il termine $\xi_b \sqrt{\varepsilon}$ puo essere un incremento significativo di ξ_s . Per questa ragione, per esempio l'elevato smorzamento della gomma puo contribuire significativamente allo smorzamento del modo strutturale



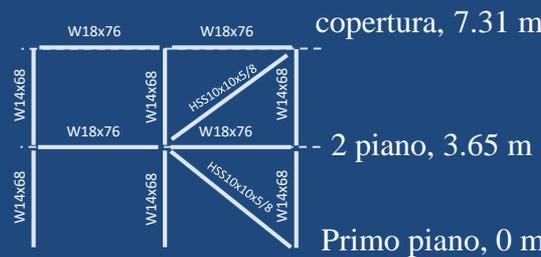
ESEMPIO:

Ci servono: pianta ed elevazione dell'edificio, materiali, localizzazione, uso dell'edificio

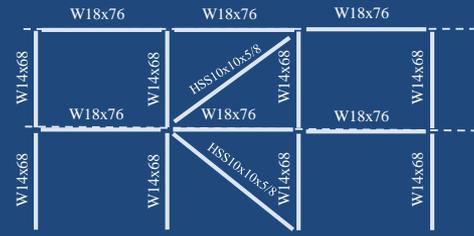
Dati: materiali (acciaio + componenti non strutturali), : Est Los Angeles (Pomona, Latitude: 34.050, Longitude: -117.75, Suolo tipo C), uso: scuola



Pianta della tipica struttura di piano/copertura



Sezione linea colonne A, (Nessun diagonal per linea B, C)



Sezione linea colonne 1,3 (Nessun diagonale per linea 2)

Structural material:

- calcestruzzo: $f'_c = 27.6$ MPa
- Acciaio: Colonne: $F_y = 345$ MPa
- Travi principali: $F_y = 345$ MPa
- Travi: $F_y = 248$ MPa
- Diagonali: $F_y = 317.15$ MPa
- impalcato (rigido): 7.62 cm

Componenti non strutturali

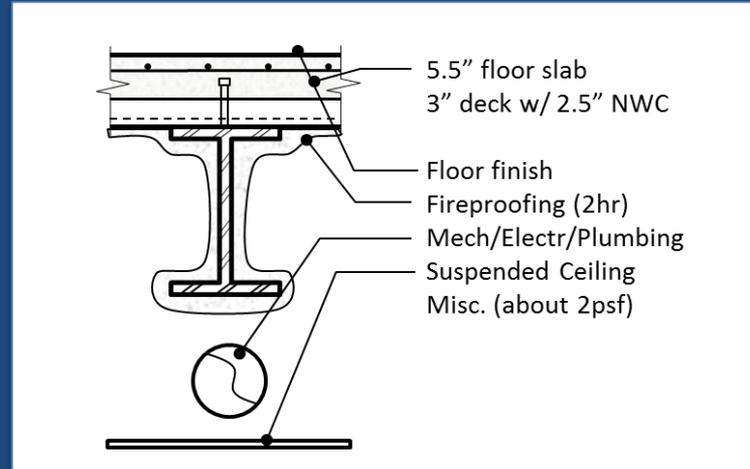
- Finitura pavimenti (24.41 kg/m²)
- Copertura (49 kg/m²)
- Prot. fuoco: 2ore (24.41 kg/m²)
- Impianti (19.5 kg/m²)
- Controsoffitto (9.76 kg/m²)
- Tamponamenti (98 kg/m²)
- Parapetti (98 kg/m²)

OBIETTIVO: Accelerazione $A \leq 0.2g$ e spostamento $D \leq 0.6$ m



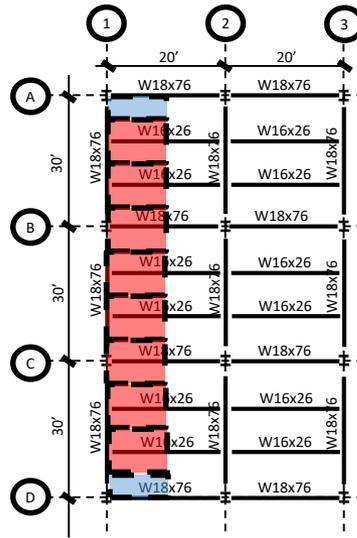
2 piano

Permanenti	
3" deck	236 kg/m ²
Floor finish	24.41 kg/m ²
Fireproofing (2 hrs)	24.41 kg/m ²
MEP	19.5 kg/m ²
ceiling	9.76 kg/m ²
Misc.	8 kg/m ²
Total	322 kg/m²
Live loads	
partitions	73.24 kg/m ²
School	195 kg/m ²

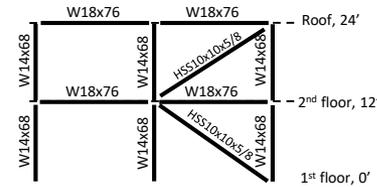


Permanenti	
3" deck	236 kg/m ²
Floor finish	49 kg/m ²
Fireproofing (2 hrs)	24.41 kg/m ²
MEP	19.5 kg/m ²
ceiling	9.76 kg/m ²
Misc.	8 kg/m ²
Total	347 kg/m²
Live loads	
Roof	97.65 kg/m ²

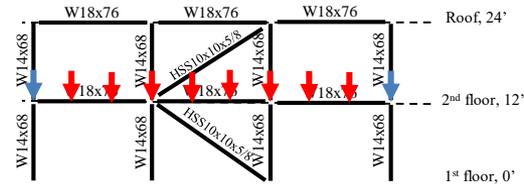
Copertura



Typical floor/roof framing plan



Framing elevation on Column Lines A, D
(No braces in Column Lines B, C)



Framing elevation on Column Lines 1,3
(No braces in Column Line 2)



1. Determinare periodo e smorzamento del sistema isolato

1.1 ANALISI DEI CARICHI:

goal: determinare i carichi applicati agli elementi strutturali e la massa sismica di ogni piano

1.2 ANALISI MODALE DELL'EDIFICIO A BASE FISSA

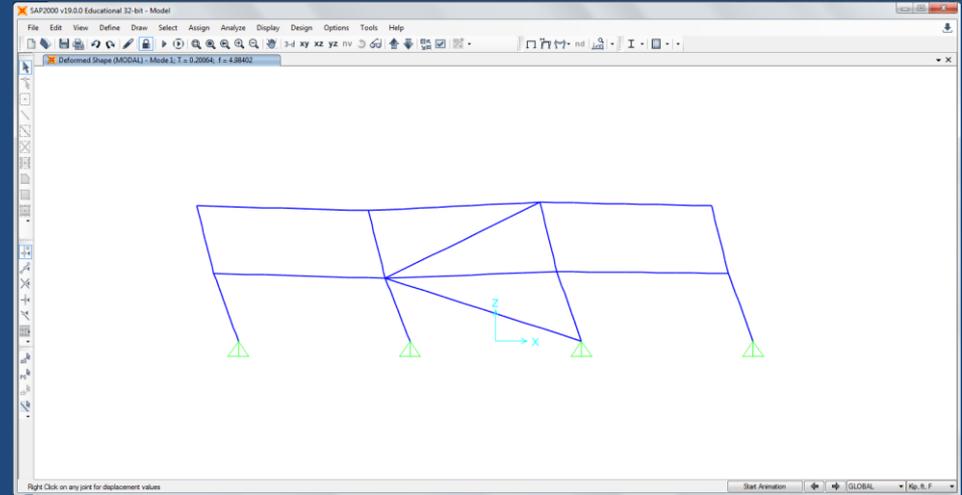
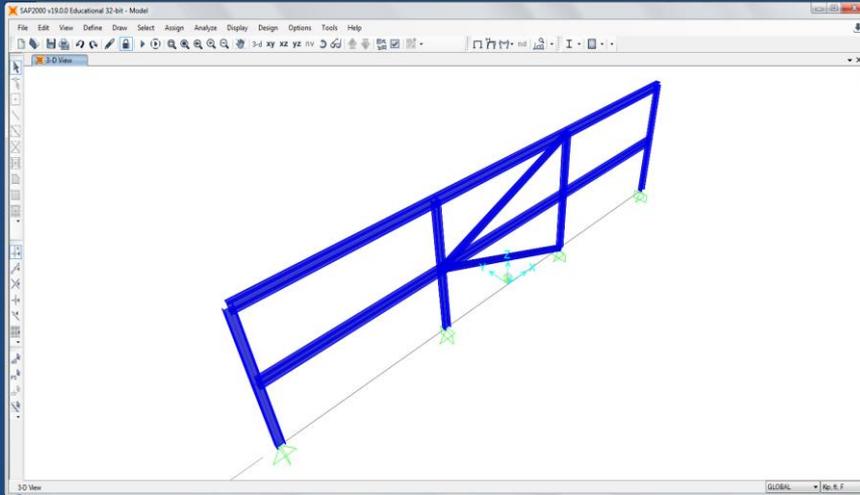
goal: determinare l'importanza (fattori di partecipazione di massa) e periodi di vibrazione dei modi fondamentali

1.2.1. modello numerico della struttura

1.2.2. modi di vibrazione della struttura a base fissa



1.2 Analisi modale dell'edificio a base fissa

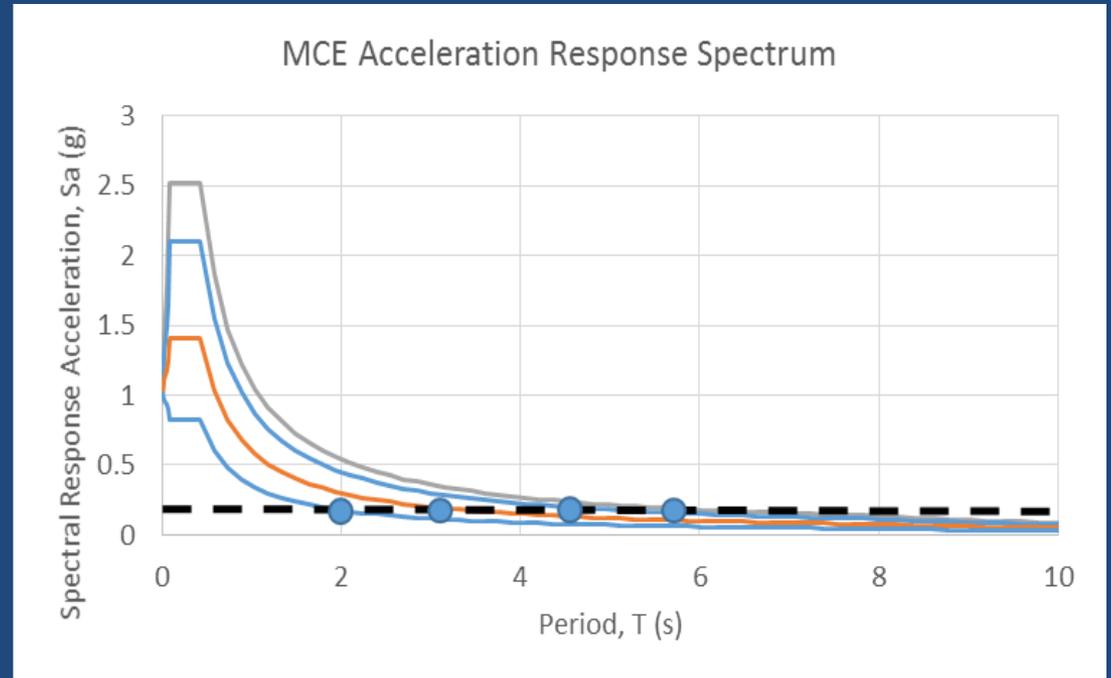


Il periodo di vibrazione del primo modo fondamentale della struttura puo essere considerato come il periodo dell'edificio a base fissa se il fattore di partecipazione modale $e' \geq 80\%$. Il primo modo qui ha un fattore di partecipazione del 93%, quindi viene usato il periodo $T_1=0.20$ s come periodo della soluzione a base fissa: **$T_S=0.20$ s.**



1.3 ANALISI DEI CARICHI: Carichi sismici

Goal: Determinare lo spettro di risposta da usare per il progetto





1.4 DETERMINARE RIGIDEZZA E SMORZAMENTO DEL SISTEMA DI ISOLAMENTO SULLA BASE DEL TARGET DI ACCELERAZIONE E SPOSTAMENTO

1.4.1. Analisi modale approssimata dell'edificio isolato

Applichiamo l'analisi di Kelly del Sistema semplificato a due gradi di liberta'

Massa della struttura a base fissa: $m = 8609.3 + 7536.6 \text{ kg-s}^2/\text{m} = 16146 \text{ kg-s}^2/\text{m}$

Assumiamo che la massa alla base sia uguale alla massa del secondo piano: $m_b = 8609.3 \text{ kg-s}^2/\text{m}$

Massa totale $M = m_b + m = 8609.3 + 16146 \text{ kg-s}^2/\text{m} = 24755.3 \text{ kg-s}^2/\text{m}$

rapporto di massa $\gamma = m/M = 16146/24755.3 = \mathbf{0.65}$

Assumiamo un valore massimo $\varepsilon = 0.1 \rightarrow \varepsilon = \left(\frac{\omega_b}{\omega_s}\right)^2 = \left(\frac{T_s}{T_b}\right)^2 = 0.1 \rightarrow \left(\frac{T_s}{T_b}\right)^2 \leq 0.1$

$\rightarrow T_s \leq 0.316 T_b \rightarrow \mathbf{T_b \geq 3.16 T_s = 3.16 \cdot 0.2s = 0.632 s}$

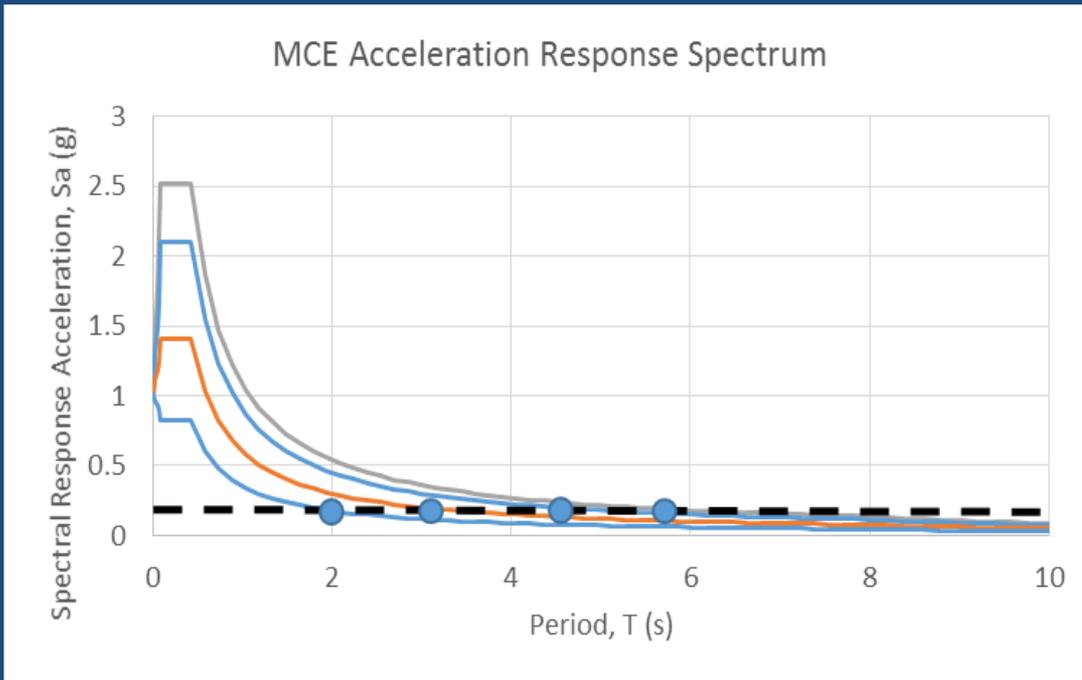
Questa condizione garantisce che la flessione della struttura sia minima, il secondo modo del Sistema isolato sia trascurabile ($\Gamma_2 < 10\%$), e il primo modo del sistema isolato sia simile al modo vibrazionale della base isolata (SDOF with massa totale M , rigidezza = k_b , e fattore di smorzamento ξ_b)



1.4.2. Identificare periodo/fattori di smorzamento per mantenere l'accelerazione massima al di sotto del livello di soglia desiderata

Stabiliamo che il target di accelerazione sia 0.2g

E plottiamo lo spettro di accelerazione per smorzamenti ξ del 5, 10 20 e 30%



$$A \leq 0.2g$$

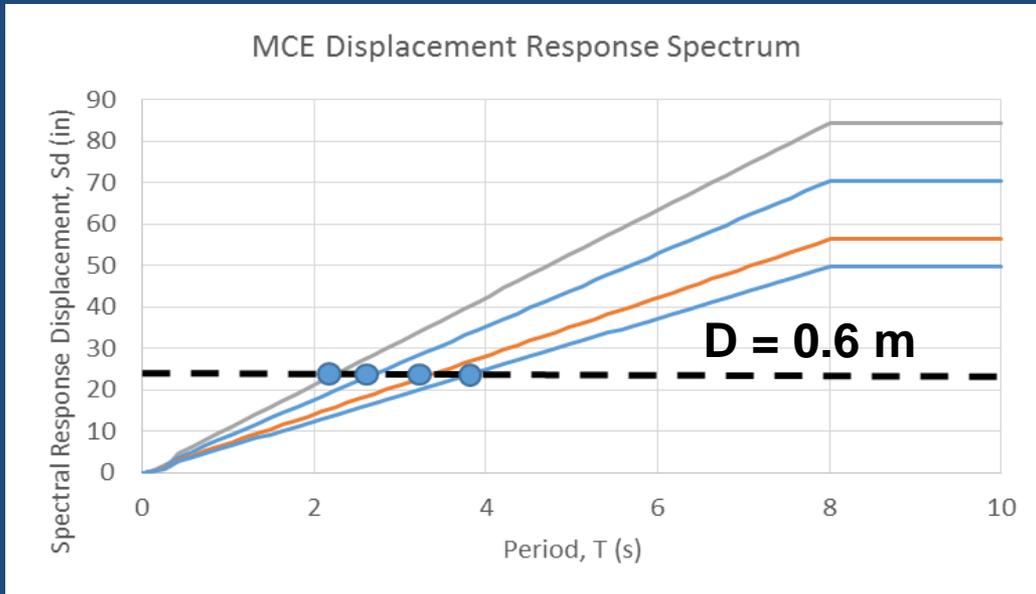
$\xi = 5\%$	$T \geq 5.40$ sec
$\xi = 10\%$	$T \geq 4.50$ sec
$\xi = 20\%$	$T \geq 3.60$ sec
$\xi = 30\%$	$T \geq 3.17$ sec



1.4.3 Identificare periodo/fattori di smorzamento per mantenere lo spostamento massimo al di sotto del livello di soglia desiderata

Stabiliamo che il target di spostamento sia 0.6 m

E plottiamo lo spettro di spostamento per smorzamenti ξ del 5, 10 20 e 30%



$D \leq 0.6$ m

$\xi = 5\%$	$T \leq 2.27$ sec
$\xi = 10\%$	$T \leq 2.73$ sec
$\xi = 20\%$	$T \leq 3.41$ sec
$\xi = 30\%$	$T \leq 3.86$ sec



1.4.4. Determinare rigidezza e fattori di smorzamento del sistema isolante

smorzamento	$A \leq 0.2g$	$D \leq 0.6 m$
$\xi = 5\%$	$T \geq 5.40 \text{ sec}$	$T \leq 2.27 \text{ sec}$
$\xi = 10\%$	$T \geq 4.50 \text{ sec}$	$T \leq 2.73 \text{ sec}$
$\xi = 20\%$	$T \geq 3.60 \text{ sec}$	$T \leq 3.41 \text{ sec}$
$\xi = 30\%$	$T \geq 3.17 \text{ sec}$	$T \leq 3.86 \text{ sec}$

Per questo esempio solo il range identificato per $\xi = 30\%$ soddisfa il requisito sia di accelerazione che di spostamento.

Scelgo: $T=3.5 \text{ sec}$, $\xi = 30\%$



2. Determinare rigidezza e fattore di smorzamento degli isolatori

Converto il periodo in rigidezza della base usando l'equazione del sistema ad un grado di liberta':

$$T_b = 2\pi (M/k_b)^{0.5} \rightarrow k_b = M (2\pi / T_b)^2 = (24755.3 \text{ kg-s}^2/\text{m}) (2\pi / 3.5 \text{ sec})^2 = 79779 \text{ kg/m}$$

Ipotizziamo di voler usare isolatori identici sotto ogni colonna

Rigidezza effettiva di ogni isolatore: $k_{is} = 79779 / 6 = 13296.5 \text{ kg/m}$

Fattore di smorzamento effettivo per ogni isolatore: $\xi_{is} = 30\%$



3. Selezionare gli isolatori sulla base di rigidità e smorzamento

Rigidità effettiva di ogni isolatore: $k_{is} = 79779 / 6 = 13296.5 \text{ kg/m} = 0.13 \text{ kN/mm}$

Fattore di smorzamento effettivo per ogni isolatore: $\xi_{is} = 30\%$

In questo caso il fattore di smorzamento richiesto limita la scelta dei dispositivi ai LRBs (dispositivi gomma-piombo)

LRB-S	V	F _{zd}	K _e	ξ _e	F ₂	F ₁	d ₁	K _v	D _g	t _e	h	H	Z
	kN	kN	kN/mm	%	KN	KN	mm	kN/mm	mm	mm	mm	mm	mm
	a d ₂ = 333 mm												
LRB-S 500/200-110	50	1810	0.67	27	224	106	16	582	500	200	357	407	550
LRB-S 550/200-120	260	2710	0.81	27	270	126	16	789	550	200	357	407	600
LRB-S 600/204-130	500	3190	0.95	27	315	148	16	844	600	204	343	393	650
LRB-S 650/204-140	960	4460	1.11	27	368	172	16	1087	650	204	353	413	700
LRB-S 700/203-150	1390	5240	1.28	26	427	197	16	1176	700	203	337	397	750
LRB-S 750/203-160	2170	6980	1.46	26	488	225	16	1461	750	203	337	397	800
LRB-S 800/200-175	2810	8050	1.71	27	572	268	16	1571	800	200	322	382	850
LRB-S 850/200-185	3850	10350	1.93	27	643	300	16	1901	850	200	322	382	900
LRB-S 900/207-195	4540	11250	2.11	27	704	333	17	1943	900	207	345	405	950
LRB-S 1000/207-200	7290	17610	2.45	24	816	354	17	2731	1000	207	355	435	1050
LRB-S 1100/220-200	10230	22370	2.66	22	887	360	18	3143	1100	220	364	444	1150
LRB-S 1200/220-200	13240	29340	2.99	20	996	365	18	3770	1200	220	356	436	1250



Manteniamo lo stesso carico verticale sul ciascun dispositivo: **P1 = 1218 kN**

Immaginiamo di limitare il period della struttura isolata a **3 s** invece di 3.5

$$k_b = M (2 \pi / T_b)^2 = (24755.3 \text{ kg-s}^2/\text{m}) (2 \pi / 3.0 \text{ sec})^2 = 108582.5 \text{ kg/m (per meta' dell'edificio)}$$

Rigidzza effettiva di ogni isolatore: $k_{is} = 108582.5/6 = 18097 \text{ kg/m} = 0.18 \text{ KN/mm}$

Fattore di smorzamento effettivo per ogni isolatore : $x_{is} = 15\%$

Questo consente l'uso di **HDRB** (gomma ad alto smorzamento) con **15%** smorzamento

SI-S	V kN	Fzd kN	Ke kN/mm	Kv kN/mm	Dg mm	te mm	h mm	H mm	Z mm	W kg
SI-S 350/150	20	1000	0.26	260	350	150	248	298	400	148
SI-S 400/150	120	1470	0.34	415	400	150	248	298	450	192
SI-S 450/150	280	2420	0.42	493	450	150	262	312	500	258
SI-S 500/150	600	3770	0.52	706	500	150	262	312	550	317
SI-S 550/154	910	4690	0.62	783	550	154	257	307	600	368
SI-S 600/152	1350	5980	0.74	898	600	152	246	296	650	417
SI-S 650/153	1840	7360	0.87	1005	650	153	241	291	700	473
SI-S 700/160	2350	8610	0.96	1077	700	160	255	315	750	615
SI-S 800/160	4050	14940	1.26	1695	800	160	255	315	850	800
SI-S 900/168	5490	19240	1.52	1899	900	168	270	330	950	1049
SI-S 1000/168	6970	22590	1.87	2215	1000	168	272	352	1050	1477
SI-S 1100/168	9850	27460	2.26	3052	1100	168	272	352	1150	1782
SI-S 1200/176	12040	28700	2.57	3283	1200	176	276	356	1250	2093



1. Determinare periodo e smorzamento del Sistema isolato

2. Determinare rigidezza e fattore di smorzamento degli isolatori

3. Selezionare gli isolatori sulla base di rigidezza e smorzamento

4. Analizzare l'edificio per determinare la domanda

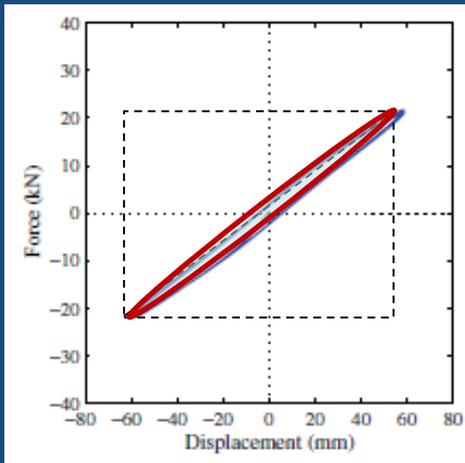
5. Verificare la capacita' (forza, spostamento, stabilita')



Allo scopo di produrre una affidabile e accurate analisi dell'edificio e' di vitale importanza l'utilizzo di modelli appropriati per gli isolatori

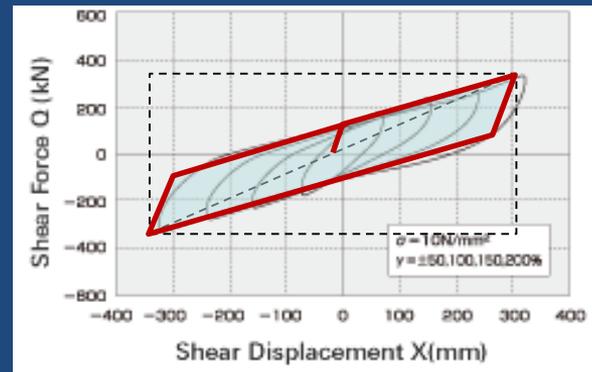
Comportamento NOMINALE

LDRB



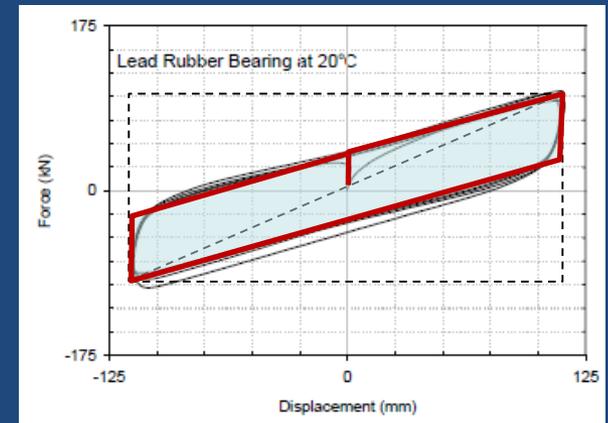
LDRB:Visco-elastico

HDRB



HDRB: Elasto-plastico (bi-lineare)

LRB



LRB:Rigido-Plastico

4. Analizzare l'edificio per determinare la domanda

IMPLEMENTAZIONI IN MODELLO DI CALCOLO DI
COMPORTAMENTI NOMINALI DEI DISPOSITIVI

CONFRONTO TRA FUNZIONAMENTO TEORICO E SPERIMENTALE

4. Analizzare l'edificio per determinare la domanda

IMPLEMENTAZIONI IN MODELLO DI CALCOLO DI
COMPORTAMENTI NOMINALI DEI DISPOSITIVI

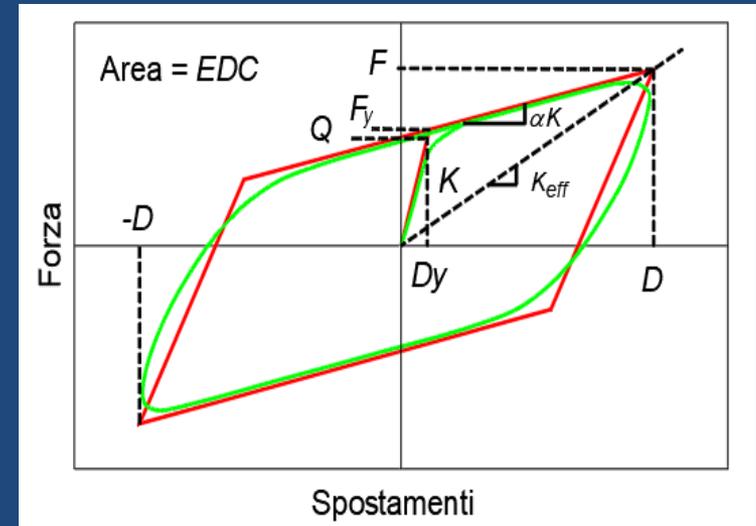
IMPLEMENTAZIONE NEL MODELLO DI CALCOLO

LDRB, HDRB, LRB

le caratteristiche di funzionamento non lineare sono generalmente modellate in maniera esplicita (*senza impiegare valori effettivi di rigidità e smorzamento*).

Si utilizza un modello bilineare per rappresentazione dei cicli isteretici esibiti da tali dispositivi

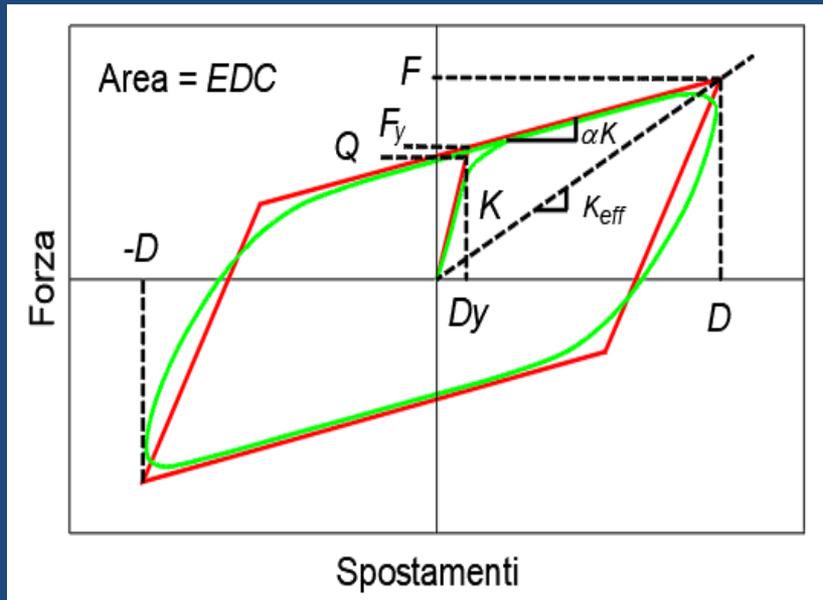
- ciclo isteretico bilineare idealizzato (rosso)
- risposta sperimentale (verde)



IMPLEMENTAZIONE NEL MODELLO DI CALCOLO

LDRB, HDRB, LRB

Nell'ambito della idealizzazione bilineare valgono le seguenti formule:



$$K_{eff} = \frac{F}{D} = \alpha K + \frac{Q}{D}$$

$$F_y = Q + \alpha K D_y$$

$$\xi_{eff} = \frac{W_D}{2\pi K_{eff} D^2}$$

con

$$W_D = 4Q(D - D_y) \rightarrow \xi_{eff} = \frac{2Q(D - D_y)}{\pi D(Q + \alpha K D)}$$

IMPLEMENTAZIONE NEL MODELLO DI CALCOLO

IMPLEMENTAZIONE IN SAP2000 DEI PARAMETRI – ISOLATORE IN GOMMA

Dir. U1

Stiffness: rigidezza in direzione verticale

Dir. U2 e U3

Direction	Fixed	NonLinear	Properties
<input checked="" type="checkbox"/> U1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for U1...
<input checked="" type="checkbox"/> U2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Modify/Show for U2...
<input checked="" type="checkbox"/> U3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Modify/Show for U3...
<input type="checkbox"/> R1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R1...
<input type="checkbox"/> R2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R2...
<input type="checkbox"/> R3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R3...

Property Name	Value
Property Name	RUB1
Direction	U2
Type	Rubber Isolator
NonLinear	Yes
Effective Stiffness	0.2627
Effective Damping	0.
Distance from End-J	0.
Stiffness	2.1967
Yield Strength	12.2387
Post Yield Stiffness Ratio	0.1

I parametri richiesti dal Sap2000 per caratterizzare l'elemento NLINK sono:

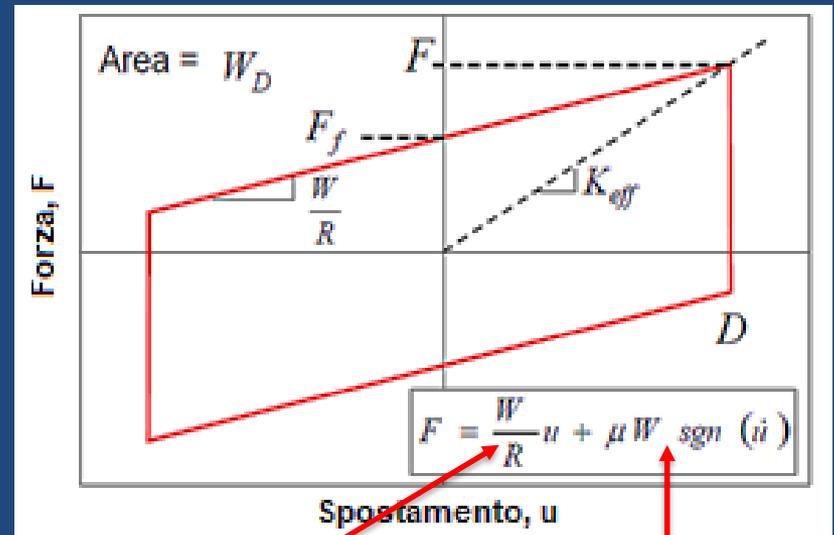
- **Stiffness:** rigidezza nella fase elastica, in direzione orizzontale. Corrisponde alla rigidezza del primo ramo del ciclo isteretico;
- **Yeld strength:** forza di snervamento;
- **Post yeld stiffness ratio:** rapporto tra la rigidezza pos-snervamento e il valore della rigidezza elastica

IMPLEMENTAZIONE NEL MODELLO DI CALCOLO

ISOLATORI FRICTION PENDULUM

I parametri del legame costitutivo bilineare dei dispositivi a scorrimento a superficie curva (del tipo "friction pendulum") dipendono dal raggio di curvatura e dal coefficiente di attrito

- W : azione assiale applicata al dispositivo;
- u : spostamento relativo tra la piastra superiore ed inferiore del dispositivo;
- μ il coefficiente di attrito nominale dell'interfaccia di scorrimento;
- R il raggio di curvatura della superficie curva.



Comp. Richiamo (*effetto pendolo*)

Comp. attrito

IMPLEMENTAZIONE NEL MODELLO DI CALCOLO

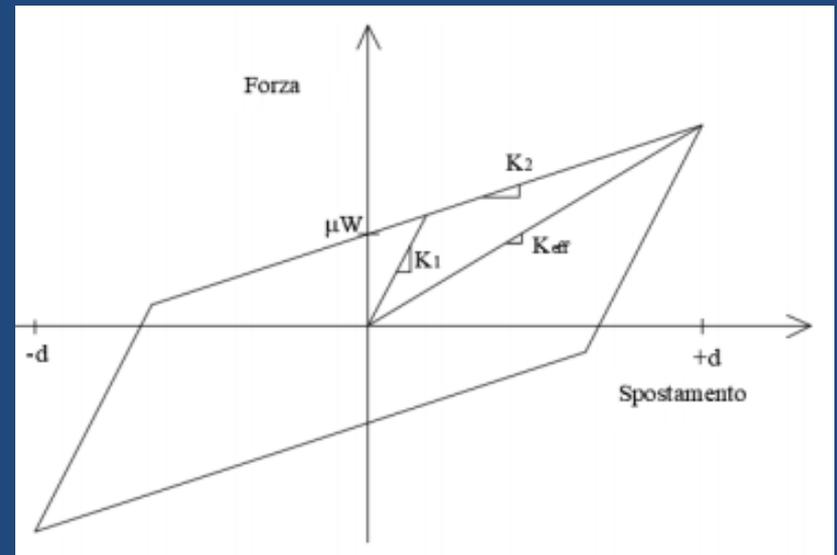
IMPLEMENTAZIONE IN SAP2000 DEI PARAMETRI – FRICTION PENDULUM EFFETTO DELLA VELOCITA'

La costante empirica esponenziale (a), la cui unità di misura è quella dell'inverso di una velocità, regola la transizione da una fase e l'altra.

$$\mu = \mu_{max} - (\mu_{max} - \mu_{min}) \cdot \exp(-a|u|)$$

dove μ_{max} e μ_{min} sono rispettivamente i valori del coefficiente di attrito assunti in **condizioni di elevate e di basse velocità di scorrimento \dot{u}** .

Rigidezza secante o eff.



IMPLEMENTAZIONE NEL MODELLO DI CALCOLO

IMPLEMENTAZIONE IN SAP2000 DEI PARAMETRI – FRICTION PENDULUM

Rigidezza secante o eff.

$$K_{eff} = \frac{W}{R_{eff}} + \frac{\mu W}{d} = W \left(\frac{1}{R_{eff}} + \frac{\mu}{d} \right)$$

Rigidezza primo ramo

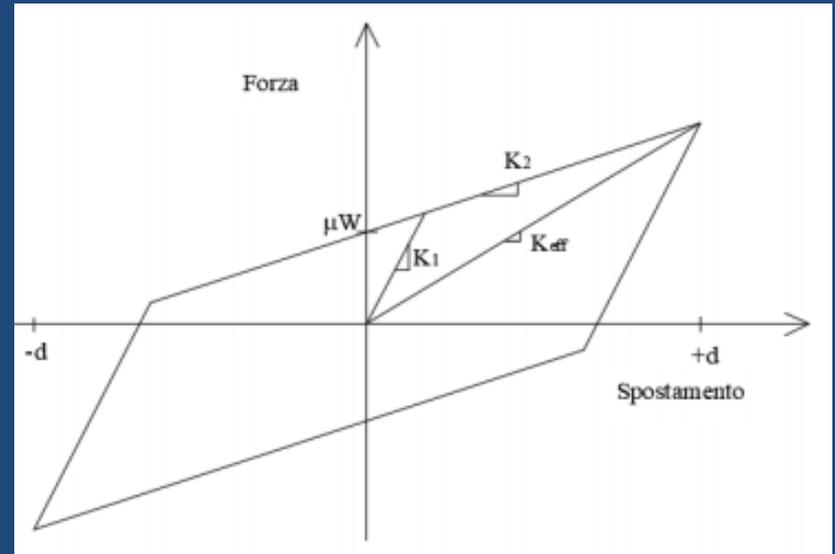
$$K_1 = \text{molto elevata}$$

Rigidezza tangente

$$K_2 = \frac{W}{R}$$

W : forza verticale agente sull'isolatore

d : spostamento di progetto relativo ad uno SL



IMPLEMENTAZIONE NEL MODELLO DI CALCOLO

IMPLEMENTAZIONE IN SAP2000 DEI PARAMETRI – FRICTION PENDULUM

Dir. U1

Stiffness: rigidezza in direzione verticale

Dir. U2 e U3

Link/Support Property Data

Link/Support Type: Friction Isolator

Property Name: MultiLinear Elastic

Property Notes: Dumper - Exponential, Dumper - Bilinear, Dumper - Friction Spring

Total Mass and Weight: Mass: 0, Weight: 0

Factors For Line, Area and Solid Springs: Property is Defined for This Length in a Line Spring: 25.4, Property is Defined for This Area in Area and Solid Springs: 645.16

Directional Properties:

Direction	Fixed	NonLinear	Properties
<input checked="" type="checkbox"/> U1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Modify/Show for U1...
<input checked="" type="checkbox"/> U2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Modify/Show for U2...
<input checked="" type="checkbox"/> U3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Modify/Show for U3...
<input type="checkbox"/> R1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R1...
<input type="checkbox"/> R2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R2...
<input type="checkbox"/> R3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R3...

Buttons: Fix All, Clear All, OK, Cancel

Link/Support Directional Properties

Identification:

Property Name: FRIC1

Direction: U2

Type: Friction Isolator

NonLinear: Yes

Properties Used For Linear Analysis Cases:

Effective Stiffness: 9.807E-04

Effective Damping: 0.

Shear Deformation Location:

Distance from End-J: 0.

Properties Used For Nonlinear Analysis Cases:

Stiffness: 0.9807

Friction Coefficient, Slow: 0.04

Friction Coefficient, Fast: 0.05

Rate Parameter: 0.045

Net Pendulum Radius: 2500.

Buttons: OK, Cancel

I parametri richiesti dal Sap2000 per caratterizzare l'elemento NLINK sono:

- **Stiffness:** rigidezza nella fase elastica, in direzione orizzontale. Corrisponde alla rigidezza del primo ramo del ciclo isteretico;
- **Friction coefficient, slow, fast:** valore del coefficiente di attrito min e max;
- **Rate parameter:** coeff. Dipendete dall'inverso della velocità di scorrimento (α);
- **Net pendulum Radius:** raggio della superficie di scorrimento

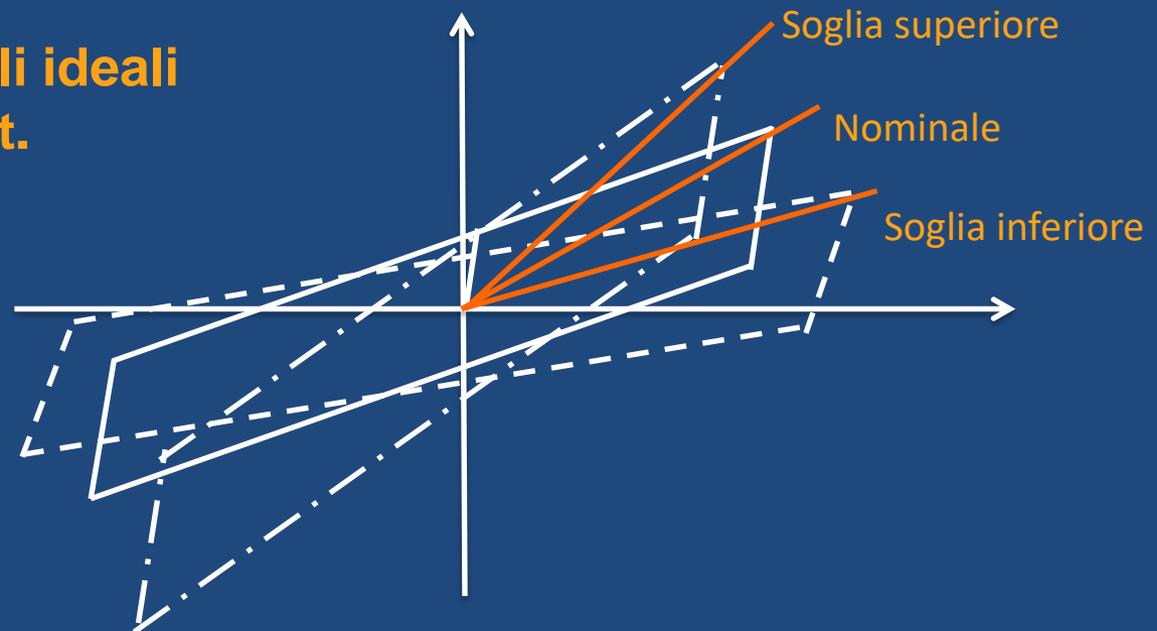
CONFRONTO TRA FUNZIONAMENTO TEORICO E SPERIMENTALE



Nei codici normativi correnti I “**property modification factors**” (λ)” vengono usati per creare un intervallo di variabilita’ dei parametri di progetto (CEN 15129 – AASHTO – ASCE 7-16 etc.):

Numero limitato di parametri nominali di progetto
(e.g. rigidezza di richiamo, coefficiente d’attrito, resistenza caratteristica, rigidezza post-elastica etc.)

Favoriscono modelli ideali bilineari forza-spost.





Ci si attende che le proprieta' meccaniche di un sistema durante un moto sismico varino, rispetto ai valori nominali usati nelle analisi, rimanendo peraltro all'interno di un range limitato

Comuni sorgenti di variabilita':

ASCE 7-16

Moto ciclico

Velocita' di carico

Variabilita' nella produzione

temperatura

invecchiamento

Esposizione ambiente

Contaminazione ecc.

λ_{test}

λ_{spec}

λ_{ae}





■ Prendiamo un esempio e attiviamo l'analisi strutturale preliminare (richiesta).

L'analisi dovrebbe identificare lo spostamento massimo, la massima forza e il periodo che verranno usati nella progettazione e nella caratterizzazione dei dispositivi (prove di prototipi-qualificazione)

Secondo ASCE 7-16 L'analisi numerica deve essere completata con due valori limite (Lim. Superiore e Lim. Inferiore)

$$\lambda_{\max} = [1 + 0.75(\lambda_{ae, \max} - 1)] * \lambda_{\text{test}, \max} * \lambda_{\text{spec}, \max} \geq 1.80$$

$$\lambda_{\min} = [1 + 0.75(\lambda_{ae, \min} - 1)] * \lambda_{\text{test}, \min} * \lambda_{\text{spec}, \min} \leq 0.60$$

Per isolatori ad attrito:

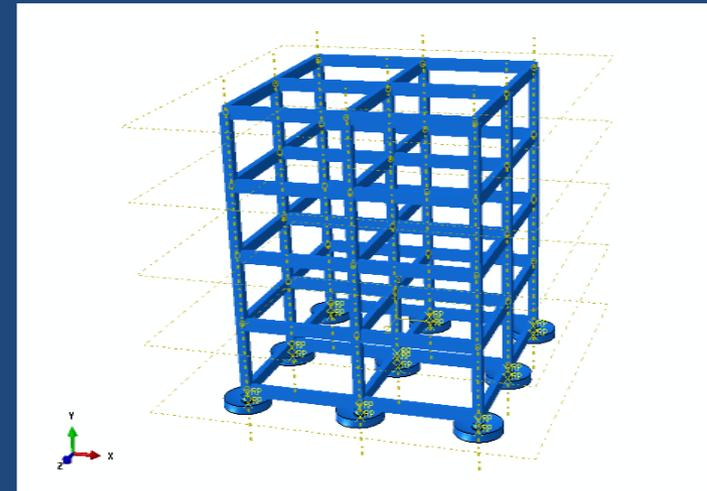
$$\lambda_{\text{test}, \max} = 1.3 \text{ and } \lambda_{\text{test}, \min} = 0.7$$

$$\lambda_{ae, \max} = 1.56 \text{ and } \lambda_{ae, \min} = 1.0$$

$$\lambda_{\text{spec}, \max} = 1.15 \text{ and } \lambda_{\text{spec}, \min} = 0.85$$

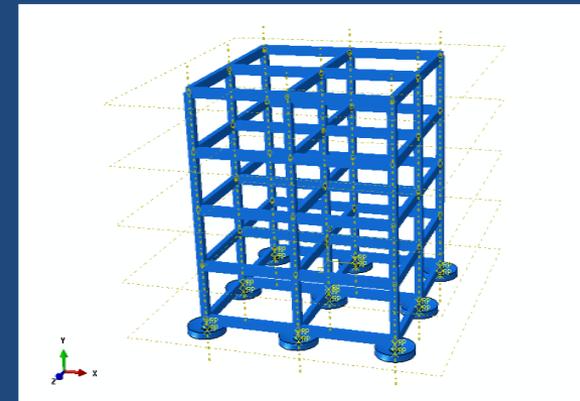


$\lambda_{\max} = 2.1$ and $\lambda_{\min} = 0.6$
 da applicarsi al valore nominale di attrito (e.g. 8%)





Name	Year	EQK	Mw	PGA (g)	PGV (cm/s)	PGD (cm)
LP	1989	Loma Prieta	7.0	0.56	94.8	41.1
KO	1995	Kobe	6.9	0.82	81.6	17.7
ER	1992	Erzincan	6.7	0.50	64.3	21.9



Analisi non lineare con due componenti orizzontali

evento	Spostamento massimo D_M (mm)			Periodo T_M (s)		
	Lim. sup.	Nominale	Lim. inf.	Lim. sup.	Nominale	Lim. inf.
LP	188 (-60%)	466	656 (+41%)	2.01 (-20%)	2.50	2.64 (+6%)
KO	155 (-59%)	375	525 (+40%)	1.90 (-20%)	2.39	2.55 (+7%)
ER	255 (+12%)	228	217 (-5%)	2.19 (+3%)	2.13	2.10 (-1%)



Prove richieste su prototipi

Test	Carico vert.	#cicli	Spostamento di picco	Forza di picco	T
1	1	20	-	F_W	T_M (*)
2	1,2,3	3	$0.25 D_M, 0.5 D_M, 0.67 D_M, 1.0 D_M$		T_M (*)
3	1	3	$1.0 D_M$		T_M (*)
4	1	$30S_{M1}/(S_{MS} B_M) \geq 10$ (**)	$0.75 D_M$		T_M (*)
5	2,3	1	$1.0 D_M$		-

(*) Test dinamici non richiesti se già completati su isolatori simili

(**) Minimo di 10 cicli.

- Carico verticale livello 1** (medio): $1.0D + 0.5L = 440\text{kN}$
- Carico verticale livello 2** (massimo): $1.2D + 1.0E + 1.0L + 0.2S = 573\text{ kN}$
- Carico verticale livello 3** (minimo): $0.9D + 1.0E = 344\text{ kN}$



Req. #	Ref. test	Requisito di accettazione
1	1,2,3,4	$dF/dx > 0$
2	3	$\lambda_{spec,min} - 5\% \leq K_{d.av} / (\sum K_{d.av} / N) \leq \lambda_{spec,min} + 5\%$ $\lambda_{spec,min} - 5\% \leq E_{loop.av} / (\sum E_{loop.av} / N) \leq \lambda_{spec,min} + 5\%$
3	2,3	 $\lambda_{test,min} \leq K_{d.i} / K_{d.nom} \leq \lambda_{test,max}$ $0.85 \leq K_{eff.i} / (\sum k_{eff.i} / N) \leq 1.15$
4	4	$0.80 \leq K_{eff.i} / k_{eff.1} \leq 1.20$
5	4	 $\lambda_{test,min} \leq K_{d.i} / K_{d.nom} \leq \lambda_{test,max}$ $\lambda_{test,min} \leq E_{loop.i} / E_{loop.nom} \leq \lambda_{test,max}$
6	4	$0.80 \leq \xi_{eff.i} / \xi_{eff.1}$
7	5	Stability

Variabilità di funzionamento

Valori nominali usati solo per rigidezza e EDC (non rigidezza effettiva o smorzamento)



Req.	Test	Requisito accettazione	LP		KO		ER	
			min	max	min	max	min	max
3	2,3	$0.7 \leq K_{d,i}/K_{d,nom} \leq 1.3$	0.96	1.0	0.94	0.99	0.81	0.97
4	4	$0.8 \leq K_{eff,i}/k_{eff,1} \leq 1.2$	0.95	1.0	0.94	1.0	0.90	1.0
5	4	$0.7 \leq K_{d,i}/K_{d,nom} \leq 1.3$	0.93	0.99	0.91	0.99	0.86	0.98
		$0.7 \leq E_{loop,i}/E_{loop,nom} \leq 1.3$	0.65	1.0	0.66	1.0	0.73	1.0
6	4	$0.80 \leq \xi_{eff,i}/\xi_{eff,1}$	0.69		0.70		0.80	

Dispositivo non IDONEO!

Quali informazioni ricavate da questo processo?



Requisito #1 : $dF/dx > 0$ nei test 1,2,3,4

Scopo e' identificare possibile softening nel comportamento dell'isolatore. Softening non e' un problema di isolatori FPS. Dovrebbe essere limitato al test #5 che richiede il massimo Spostamento sotto il massimo carico verticale.

Test	W	#cicli	D max	F max	T
1	1	20	-	F_W	T_M
2	1,2,3	3	$0.25 D_M, 0.5 D_M,$ $0.67 D_M, 1.0 D_M$		T_M
3	1	3	$1.0 D_M$		T_M
4	1	$30S_{M1}/(S_{MS}B_M) \geq 10$	$0.75 D_M$		T_M
5	2,3	1	$1.0 D_M$		-



Requisito #2 : $\lambda_{spec,min} -5\% \leq K_{d.av}/(\sum K_{d.av}/N) \leq \lambda_{spec,min} +5\%$
 $\lambda_{spec,min} -5\% \leq E_{loop.av}/(\sum E_{loop.av}/N) \leq \lambda_{spec,min} +5\%$

per il TEST 3

Riguarda il controllo di qualità in termini di rigidità di richiamo e energia dissipata. E' applicato al test 3 ma si potrebbero usare I test 1 e 5 che forniscono la risposta sotto le condizioni massime e minime di sforzo ripetuto

Test	W	#cicli	D max	F max	T
1	1	20	-	F _w	T _M
2	1,2,3	3	0.25 D _M , 0.5 D _M , 0.67 D _M , 1.0 D _M		T _M
3	1	3	1.0 D _M		T _M
4	1	30S _{M1} /(S _{MS} B _M)>=10	0.75 D _M		T _M
5	2,3	1	1.0 D _M		-



REQ. #3 : $\lambda_{\text{test,min}} \leq K_{d,i}/K_{d,\text{nom}} \leq \lambda_{\text{test,max}}$ per il test 3

Verifica la variazione della rigidezza di richiamo (dipende dalla geometria e dal carico verticale). K_d e' marginalmente interessata dalle condizioni di prova. La riduzione del coefficiente di attrito dovuto a ripetizione dei cicli produce un'apparente riduzione di K_d , piu' evidente per test con valori ridotti di spostamento laterale. Si consiglia il test 4.

Test	W	#cicli	D max	F max	T
1	1	20	-	F_W	T_M (*)
2	1,2,3	3	0.25 D_M , 0.5 D_M , 0.67 D_M , 1.0 D_M		T_M (*)
3	1	3	1.0 D_M		T_M (*)
4	1	$30S_{M1}/(S_{MS}B_M) \geq 10$ (**)	0.75 D_M		T_M (*)
5	2,3 (***)	1	1.0 D_M		-



REQ. #3 : $0.85 \leq K_{\text{eff},i}/(\sum k_{\text{eff},i}/N) \leq 1.15$ Per tests 2,3

Verifica la rigidezza effettiva che non e' direttamente rappresentativa della variabilita' di alcun parametro fisico dell'isolatore. La variabilita' di μ ha effetti trascurabili su K_{eff} .

Questo requisito puo essere rimosso perche' la variabilita' di μ E' investigata attraverso Req. #2

REQUIREMENT #4 : $0.80 \leq K_{\text{eff},i}/k_{\text{eff},1} \leq 1.20$ per Test 4

Questo requisito puo essere rimosso

REQUIREMENT #5 : $\lambda_{\text{test,min}} \leq K_{\text{d},i}/K_{\text{d,nom}} \leq \lambda_{\text{test,max}}$ In test 4

Questo requisito puo essere rimosso (gia' applicato col Test #3)



REQ. #5 : $\lambda_{test,min} \leq E_{loop,i}/E_{loop,nom} \leq \lambda_{test,max}$ per Test 4

Scopo di questo controllo e' di evitare una riduzione incontrollata di m dovuta a fenomeni di riscaldamento.

Il test 4 pero' non e' in grado di isolare questi effetti dagli effetti della velocita' che peraltro si potrebbe vedere come "costante" per ogni ciclo

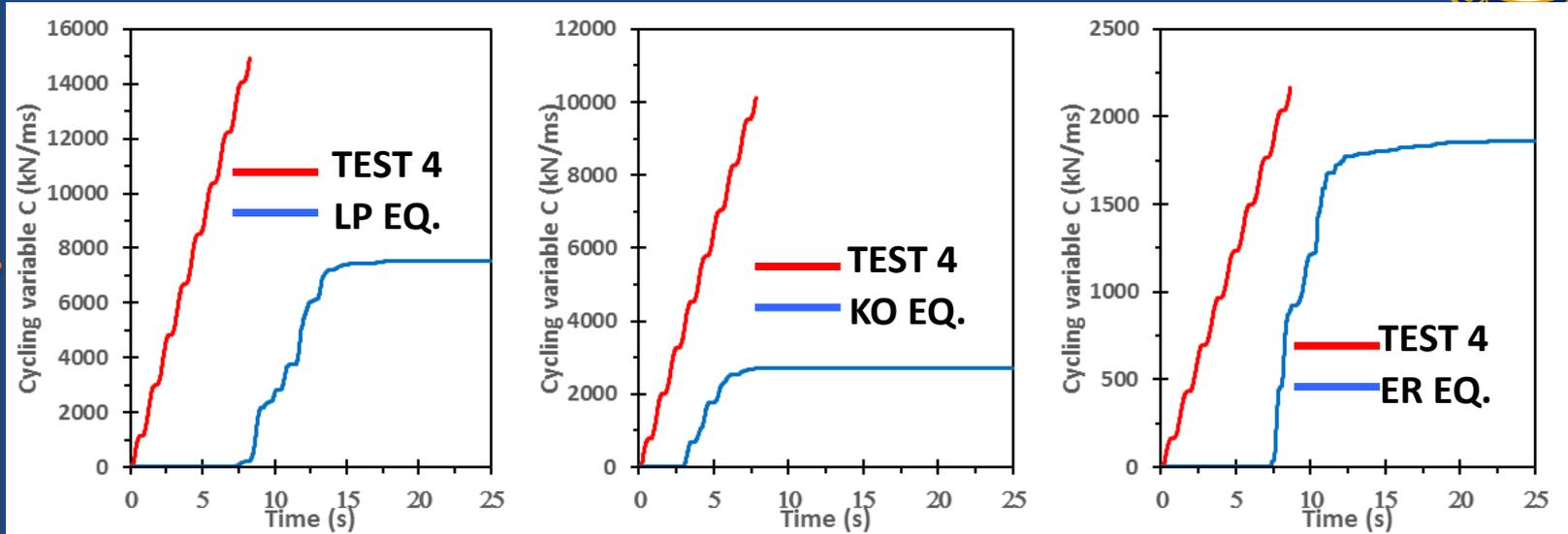
La ripetizione dei cicli e' responsabile per una riduzione importante di μ (-51% per LP test 4) che e' direttamente associata alla riduzione di E_{loop} (fino a -35% for LP - isolatore non approvato)

Test	W	#cicli	D max	F max	T
4	1	$30S_{M1}/(S_{MS}B_M) \geq 10$	$0.75 D_M$		T_M

La prova e il criterio di accettazione sono ragionevoli eccetto per il numero di cicli



REQ. #5



Variabile che esprime la generazione di calore durante il moto di scorrimento

Test 4 non si rivela rappresentativo dei fenomeni termodinamici associati agli eventi sismici e puo essere eccessivamente conservativo

La variazione di E_{loop} e dello smorzamento dovrebbe essere verificata per livelli della variabile di generazione di calore compatibili con quanto avviene durante un evento sismico

Limitare questa verifica al primo ciclo che eccede il massimo della variabile C individuato durante le analisi preliminari (3° ciclo per LP, 2° ciclo per KO, 4° ciclo ER)



REQ. #6 : $0.80 \leq \xi_{\text{eff}.i} / \xi_{\text{eff}.1}$

Lo smorzamento effettivo non rappresenta direttamente la variazione delle proprietà attritive. Requisito eliminabile

REQ. #7 : Stabilità per Test 5

Poiché questo requisito si riferisce alla stabilità complessiva dell'isolatore Andrebbe applicato al test 5 completato sotto il massimo carico verticale (2)

Test	W	#cicli	D max	F max	T
5	2	1	1.0 D _M		-



Protocollo di prova proposto e criteri di accettazione

Test	V load	#cycles	Peak Displ.	Peak Force	T
P1	1	20	-	F_W	T_M
2	1,2,3	3	$0.25 D_M, 0.5 D_M,$ $0.67 D_M, 1.0 D_M$		T_M
3	1	3	$1.0 D_M$		T_M
P2	1	$30S_{M1}/(S_{MS}B_M) \geq 10$	$0.75 D_M$		T_M
P3	1,2,3	3	$1.0 D_M$		-

Req. #	Reference tests	Adequacy requirement
P1	P1,P2,P3	$dF/dx > 0$
P2	P1,P2,P3	$\lambda_{spec,min}^{-5\%} \leq K_{d.av}/(\sum K_{d.av}/N) \leq \lambda_{spec,max}^{+5\%}$ $\lambda_{spec,min}^{-5\%} \leq E_{loop.av}/(\sum E_{loop.av}/N) \leq \lambda_{spec,max}^{+5\%}$
P3	P2	$\lambda_{test,min} \leq K_{d.i}/K_{d.nom} \leq \lambda_{test,max}$ $\lambda_{test,min} \leq E_{loop.i}/E_{loop.nom} \leq \lambda_{test,max}$
P4	P3	Stability



Difficile traduzione del comportamento sperimentale osservato in parametri nominali di progetto e affidabili “modification factors”

Il controllo sulla variabilità delle proprietà del dispositivo avviene attraverso la rigidità effettiva e il fattore di smorzamento. Non esiste una “connessione” con l’origine di questa variabilità messa in evidenza durante le prove

Il protocollo di prova inoltre non è appropriato per la calibrazione di un modello dettagliato di funzionamento (problema comune a quasi tutti i protocolli di prova)



Ma come funzionano realmente questi dispositivi?





SRMD

Caltrans Seismic Response Modification Device Test Facility



Evidenze e modello sperimentale

Effetti della variazione di carico verticale

Effetti della velocità del moto

Effetti di temperatura

Effetti di moto multi-direzionale



ISOLATORI
ELASTOMERICI



Spostamento: 304.8 mm (100% deformazione a taglio)

Test	cb1	cb2	cb3	cb4	cb5	cb6	cb7	cb8	cb9
Carico Vert. (kN)	2224	4004	5783	2224	4004	5783	2224	4004	5783
Pressione (MPa)	2.7	4.9	7.1	2.7	4.9	7.1	2.7	4.9	7.1
Max. vel. (mm/s)	0.76	0.76	0.76	355	355	355	711	711	711
Freq. (Hz)	0	0	0	0.186	0.186	0.186	0.371	0.371	0.371

Test	cb10	cb11	cb12	cb13	cb14	cb15	cb16	cb17	cb18
Carico Vert. (kN)	1335	2224	3114	4004	4893	5783	2224	4004	5783
Pressione (MPa)	1.6	2.7	3.8	4.9	6.0	7.1	2.7	4.9	7.1
Max. vel. (mm/s)	957	957	957	957	957	957	1270	1270	1270
Freq. (Hz)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.66	0.66	0.66

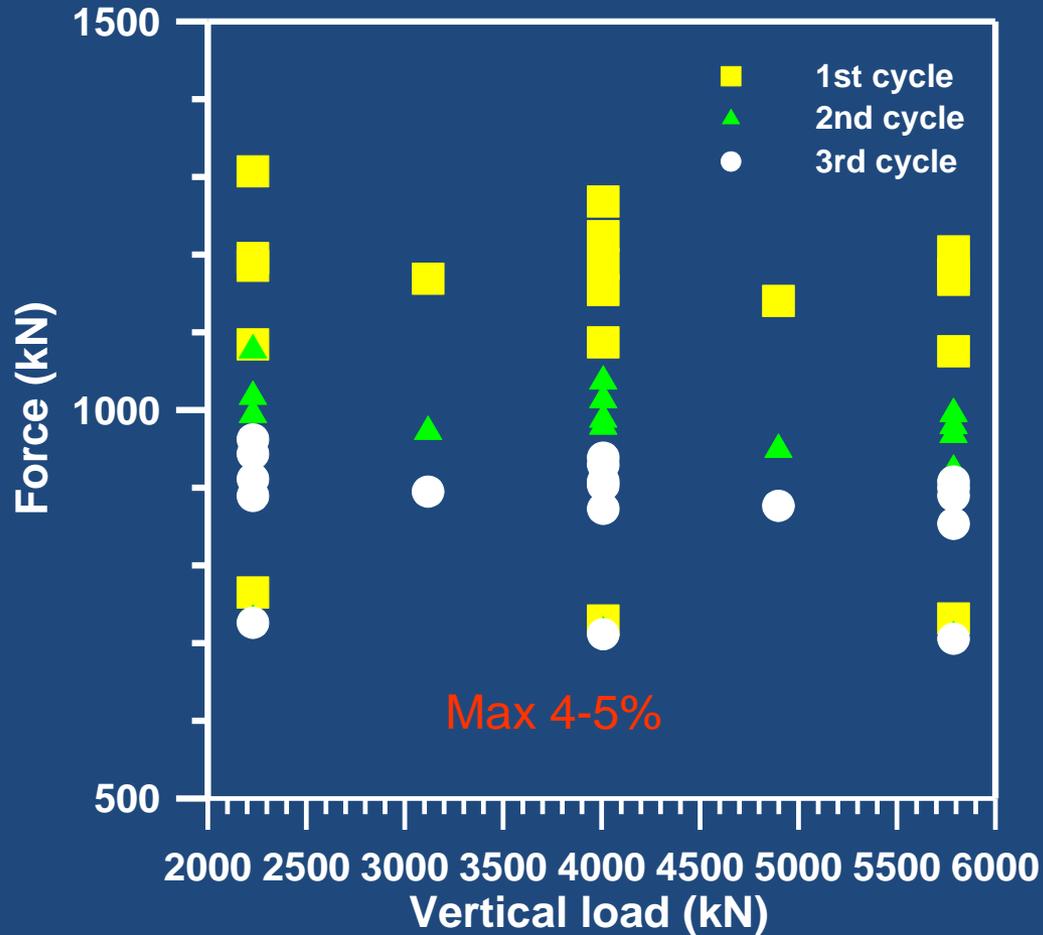
Carico vert. progetto=2480 kN

3 cicli per ogni test



ISOLATORI GOMMA-PIOMBO:

Forza massima





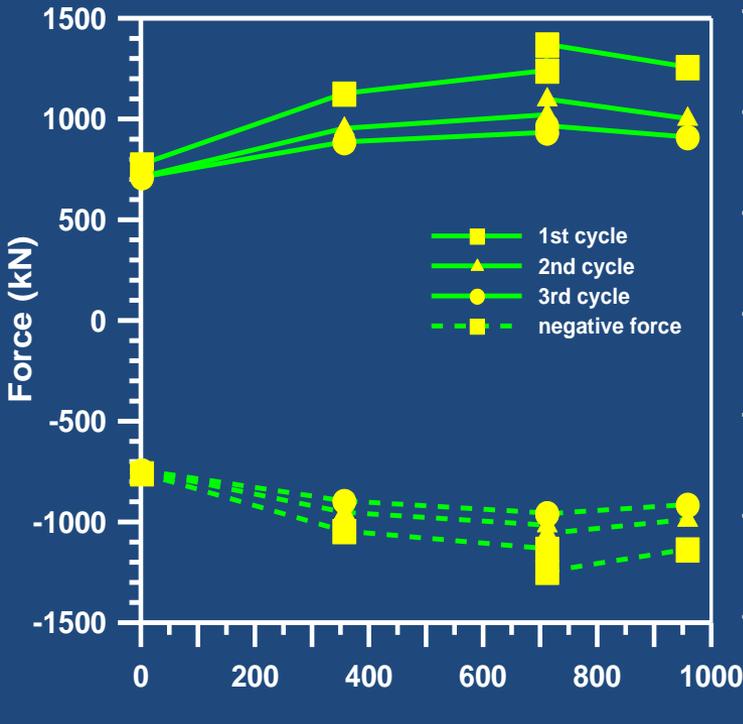
SRMD

Caltrans Seismic Response Modification Device Test Facility



FORZA MASSIMA

V=2224 KN (2.7 MPa)

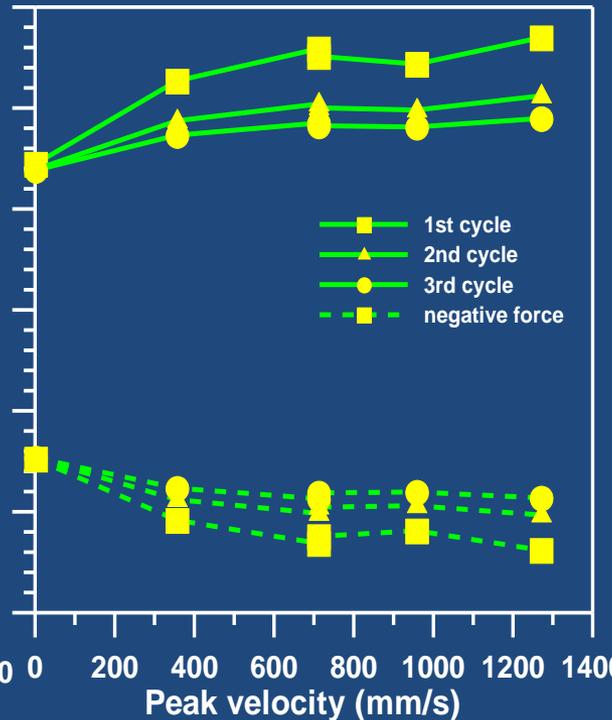


Max 70.6%

45%

30%

V=4004 KN (4.9 MPa)

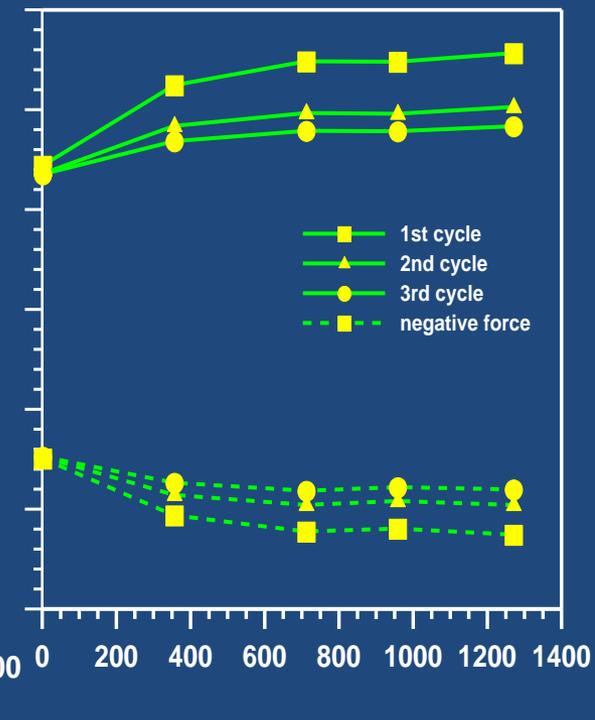


Max 73.8%

45%

30%

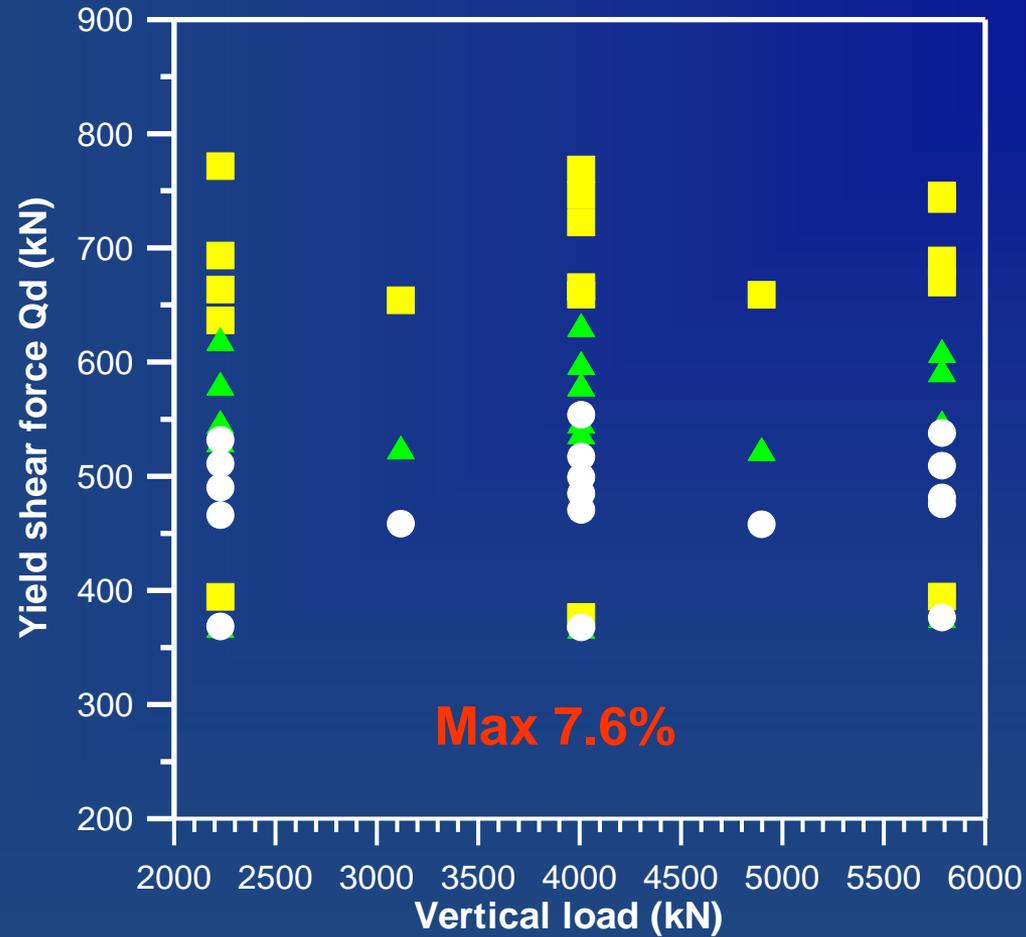
V=5783 KN (7.1 MPa)



Max 64.5%

45%

30%



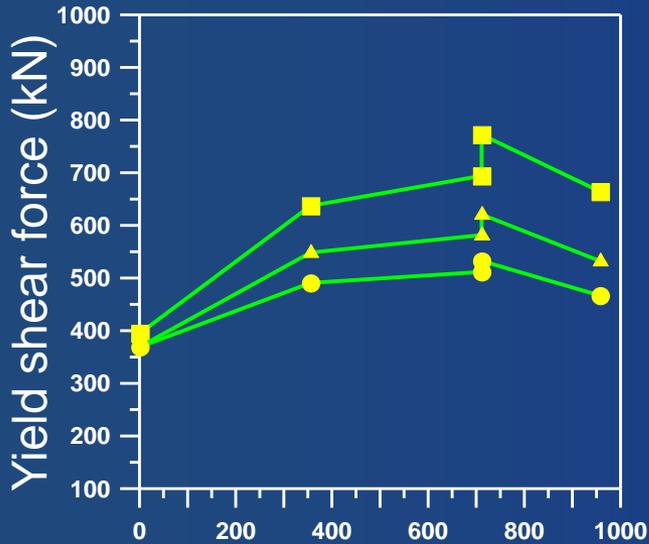
Forza di snervamento

- 1st cycle
- ▲ 2nd cycle
- 3rd cycle



Forza di smervamento

V=2224 kN (2.7 MPa)

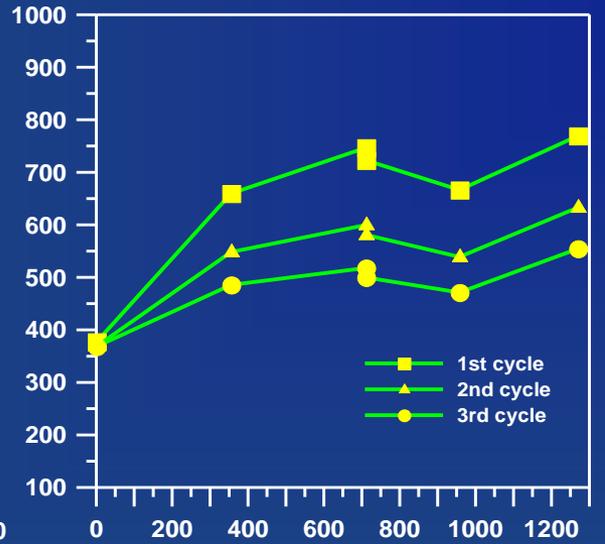


Max 95%

67%

46%

V=4004 kN (4.9 MPa)

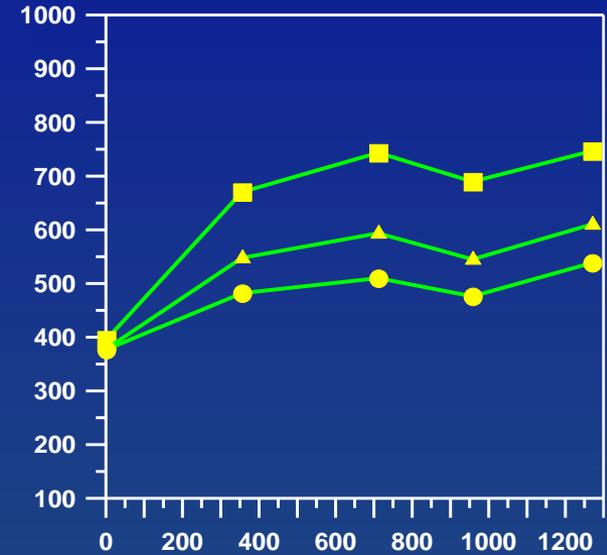


Max 103%

67%

46%

V=5783 kN (7.1 MPa)



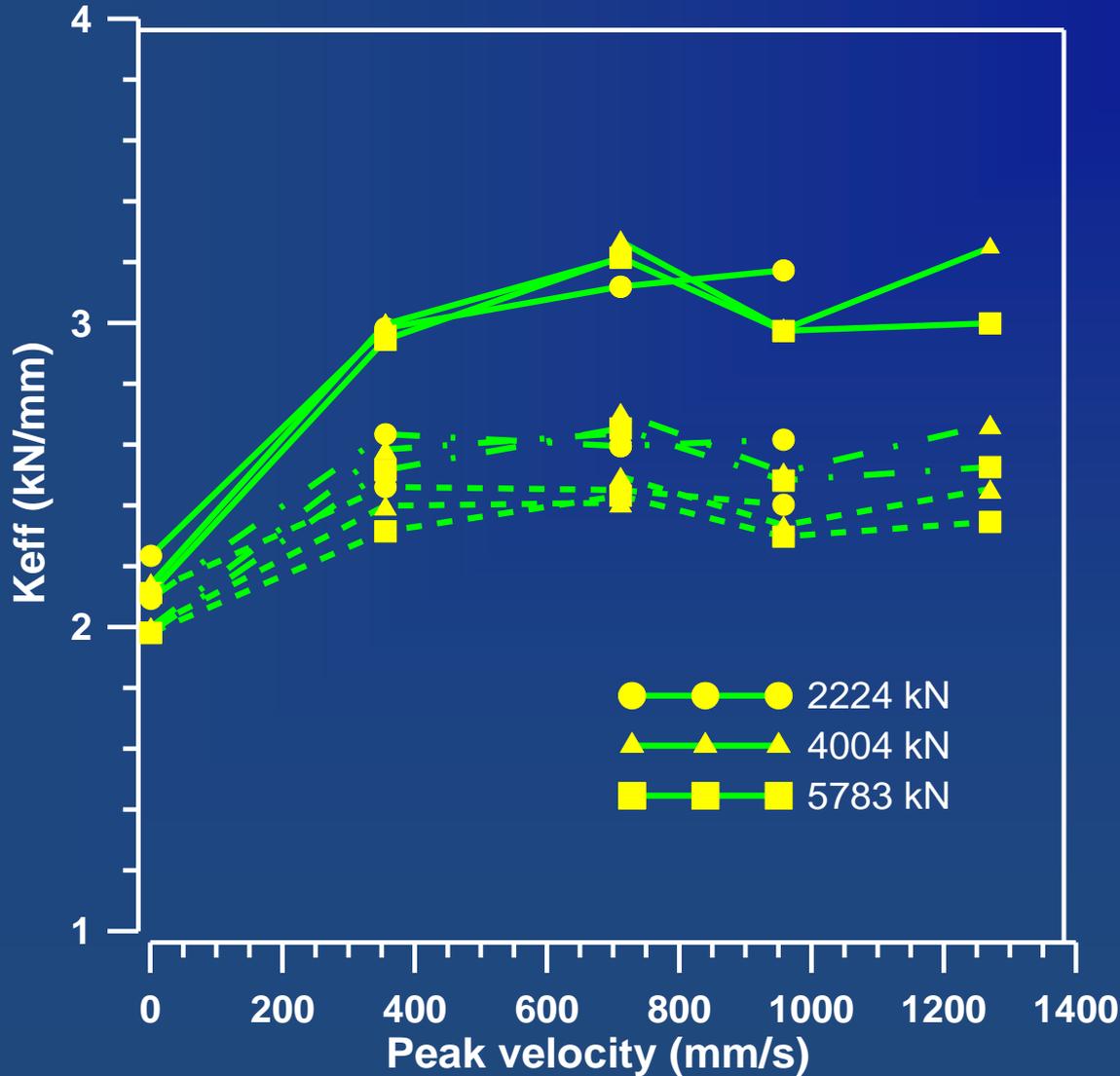
Max 89%

67%

46%



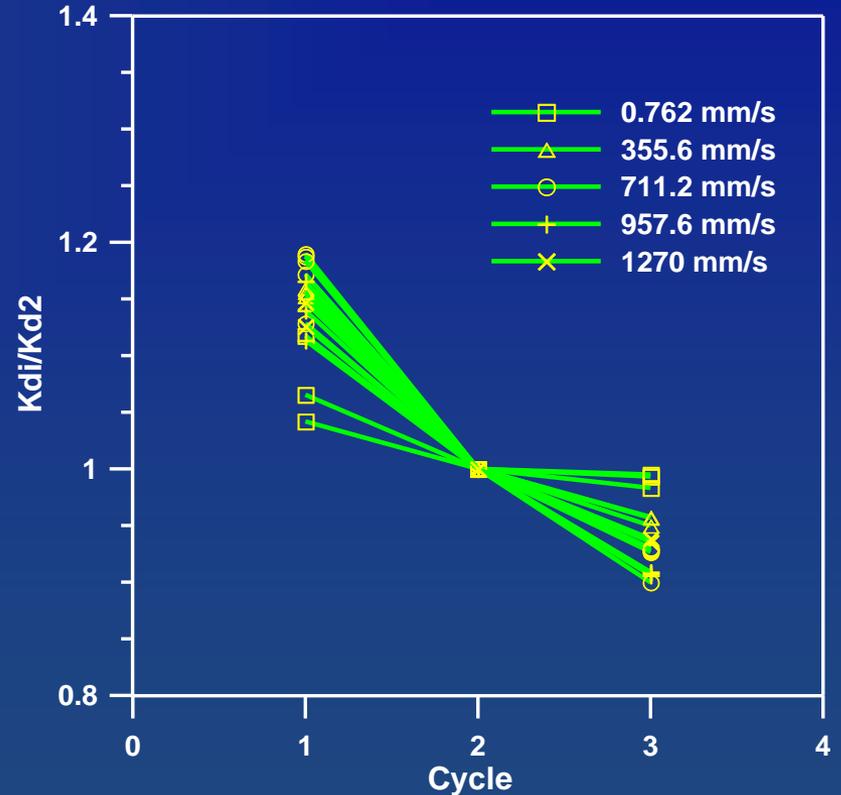
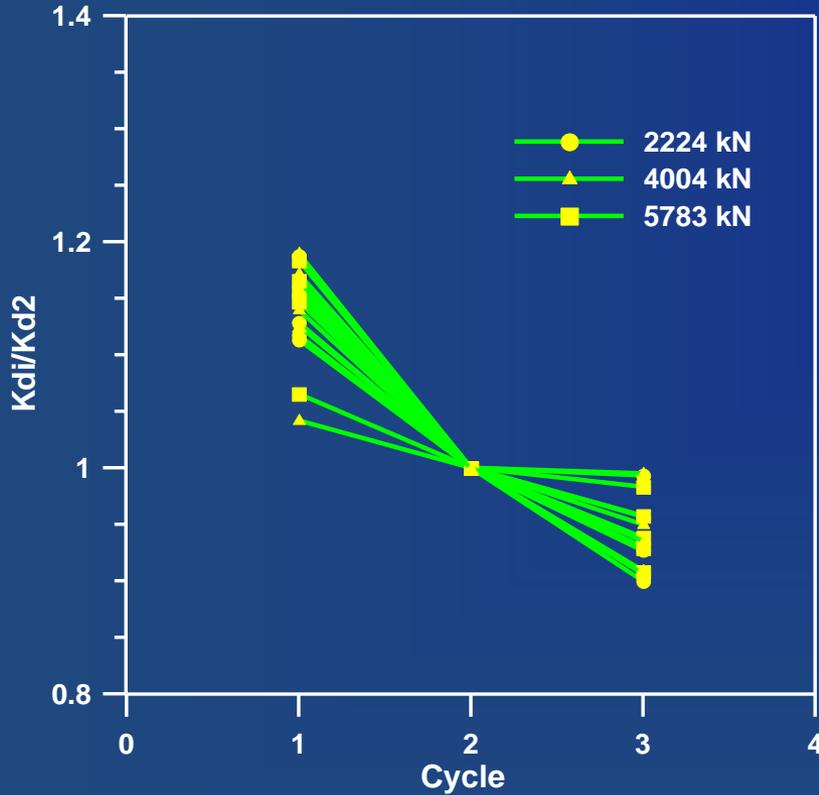
Rigidezza Effettiva



Max 52%

Max 34%

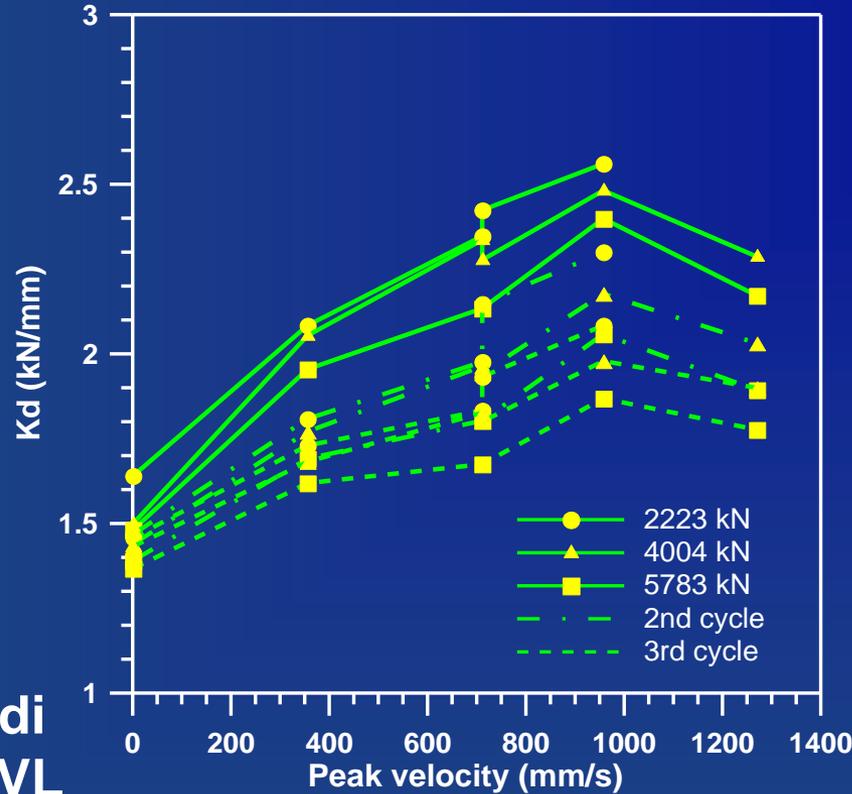
Max 22%



Rigidezza tangente normalizzata al secondo ciclo



Rigidezza Tangente



Max 60%

Max 50%

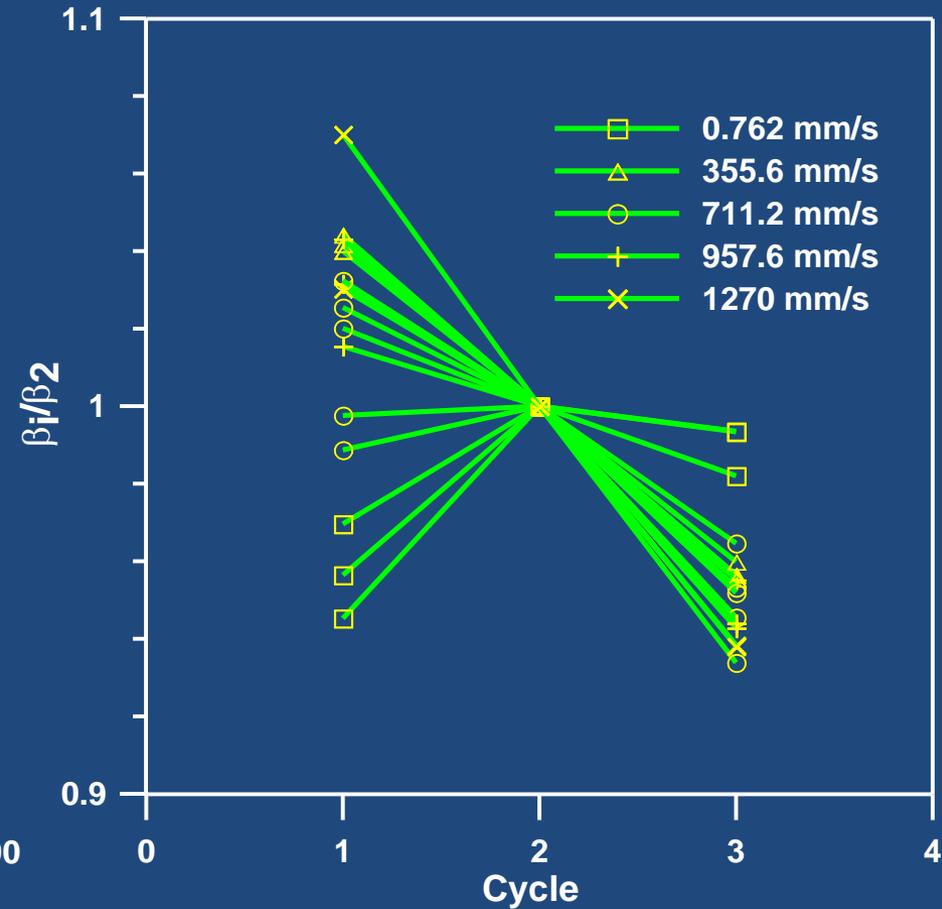
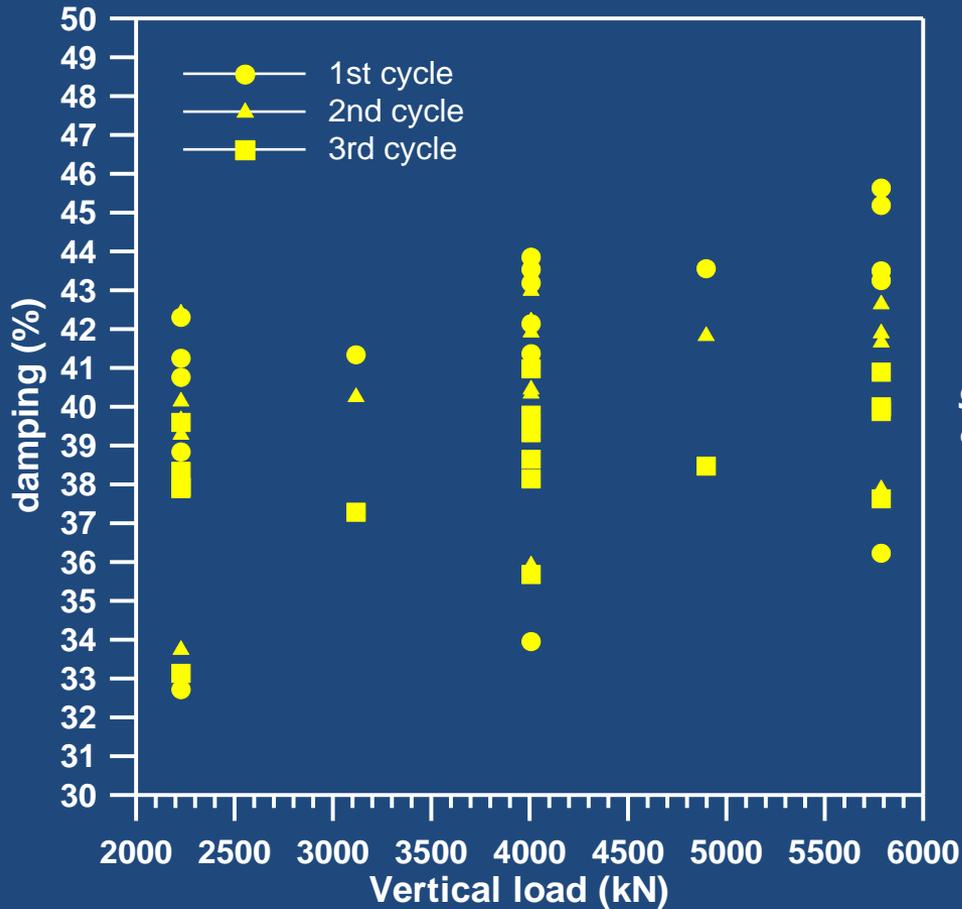
Max 40%

Massima riduzione (%) di Kd dovuta a increm. di VL

Cycle	v = 0.76 (mm/s)	v = 355 (mm/s)	v = 711 (mm/s)	v = 957 (mm/s)	v = 1270 (mm/s)
1	-9.7	-6.2	-12.0	-6.6	-4.8
2	-4.8	-6.1	-15.8	-10.8	-6.9
3	-6.8	-6.5	-13.4	-10.5	-6.8



Smorzamento equivalente



Max VL 13%

Max 29% - 19% - 14%



Geometria del dispositivo MODELLO SPERIMENTALE LRB

Proprieta' meccaniche:

$$G_{rubber} = 0.5 MPa \quad G_{lead} = 130 MPa \quad t_{lead} = 10.5 MPa$$

Grandezze derivate:

$$K_{rubber} = \frac{G_{rubber} A_{rubber}}{t} \quad K_{lead} = \frac{G_{lead} A_{lead}}{H}$$

$$Q_d = \tau_{lead} A_{lead} \quad Q_{max} = Q_d + K_{rubber} \Delta$$

$$\xi_{eq} = \frac{2}{\pi} Q_d \left(\frac{1}{Q_{max}} + \frac{Q_d}{Q_m K_{lead} \Delta} \right)$$



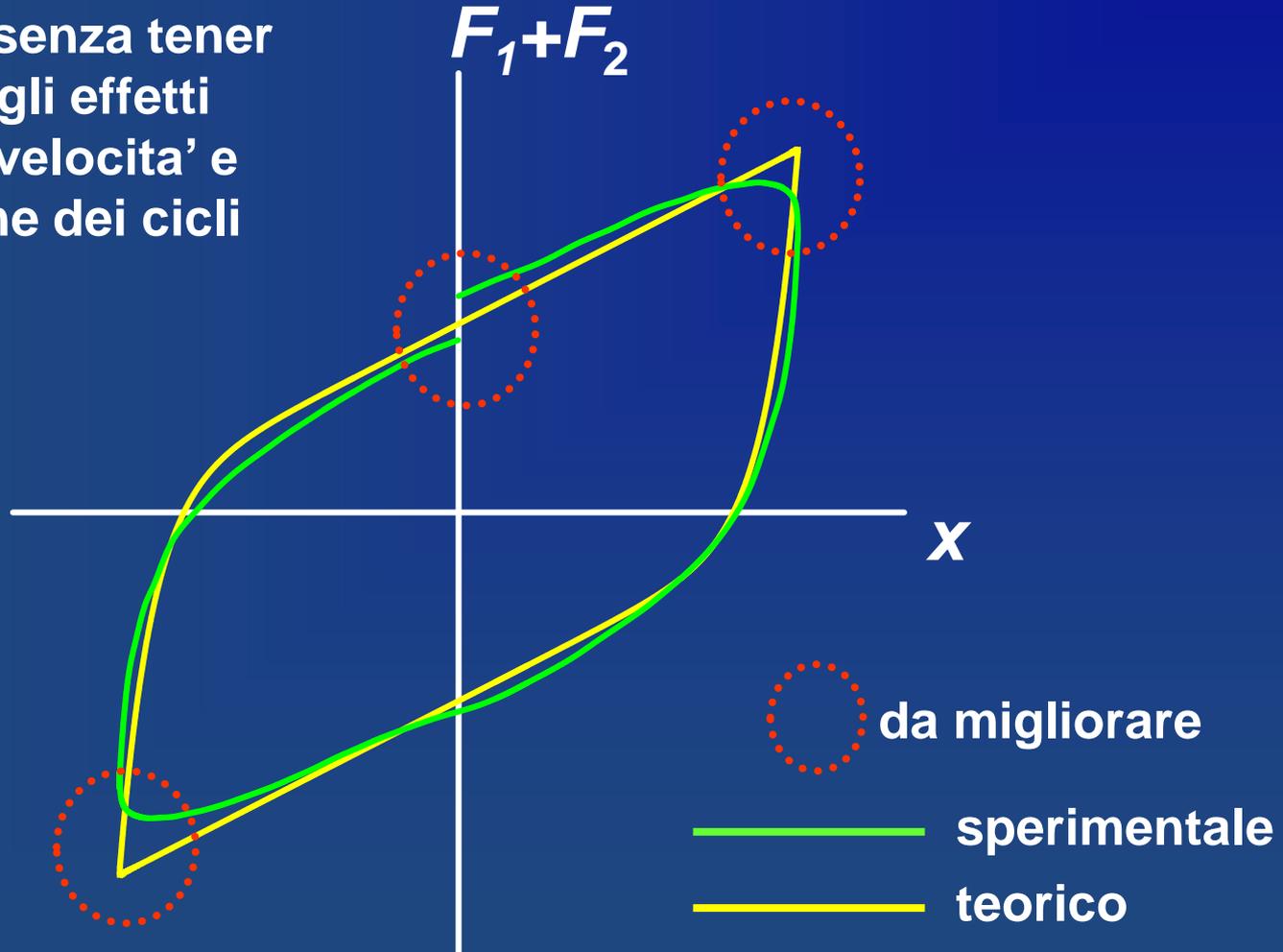
$$F_1 = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{u} - 1 \right) Q_d [x + \text{sgn}(X) |x|^n]$$

$$F_2 = \text{sign}(\dot{X}) Q_d \left(\begin{aligned} &1 - 2e^{-a(1+\text{sign}(\dot{X})x)} + \\ &+ 4(1 + \text{sign}(\dot{X})x) e^{-(a+\ln 2)(1+\text{sign}(\dot{X})x)} \end{aligned} \right)$$

$$F_1 + F_2 = Q_d f(x)$$



Modello senza tener conto degli effetti dovuti a velocita' e ripetizione dei cicli





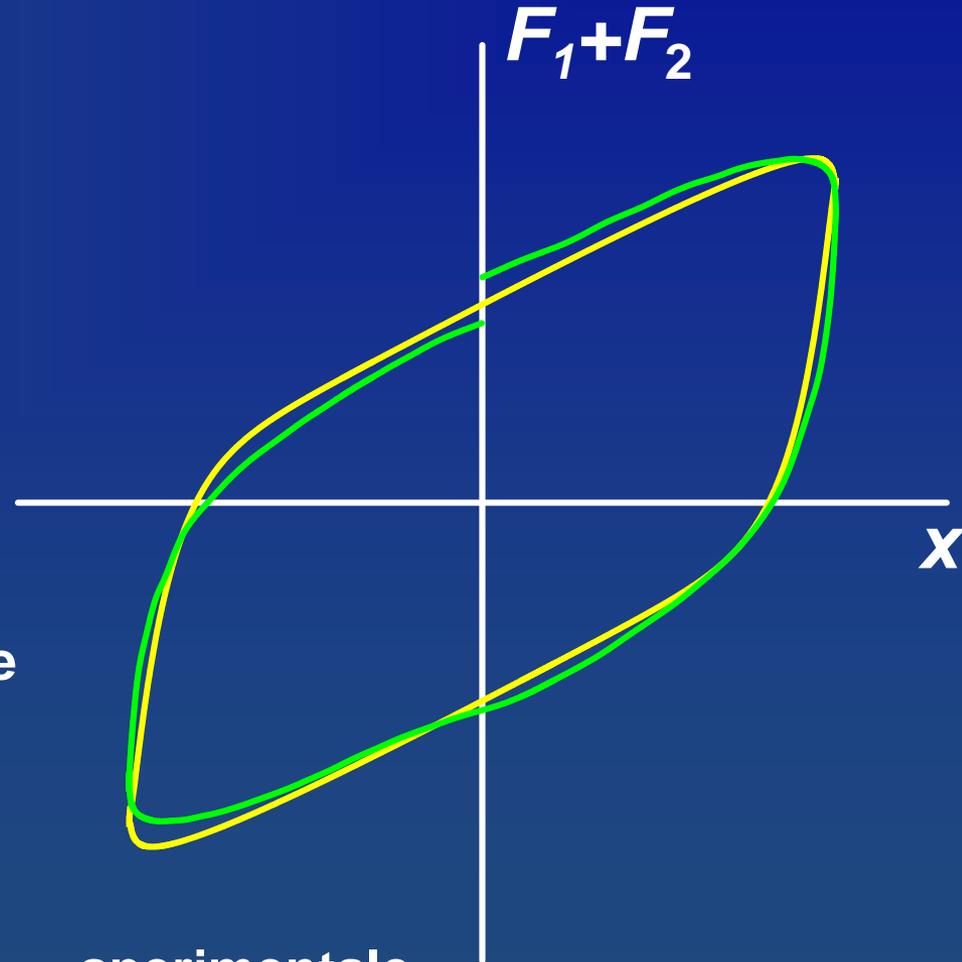
Effetto velocita'

$$Q_d(t) = \frac{\bar{Q}_d}{2} (1 + \dot{\gamma}(t)^{0.14})$$

$$0.8\bar{Q}_d \leq Q_d(t)$$

$$\bar{Q}_d = \tau_{lead} A_{lead}$$

$\dot{\gamma} =$ **Velocita' di deformazione**



— sperimentale

— teorico

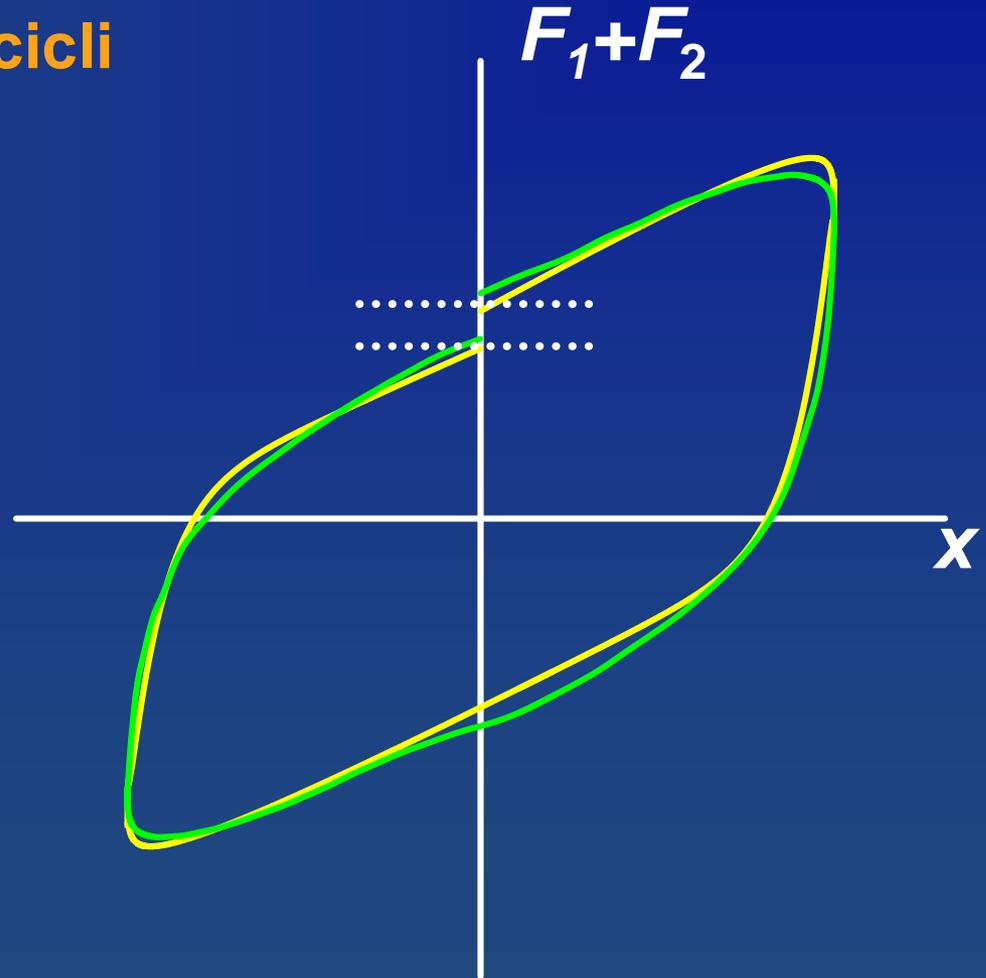


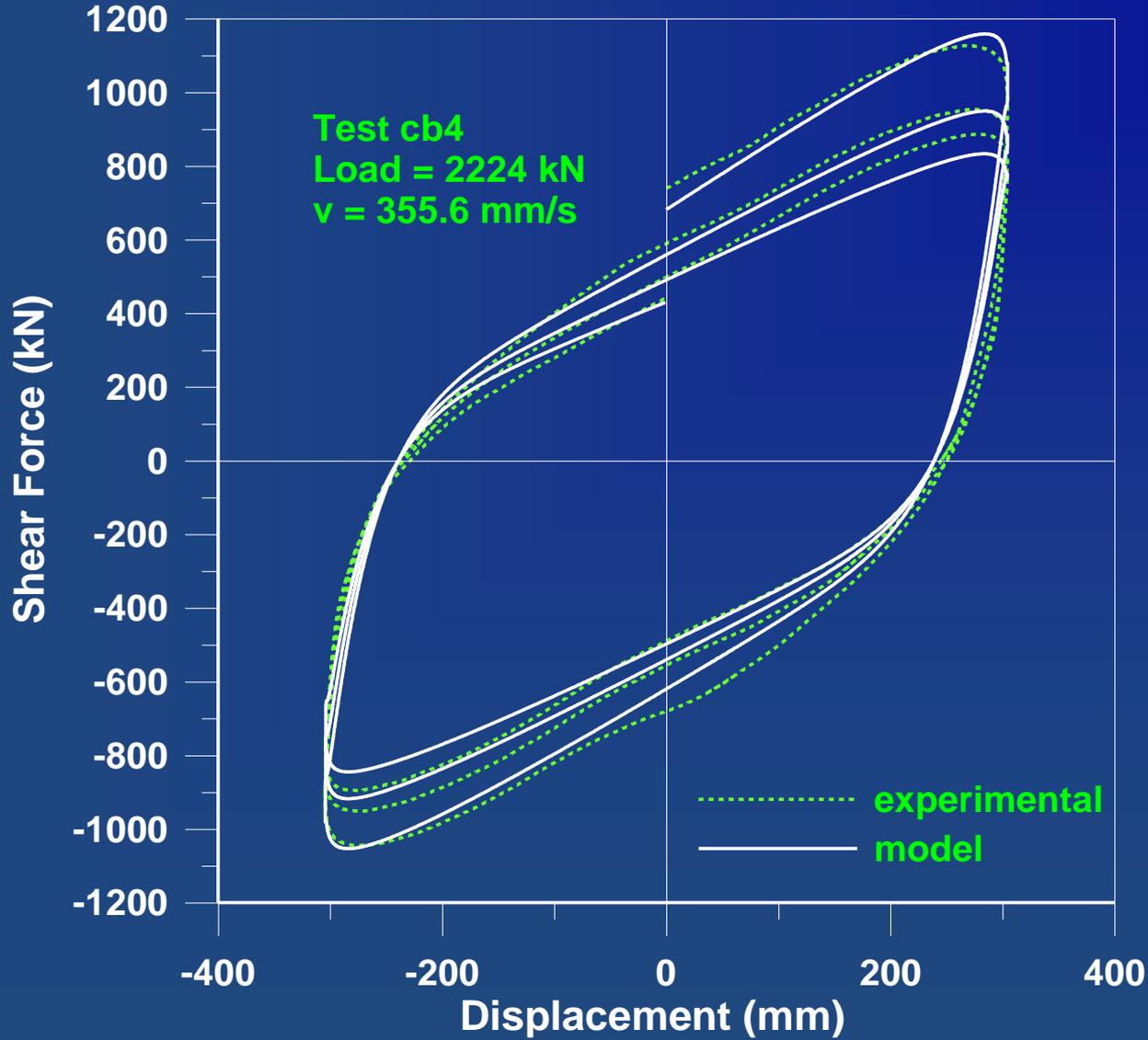
Effetto ripetizione dei cicli

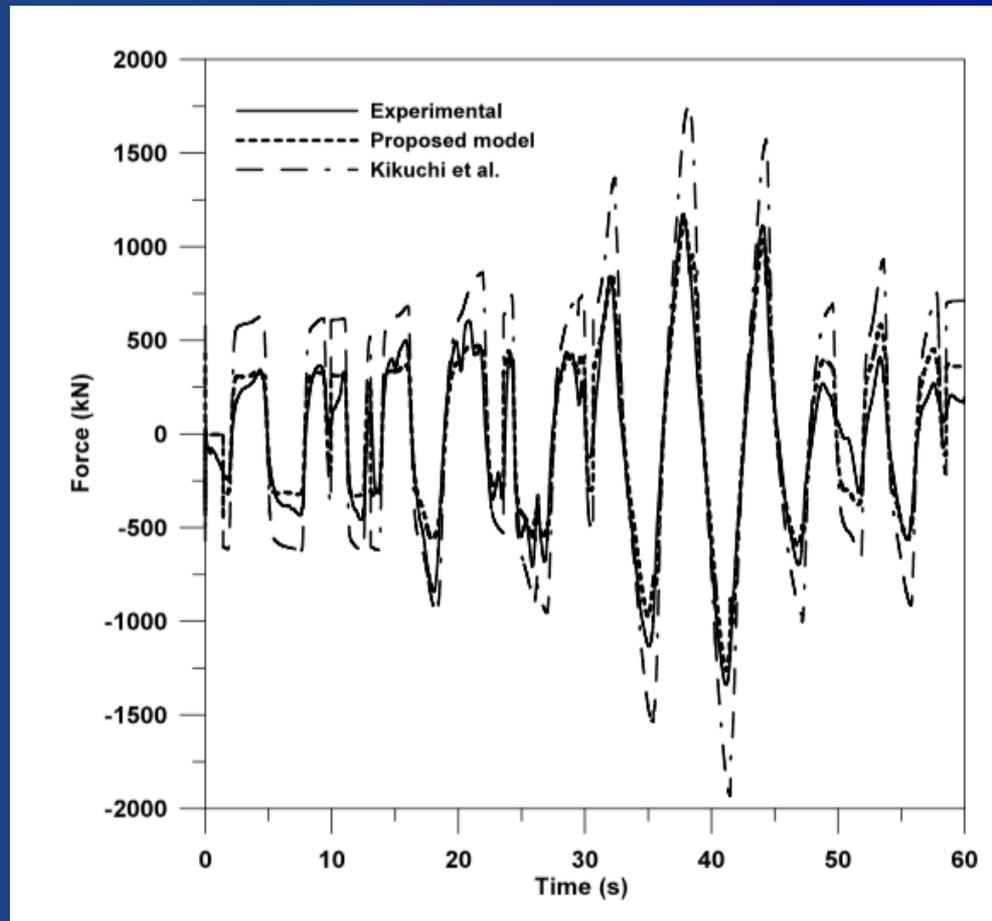
$$Q_{d,c2} = 0.82Q_{d,c1}$$

$$Q_{d,c3} = 0.72Q_{d,c1}$$

-  sperimentale
-  teorico





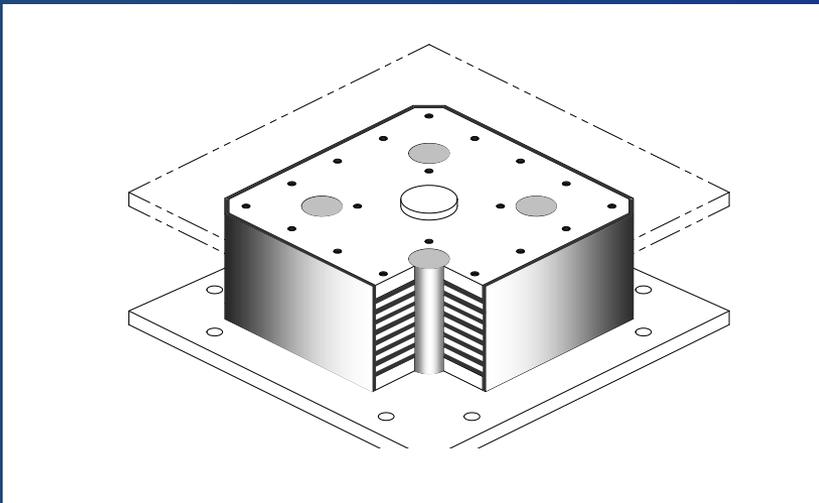


Kikuchi M., Aiken I.D. (1997), “An Analytical hysteresis model for elastomeric seismic isolation bearings”, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 26:215-231.

Benzoni, G., Casarotti, C. (2009), “Effects of Vertical Load, Strain Rate and Cycling on the Response of Lead-Rubber Seismic Isolators”, *Journal of Earthquake Engineering*, Vol 13, 3



Comportamento bidirezionale di isolatori elastomerici



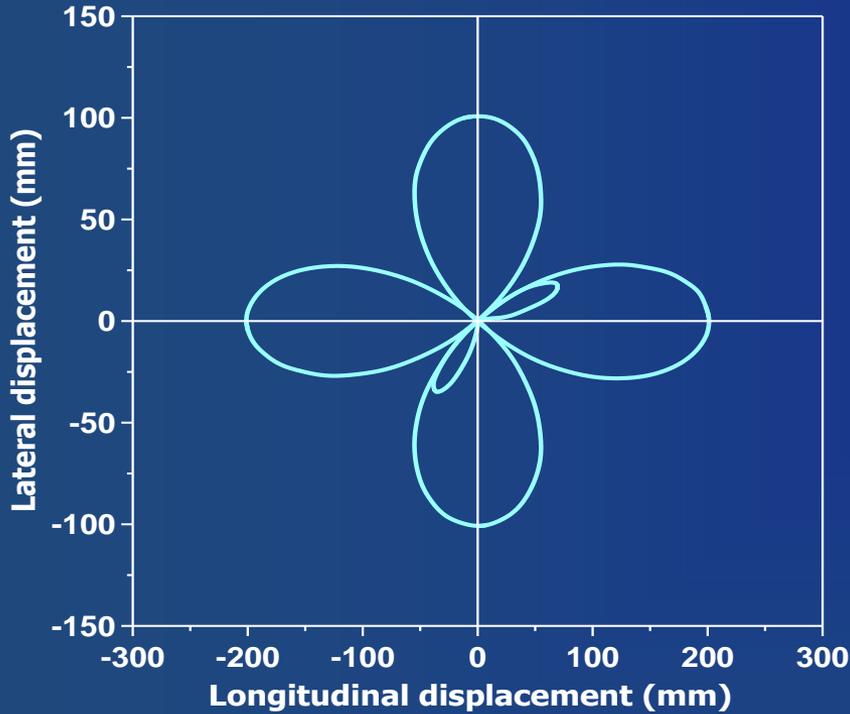
Dispositivi Gomma-piombo

Programma di prova

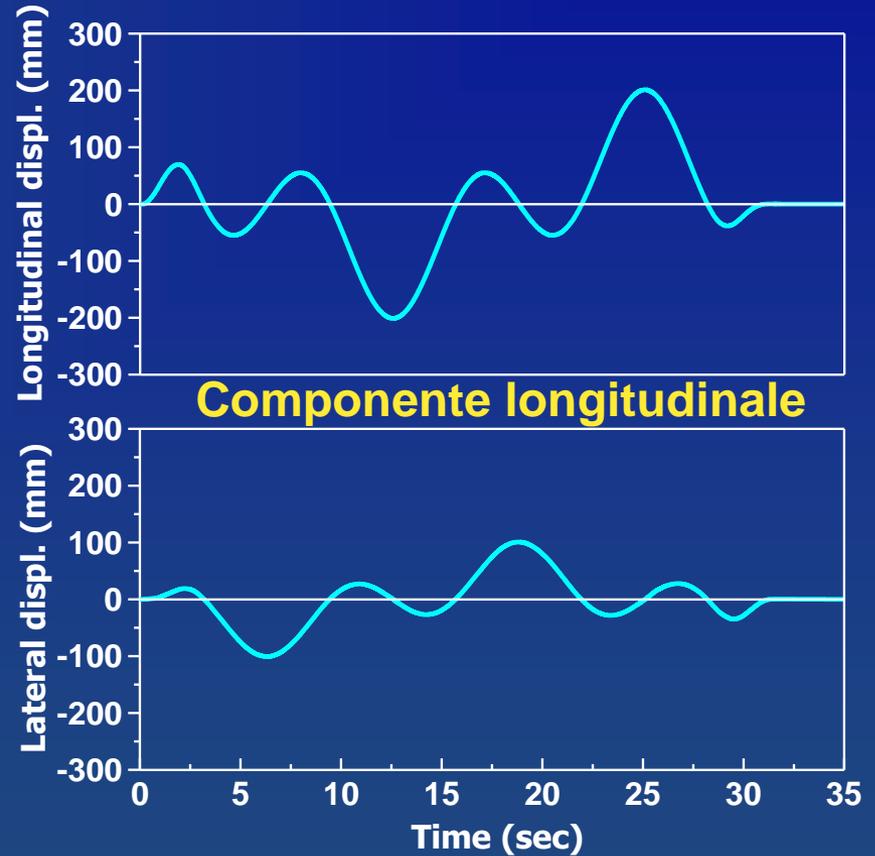
- sforzo vert. : 10 N/mm^2
- Vel. 1.5 cm/s
- Input sinusoidale

Specifiche

- $900\text{mm} \times 900\text{mm}$
- nucleo piombo (4)
- NR (0.4 N/mm^2)
- S1:39.1
- S2:5.0



**Traiettoria bi-direzionale
in pianta**



Componente laterale

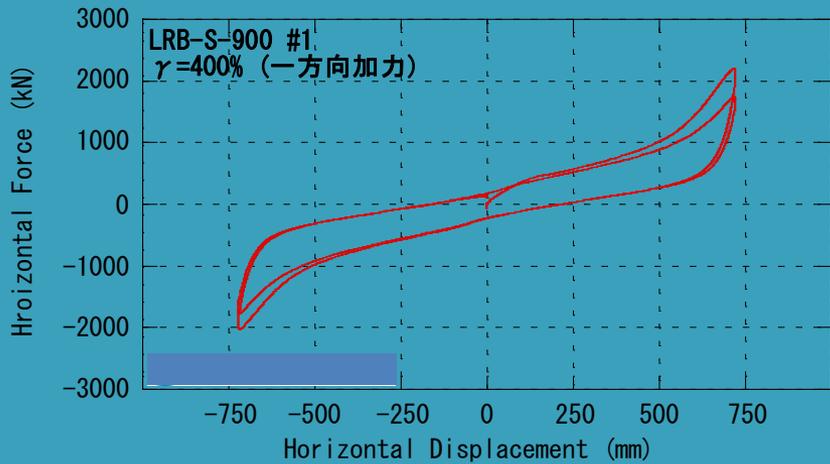
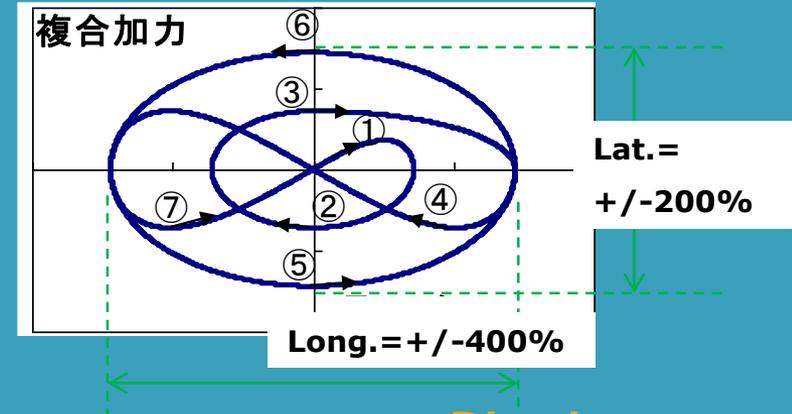
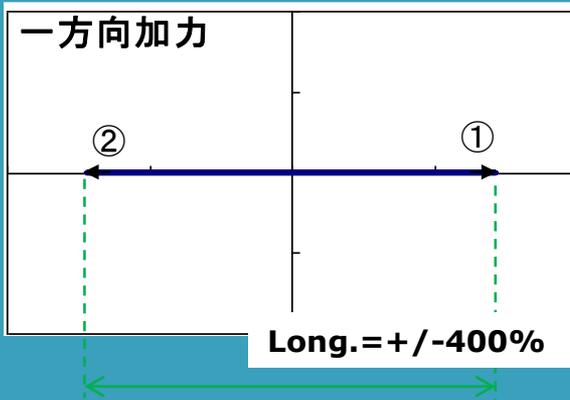


SRMD

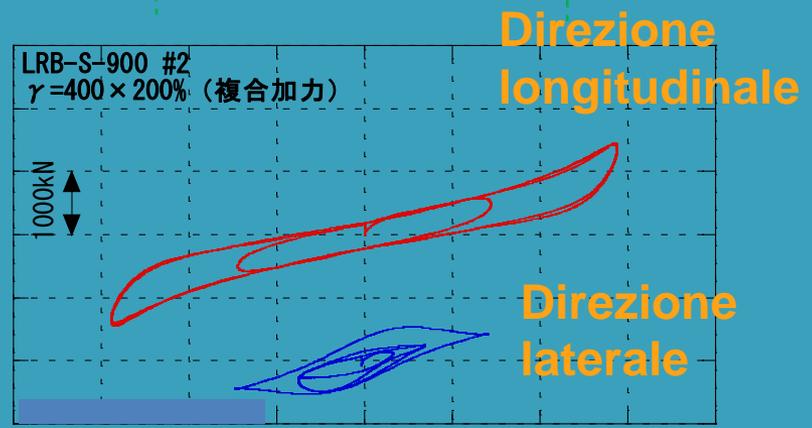
Caltrans Seismic Response Modification Device Test Facility



I dispositivi hanno rivelato un comportamento molto stabile



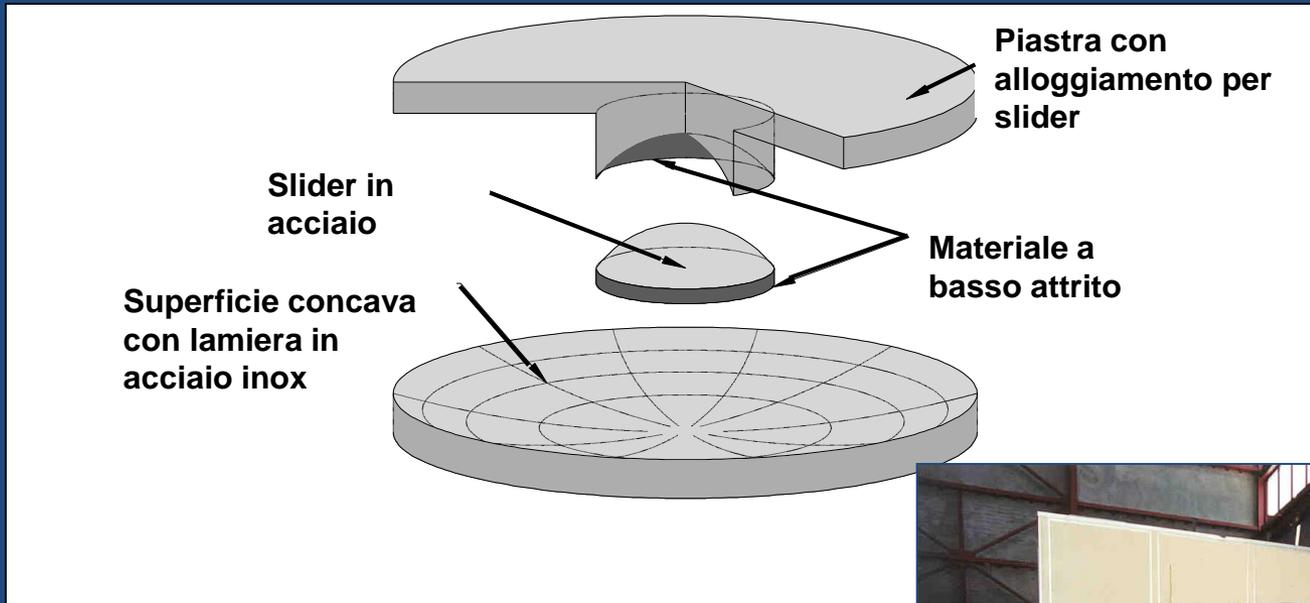
Mono-direzionale

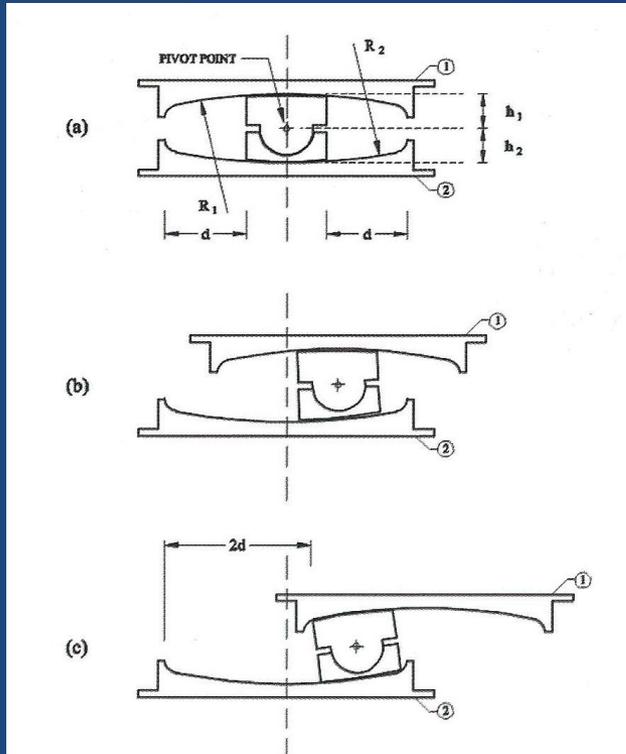


Bi-direzionale

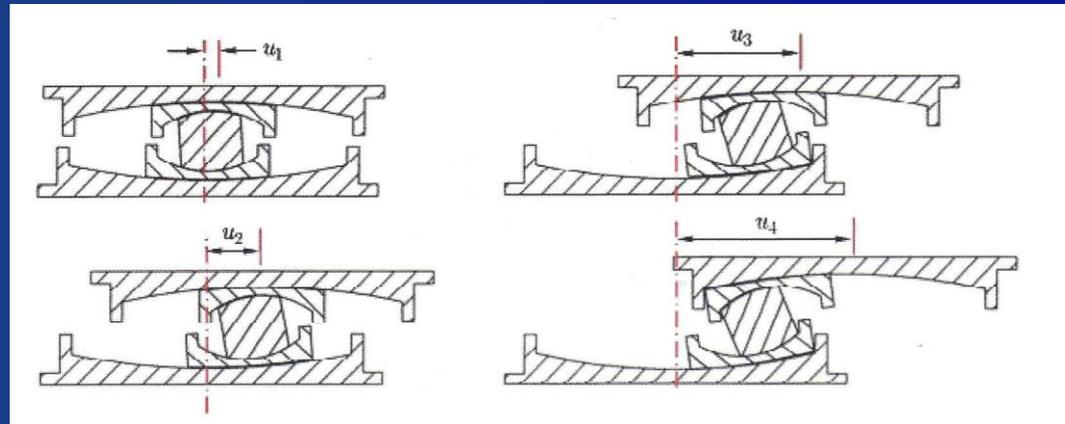


Dispositivi ad attrito





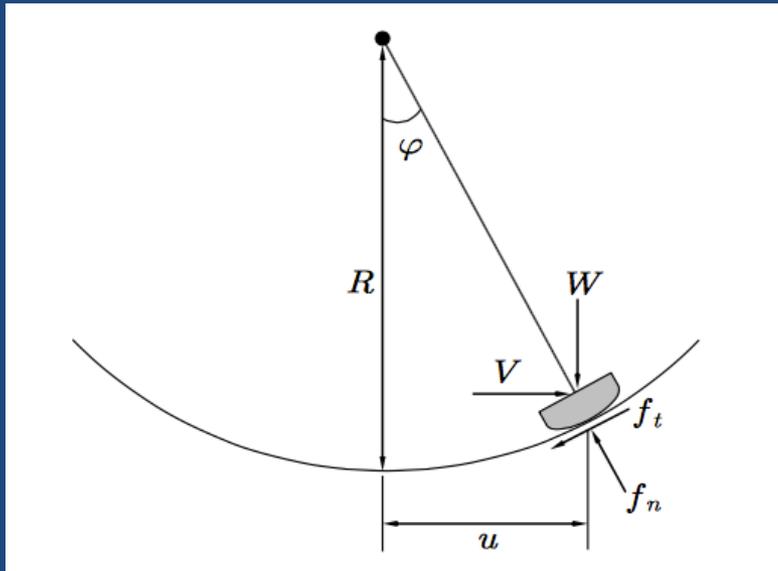
Doppio pendolo



Triplo pendolo

Caratteristiche peculiari:

- Periodo imposto funzione del raggio di curvatura
- Rigidezza orizzontale proporzionale al carico verticale (coincidenza in pianta tra centro di massa e centro di rigidezza)
- Spessore molto ridotto rispetto a dispositivi elastomerici di pari capacita' di spostamento (molto adatti ad interventi su strutture esistenti)



$$V - f_t \cos \varphi - f_n \sin \varphi = 0$$

$$W + f_t \sin \varphi - f_n \cos \varphi = 0$$

In forma matriciale

$$\begin{pmatrix} V \\ W \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \varphi & \sin \varphi \\ -\sin \varphi & \cos \varphi \end{bmatrix} \begin{pmatrix} f_t \\ f_n \end{pmatrix}$$

Dalla geometria:

$$\sin \varphi = u / R$$

$$\cos \varphi = \sqrt{R^2 - u^2} / R$$

Essendo:

$$R \gg u$$



$$\sqrt{R^2 - u^2} \approx R$$

$$f_t = \mu f_n$$

$$V = \mu W \operatorname{sgn}(\dot{u}) + \frac{W}{R} u$$



Forza trasmessa normalmente separata in due componenti:
Forza di richiamo F_r e Forza di attrito F_f

$$F_h = i_r \times F_r + i_f \times F_f$$

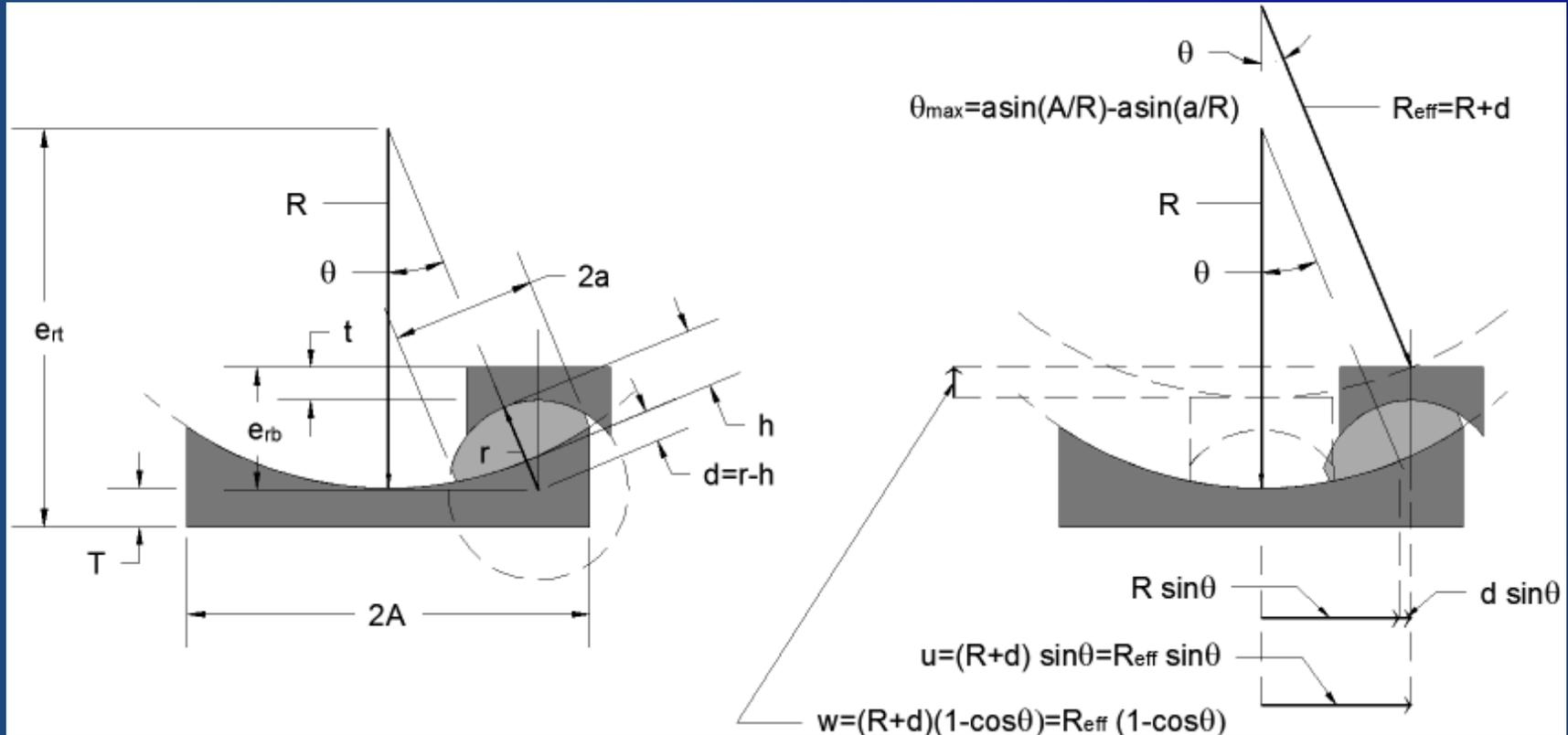
dove i_r e i_f sono i vettori unitari che rappresentano le direzioni delle due forze

$$F_r = \frac{N}{R_{eff}} u_r$$

$$F_f = mN$$

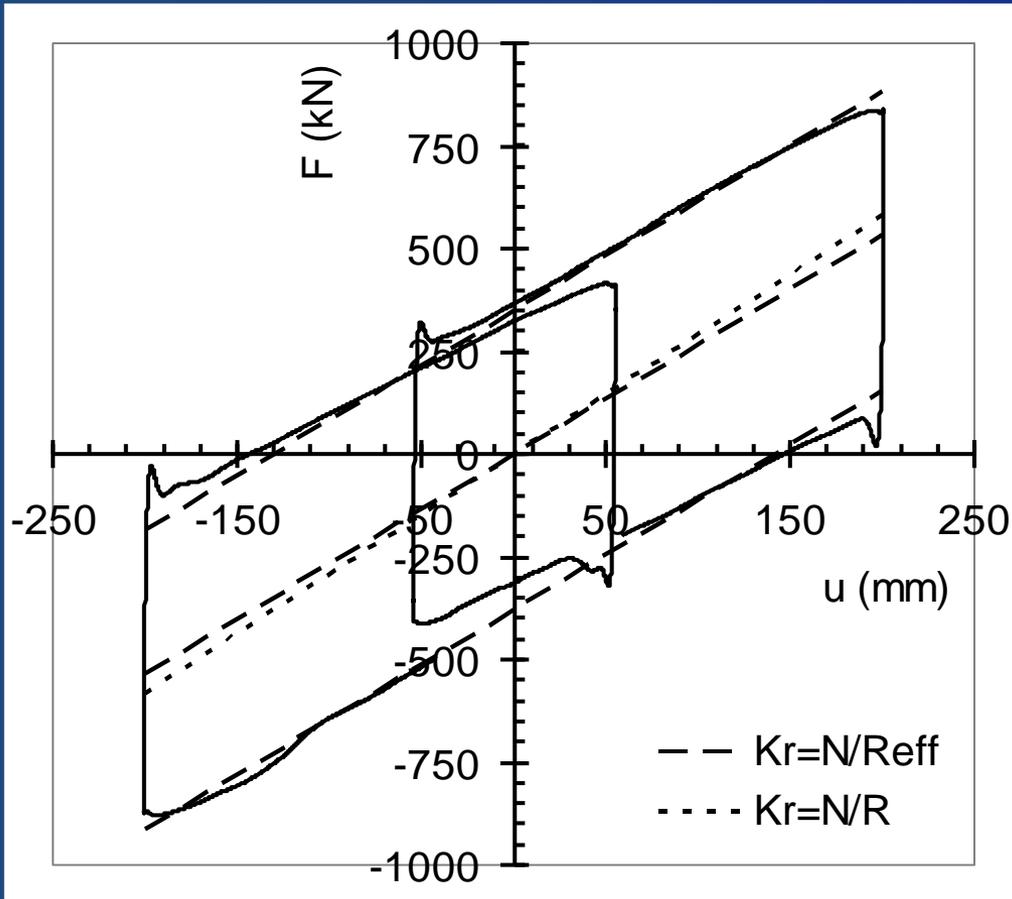


Componente di richiamo:



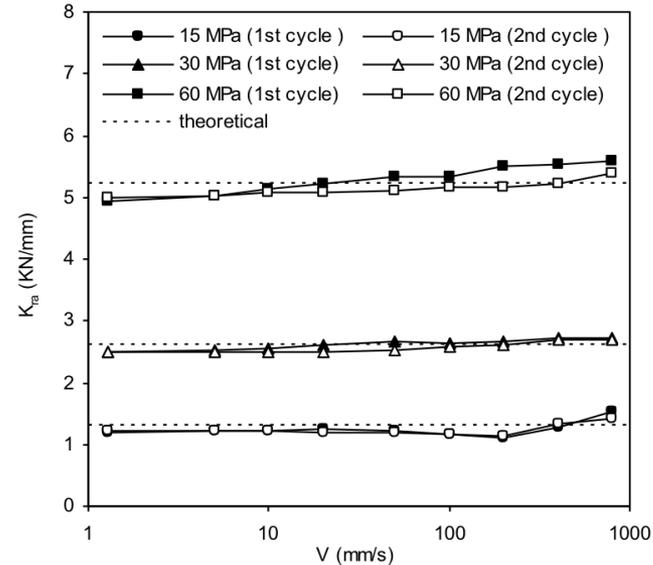
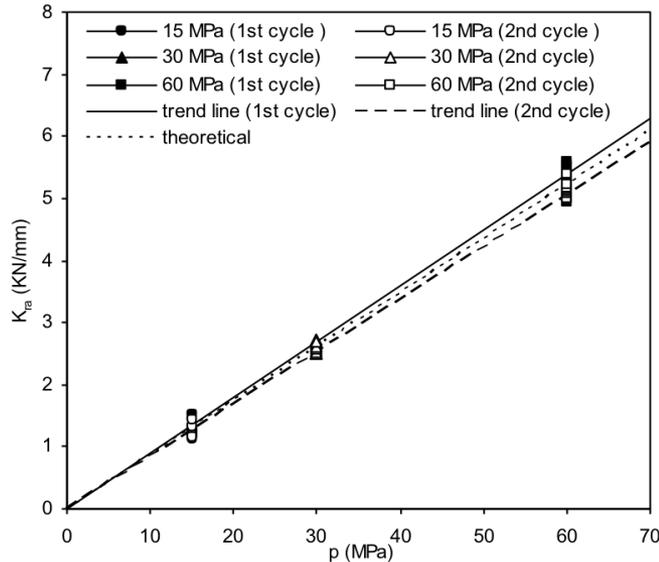
$$R_{eff} = R + d$$

$$\frac{R_{eff}}{R} @ 1.08 \text{ , } 1.10$$

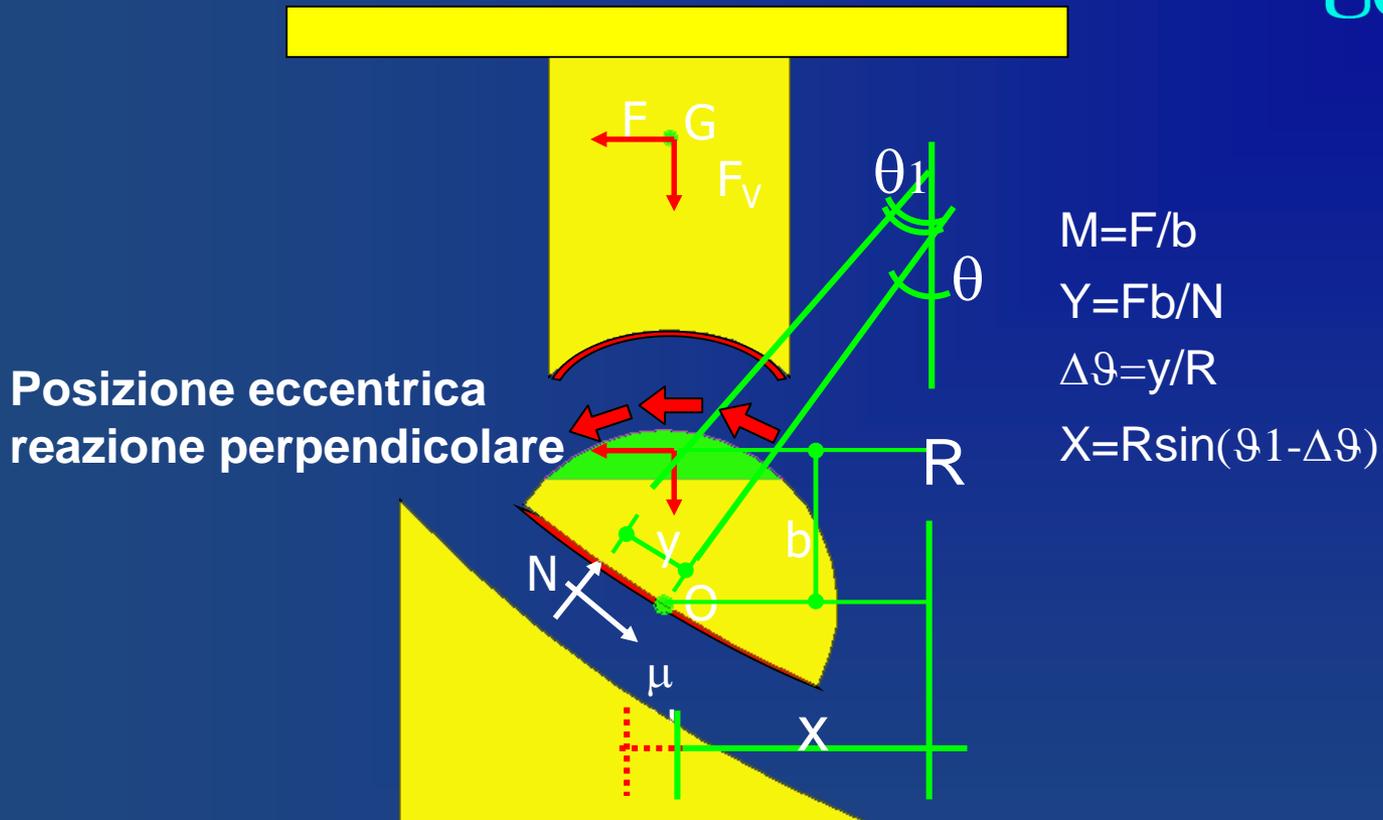


La rigidezza di richiamo
Ottenuta attraverso il raggio
effettivo e' minore di $K_r = N/R$

$$F_r = K_r \times u = \frac{N}{R_{eff} \cos q} \times u$$



La definizione di rigidezza di richiamo (con l'uso di R_{eff}) e' accettabile sulla base dei risultati sperimentali. Le divergenze (non superiori al 16%) sono associate alla presenza di forze di attrito alla interfaccia superiore del dispositivo

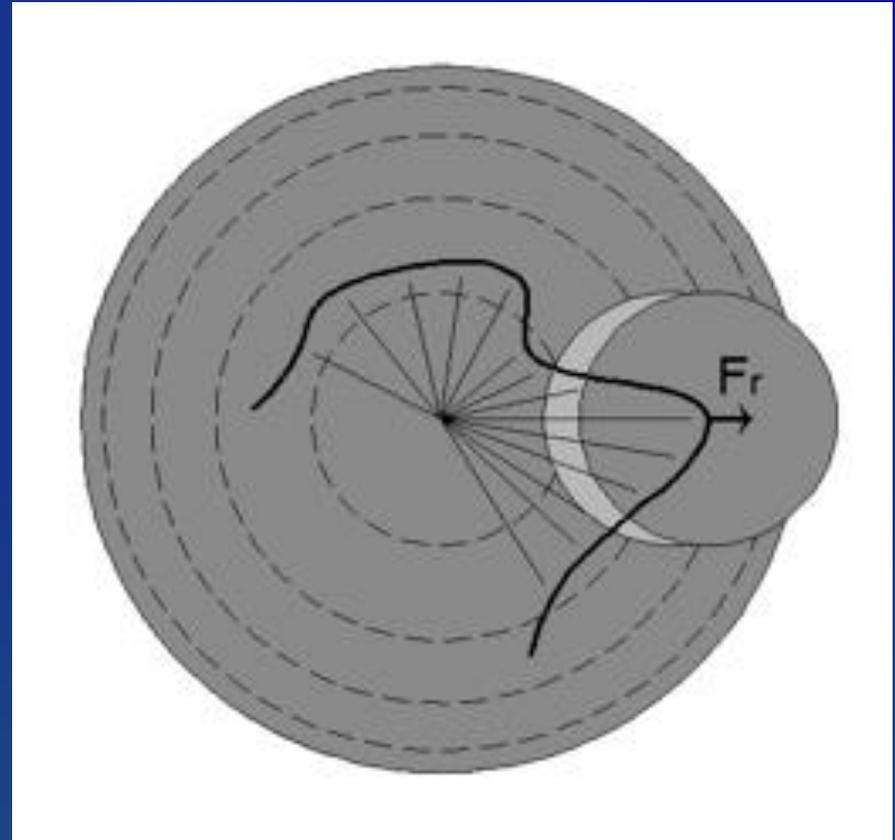


- Impuntamento nella superficie di acciaio inox
- Aumento fenomeno stick-slip
- Effetti sul coefficiente di attrito a causa di variazione di pressione



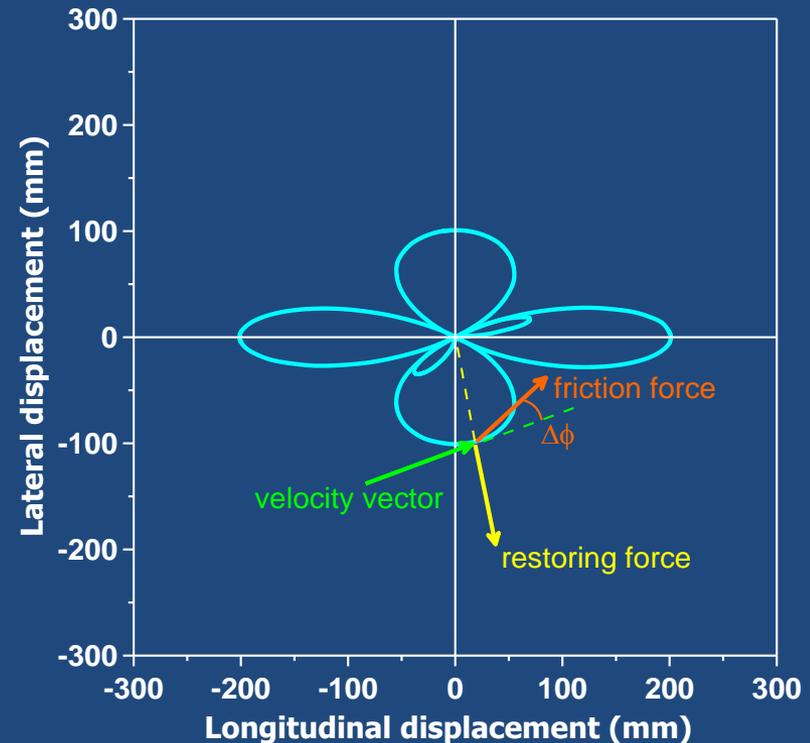
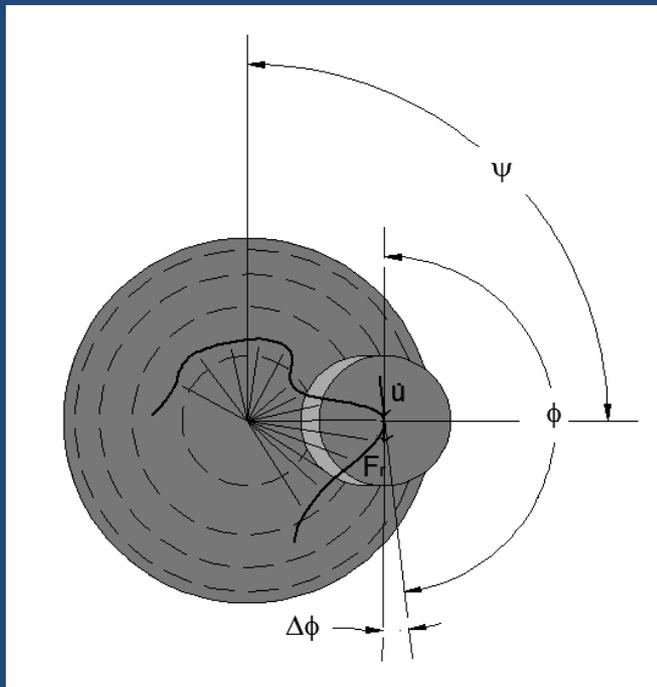
$$F_h = i_r \times F_r + i_f \times F_f$$

$$i_r = \begin{bmatrix} u_x \\ u_y \end{bmatrix} \cdot \frac{1}{\sqrt{u_x^2 + u_y^2}} = \begin{bmatrix} u_x \\ u_y \end{bmatrix} \cdot \frac{1}{u}$$

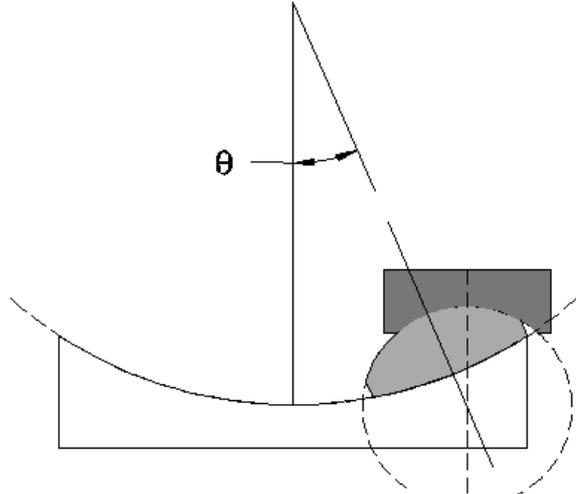


Componente attrittiva F_f

Per estrarre la risposta associata al fenomeno attrittivo, la forza di richiamo, calcolata con le formule precedenti, e' stata sottratta dai dati sperimentali.



La direzione del vettore di forza attrittiva non e' lo stesso del vettore di velocita'. Questo effetto non e' visibile per test mono-direzionali ma lo e' in test bi-direzionali in pianta.



Rotazione dello slider

Area di contatto tra slider e calotta

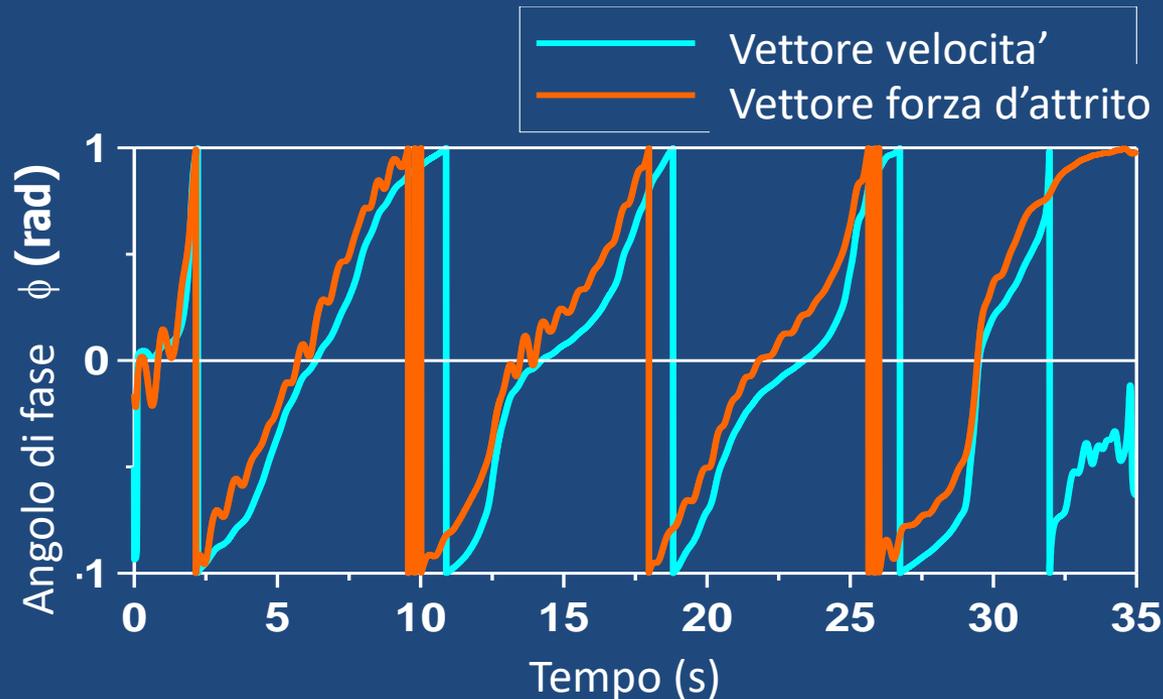
Forza dalla parte superiore

Centro di rotazione relativa tra slider e calotta

Forza di attrito alla base dello slider

$\Delta\phi$

A causa della curvatura della superficie concava durante il moto le forze orizzontali sopra e sotto lo slider non sono allineate e generano un momento torsionale in pianta.



$$Df \approx 4 \cdot \sin^{-1}(h / R_{eff})$$

h = altezza dello slider

R_{eff} = raggio di curvatura effettivo

Lo sfasamento angolare e' ~costante durante i test "clover leaf" e pari a circa $\Delta\phi \approx 14^\circ$



$$i_f = \begin{bmatrix} \sin(\phi_f) \\ \cos(\phi_f) \end{bmatrix}$$

$$\phi_f = \arctan 2 \left(\frac{\sin(\phi_v + \dot{\phi}_v / |\dot{\phi}_v| \Delta\varphi)}{\cos(\phi_v + \dot{\phi}_v / |\dot{\phi}_v| \Delta\varphi)} \right)$$

$$\varphi_v = \arctan 2 \left(\frac{\dot{x}_y}{\dot{x}_x} \right)$$

Dove: \dot{x}_x, \dot{x}_y Sono le componenti ortogonali del vettore velocità'

$$F_f = \mu W \operatorname{sgn}(\dot{x})$$

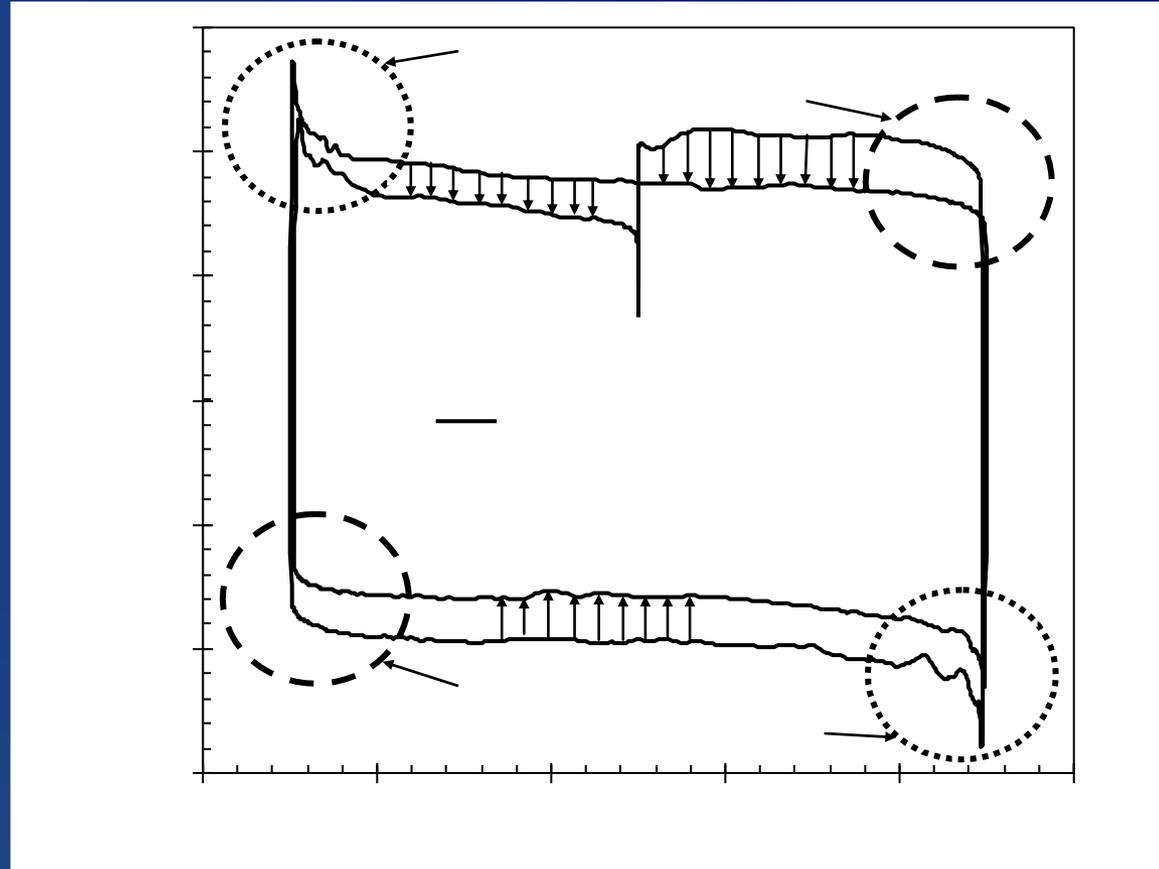


Come varia?



Variazioni delle caratteristiche attrittive:

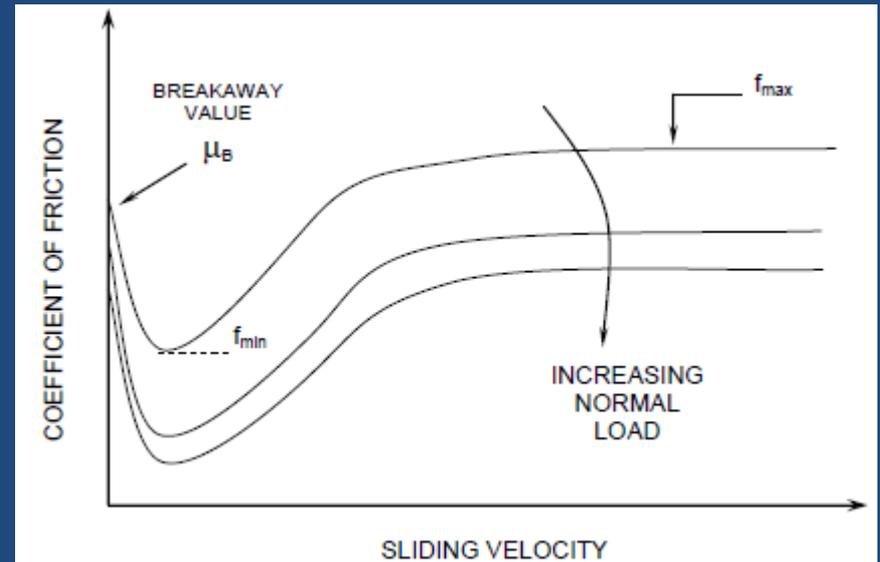
- **Effetto carico vert.**
Riduzione del coeff. d'attrito con carico verticale
- **Ripetizione dei cicli**
Riduzione del coeff. d'attrito con la ripetizione dei cicli
- **Effetto di velocita'**
Variazione del coeff. d'attrito con la velocita' del moto
- **Effetto di primo distacco**
Aumento del coeff. d'attrito all'inizio e all'inversione del moto.





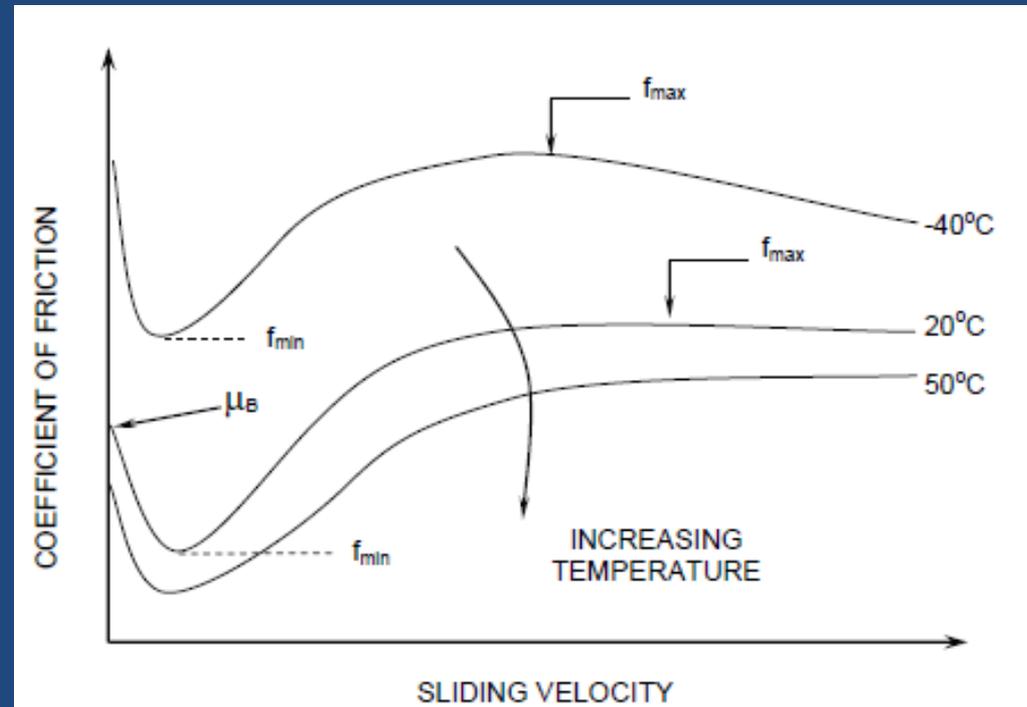
La **velocita'** del moto ha un effetto significativo sulle proprieta' meccaniche di un FPS

Per velocita' tra 25 e 250 mm/sec,
Il coefficient di attrito dell'interfaccia
Polimero/acciaio inox aumenta fino a
5 volte (tipicamente tra 30-60%)





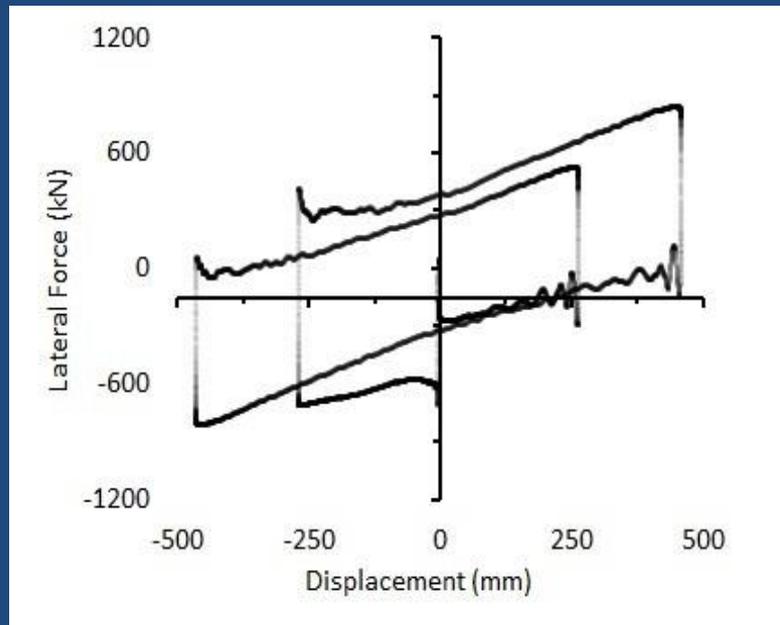
Temperature ha un effetto enorme sul coeff. di attrito statico (breakaway) e a bassa velocita'. Per Politetrafluoroetilene (PTFE), C'e' un aumento di circa 7 volte per questi coefficient nel passaggio da temperature di 50C a -40C. Questo sostanziale aumento e' l'effetto della variazione di proprieta' viscoelastiche con la temperatura





Temperatura da riscaldamento (durante la ripetizione del moto)

In generale, il coefficient di attrito si reduce per la ripetizione del moto



L'effetto e' reversibile ma produce una significative riduzione dell'energia dissipata per ciclo. L'aumento di temperature e' proporzionale alla pressione di contatto. La riduzione in energia dissipata per ciclo e in coefficient d'attrito e' proporzionale alla velocita' di prova. Si se' osservato una riduzione del coefficient d'attrito fino al 75%





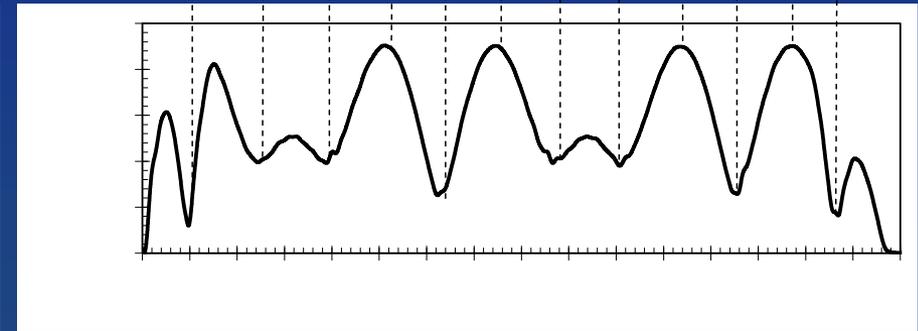
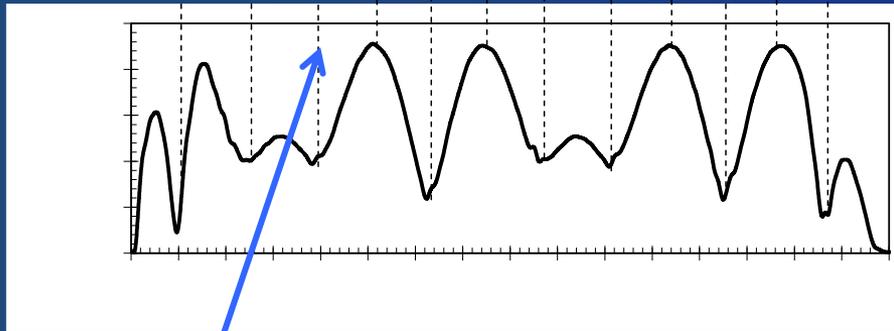
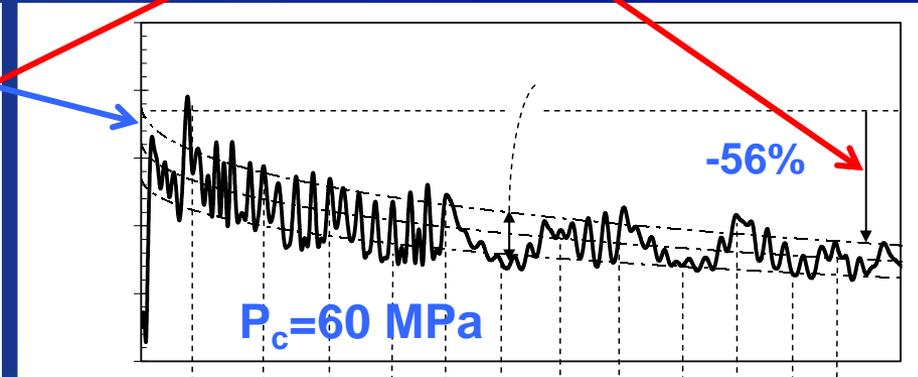
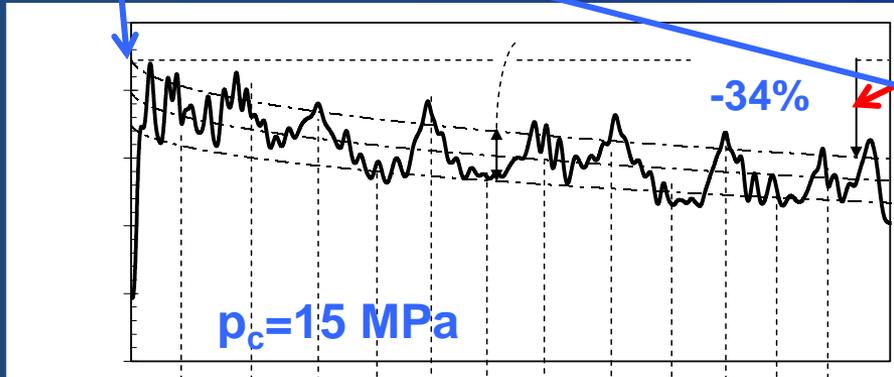
SRMD

Caltrans Seismic Response Modification Device Test Facility



Effetto carico verticale

Effetto ripetizione cicli

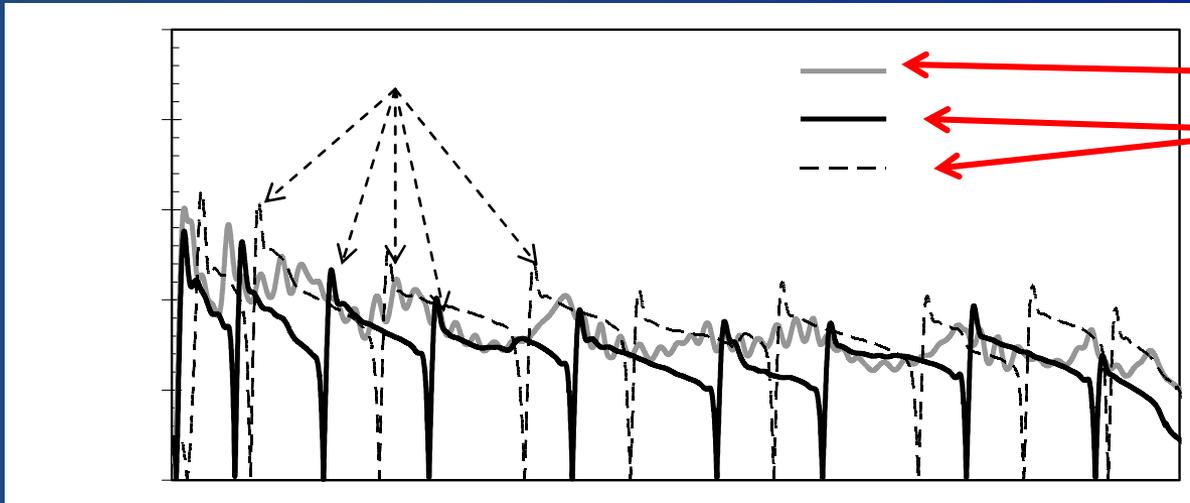


Effetto velocita' + ripetizione dei cicli (*prevalente*)

Andamento coefficiente di attrito e velocita' per prove "clover leaf"

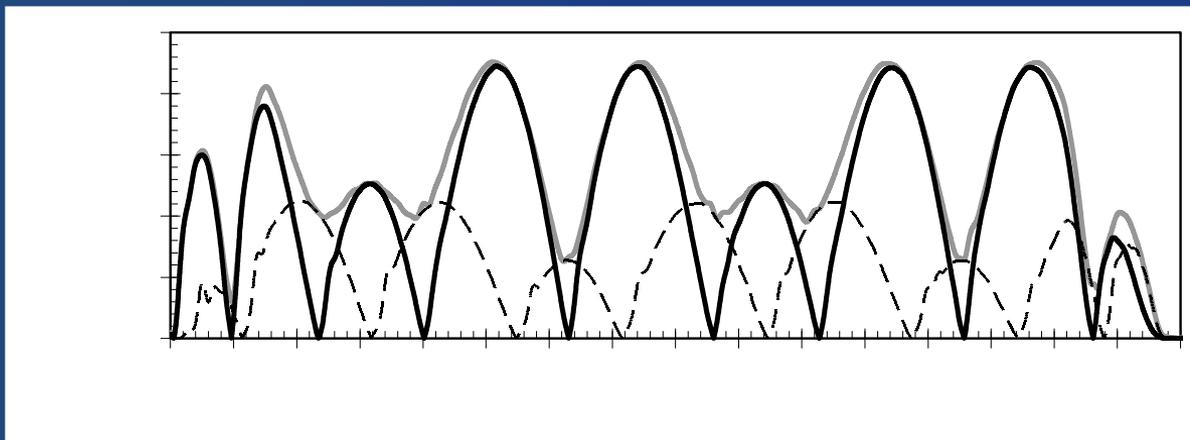


Effetto breakaway (di primo distacco)



← bidirezionale
← monodirezionale
← monodirezionale

L'effetto breakaway appare piu' pronunciato in test monodirezionali dove l'inversione del moto e' piu frequente

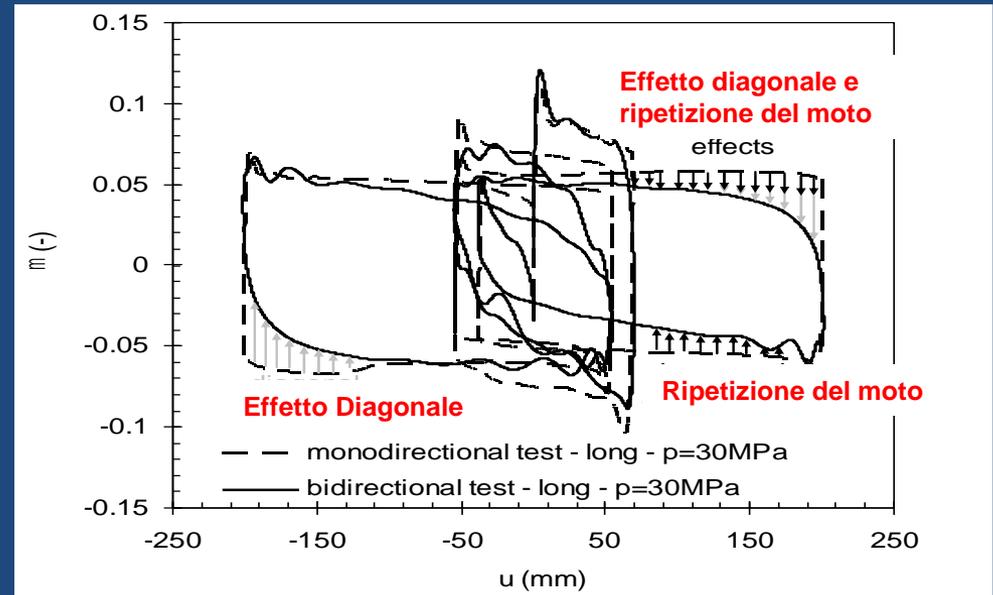




Moto con due componenti nel piano

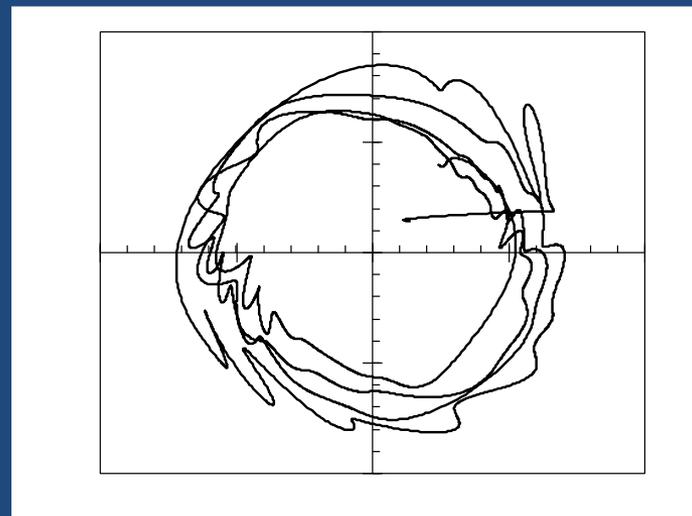
■ Effetto DIAGONALE

La forza d'attrito sviluppata in direzione longitudinale e laterale e' solo una componente della forza generata lungo una direzione diagonale.



■ Effetto ASIMMETRICO

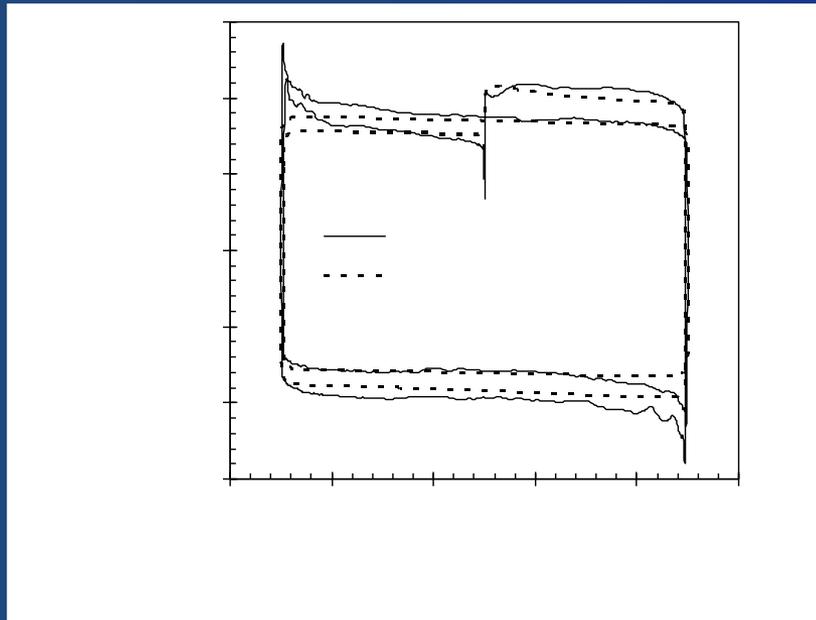
A causa di processi di fabbricazione delle superfici di scorrimento il coef. d'attrito dipende dalla direzione del moto



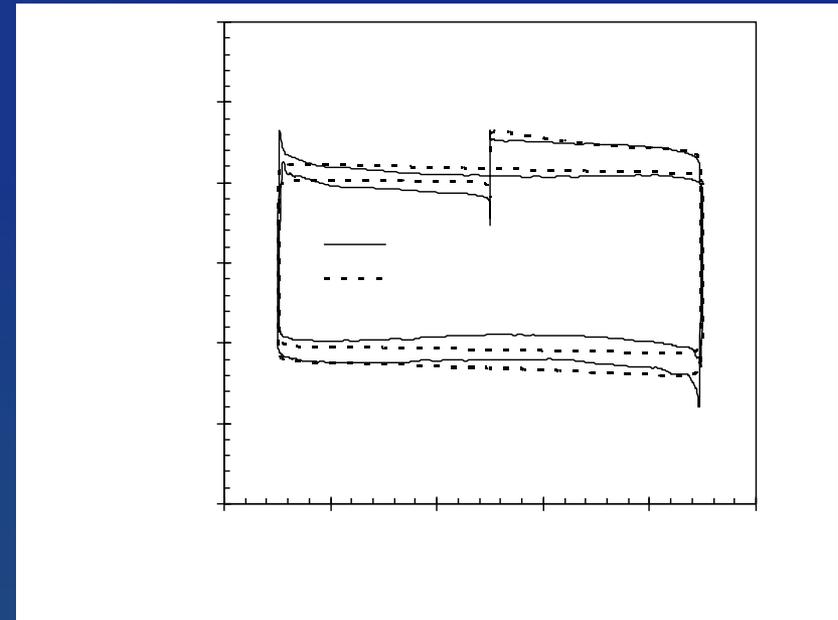


Carico + ripetizione dei cicli + Velocita'

$$m(W, c, v) = f_W(W) \times f_c(c) \times f_v(v)$$



V=100 mm/s p=15 MPa

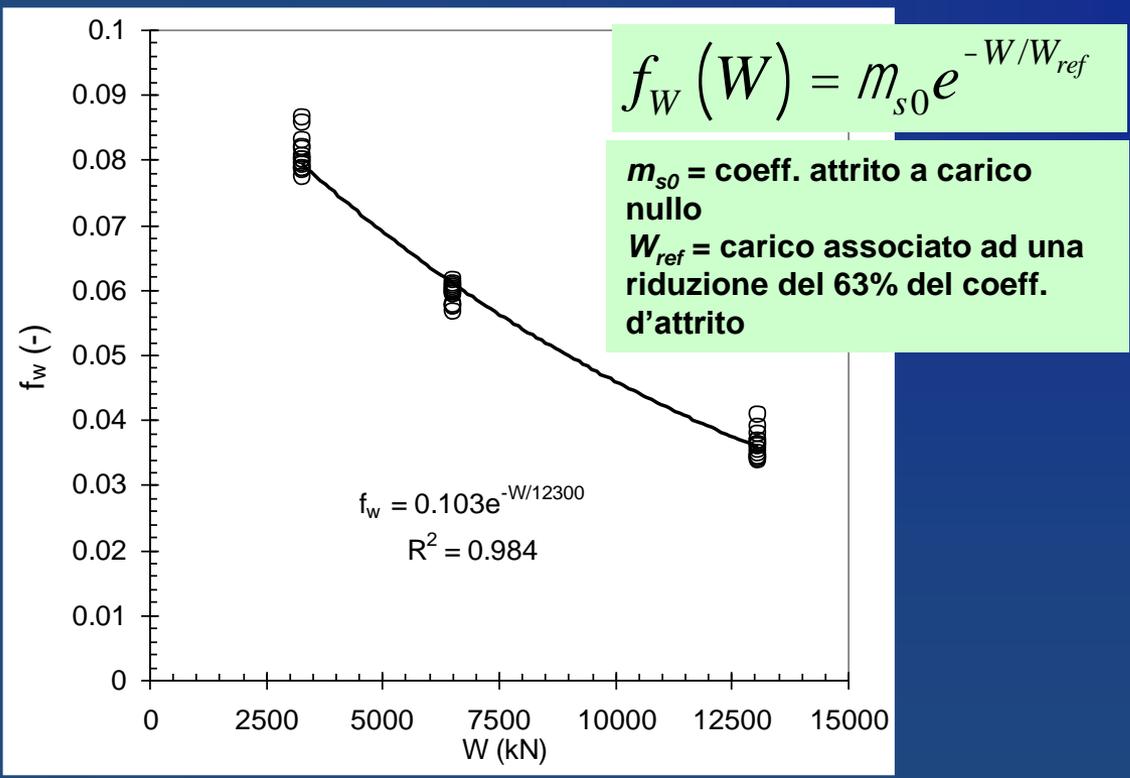


V=100 mm/s p=30 MPa

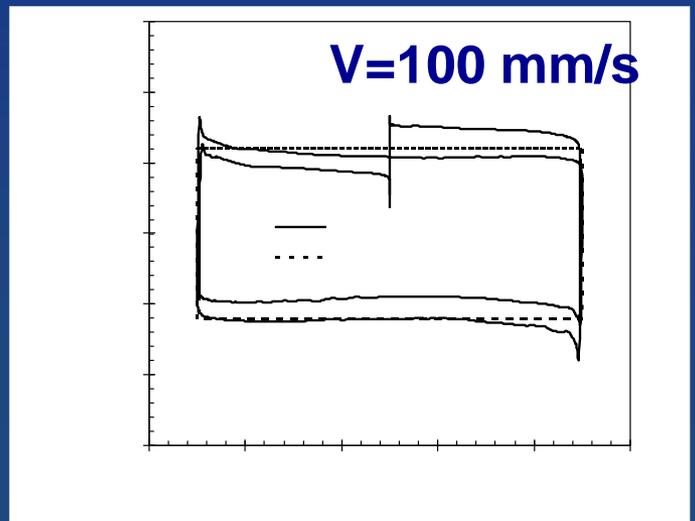
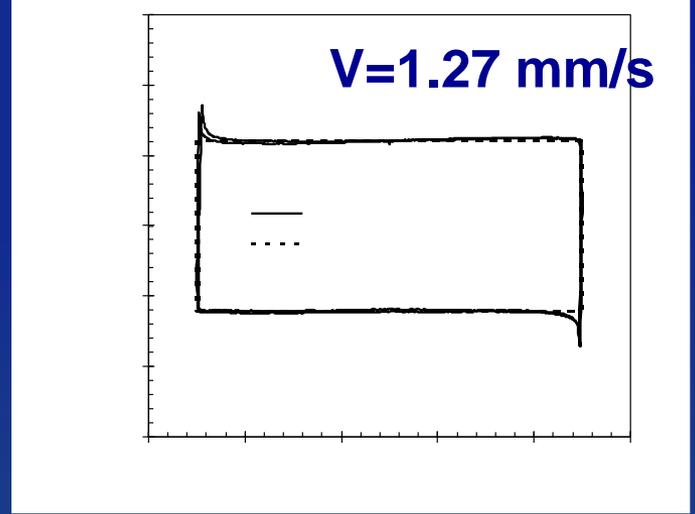


Effetto del carico verticale

Uso di test a bassa velocita' per minimizzare l'influenza della velocita' e della ripetizione del moto



Variazione del coefficiente di attrito rispetto al carico verticale

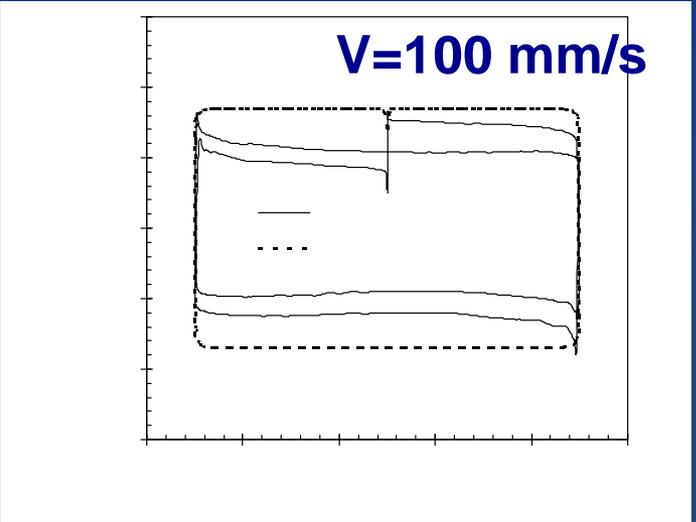
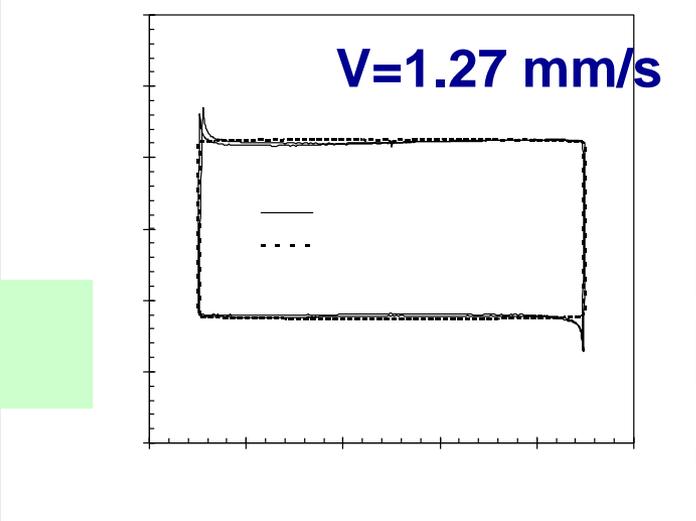
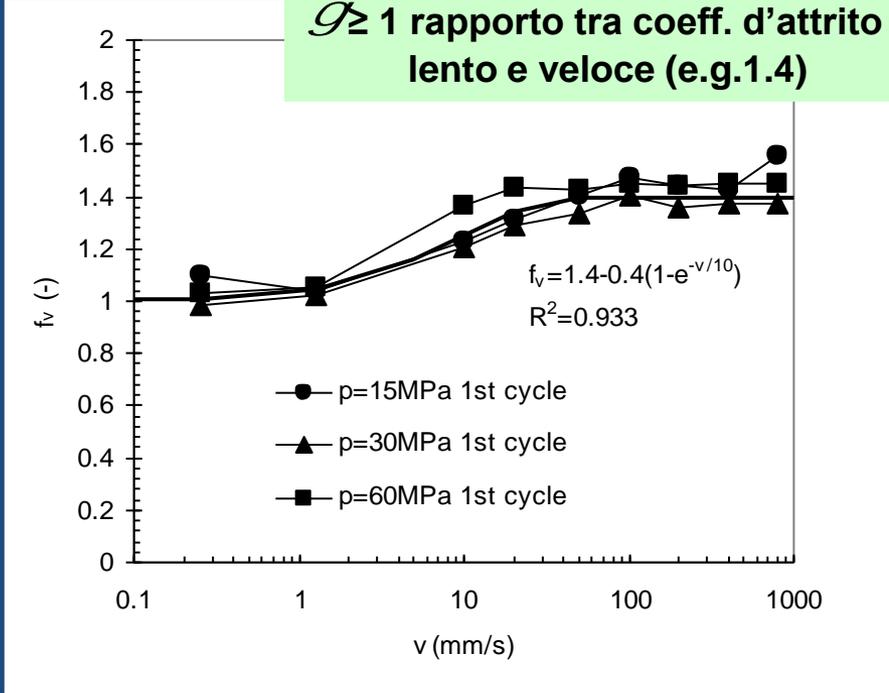




Effetto della Velocita'

$$f_v(v) = g + (1 - g) e^{-|v|/v_{ref}}$$

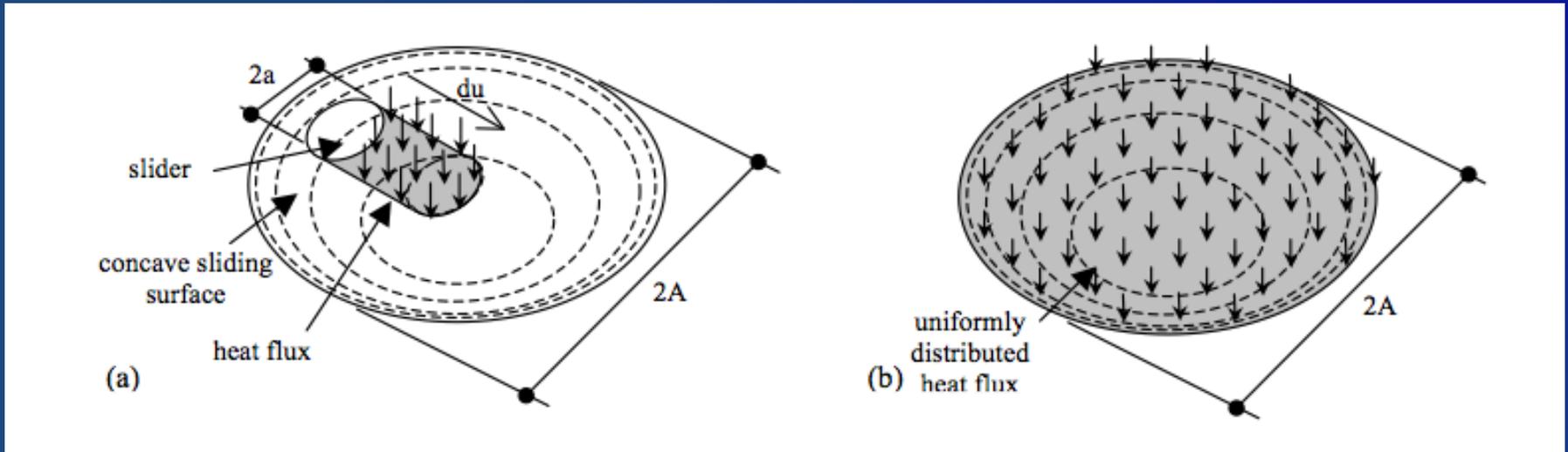
$g \geq 1$ rapporto tra coeff. d'attrito per moto lento e veloce (e.g.1.4)



Variazione del coefficiente di attrito con la velocita' di picco

Max incremento ~40%

Effetto della ripetizione dei cicli (accumulo di movimento)



Derivata parziale, rispetto a c , di:

$$c(t) = \frac{2}{a\pi^2 A^2} \int_{t_0}^t W v^2 dt$$

$$\mu(W, c, v) = f_W(W) \cdot f_c(c) \cdot f_v(v)$$

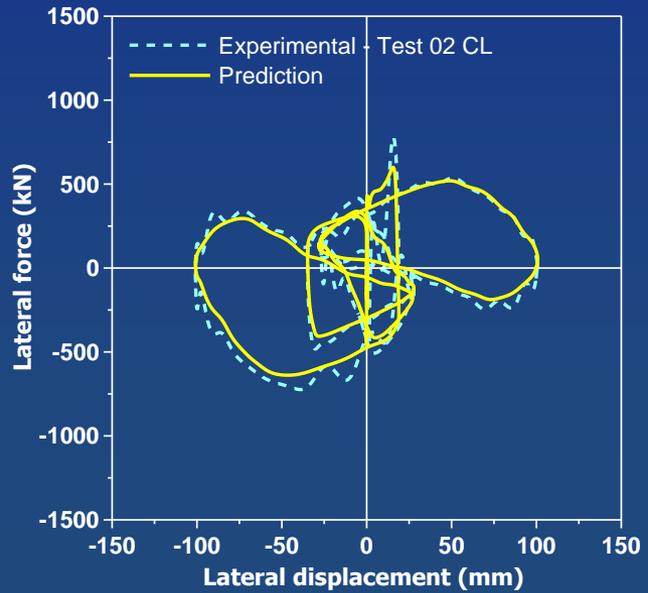
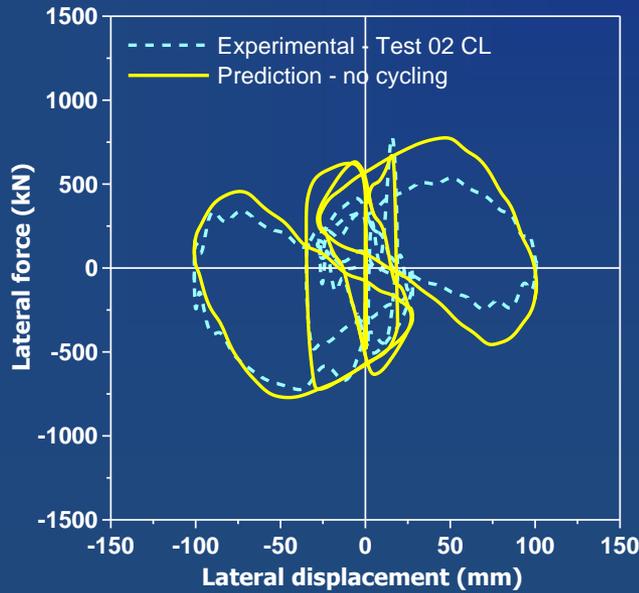
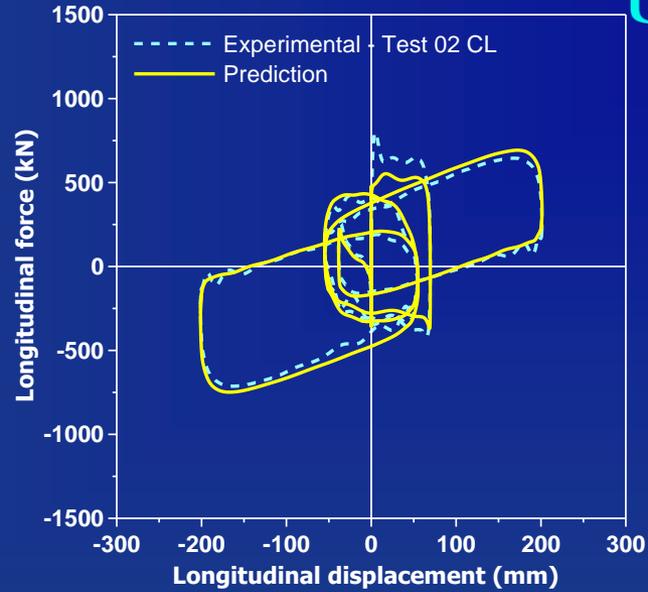
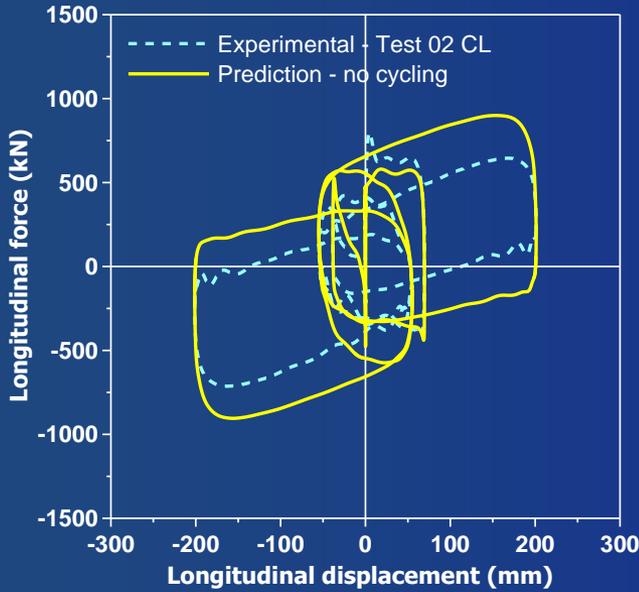


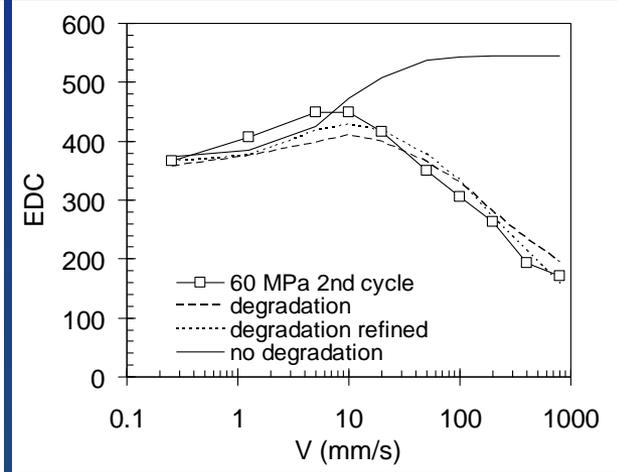
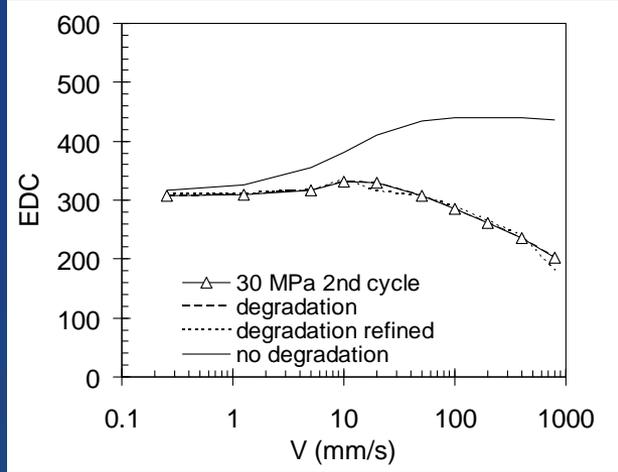
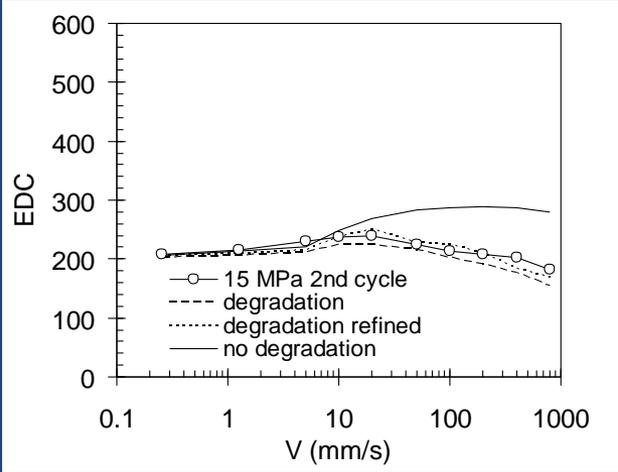
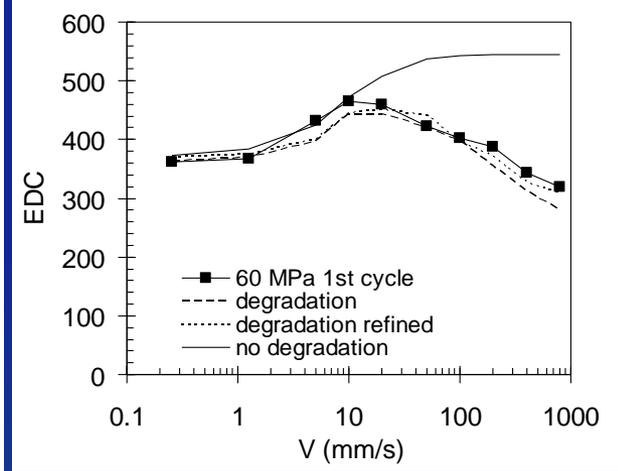
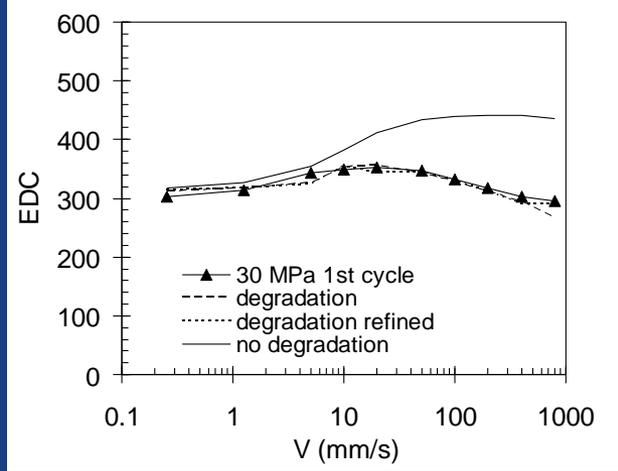
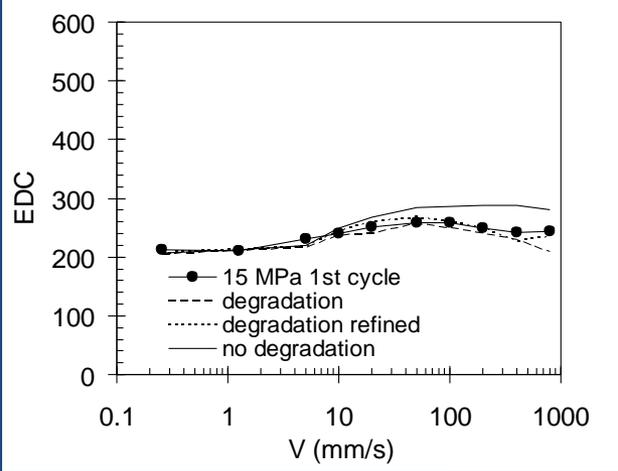
$$f_c(c) = e^{-(c/c_{ref})^\beta}$$



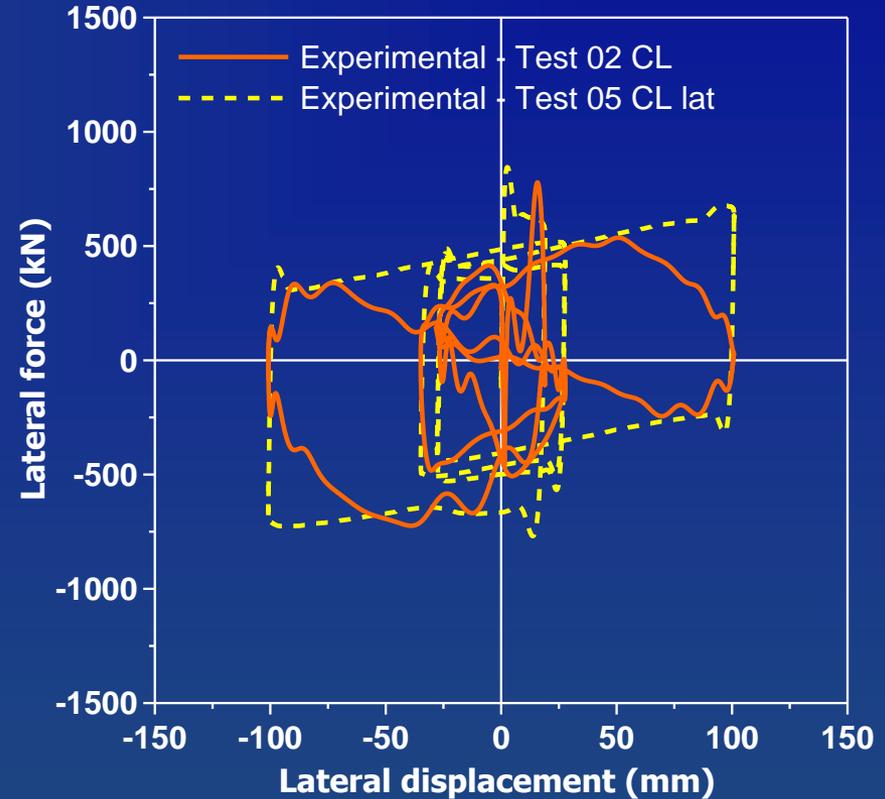
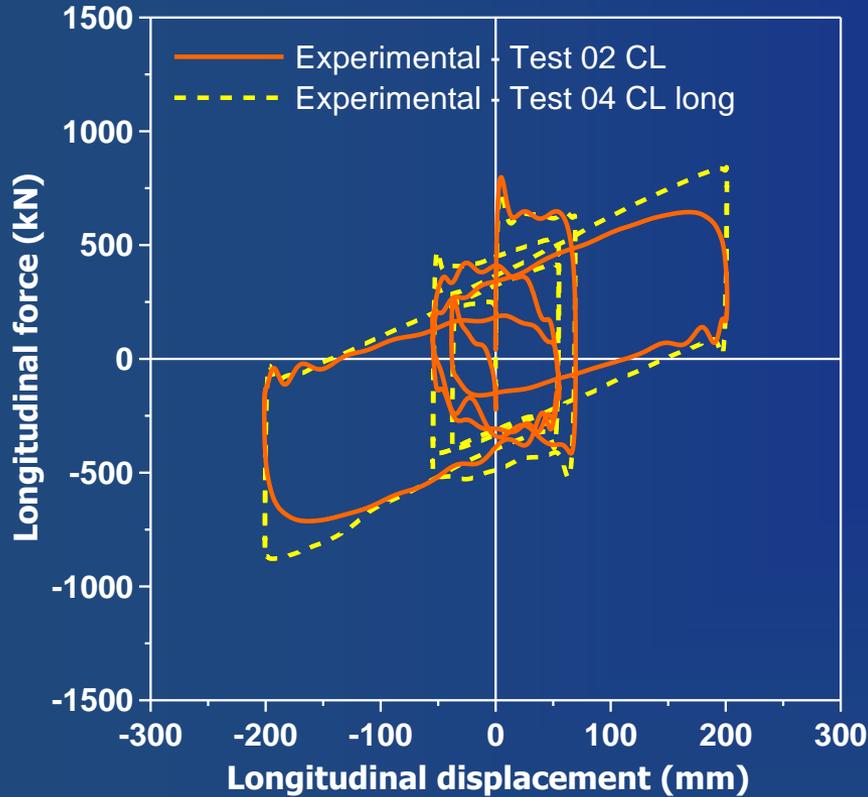
SRMD

Caltrans Seismic Response Modification Device Test Facility





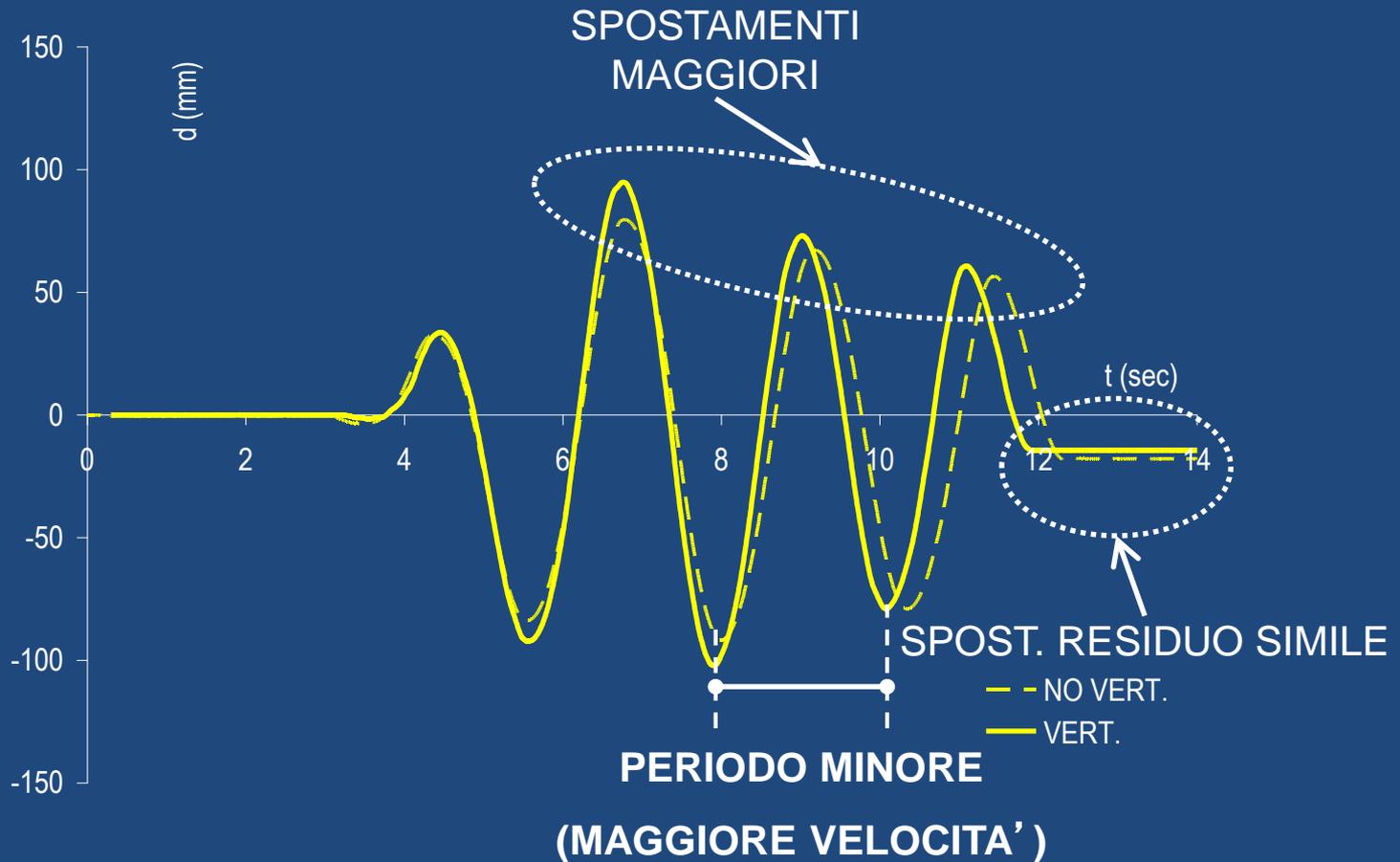
Energia dissipata funzione di velocita' massima (riga superiore= ciclo 1, riga inferiore= ciclo 2)



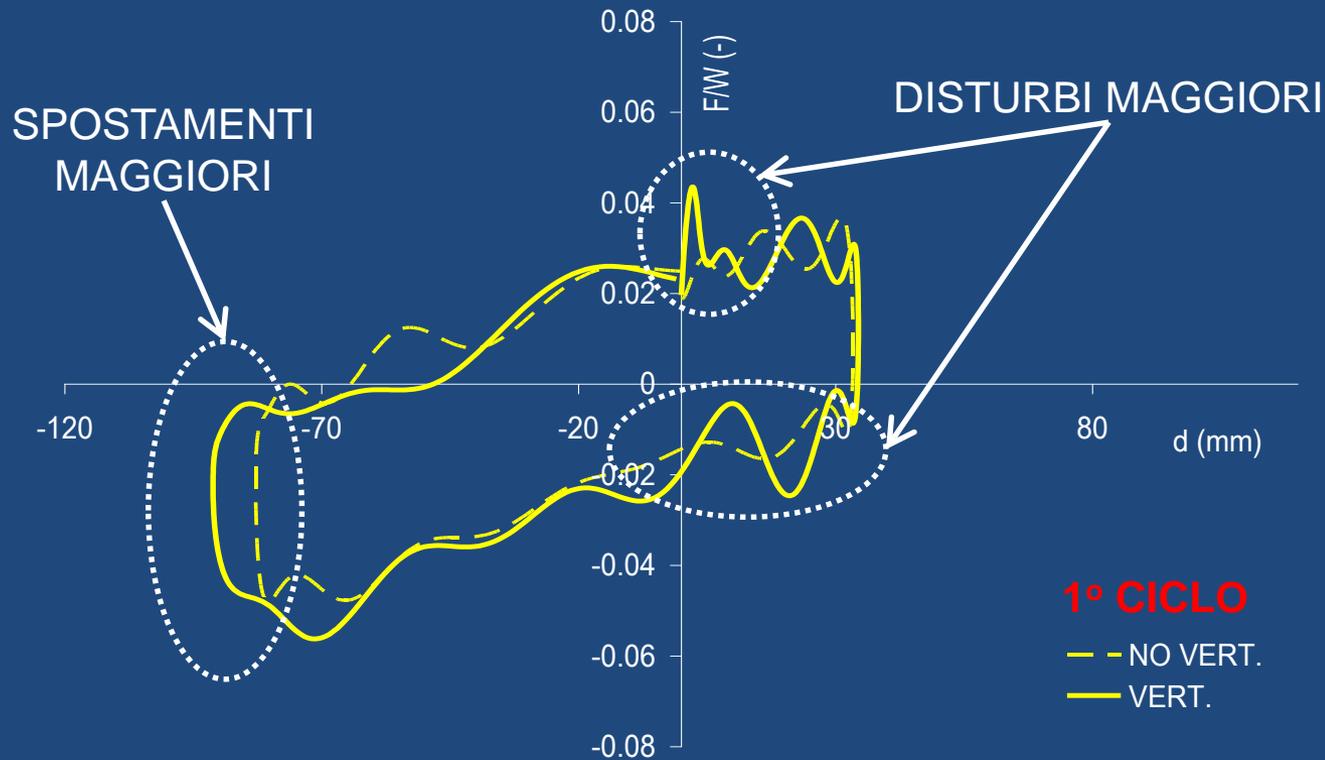
Il test mono-direzionale sovrastima la capacita' dissipativa con conseguente possibile superamento degli spostamenti di progetto



EFFETTO DELL' ECCITAZIONE VERTICALE

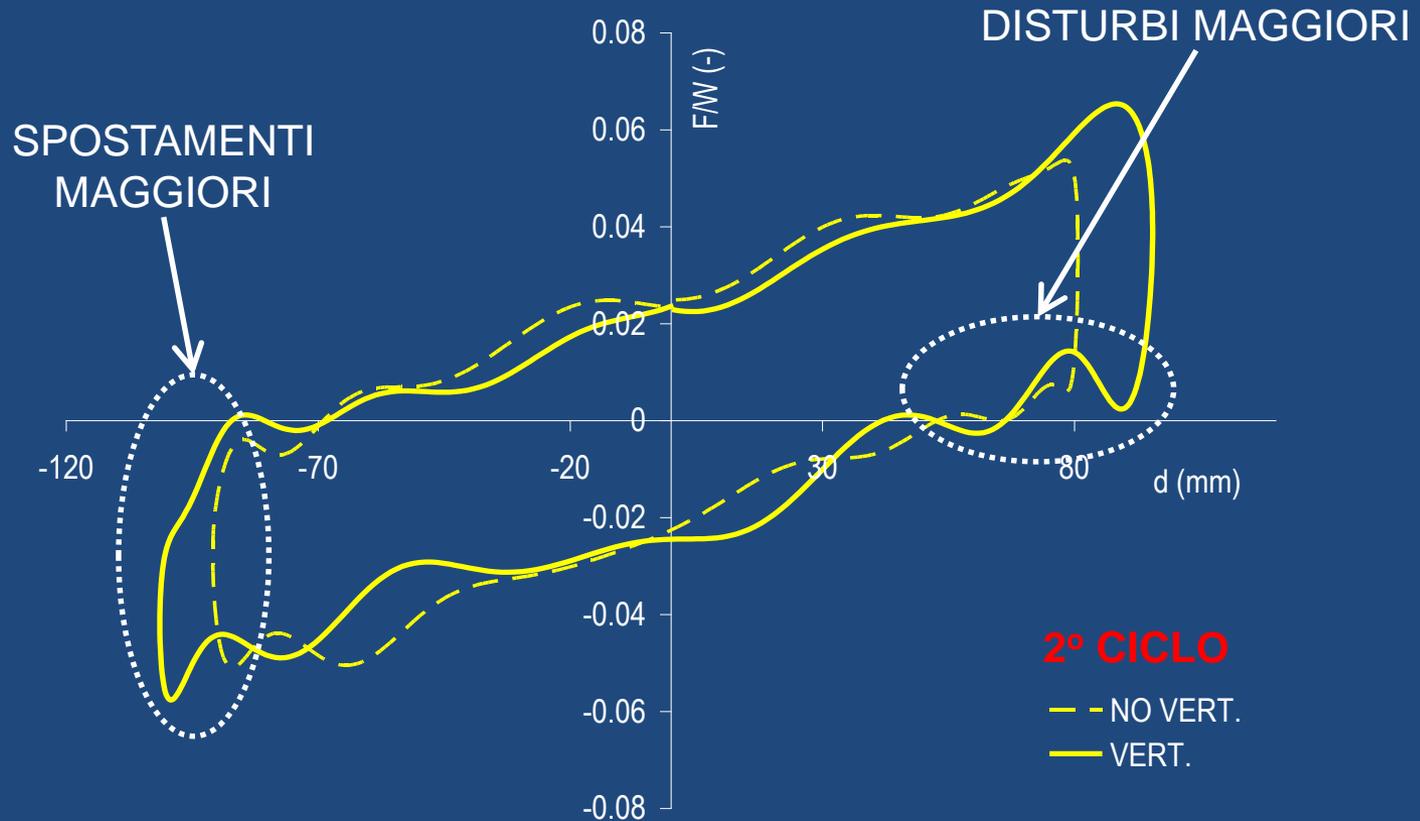


EFFETTI DELL' ECCITAZIONE VERTICALE



	spost. d		velocita' v		F norm. F/W		rapp. smor. ξ	
	med (mm)	diff. (%)	med (mm/s)	diff. (%)	med (-)	diff. (%)	$\xi (-)$	diff. (%)
NO VERT.	58		191		0.042		0.32	0
VERT.	63	+8%	225	+18%	0.050	+18%	0.28	-14%

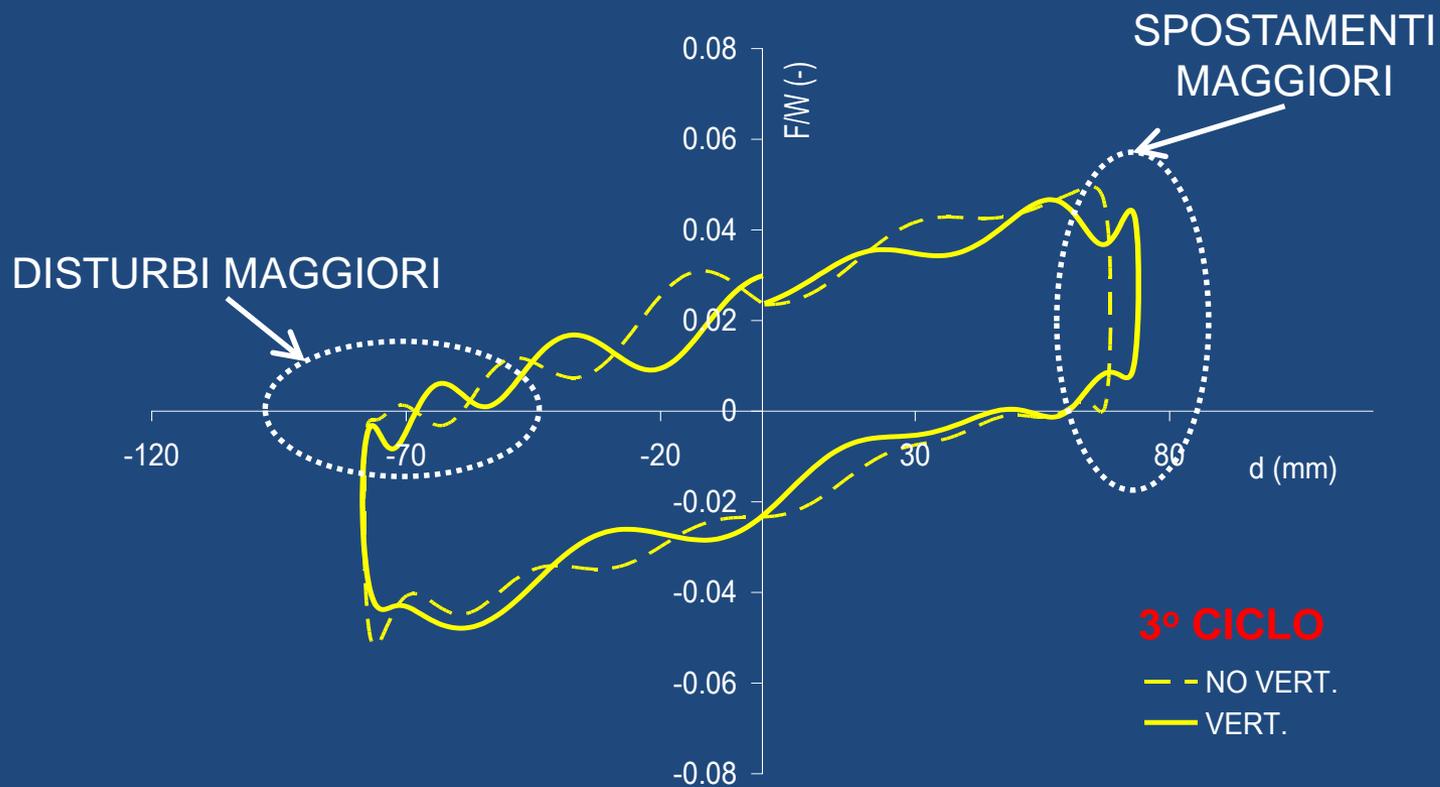
EFFETTI DELL' ECCITAZIONE VERTICALE



spost. d		velocita' v		F norm. F/W		rapp. smor. ξ	
med (mm)	diff. (%)	med (mm/s)	diff. (%)	med (-)	diff. (%)	ξ (-)	diff. (%)
86		225		0.052		0.28	0
98	+15%	272	+21%	0.061	+18%	0.30	-20%

NO VERT.
VERT.

EFFETTI DELL' ECCITAZIONE VERTICALE



	spost. d		velocita' v		F norm. F/W		rapp. smor. ξ	
	med (mm)	diff. (%)	med (mm/s)	diff. (%)	med (-)	diff. (%)	ξ (-)	diff. (%)
NO VERT.	73		210		0.051		0.23	0
VERT.	76	+4%	239	+14%	0.047	-7%	0.29	-3%



SRMD

Caltrans Seismic Response Modification Device Test Facility



Queste variazioni possono essere importanti?

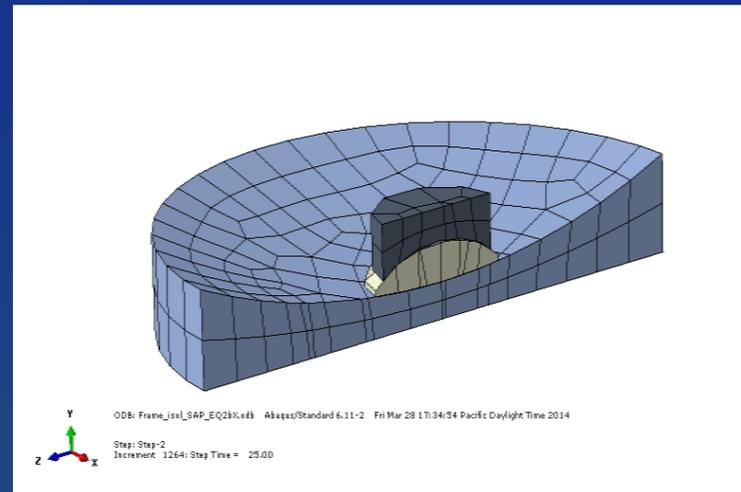
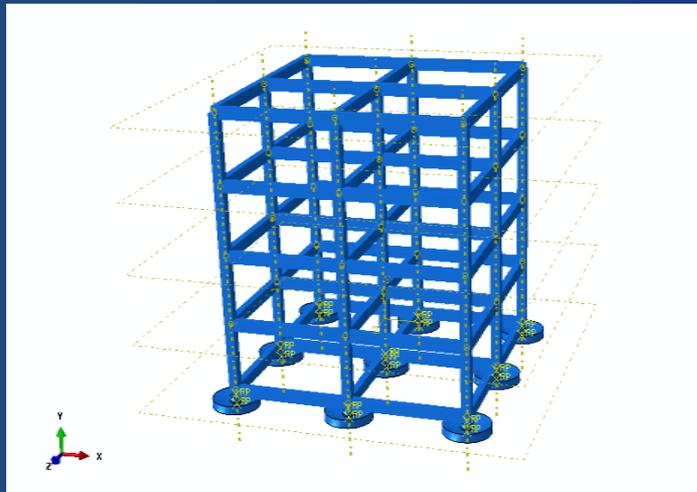
Torniamo all'edificio d'esempio:



Table 2. Earthquake characteristics

Name	Year	Earthquake	Mw	Mech.*	Station	Site	PGA (g)	PGV (cm/s)	PGD (cm)
LP	1989	Loma Prieta	7.0	OB	LGPC	Soil	0.56	94.8	41.1
ER	1992	Erzincan	6.7	SS	Erzincan	Soil	0.50	64.3	21.9
KO	1995	Kobe	6.9	SS	KJMA	Stiff soil	0.82	81.6	17.7

* Fault Mechanism = SS Strike-slip; OB Oblique





SRMD

Caltrans Seismic Response Modification Device Test Facility



Model 1 =

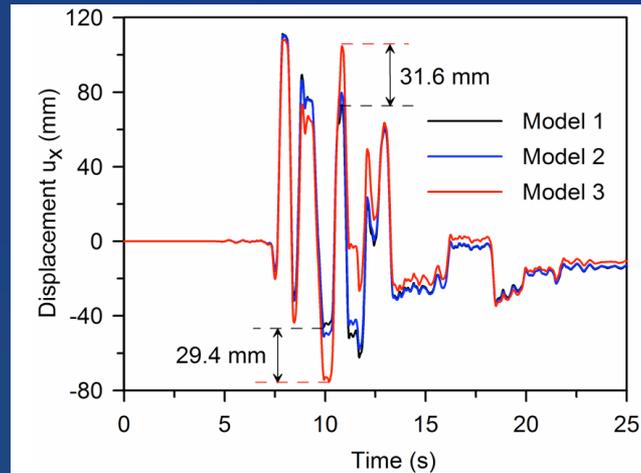
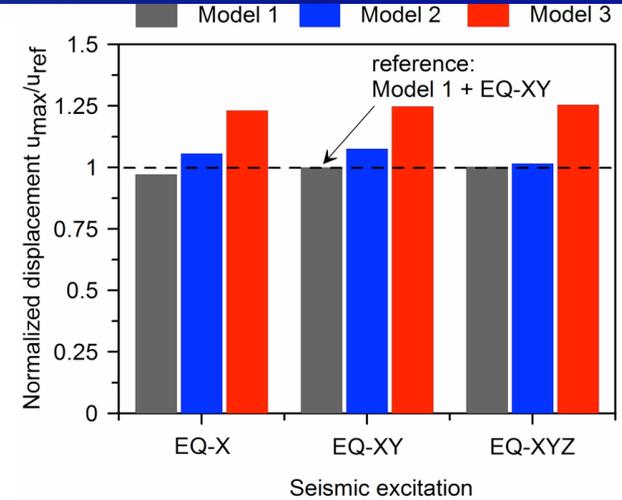
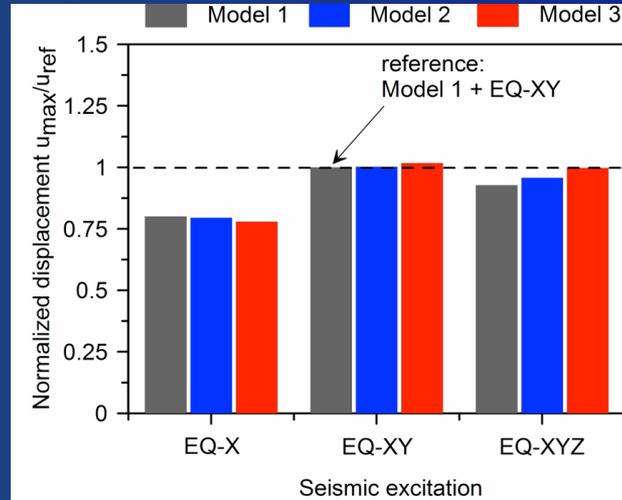
$$f_v$$

Model 2 =

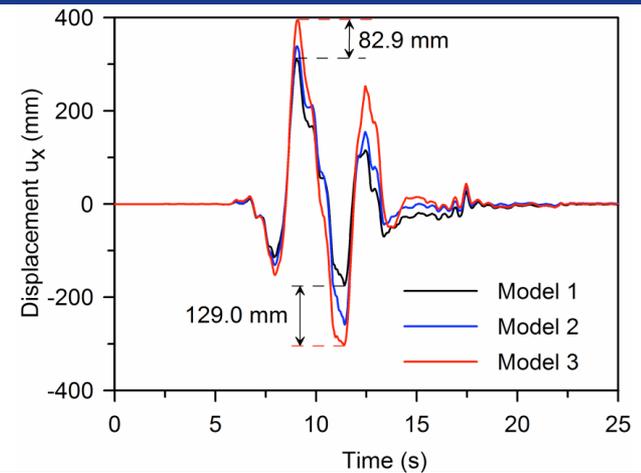
$$f_v + f_w$$

Model 3 =

$$f_v + f_w + f_c$$



KOBE-X

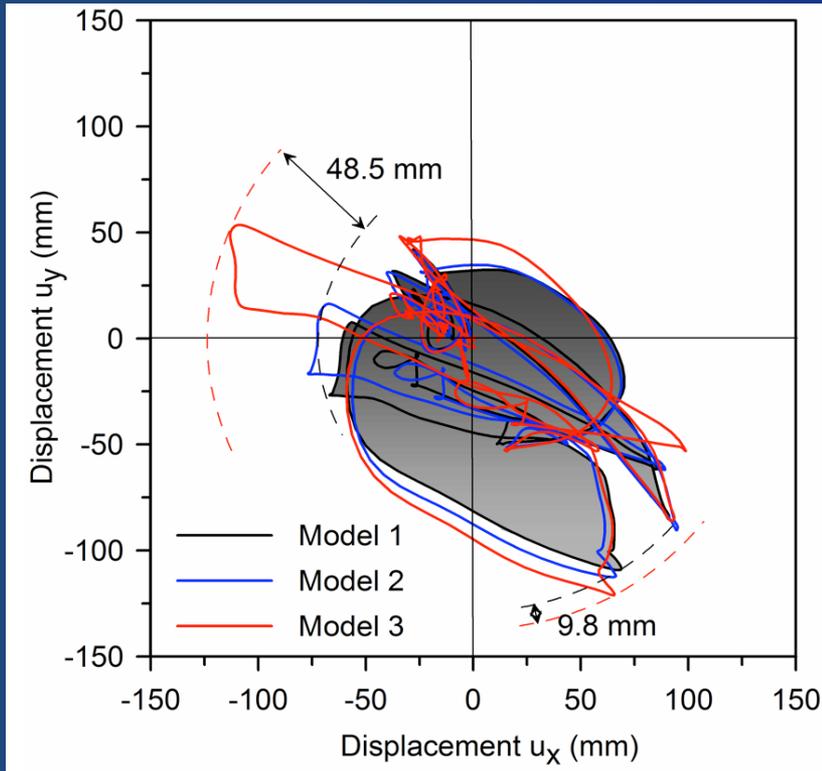


LP-X

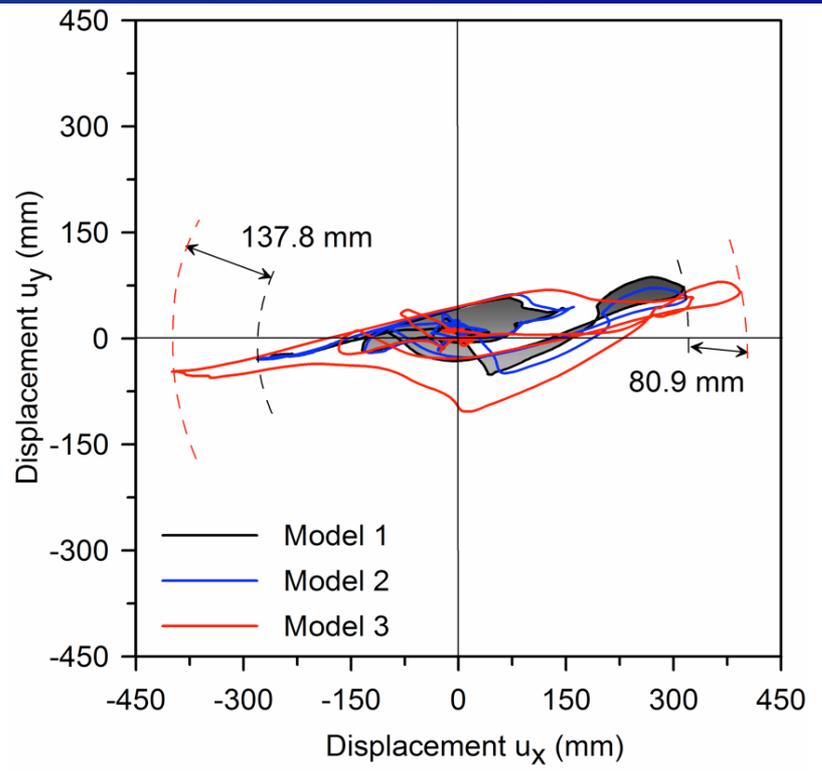


SRMD

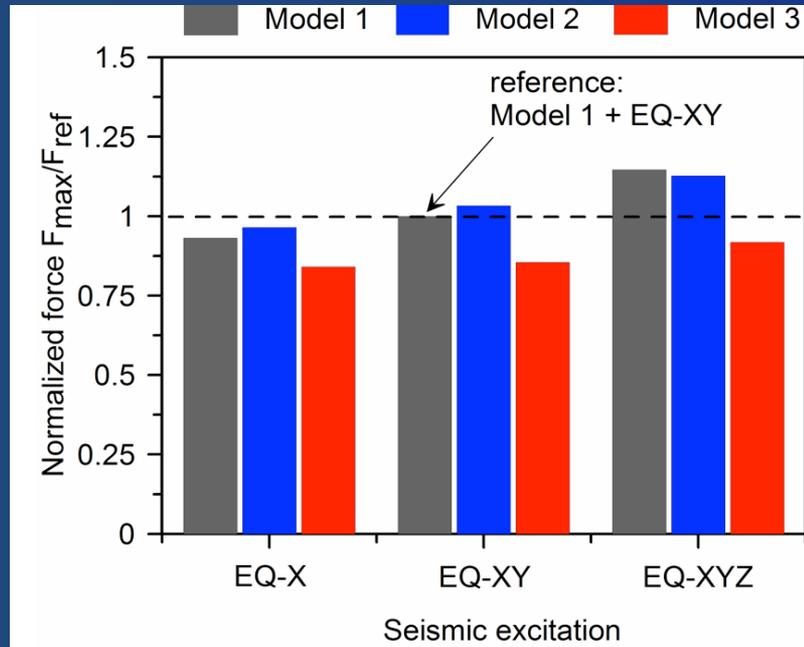
Caltrans Seismic Response Modification Device Test Facility



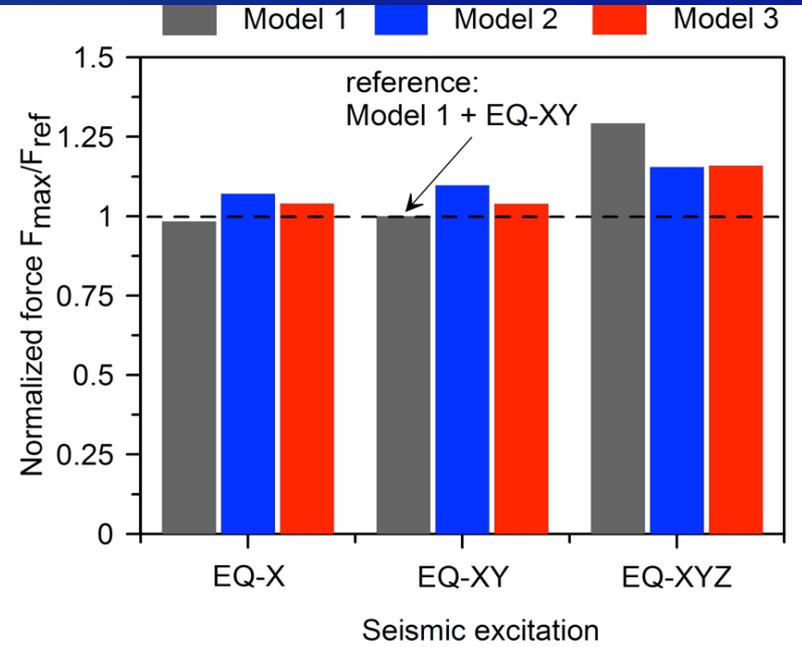
KOBE-XYZ



LP-XYZ



KOBE-X



LP-X

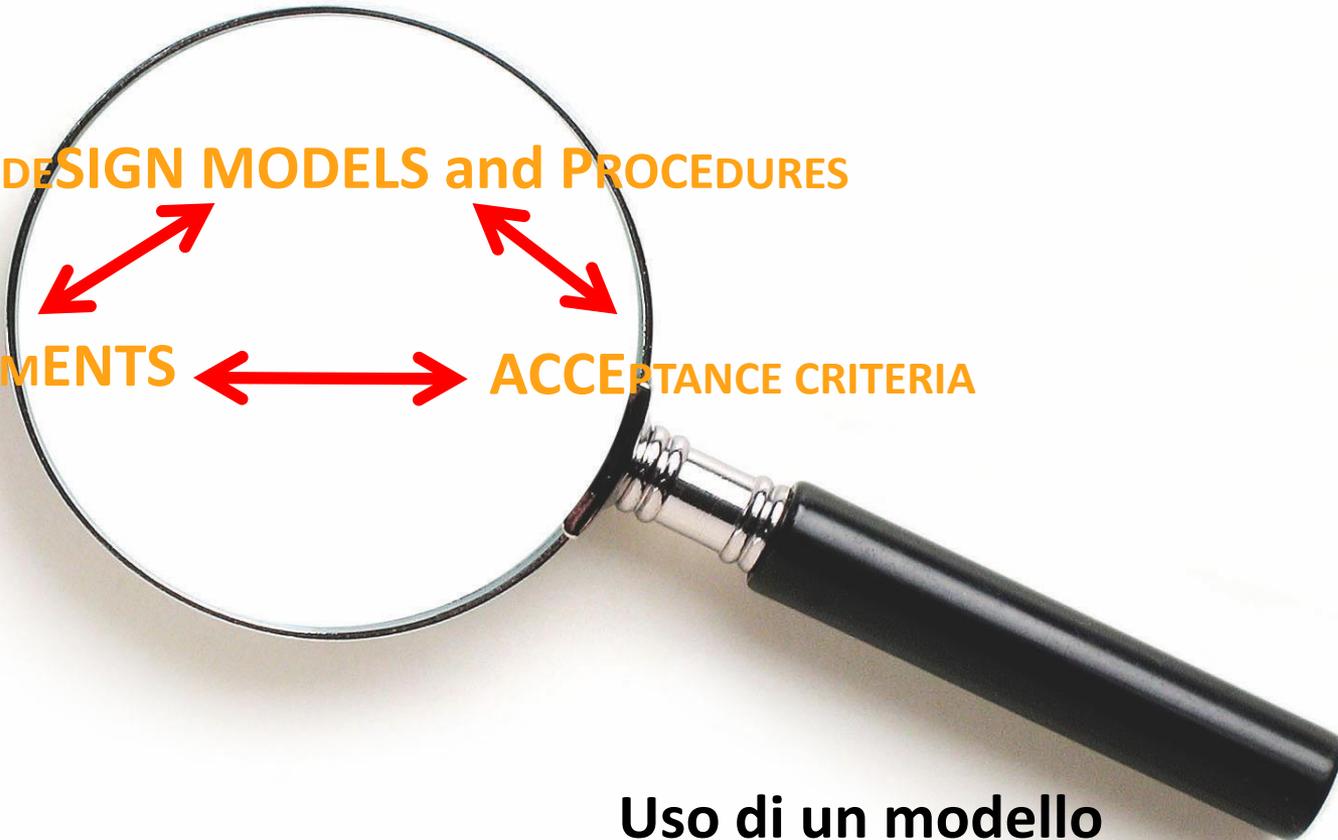


DESIGN MODELS and PROCEDURES

TESTING

REQUIREMENTS

ACCEPTANCE CRITERIA



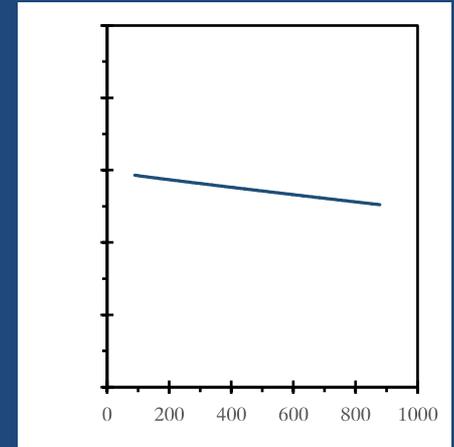
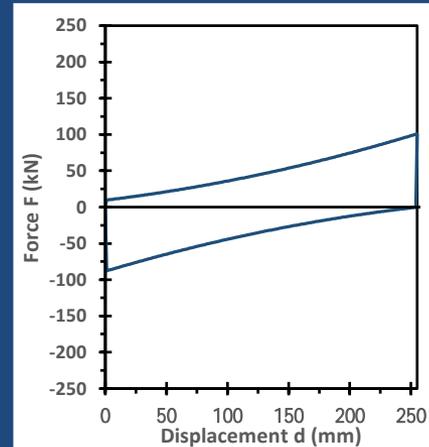
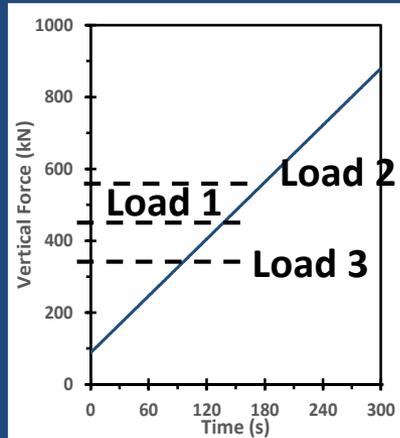
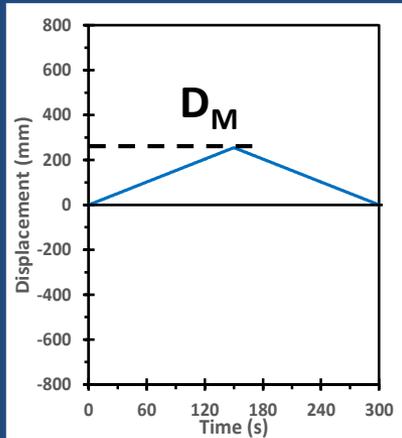
Uso di un modello



PROGETTO E INTERPRETAZIONE DI PROVE SPERIMENTALI

Prove per studiare l'effetto del carico verticale:

Prove quasi statiche in cui la velocità e l'effetto ciclico sono trascurabili



(e.g.)

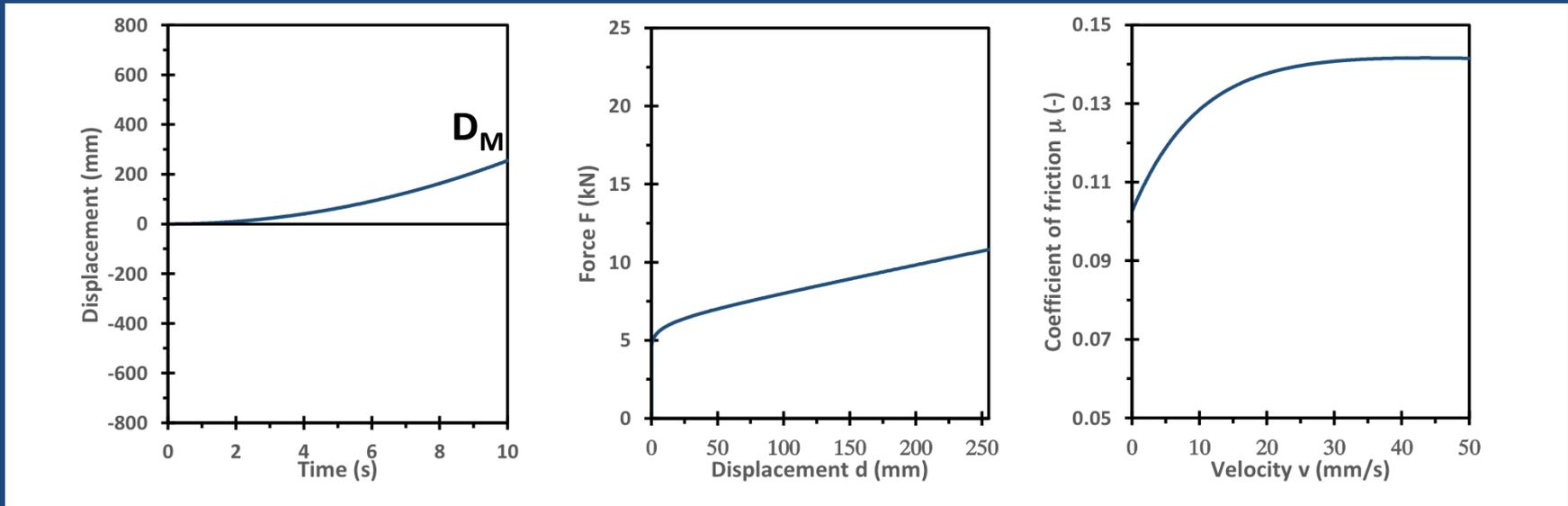
Vertical load level 1 (average): $1.0D + 0.5L$

Vertical load level 2 (maximum): $1.2D + 1.0E + 1.0L + 0.2S$

Vertical load level 3 (minimum): $0.9D + 1.0E$



Prove per studiare l'effetto di velocità :



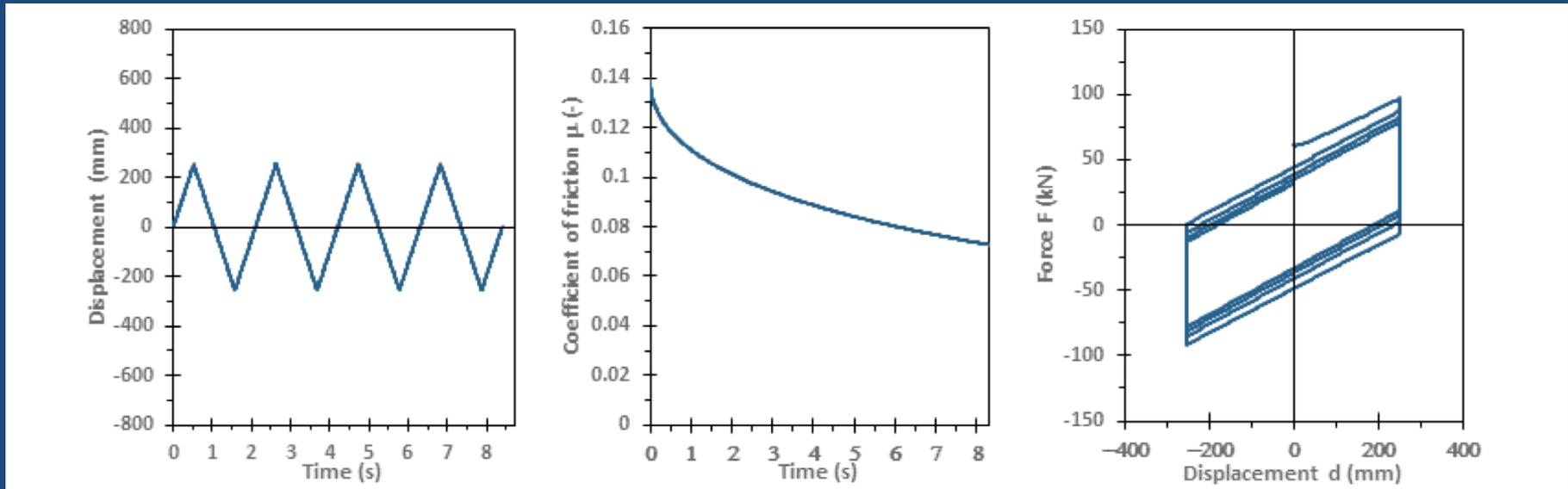
Si suggerisce un picco di velocità di **50 mm/s** a meno che la variazione del coeff. d'attrito sia più del 5% per l'ultimo 20% del range di velocità (40 mm/s – 50 mm/s)

Per minimizzare gli effetti termici si suggerisce un carico verticale pari al **10% del carico di Livello 1 (valore medio)**



Prove per studiare l'effetto ciclico:

La prova e' eseguita a velocita' e carico costante



Spostamento triangolare fino a D_M con periodo T_M

Il numero di cicli e' limitato sulla base della stima della variabile ciclica dall'analisi strutturale preliminare.

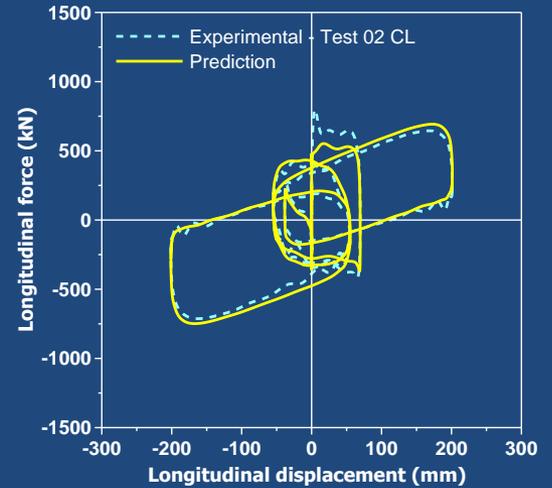
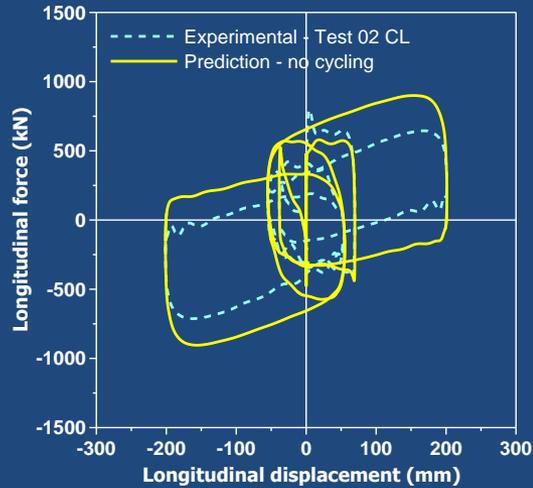


IMPLEMENTAZIONE DIRETTA IN SOFTWARE A ELEMENTI FINITI

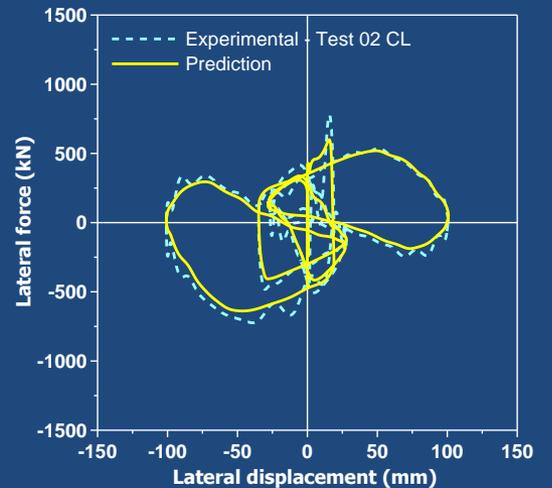
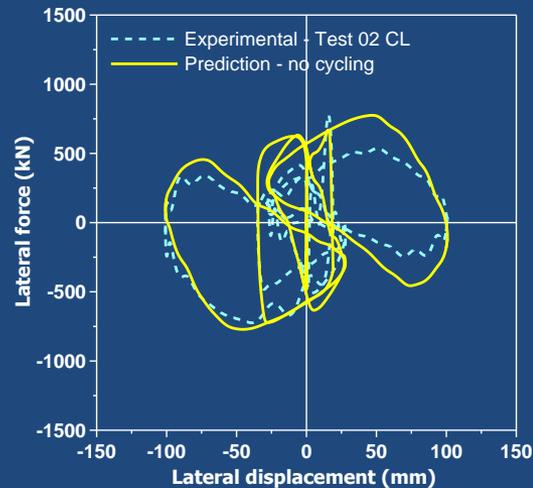
$$f_w(W) = m_{s0} e^{-W/W_{ref}}$$

$$f_c(c) = e^{-(c/c_{ref})^b}$$

$$f_v(v) = g + (1 - g) e^{-|v|/v_{ref}}$$



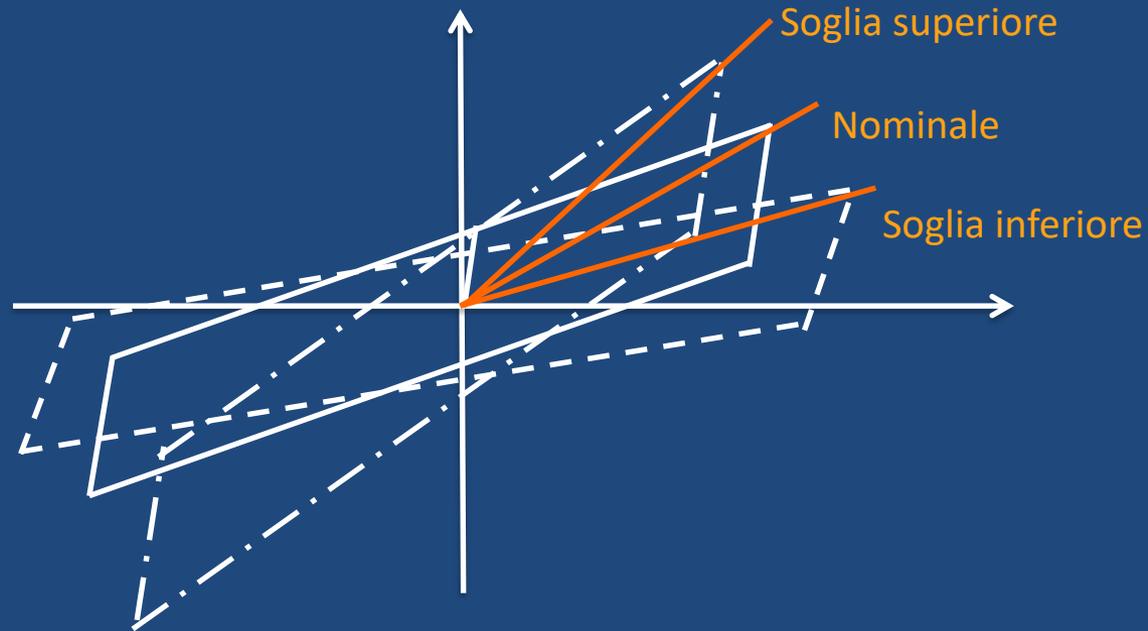
Direzione longitudinale



Direzione laterale



oppure definizione di “condizioni limite”





Una interessante strumento di analisi:

Il concetto dello spettro ADRS (accelerazione e spostamento) puo essere usato in maniera efficiente per visualizzare la domanda sismica e il valore di taglio alla base e spostamento del sistema isolante per diversi valori di resistenza caratteristica e rigidezza post elastica. Le curve ADRS possono essere sviluppate per il set di coppie di accelerogrammi di progetto.

Il grande vantaggio di questo metodo e' che che si usano parametri della risposta che non sono dipendenti dallo spostamento. Chiaramente questo e' diverso dall'usare la rigidezza effettiva e lo smorzamento ed elimina la necessita' di un processo di progetto iterative. Inoltre la resistenza caratteristica e la rigidezza sono controllati direttamente nelle fasi di progettazione.

Lo sviluppo di ADRS puo considerarsi una metodologia di progettazione

$$\ddot{x}(t) + \frac{F(t)}{m} = -\ddot{x}_g(t)$$

Dove $x(t)$ e' lo spostamento relativo al terreno e $F(t)$ e' la forza interna risultante dal meccanismo di richiamo e di smorzamento (viscoso o isteretico)

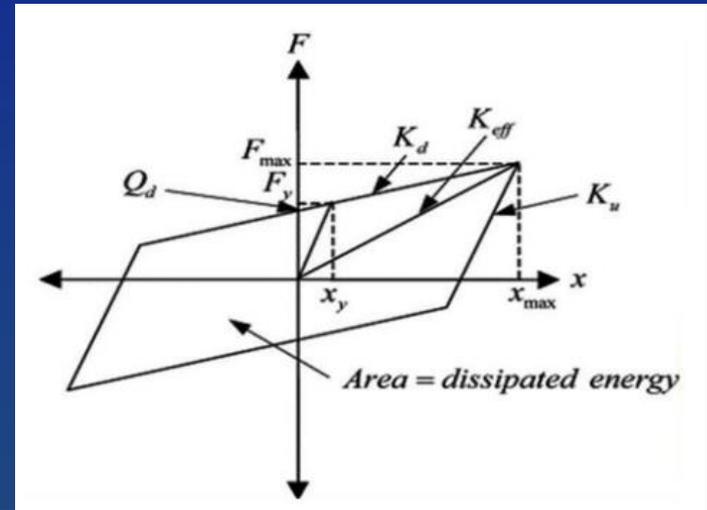
Se assumiamo che non ci sia uno smorzamento viscoso:

$$\frac{F(t)}{m} = \frac{2\rho\ddot{\theta}^2}{T_2\theta} x(t) + \frac{Q_d}{W} gz(t)$$

Dove $z(t)$ e' una quantita' isteretica adimensionale con $|z(t)| \leq 1$ e per cui:

$$x_y \dot{z} + \gamma |\dot{x}(t)| |z| |z|^{n-1} + \beta \dot{x}(t) |z|^n - x(t) = 0$$

Dove β, γ e n sono quantita' adimensionali che controllano la forma del ciclo di isteresi





Le due precedenti equazioni non sono altro che una versione del modello isteretico Bouc-Wen

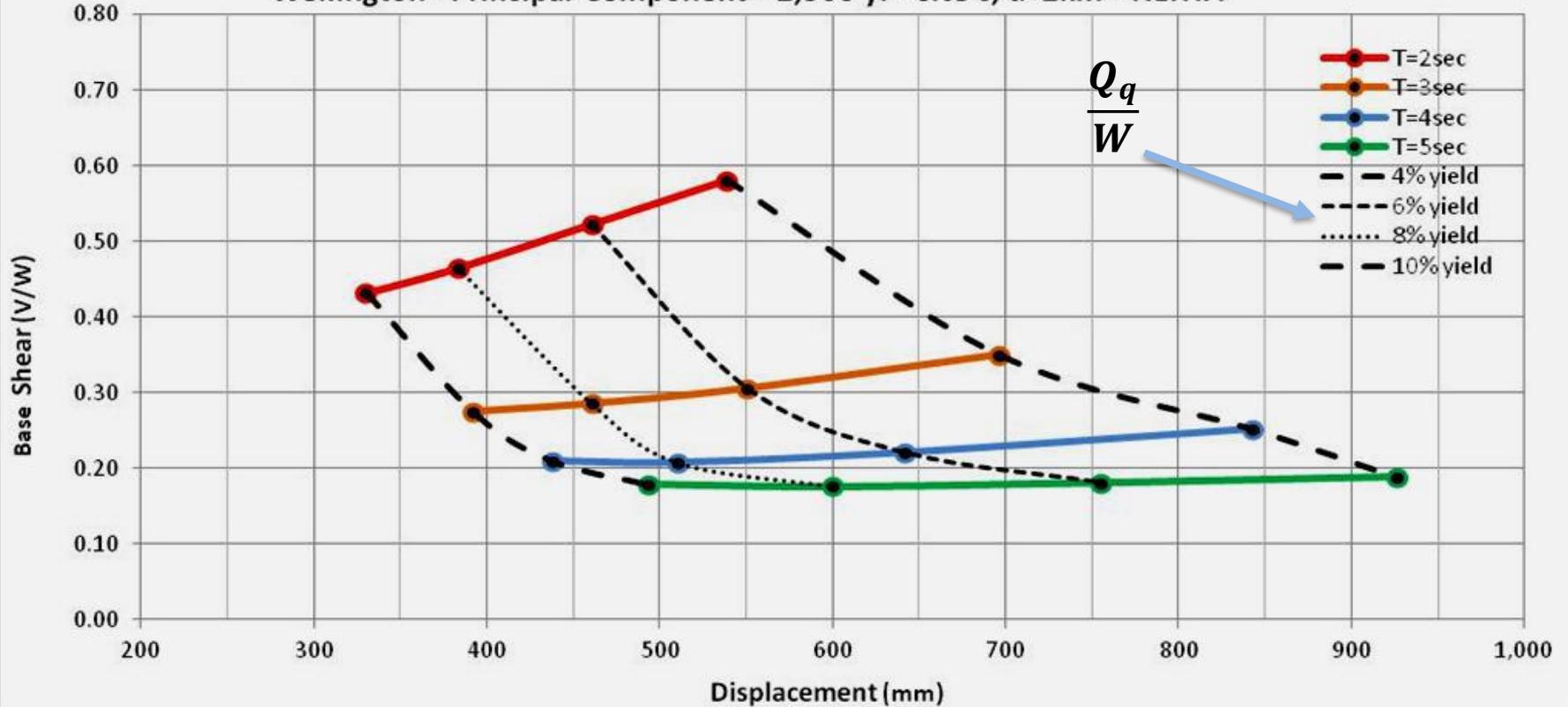
Per sostituzione ottengo:

$$\ddot{x}(t) + \left(\frac{2\pi}{T_2} \right)^2 x(t) + \frac{Q_d}{W} g z(t) = -\ddot{x}_g(t)$$

Per ogni combinazione di periodo isolato T_2 e Q_d/W le due ultime eqs. si possono risolvere simultaneamente per ottenere massimo spostamento e accelerazione associata per ogni record sismico considerato

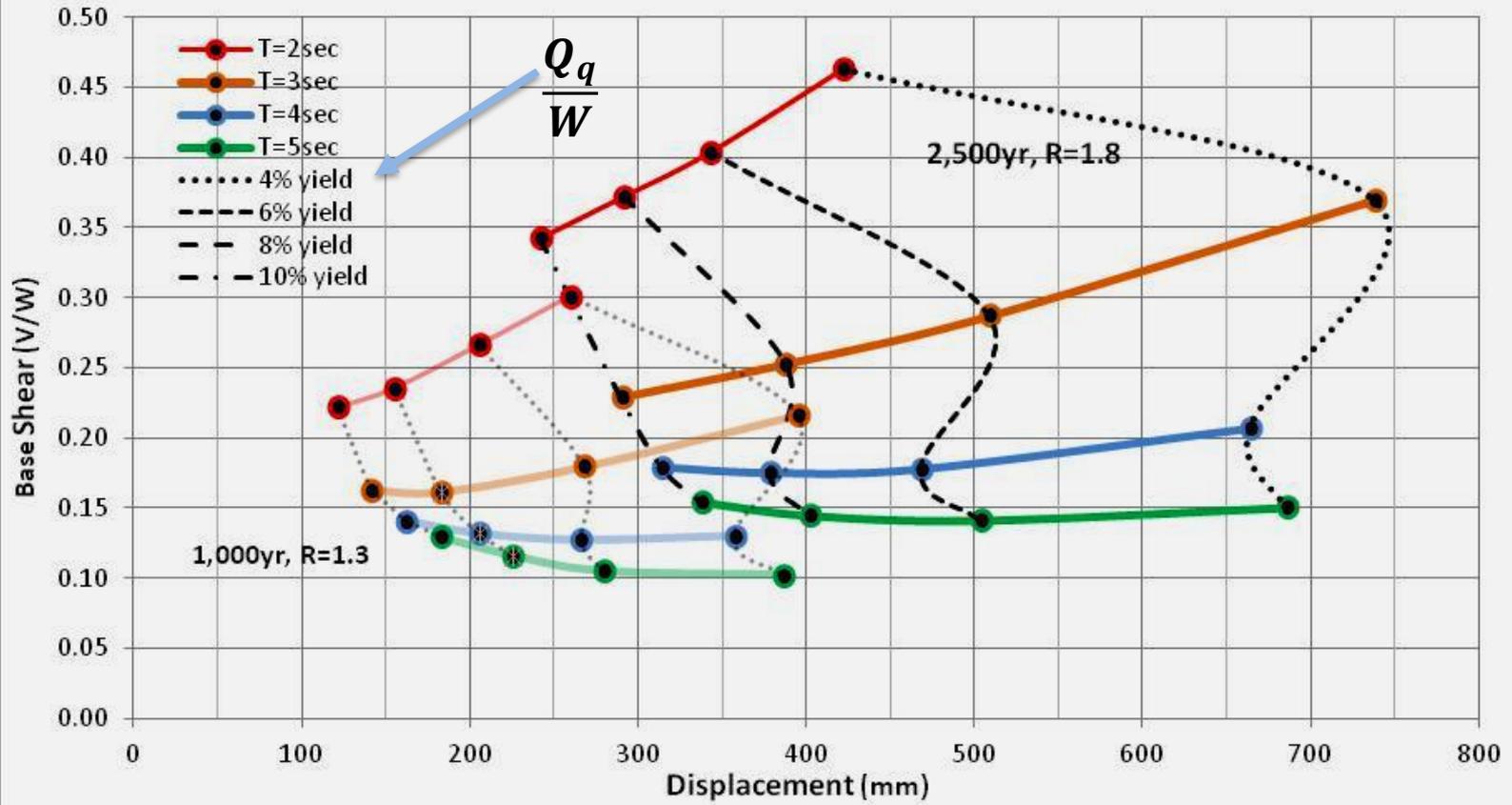


Wellington - Principal Component - 2,500 yr - site c, d=2km - NLTHA





CHRISTCHURCH CBD, compare 1,000 and 2,500 yr responses



NOTE AGGIUNTIVE



Smorzamento:

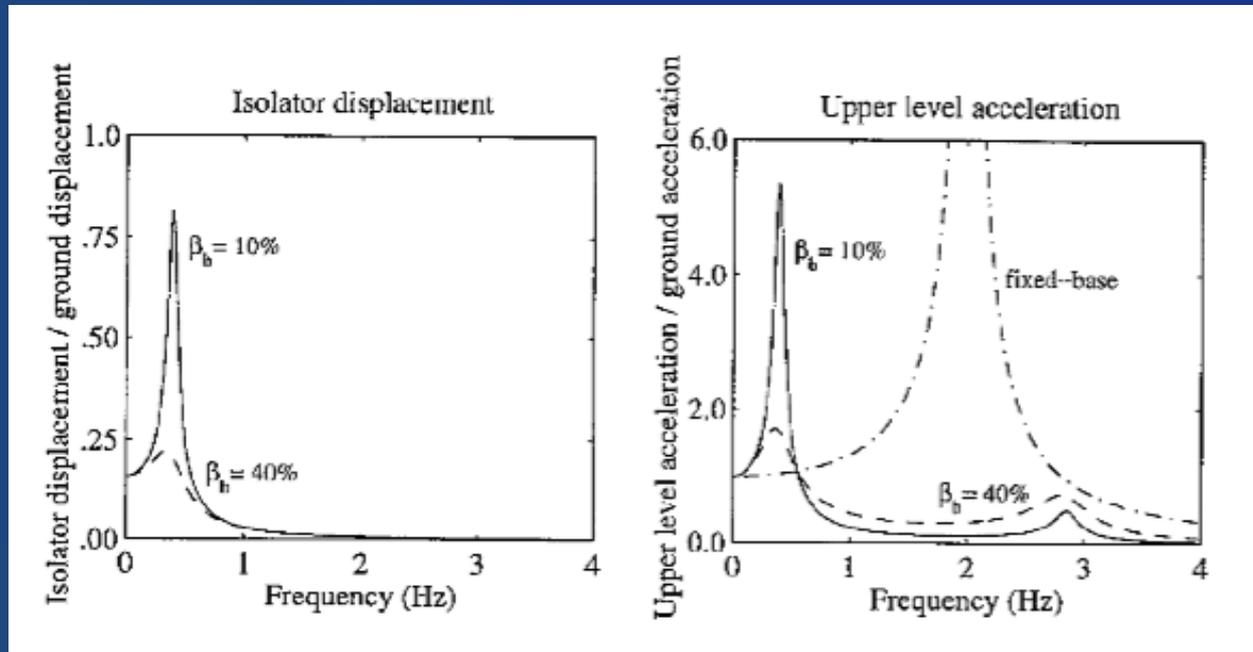
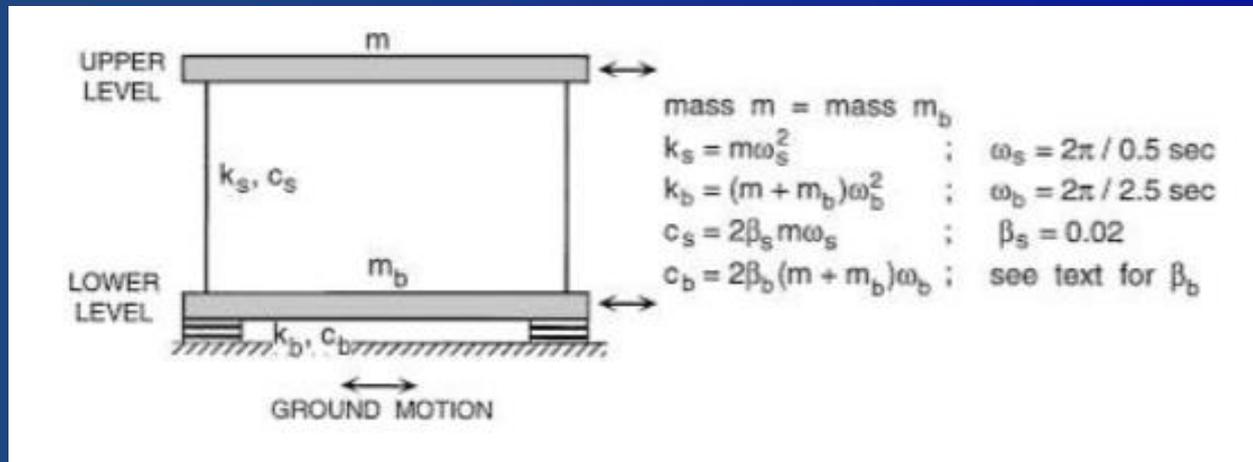
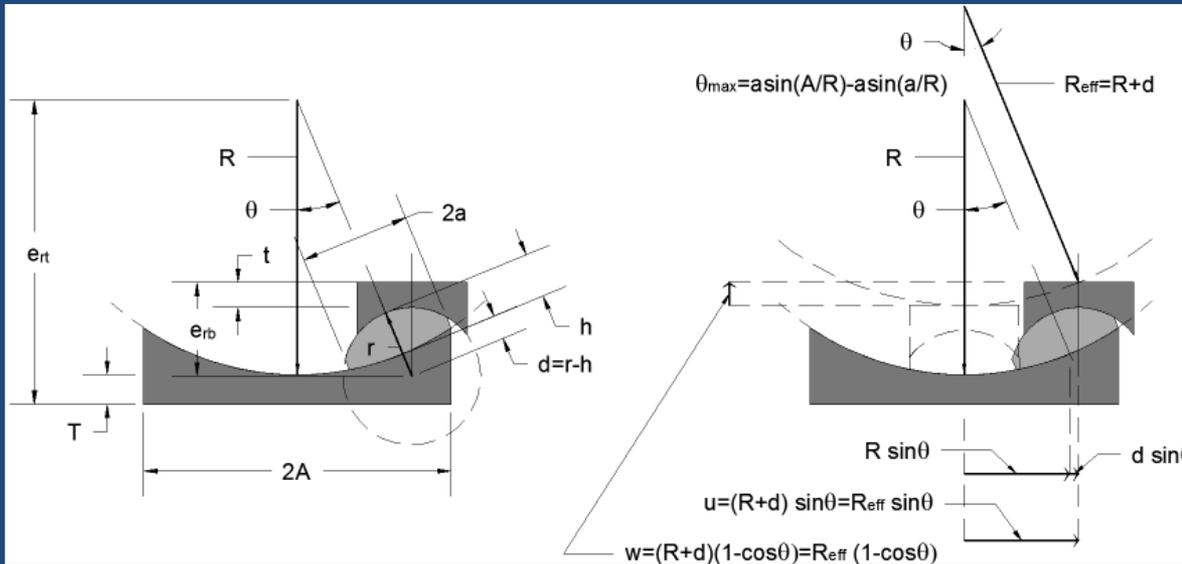




Table I. Computed peak responses of the example isolated structure to three ground motions

Amount of damping β_b (%)	Isolator displacement (cm)	Storey drift (cm)	Upper level acceleration (cm/sec ²)
Bonds Corner, 1979 Imperial Valley earthquake			
10.0	10.0	0.82	129.0
20.0	9.0	1.08	171.0
30.0	8.0	1.38	218.0
40.0	8.0	1.65	261.0
Fixed-base	0.0	11.00	1740.0
Olive View Hospital free field, Northridge earthquake			
10.0	61.0	2.66	420.0
20.0	47.0	2.67	421.0
30.0	38.0	2.62	413.0
40.0	32.0	3.01	476.0
Fixed-base	0.0	12.70	2000.0
Takatori, Kobe earthquake			
10.0	84.0	3.53	558.0
20.0	65.0	3.17	501.0
30.0	57.0	3.18	501.0
40.0	50.0	3.33	525.0
Fixed-base	0.0	10.40	1650.0

ISOLATORI FRICTION PENDULUM



Oltre alle forze di richiamo non vanno trascurati I momenti M_{rt} e M_{rb}

$$M_{rt} = F_r \cdot e_{rt} = F_r \cdot (r + t)$$

$$M_{rb} = F_r \cdot e_{rb} = F_r \cdot (R + T)$$

Questi momenti sono originati dalla eccentricita' delle forze di contatto rispetto alle piastre superiori e inferiori.
QUESTI MOMENTI NON SONO TRASCURABILI



SRMD

Caltrans Seismic Response Modification Device Test Facility



The Berry Street Project prior to retrofit



Two-story addition of the Berry Street Project

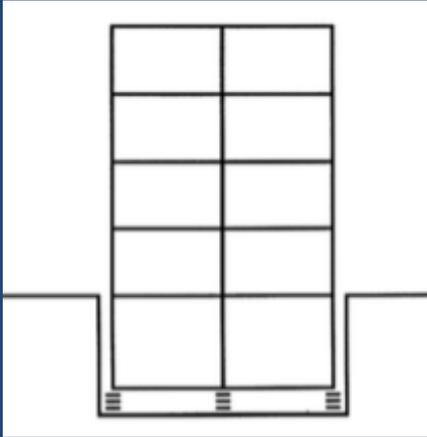
ISOLAMENTO IN ELEVAZIONE

**Ampliamento
“convenzionale”:** 7000 mq

**Ampliamento
“isolato”:** 9000 mq



Configurazione del sistema di isolamento



Pro:

-Base delle colonne connesse da un diaframma al livello del sistema di isolamento

Con:

-Costi per la realizzazione di un piano interrato

Richiede un muro di contenimento

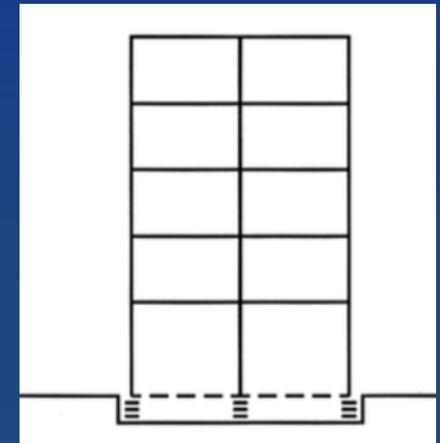
Pro:

-Minimi costi strutturali aggiunti

Semplicità' di installazione del sistema di isolamento

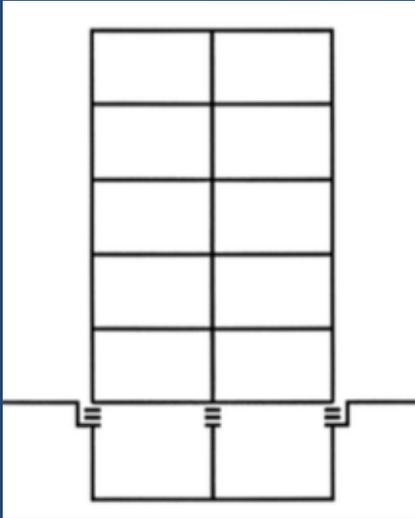
Con:

-Richiede maggiore attenzione alla protezione dei dispositivi





Configurazione del sistema di isolamento



Pro:

- Base delle colonne connesse da un diaframma al livello del sistema di isolamento
- minimi costi strutturali aggiunti

Con:

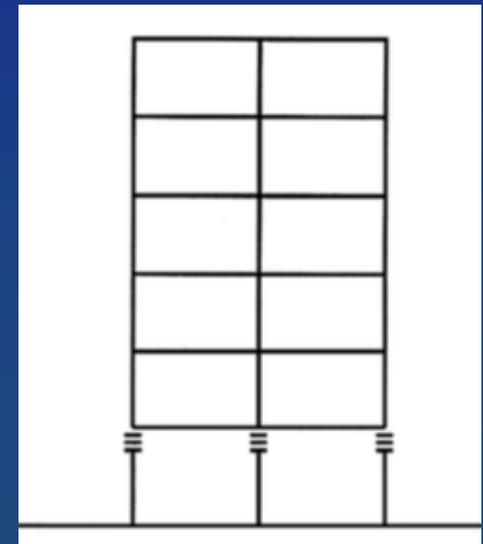
Attenzione richiesta per ascensore e scale

Pro:

- minimi costi strutturali aggiunti
- parcheggio al piano terra

Con:

- Attenzione richiesta per ascensore e scale
- dettagli da curare per servizi verticali





Configurazione del sistema di isolamento

Regole generali:

I dispositivi devono essere accessibili per ispezione e manutenzione ed eventuale sostituzione (se possibile prevedere accorgimenti per jacks)

Un completo diaframma al di sopra degli isolatori e' preferibile.
Se viene utilizzata una griglia di travi gli isolatori andrebbero disposti in funzione del carico laterale che interessa ciascun elemento strutturale (isolatori piu grandi sotto elementi piu rigidi)

spazio per massimo movimento orizzontale deve essere garantito e mantenuto

attenzione ai dettagli di scale e vani ascensori

attenta progettazione di giunti per impianti



Distribuzione in pianta:

- Torsione

per bilanciare effetti torsionali in strutture isolate asimmetriche e' necessario introdurre dell'eccentricita' nel sistema di isolamento

L'equilibro torsionale della sovrastruttura migliora al diminuire della rigidezza torsionale del sistema di isolamento e/o all'aumentare della rigidezza torsionale della sovrastruttura. Se il sistema di isolamento e' torsionalmente rigido, in generale e' difficile controllare la torsione della sovrastruttura

L'amplificazione agli estremi della base isolata, risultante dall'introduzione di una eccentricita' nel sistema di isolamento, dipende dallo spettro considerato. Se lo spettro di spostamento cresce linearmente col periodo, l'amplificazione ai bordi aumenta. Se lo spettro ha un plateau, l'amplificazione non eccede 1.5 anche per grandi eccentricita' e bassa rigidezza torsionale.



Ribaltamento (uplifting)

Miglior regola e' evitare il piu possibile uplifting.
Si possono controllare I rapporti altezza-dimensione in pianta, la distribuzione delle masse e utilizzare anche dispositivi ad hoc.

per strutture isolate con elastomerici,
va prestata attenzione al fatto che in genere la capacita' di resistere a trazioni e' limitata. Come ordine di grandezza un dispositivo elastomerico puo resistere a 1.7 - 2.0 Mpa in trazione

Per dispositivi ad attrito va considerato che il momento ribaltante puo introdurre condizioni non uniformi di pressione tra i dispositivi da cui derivano diversi coefficienti di attrito (torsione?)



ORDINE DEGLI INGEGNERI
DELLA PROVINCIA DI AVELLINO

CORSO DI AGGIORNAMENTO
SUL CONSOLIDAMENTO SISMICO DELLE STRUTTURE

AVELLINO, GIUGNO/OTTOBRE 2019



Relatori:

Gianmario Benzoni ⁽¹⁾

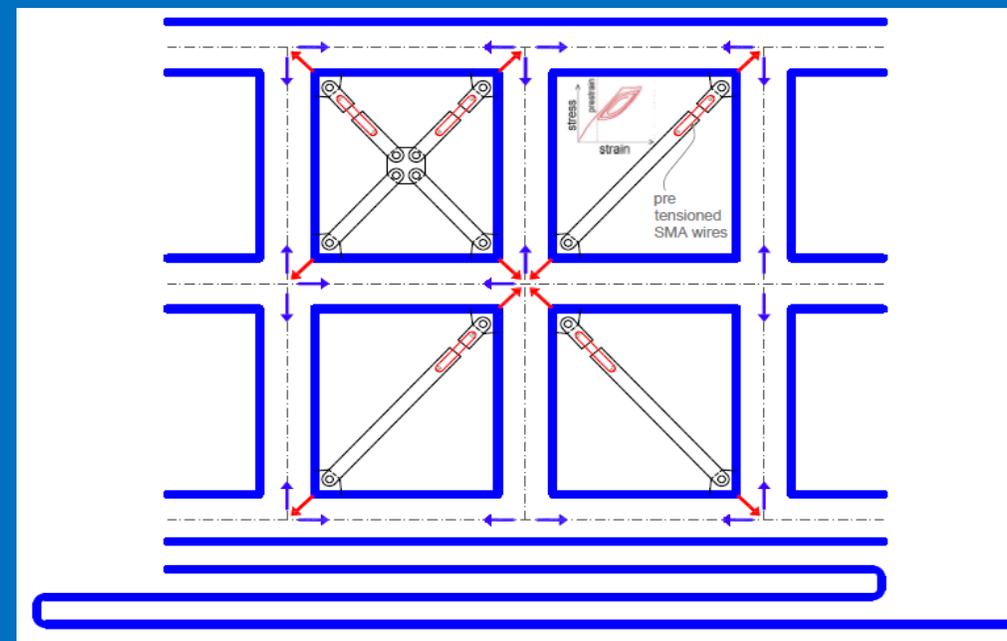
Luciano Feo ⁽²⁾

Fernando Fraternali ⁽²⁾

Giuseppe Rocchetta ⁽²⁾

⁽¹⁾ *University of California, San Diego*

⁽²⁾ *Università degli Studi di Salerno*



Lezione 3

- Esempi di protezione sismica di strutture reali (casi studio)
- Confronti in termini di costi tra diverse tipologie di intervento

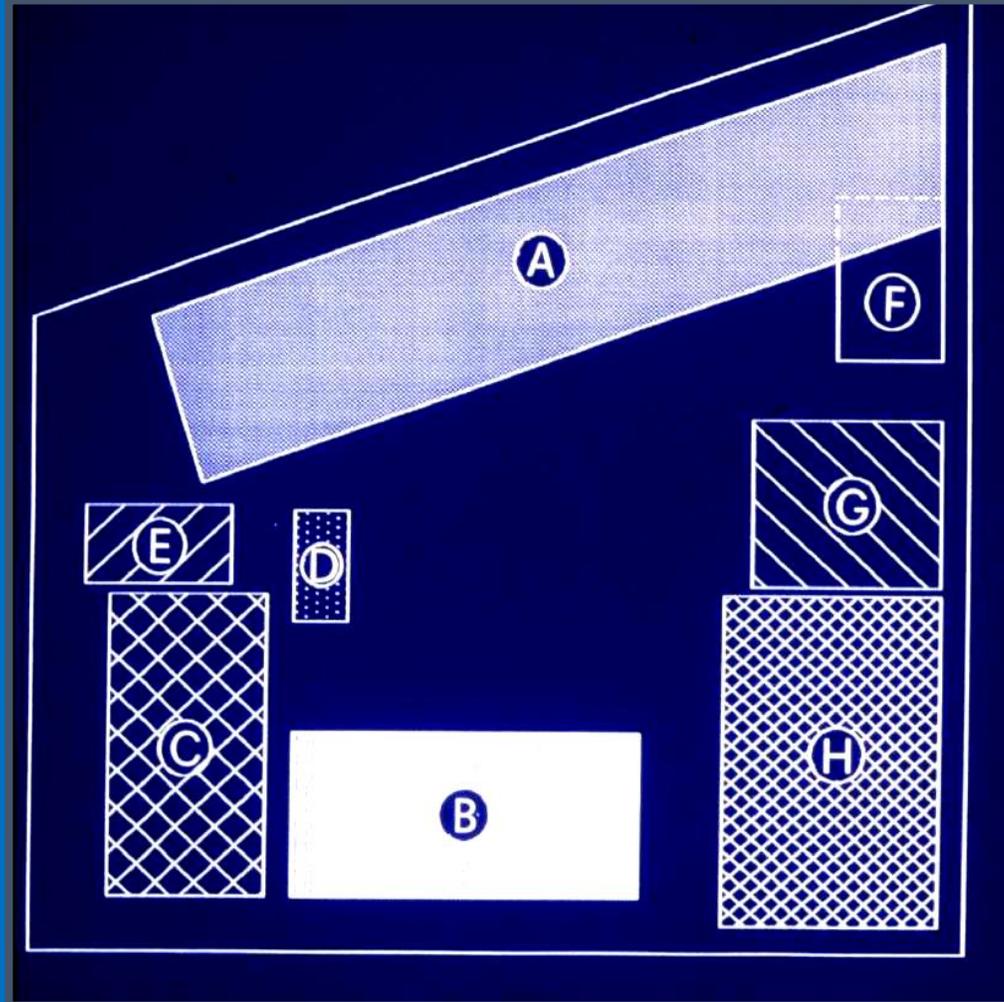
Caserma dei Vigli del Fuoco di Napoli

Progetto di adeguamento della caserma dei VV.FF. di Napoli sviluppato in forma preliminare dal Prof. Federico Mazzolani tra il 1979 e il 1980 (prima del terremoto del Novembre 1980) e realizzato in forma rivisitata tra il 1983 ed il 1985. Si tratta del primo intervento di adeguamento strutturale con isolamento sismico realizzato in Europa.



Vista dell'edificio "A" in costruzione

Distribuzione planimetrica



Corpo A: Autorimessa, alloggi, mensa

Corpo B: Colonna mobile

Corpo C: Officina

Corpo D: Castello di manovra

Corpo E: Centrale termoelettrica

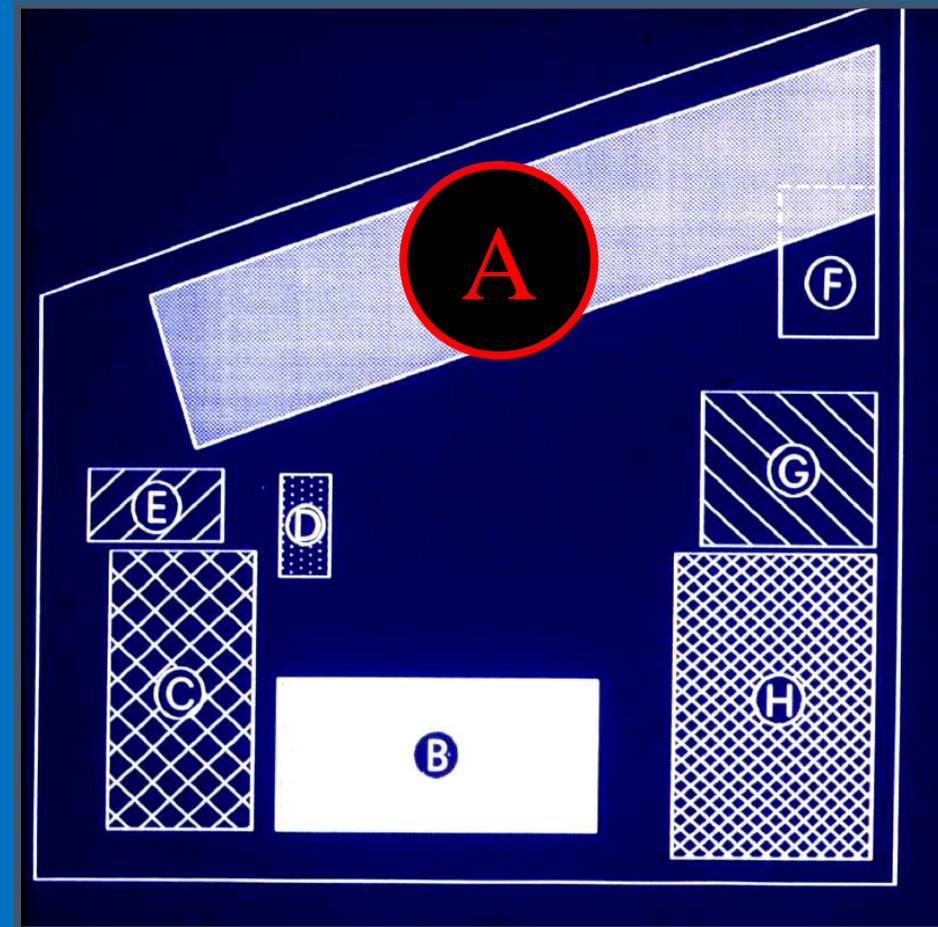
Corpo F: Corpo di guardia

Corpo G: Comando, uffici

Corpo H: Palestra

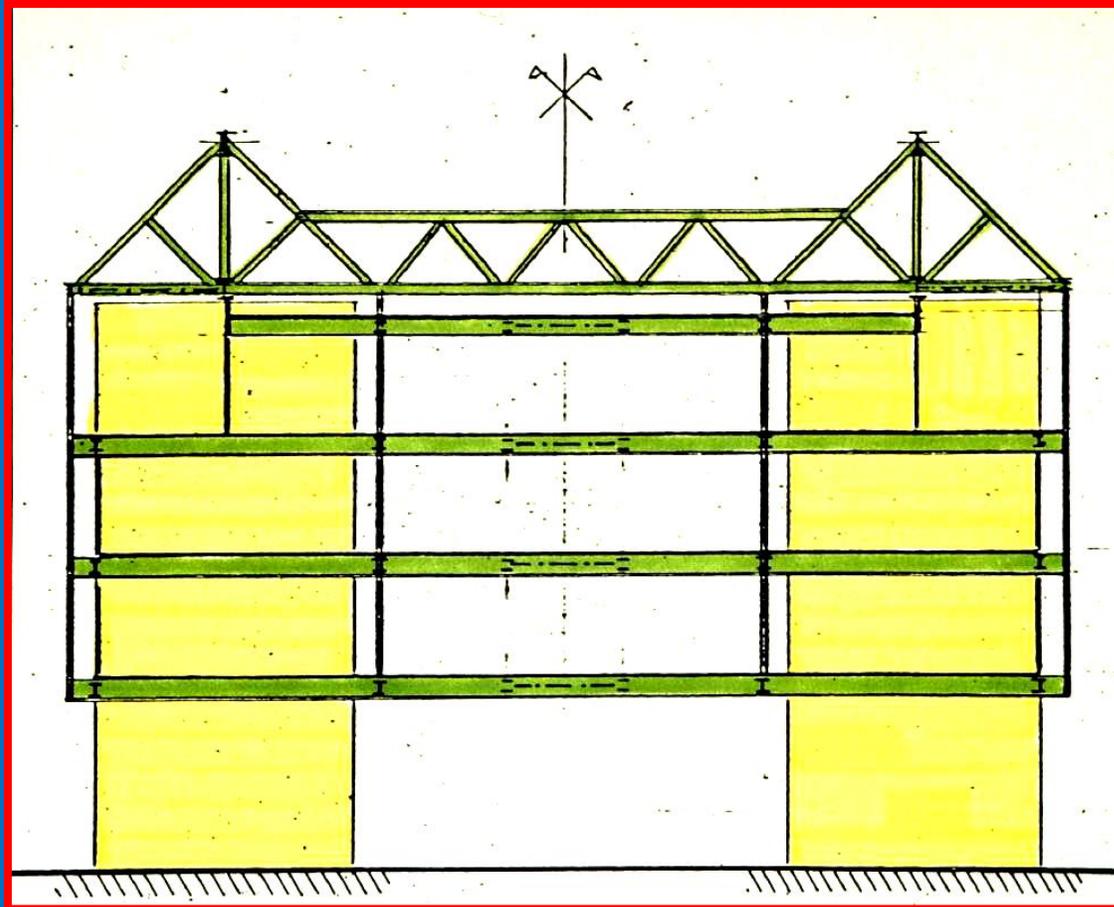
Corpo A:

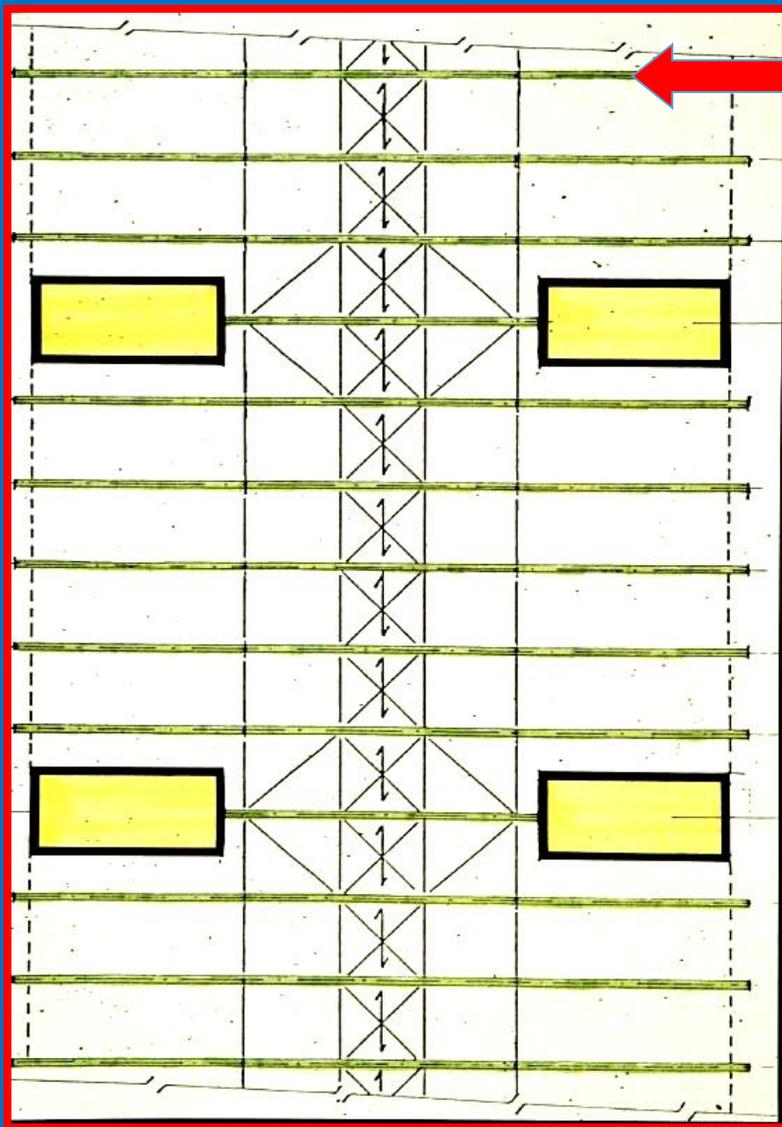
Autorimessa, alloggi, mensa



Il progetto di massima(1979)

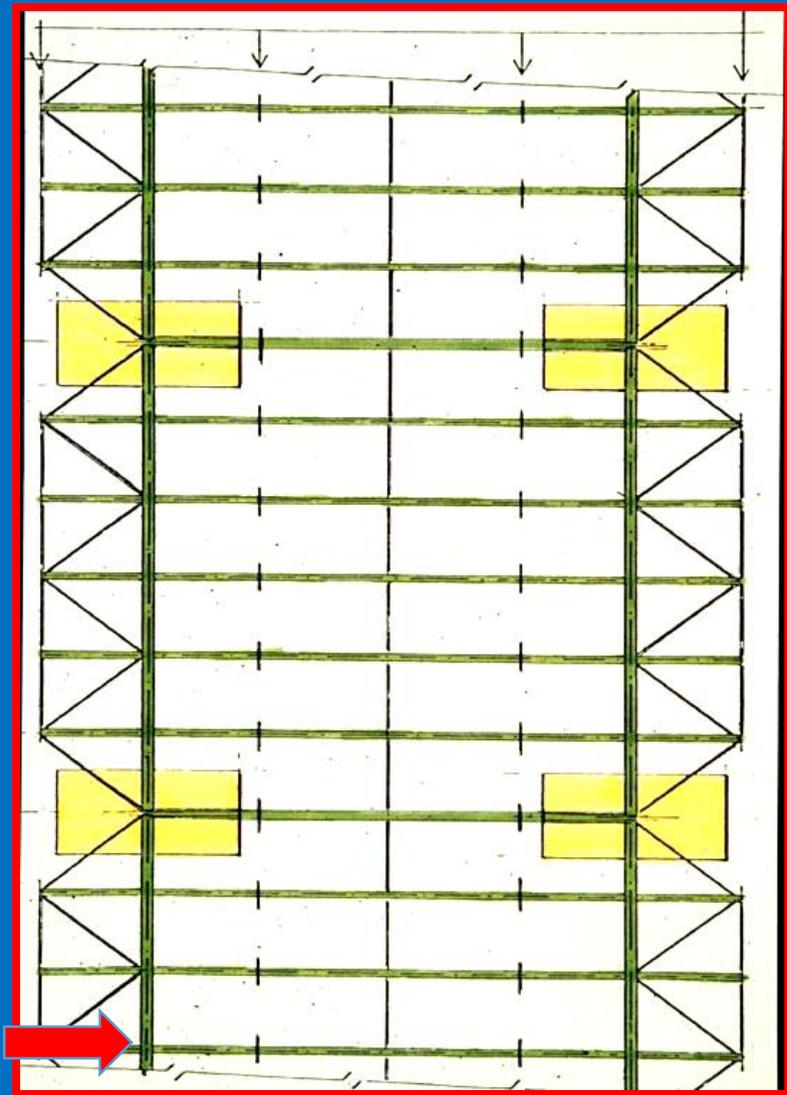
- **Corpo A: la necessità di avere spazi liberi da pilastri per il garage a piano terra**
- **Nasce l'idea di struttura sospesa**





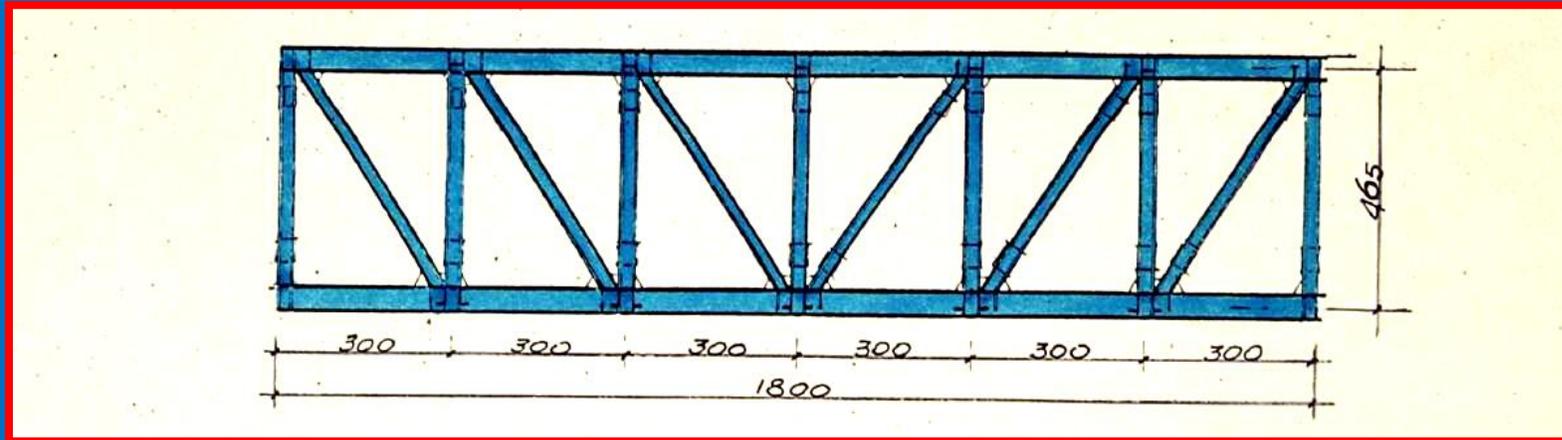
Carpenteria piano tipo

maglia
18x18 m

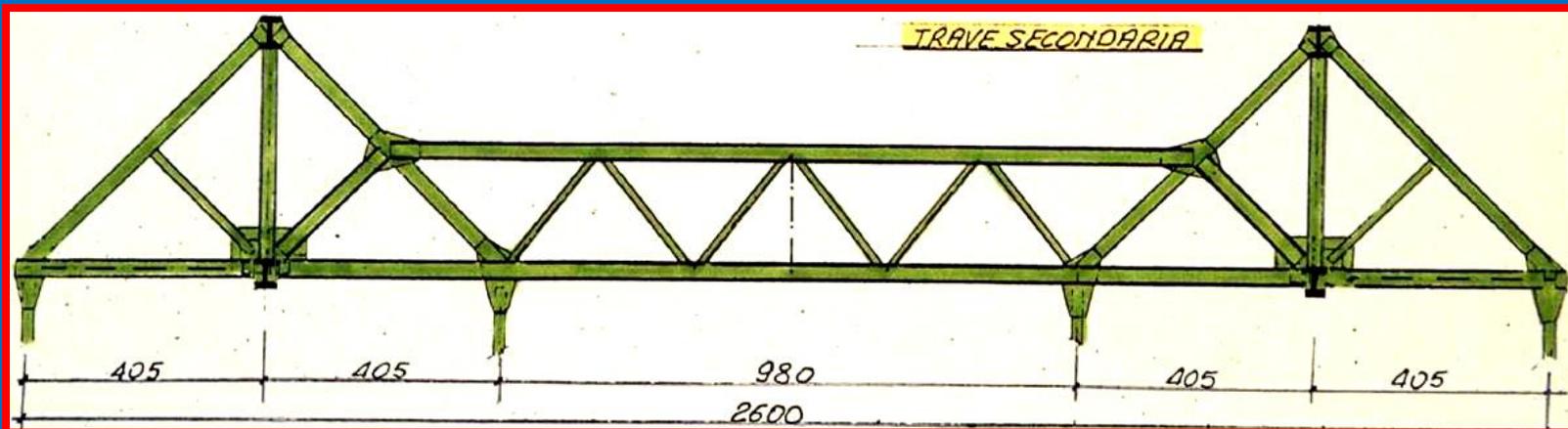


Carpenteria copertura

Le strutture di sospensione

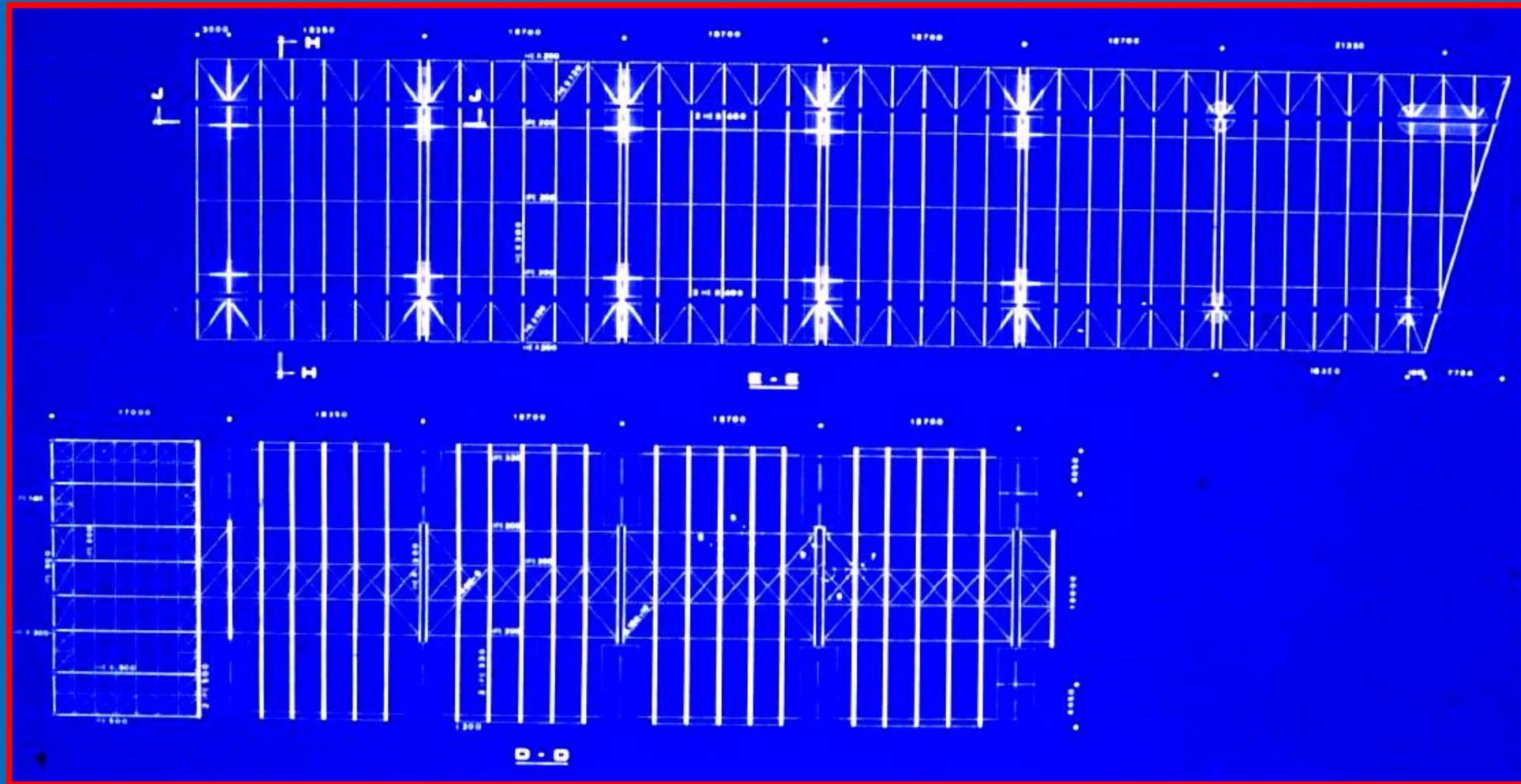


- Travata longitudinale



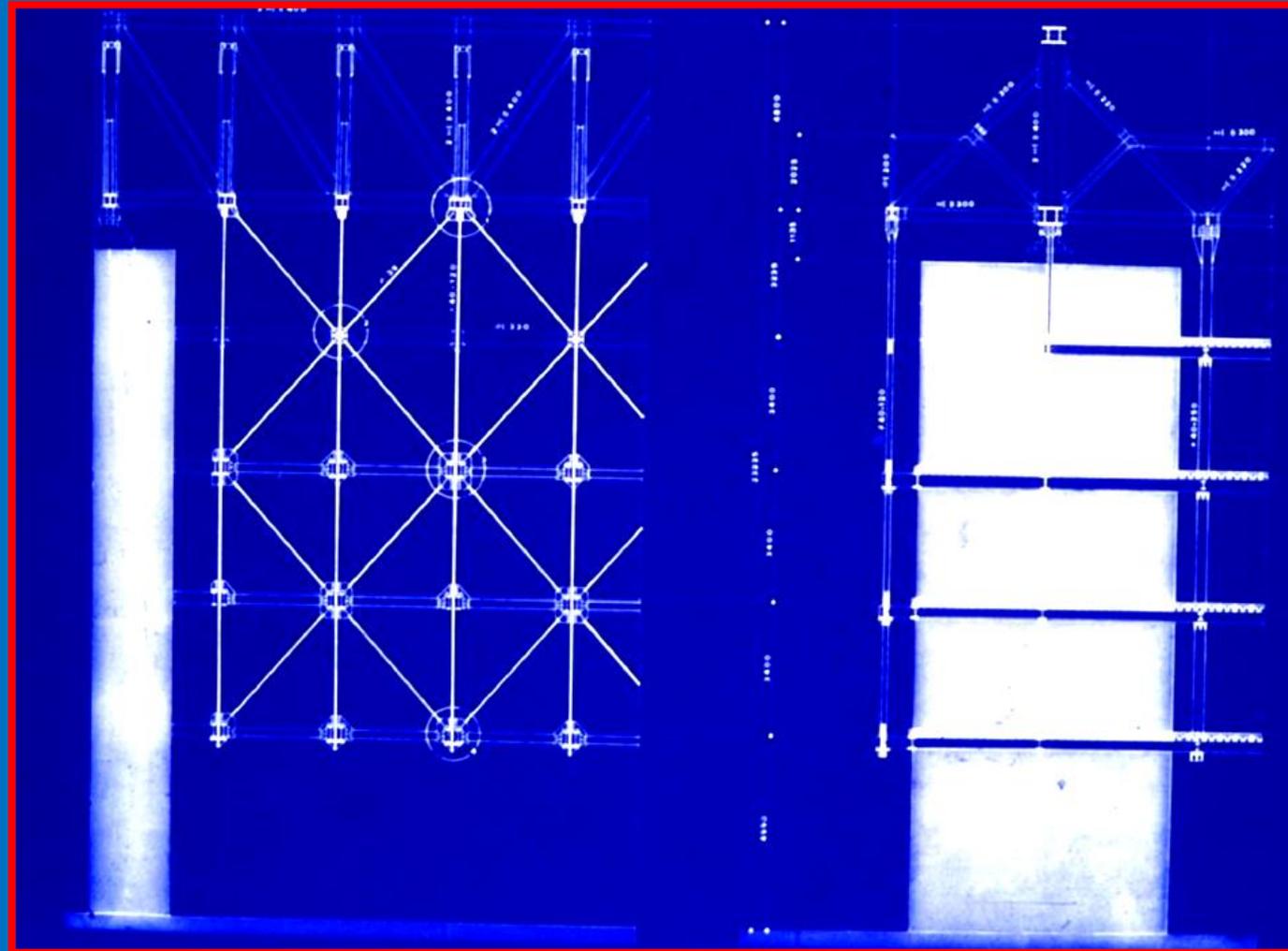
- Travata trasversale

Carpenterie

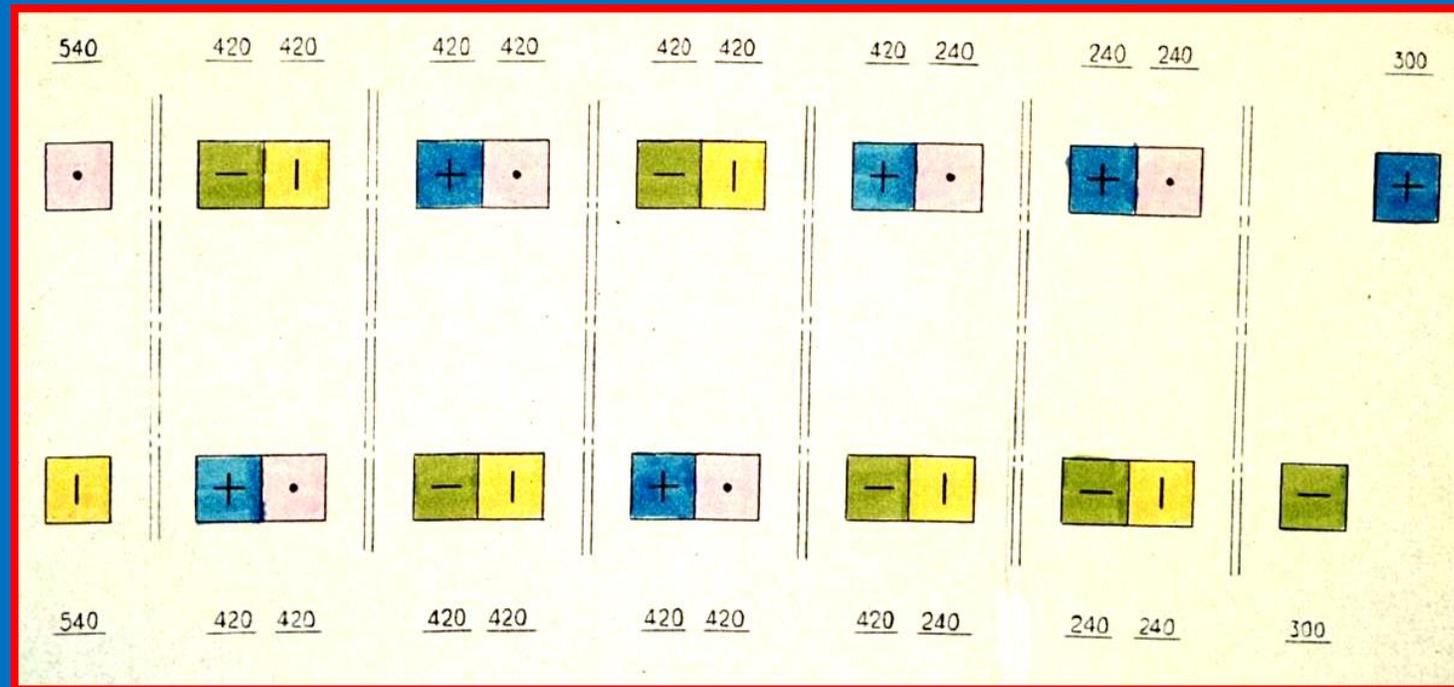


Piano tipo e copertura

Controventamento di facciata



Sistema di appoggio superiore



ton

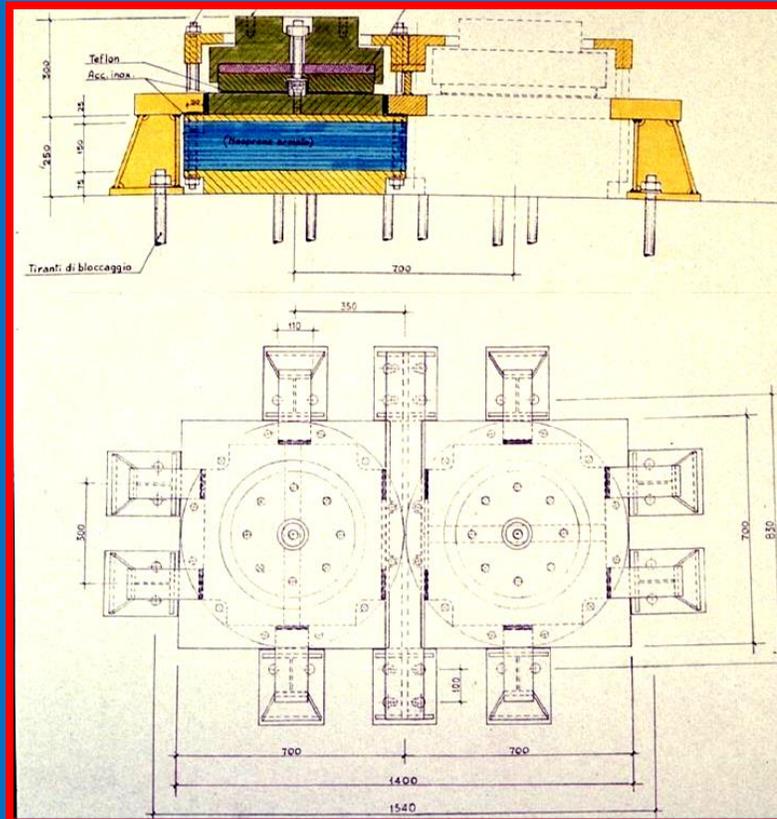
ton

- ▣ Cerniera fissa
- ▣ Carrello mono-direzionale
- ▣ Carrello pluri-direzionale

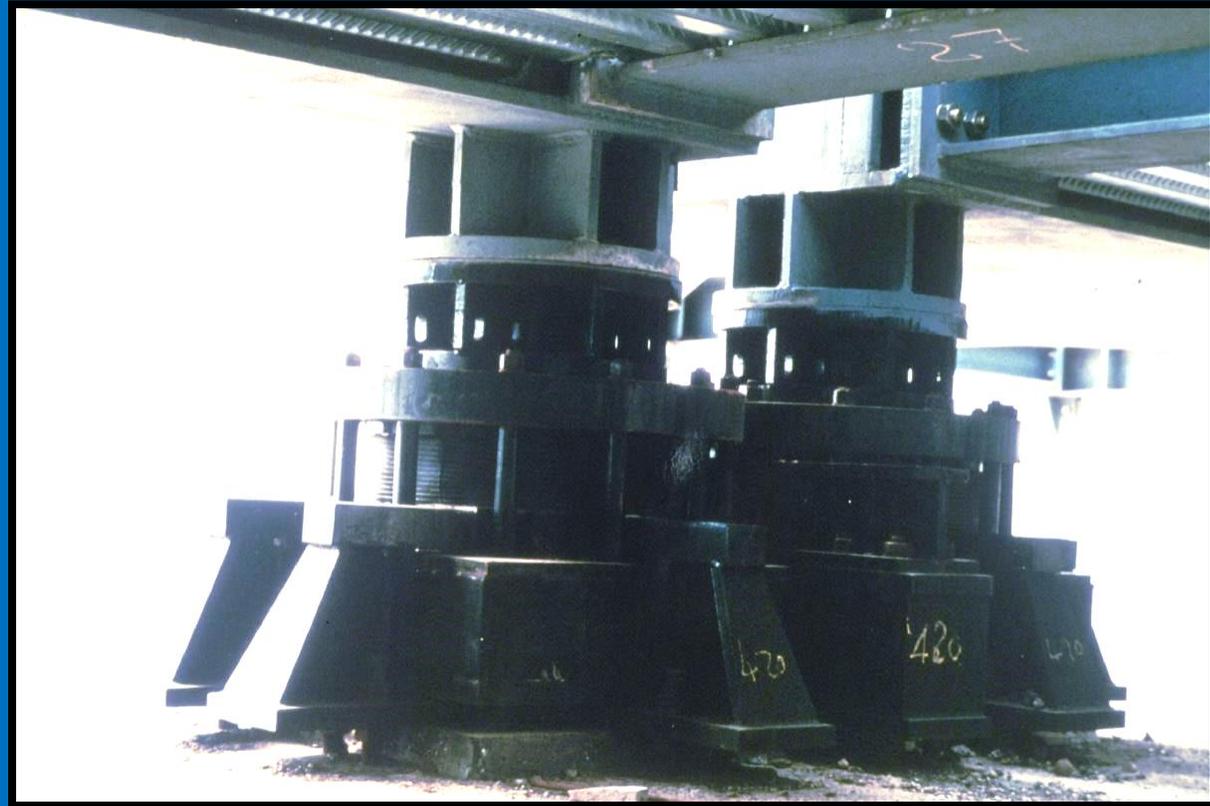
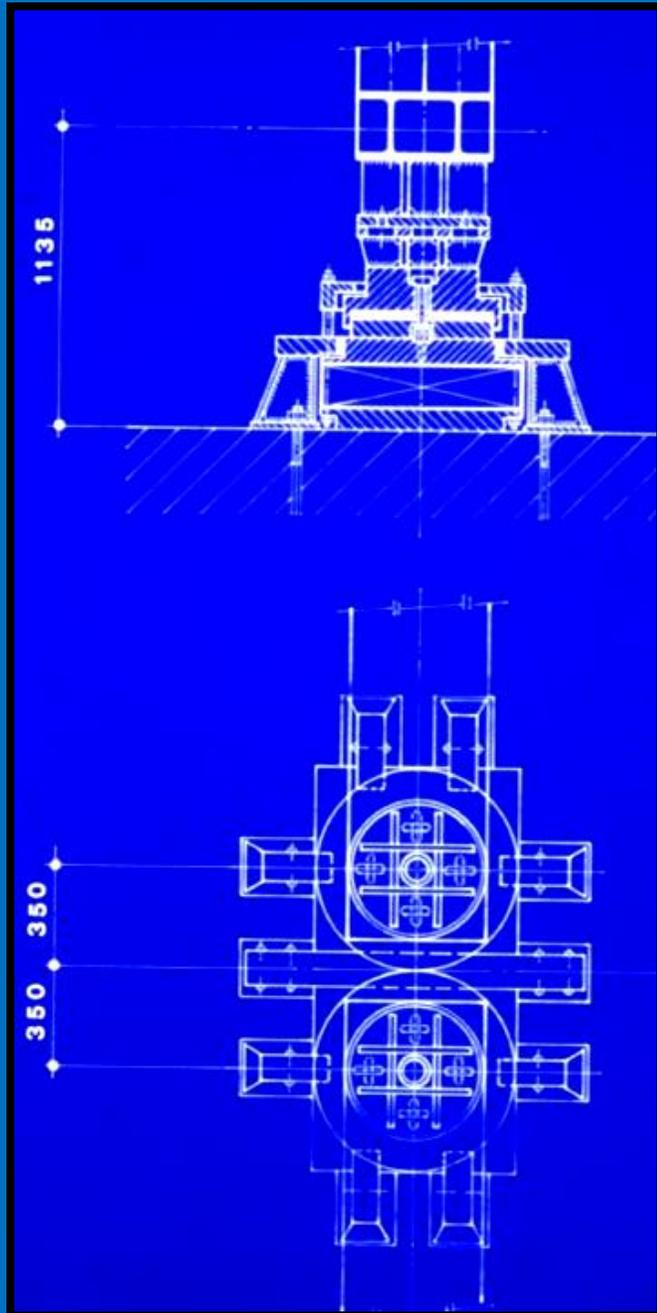
Appoggi antisismici in copertura

Parte superiore: condizioni di esercizio

Parte inferiore: condizioni sismiche

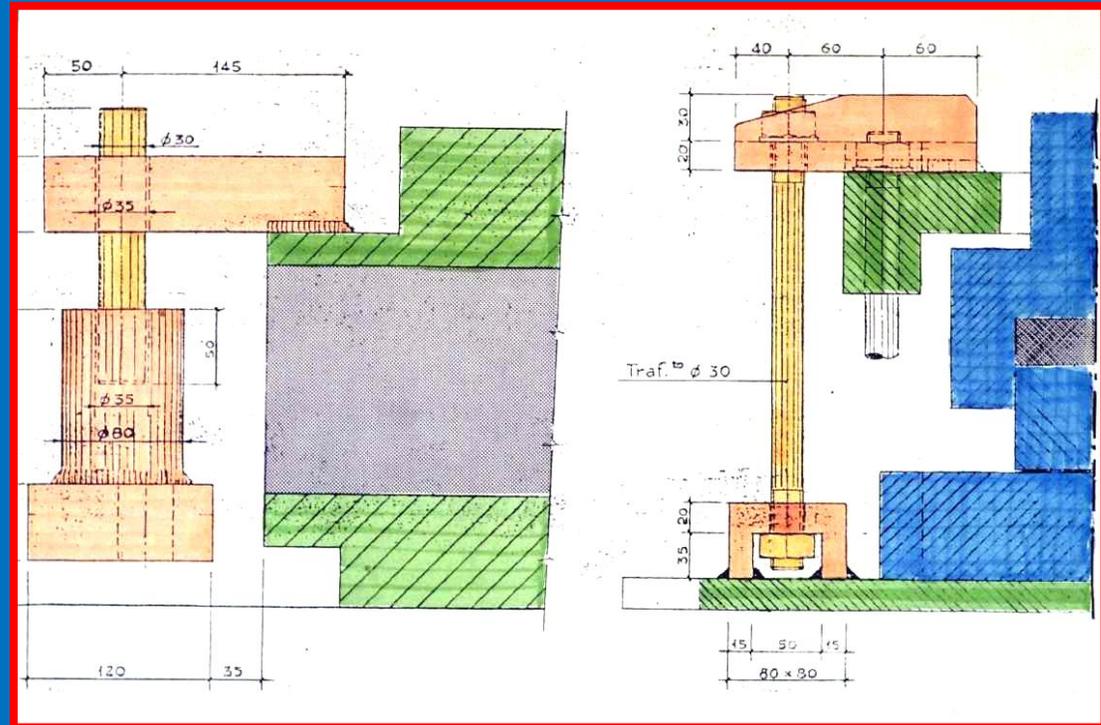
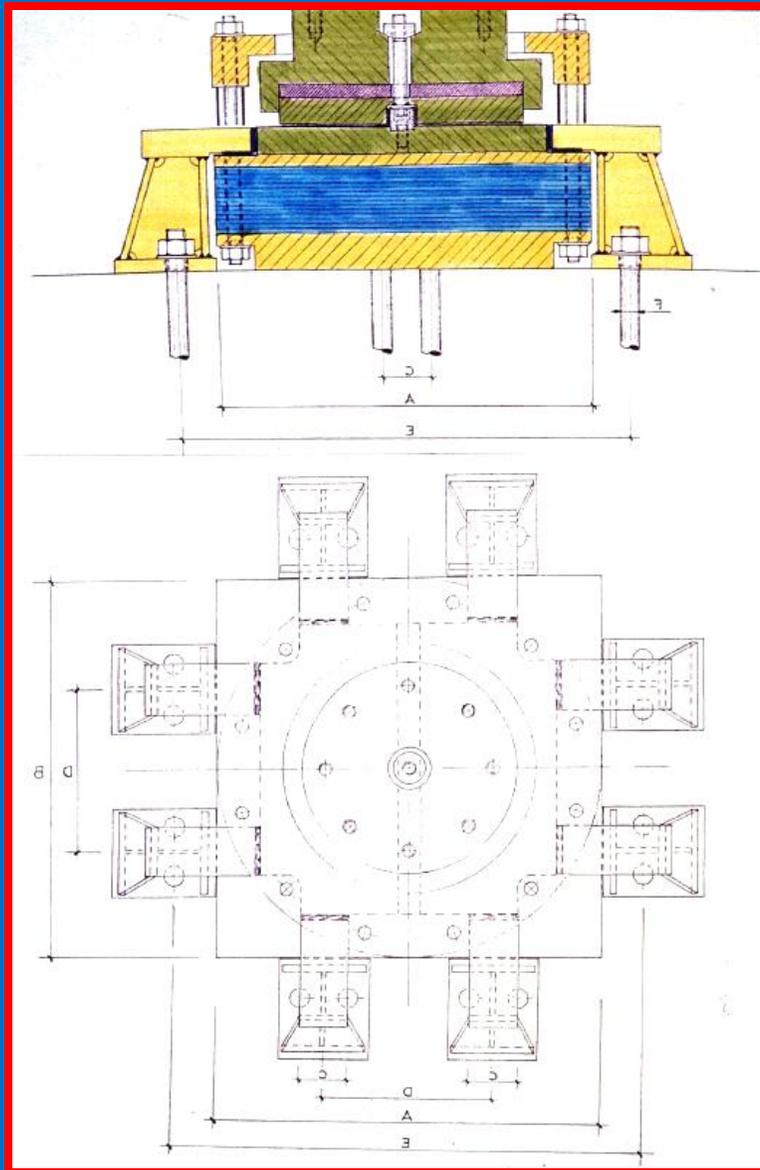


Appoggi antisismici in copertura



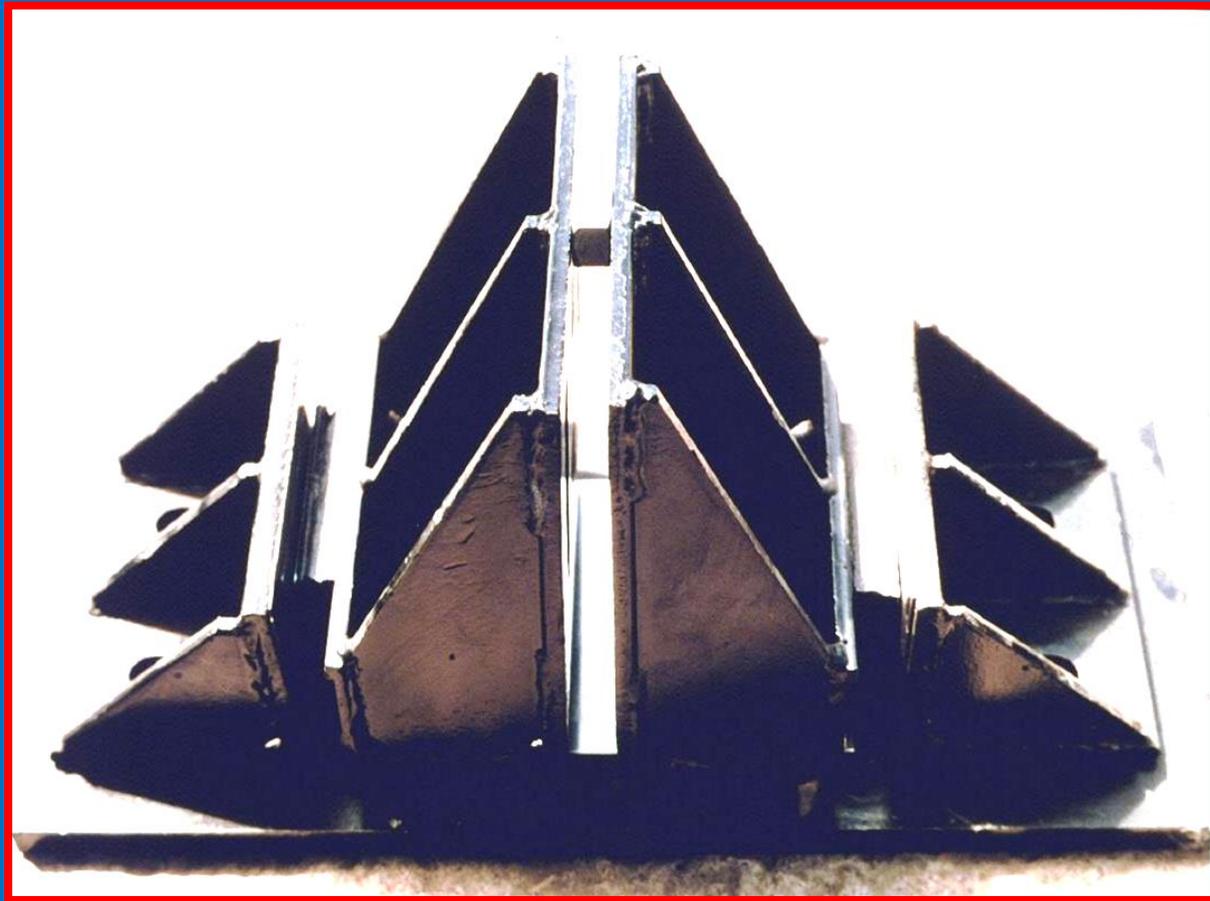
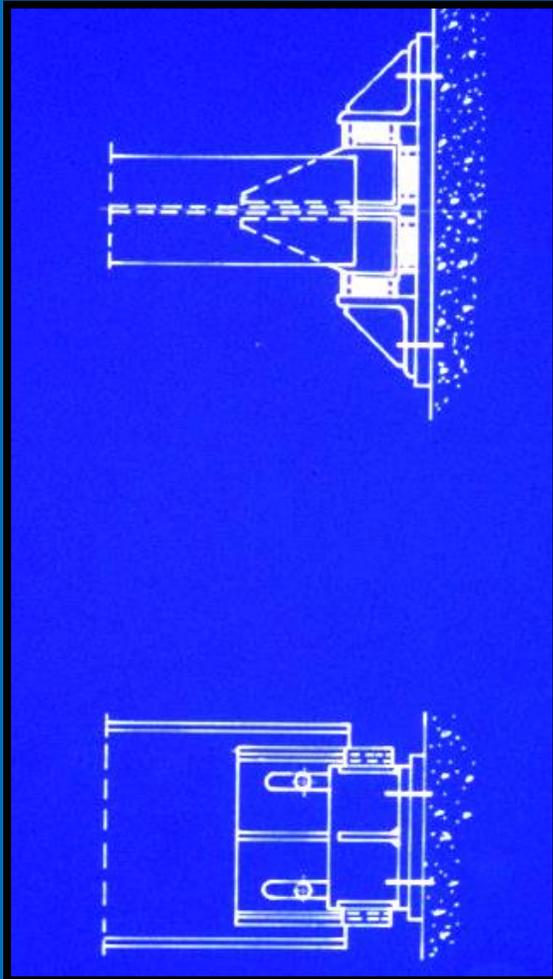
Appoggi antisismici in copertura

Dispositivi dissipativi :
“fusibili”

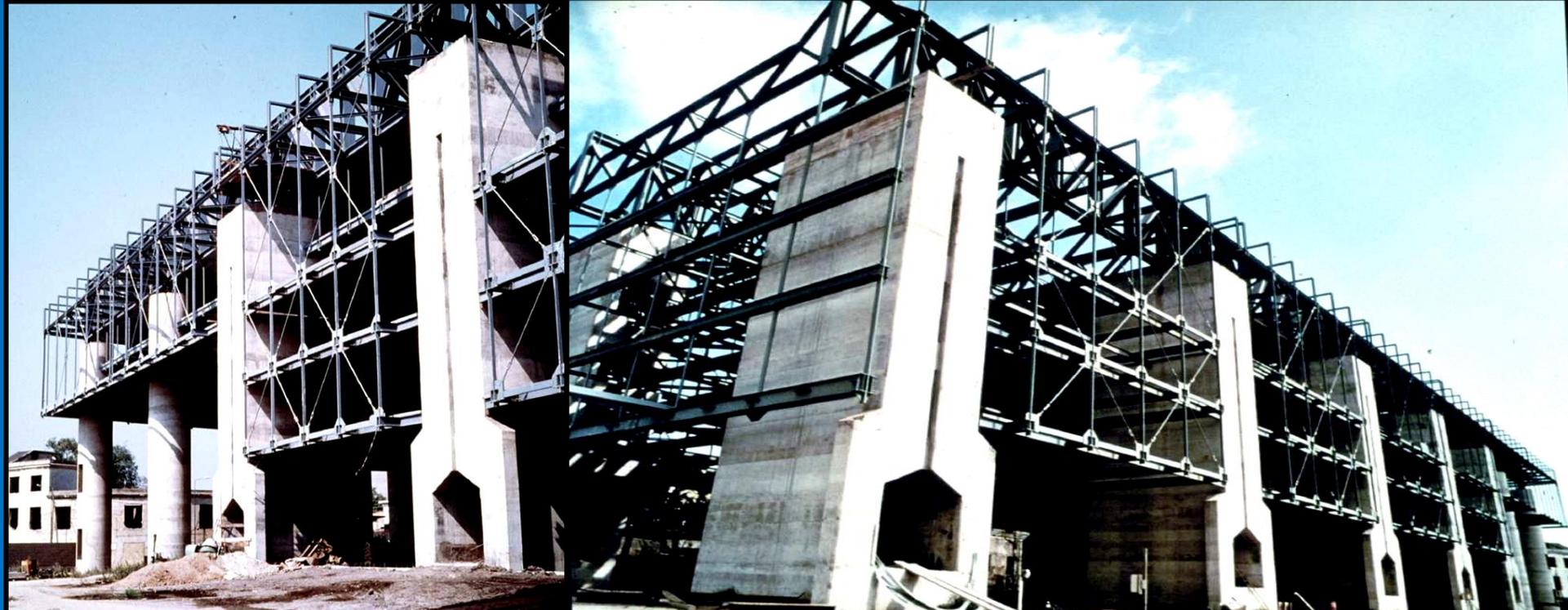


Dispositivi antisismici di piano

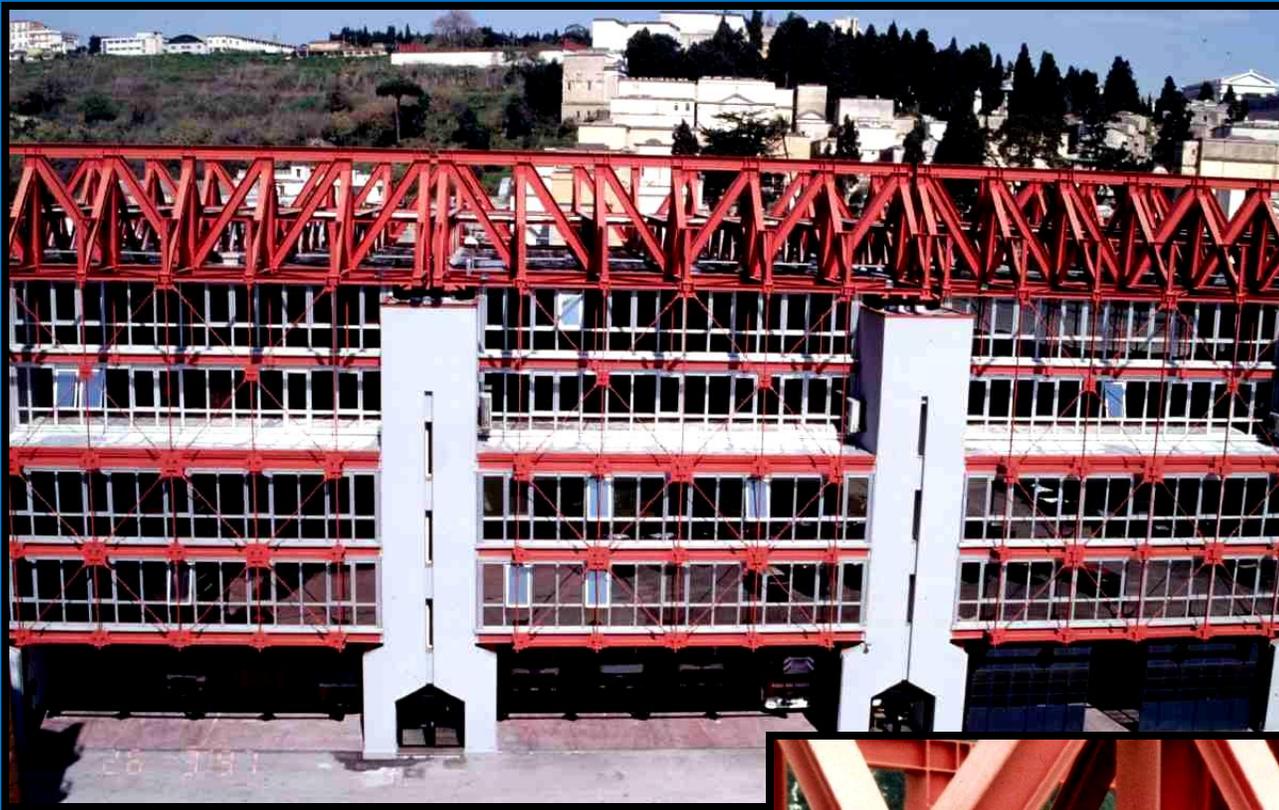
(per evitare il martellamento fra struttura sospesa in acciaio e nuclei in c.a.)



Costruzione struttura corpo A



1981-1987



Il primo esempio
in Italia e in
Europa
di controllo passivo



Il primo esempio di controllo passivo in Italia e in Europa



Grigliato
superiore
di sospensione

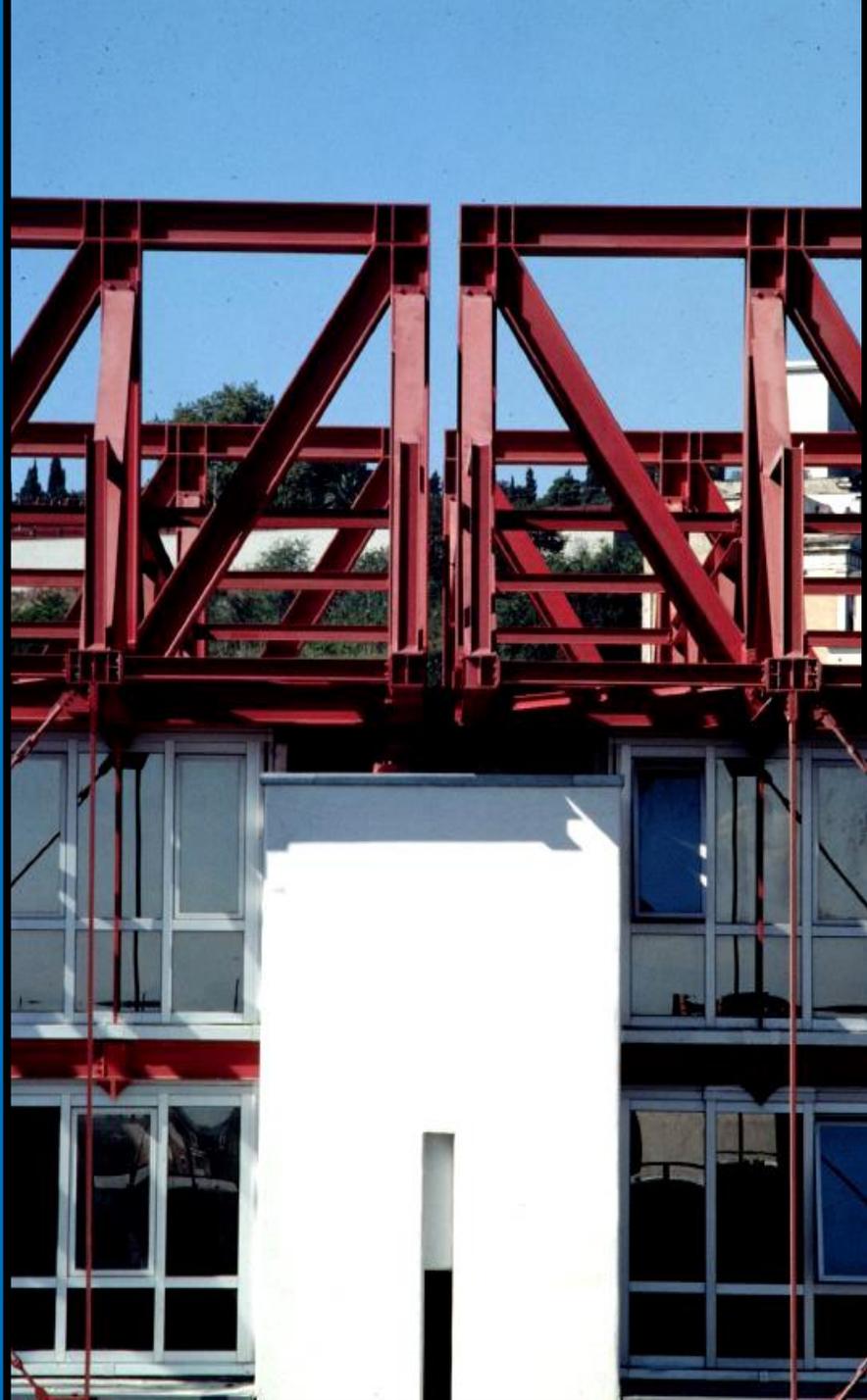


Dettagli



Gli appoggi antisismici del grigliato superiore





Gli appoggi antisismici
del grigliato superiore hanno lo
scopo di isolare la gabbia di
acciaio sospesa



Gli appoggi antisismici
ubicati al di sopra dei
nuclei in c.a.

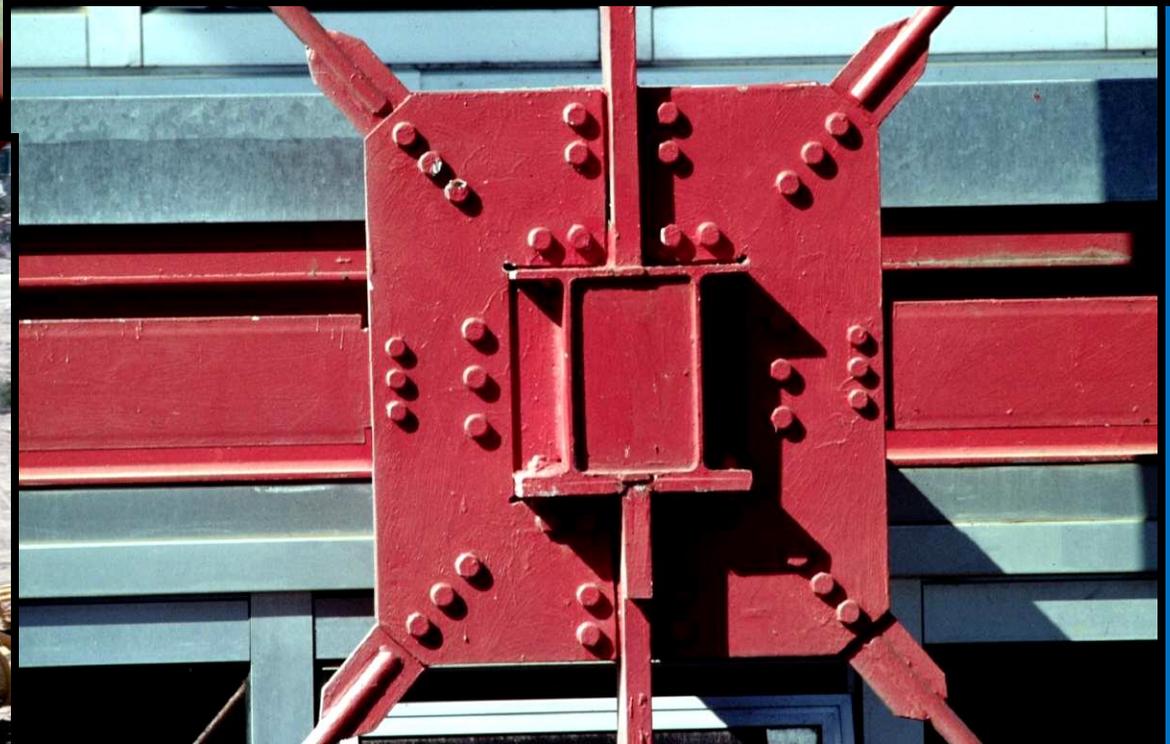


Il garage a piano terra
libero da pilastri
secondo la maglia
18x18 metri



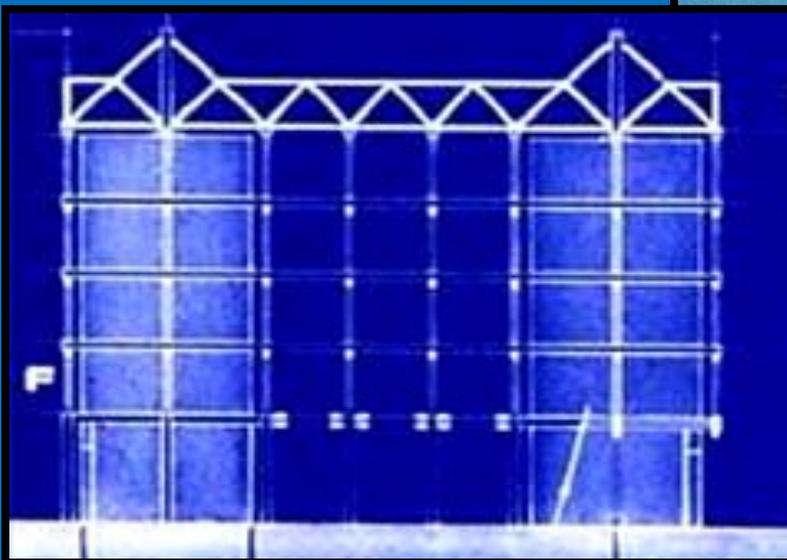


I nodi del controvento di facciata

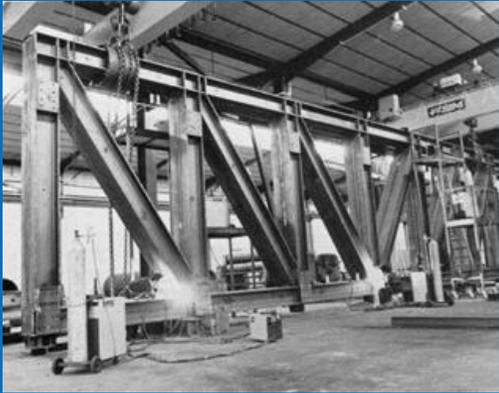




La facciata lato ovest



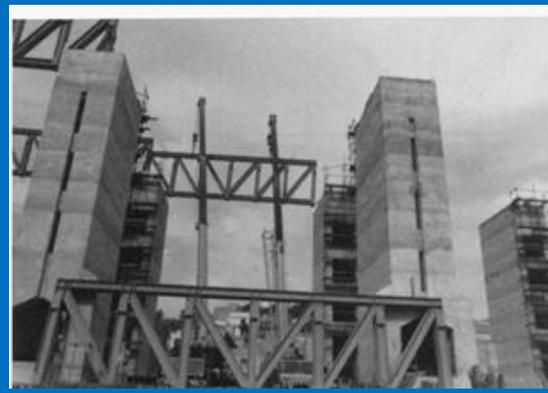
Fasi della messa in opera (1/2)



Fabbricazione della trave principale in officina



Trasporto della trave principale



Sollevamento della trave principale sui nuclei in c.a.



Connessione della trave principale sui vincoli



Collegamento della trave trasversale a quella principale (vista globale)



Collegamento della trave trasversale a quella principale (dettaglio)

Fasi della messa in opera (2/2)



Dettaglio della sospensione superiore



Controventi di facciata



Dettaglio del collegamento tra le travi reticolari



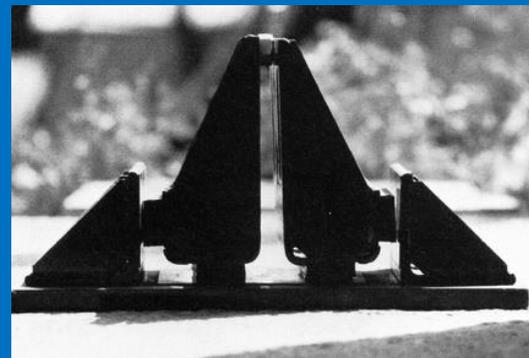
Solai sostenuti da tiranti in acciaio e collegate alle travi reticolari trasversali



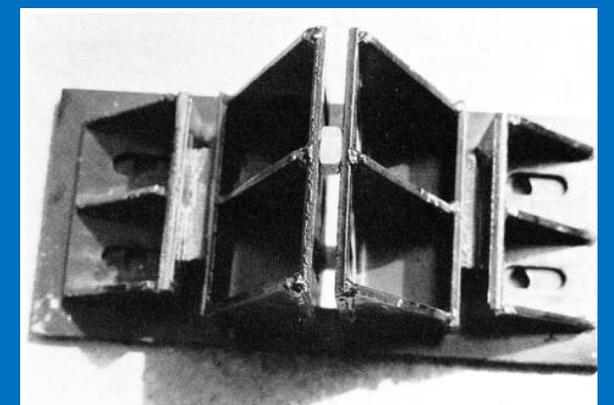
Impalcati di piano visti dal basso



Vista del doppio dispositivo di vincolo tra due maglie strutturali adiacenti



Dispositivo utilizzato per evitare effetti martellanti tra i nuclei e i piani sospesi (vista laterale)



Dispositivo utilizzato per evitare effetti martellanti tra i nuclei e i piani sospesi (vista nel piano)

Edificio in C.A. a Bagnoli (Napoli)

Interventi di adeguamento sismico realizzati su un edificio ubicato nell'ex area industriale ILVA di Bagnoli (NA), realizzato alla fine degli anni '70 e progettato senza tener conto delle azioni sismiche. Si analizzano due diverse tecniche di adeguamento:

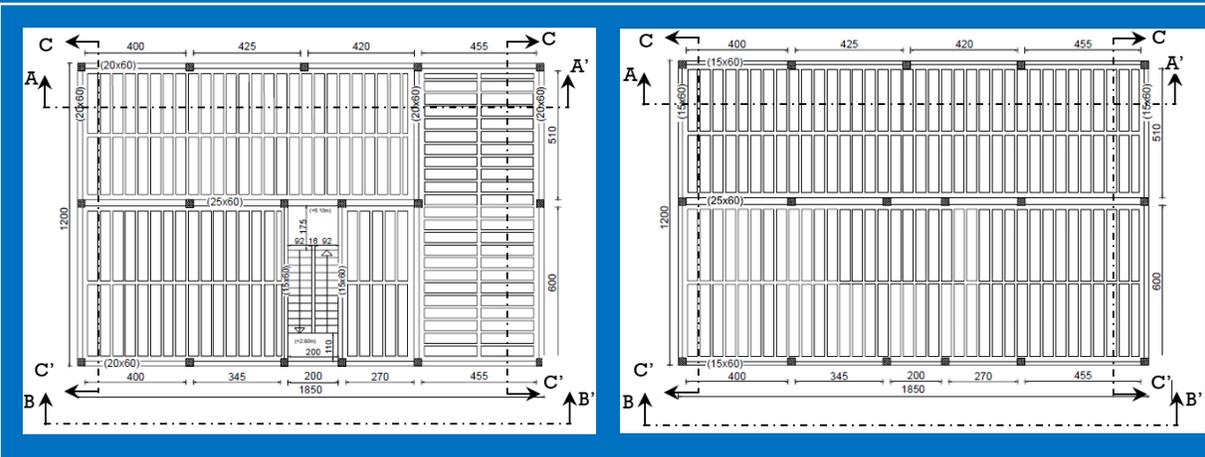
- rinforzo strutturale mediante fasciature in materiali compositi FRP
- rinforzo mediante inserimento di controventi ad instabilità impedita (BRB).

Studio comparativo coordinato dal Prof. Mazzolani.

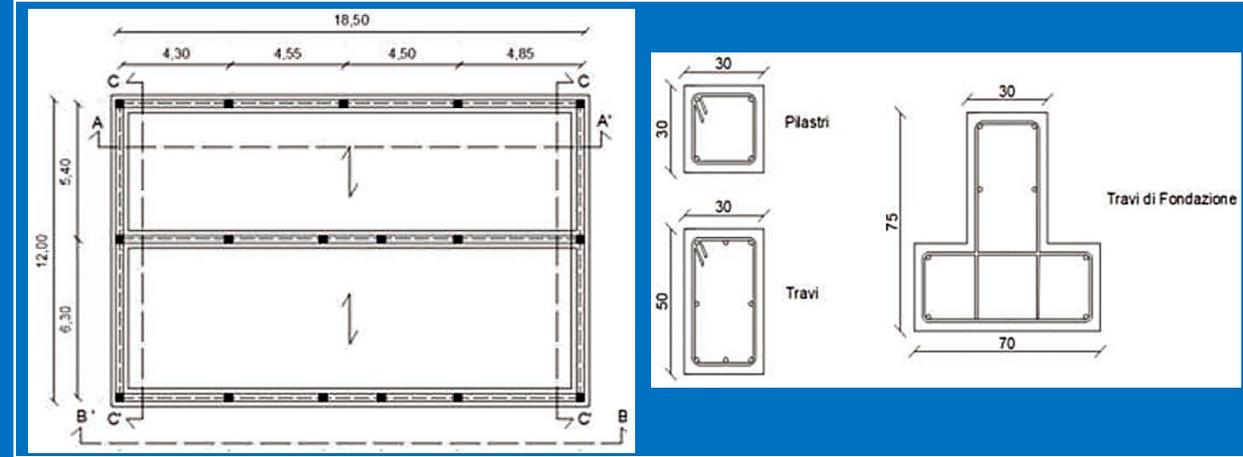


Vista dell'edificio oggetto di studio

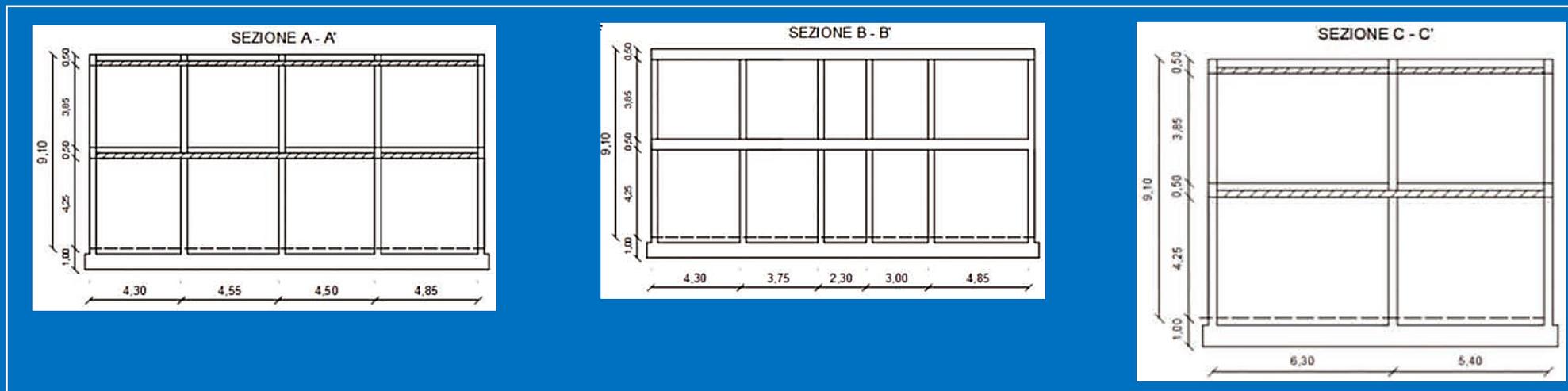
Descrizione della struttura



Pianta primo e secondo impalcato



Pianta fondazioni, sezioni pilastri, travi e travi di fondazione



Sezioni trasversali

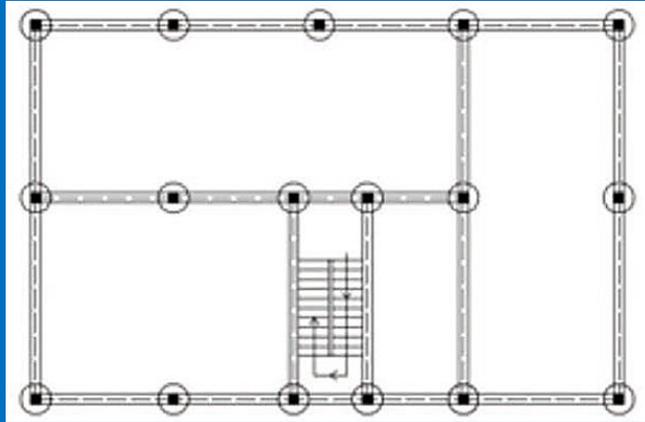
Inadempienze ed adeguamenti

Sono state riscontrate carenze in merito all'ancoraggio delle armature di acciaio, all'assenza di confinamento dei nodi ed all'eccentricità dei nodi travi -pilastri. Le staffe sono risultate carenti nel passo e non bene ancorate all'interno delle sezioni degli elementi strutturali.

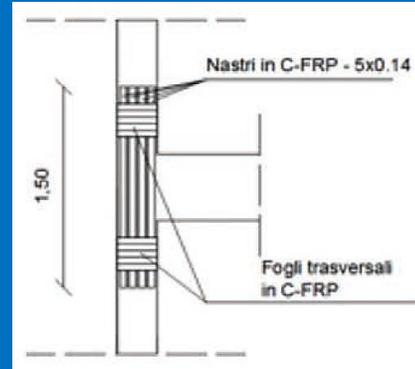
Un primo intervento di adeguamento progettato ha previsto l'inserimento di fasciature e rinforzi con fiocchi in materiale composito C-FRP, in corrispondenza di tutti i nodi strutturali presenti al primo ed al secondo livello. Tale intervento è stato finalizzato ad evitare la formazione di cerniere plastiche agli estremi dei pilastri.

I rinforzi adottati sono di due tipi: nastri (o fasciature) con modulo elastico di 170 GPa e fiocchi (o corde) unidirezionali aventi modulo elastico di 230 GPa .

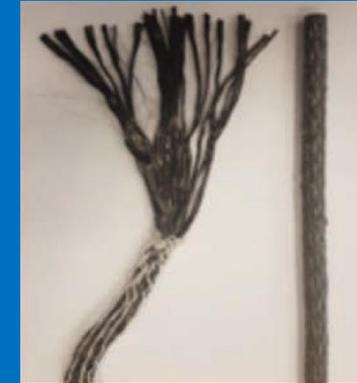
Interventi di adeguamento con C-FRP



Pilastri interessati dall'intervento con C-FRP

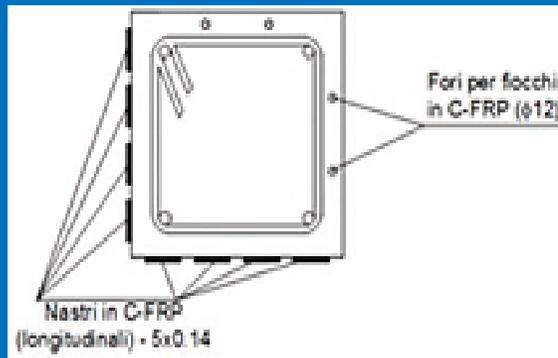


Rinforzo con C-FRP sulla faccia del pilastro

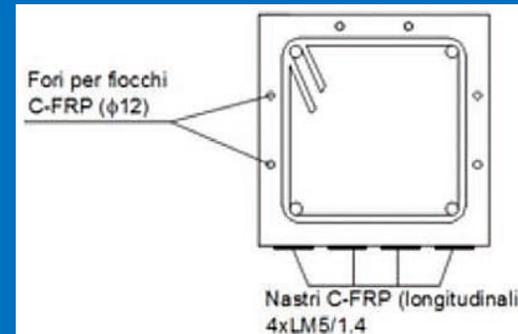


Particolare del fiocco e barra in C-FRP

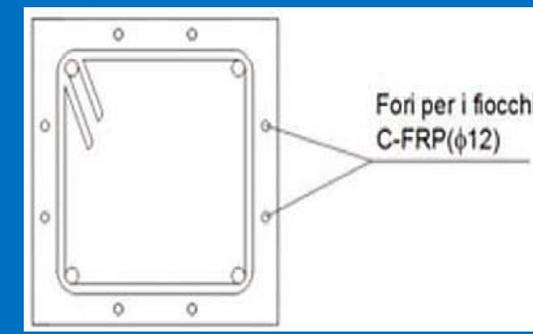
Rinforzo con C-FRP



pilastro d'angolo



pilastro perimetrale

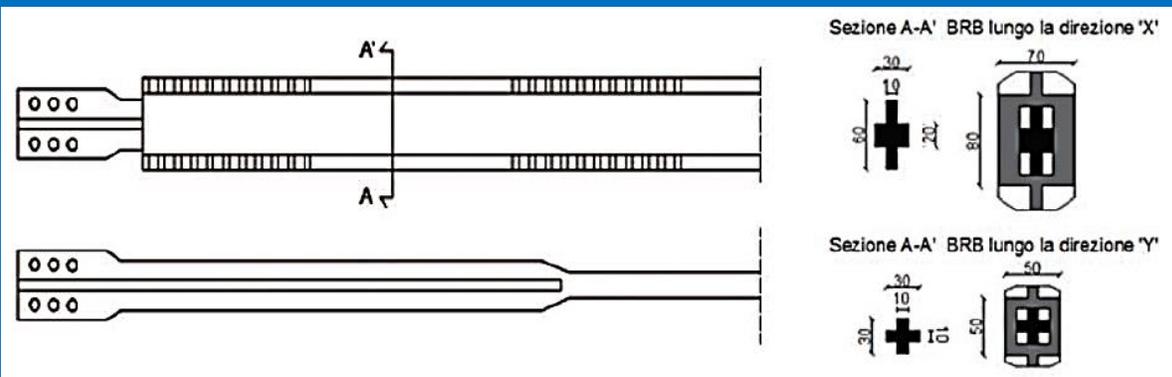


pilastro con 4 facce bloccate

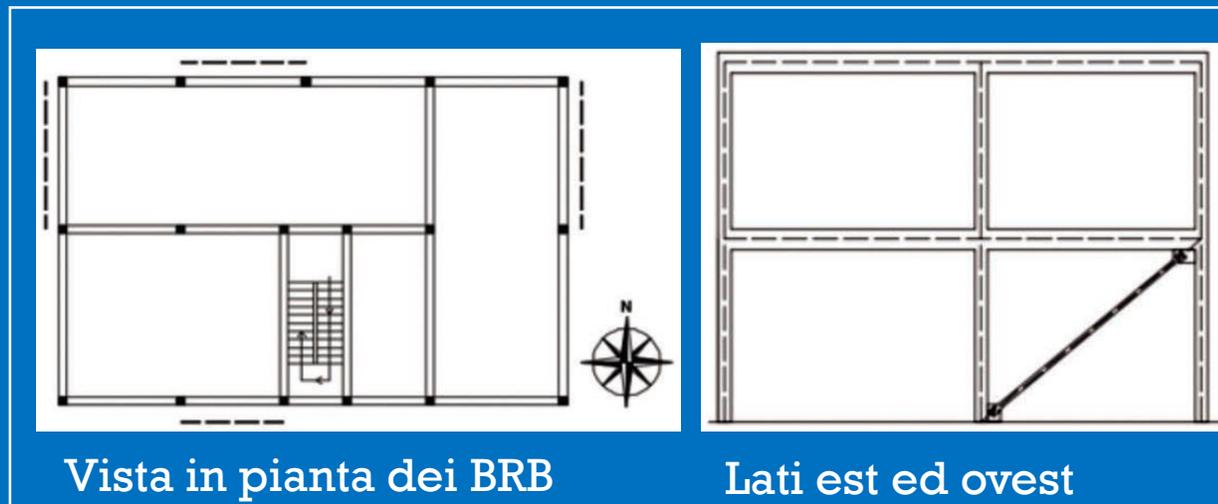
Particolari del rinforzo con C-FRP dei vari pilastri

Intervento di adeguamento con BRB

La seconda tecnica di rinforzo sismico progettata è consistita nell'inserimento di controventi dissipativi BRB realizzati interamente in acciaio (profilo esterno e nucleo)



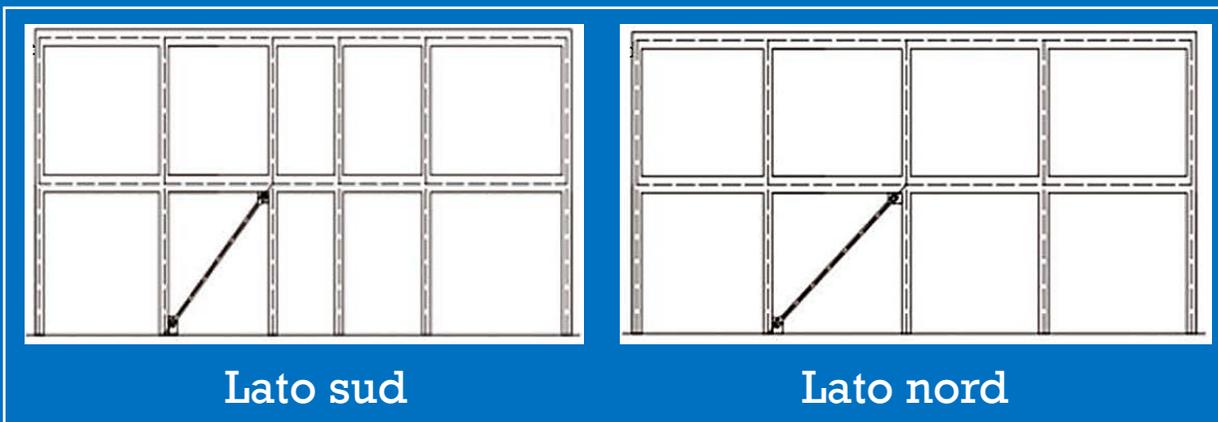
Dettaglio dei controventi dissipativi BRB



Vista in pianta dei BRB

Lati est ed ovest

Posizionamento dei BRB in pianta ed in sezione sui lati est ed ovest

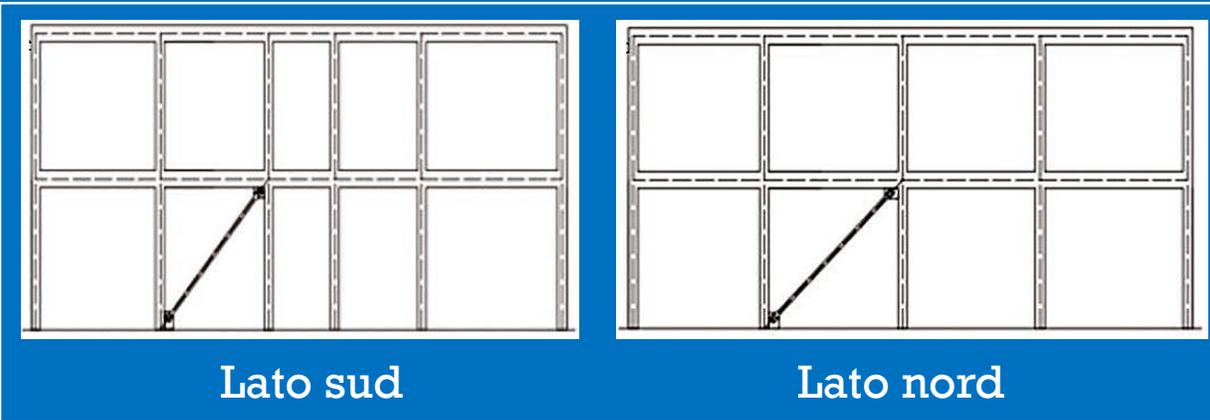


Lato sud

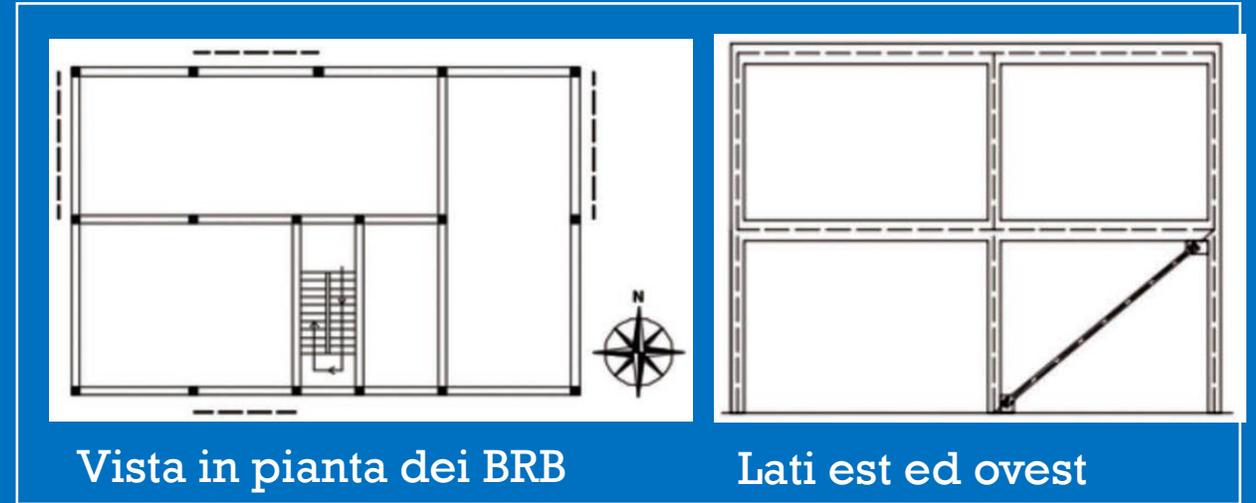
Lato nord

Posizionamento dei BRB in sezione sui lati sud e nord

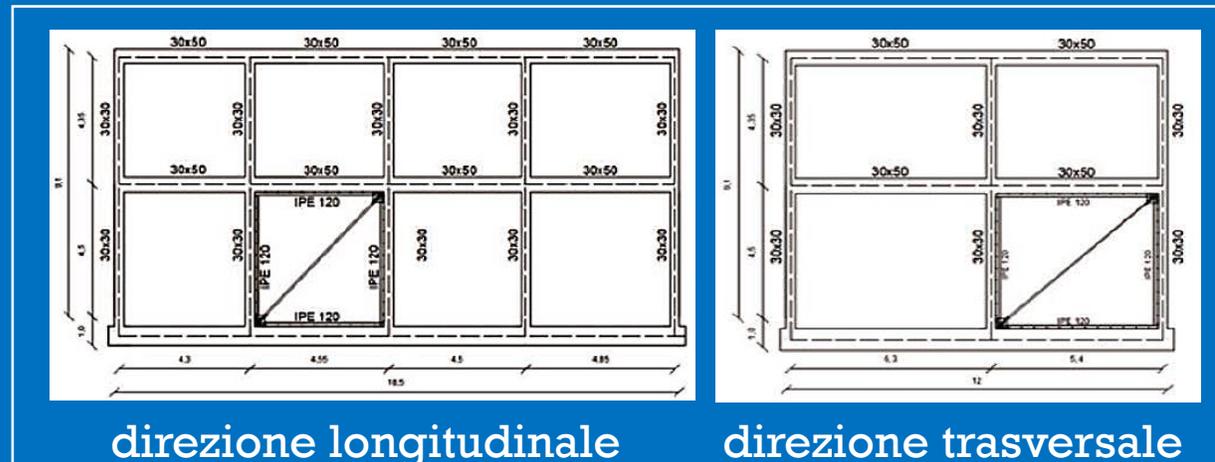
Disposizione dei controventi BRB



Posizionamento dei BRB in sezione sui lati sud e nord

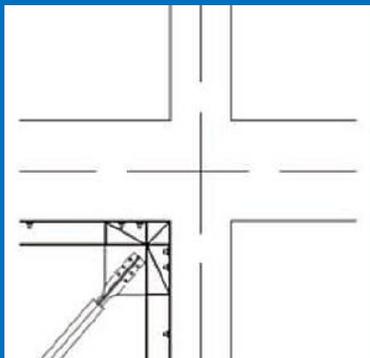


Posizionamento dei BRB in pianta ed in sezione sui lati est ed ovest

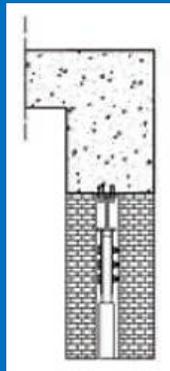


Posizionamento dei telai in acciaio e controventi BRB

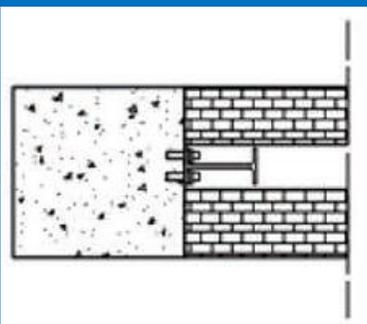
Dettagli dei collegamenti dei controventi BRB ai telai in CA



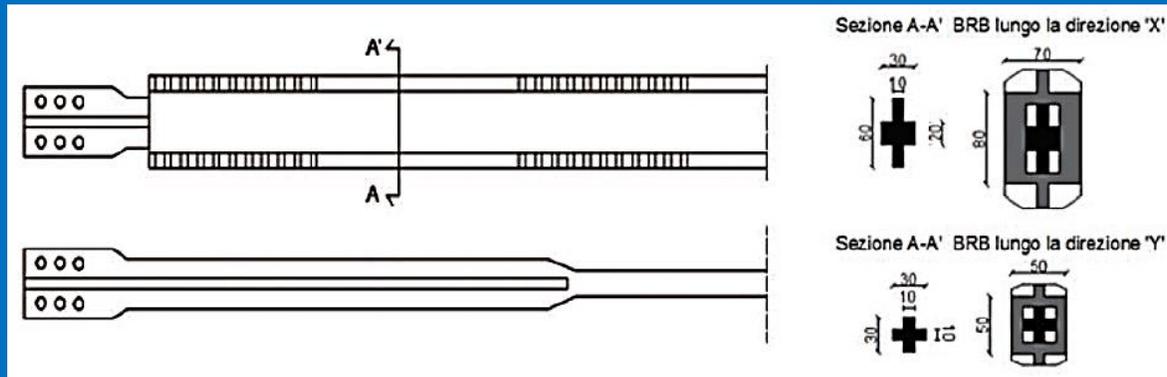
nodo trave-pilastro
e BRB



IPE120 trave in c.a.



IPE120 pilastro in c.a.

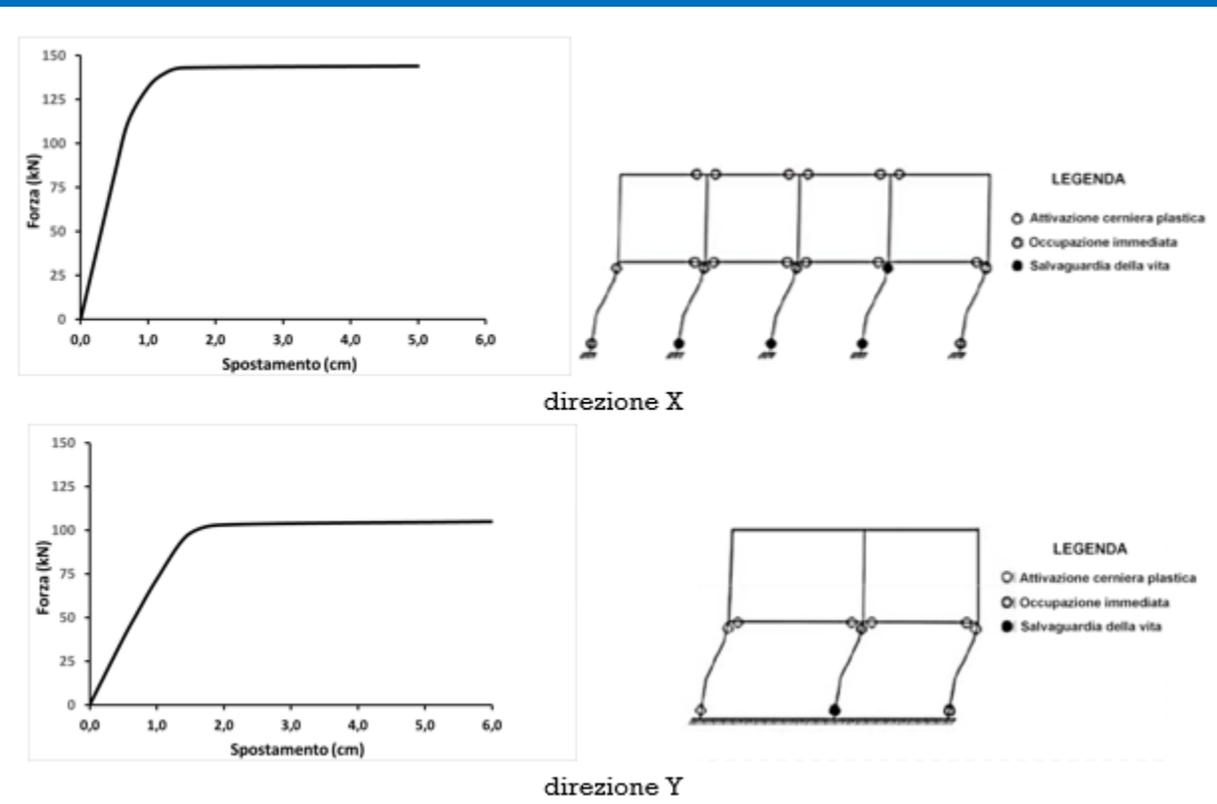


Dettaglio dei controventi dissipativi BRB

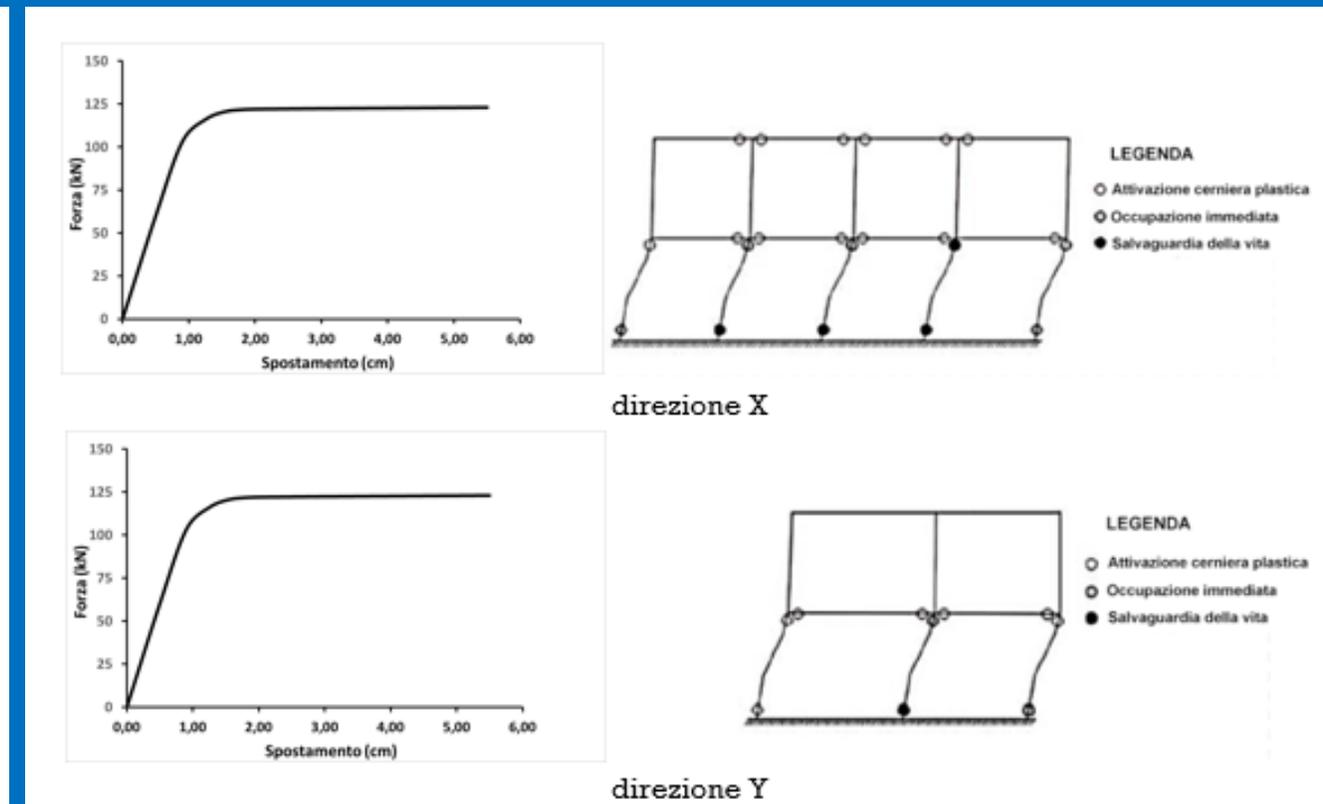
Progettazione e verifica agli elementi fniti del sistema di adeguamento

senza / con rinforzi	Modello			
	M1	M2	M3	M4
Senza rinforzi	Struttura con pilastri incastrati alla base	Struttura con travi di fondazione		
Rinforzi con C-FRP	Struttura con pilastri incastrati alla base	Struttura con travi di fondazione		
Rinforzi con BRB	Struttura con pilastri incastrati alla base	Struttura con travi di fondazione	Struttura con telaio di rinforzo e pilastri incastrati alla base	Struttura con telaio di rinforzo e travi di fondazione

Analisi pushover 1/4

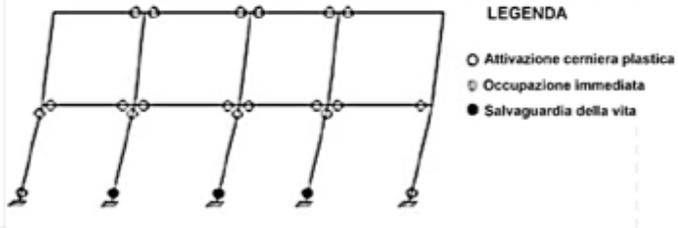
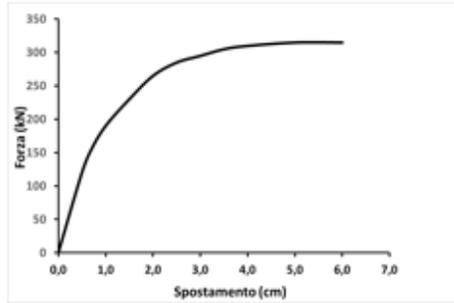


Modello M1 senza rinforzi

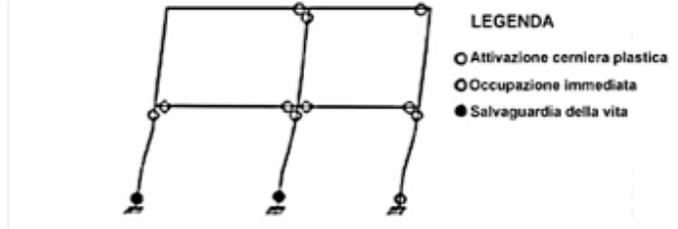
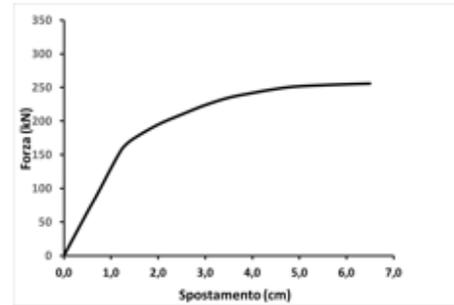


Modello M2 senza rinforzi

Analisi pushover 2/4

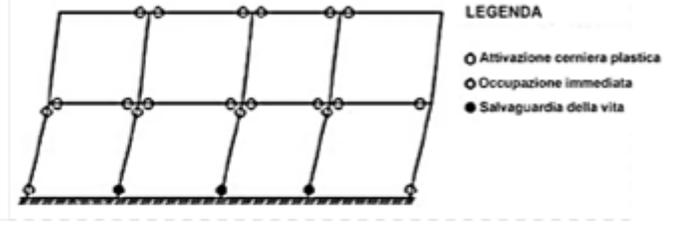
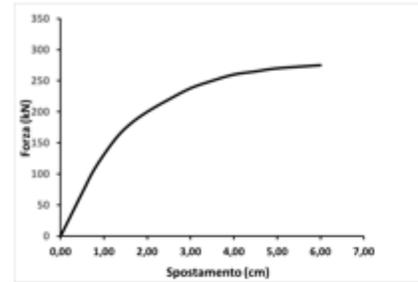


direzione X

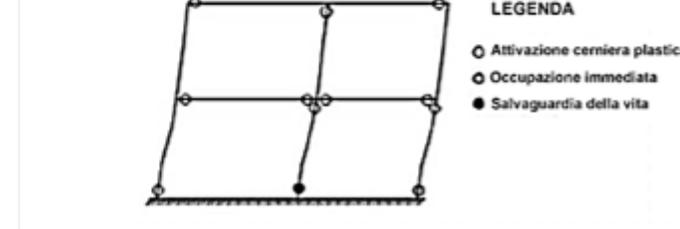
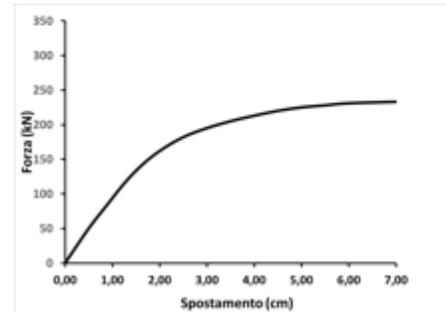


direzione Y

Modello M1 con rinforzi in FRP



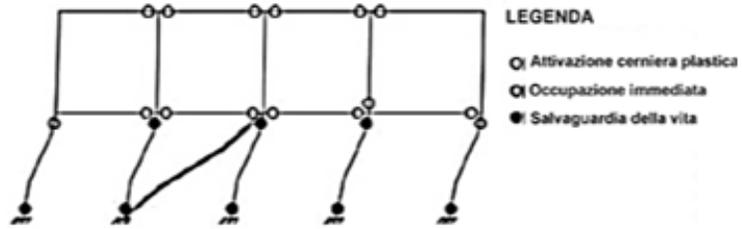
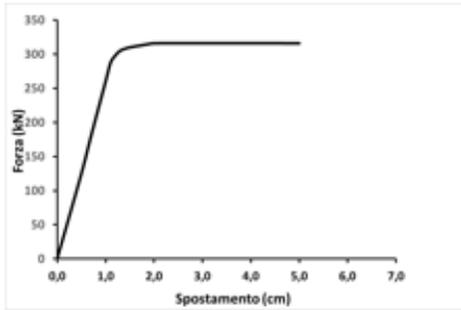
direzione X



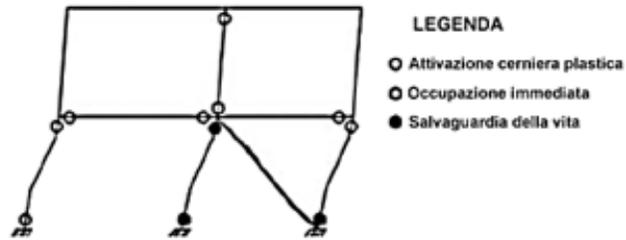
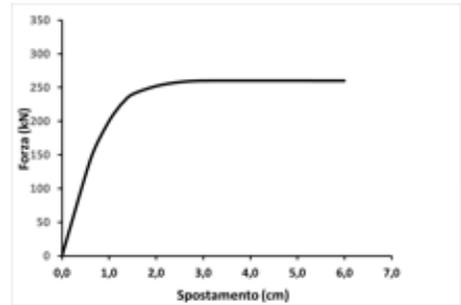
direzione Y

Modello M2 con rinforzi in FRP

Analisi pushover 3/4

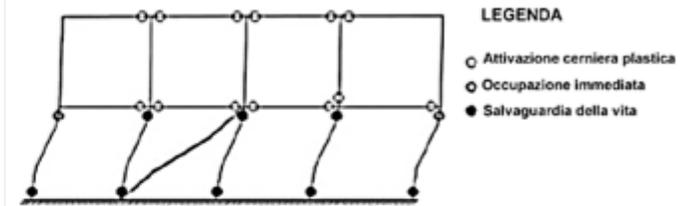
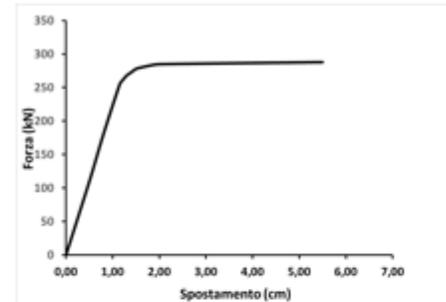


direzione X

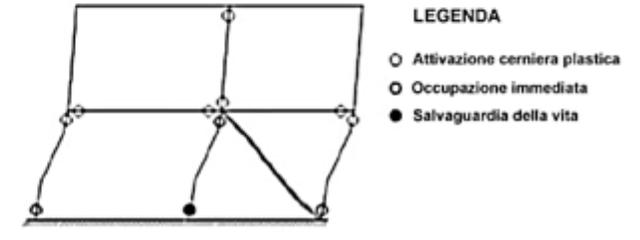
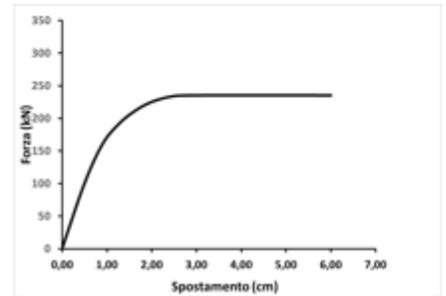


direzione Y

Modello M1 con controventi BRB



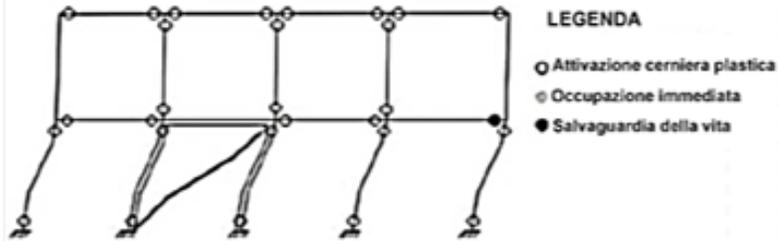
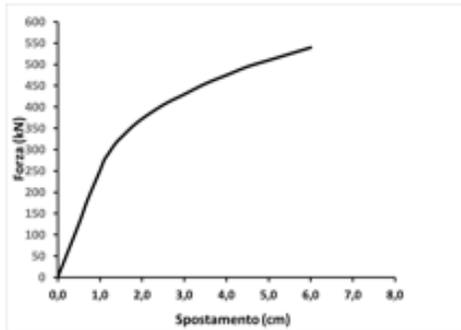
direzione X



direzione Y

Modello M2 con controventi BRB

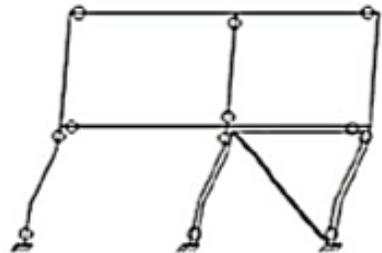
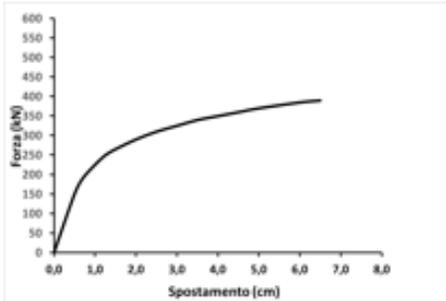
Analisi pushover 4/4



LEGENDA

- Attivazione cerniera plastica
- Occupazione immediata
- Salvaguardia della vita

direzione X

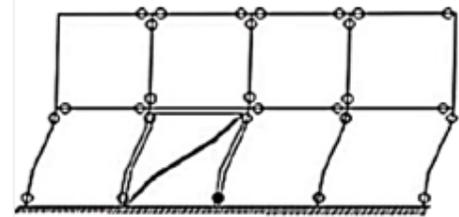
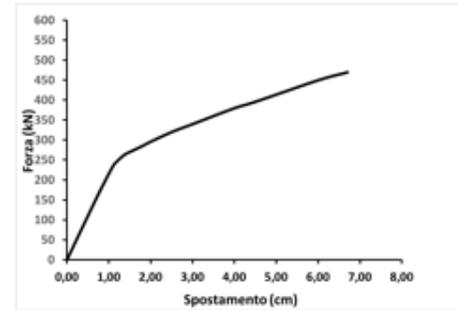


LEGENDA

- Attivazione cerniera plastica
- Occupazione immediata
- Salvaguardia della vita

direzione Y

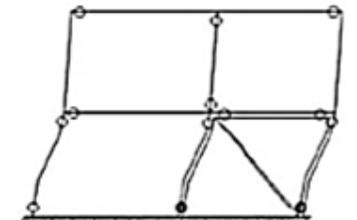
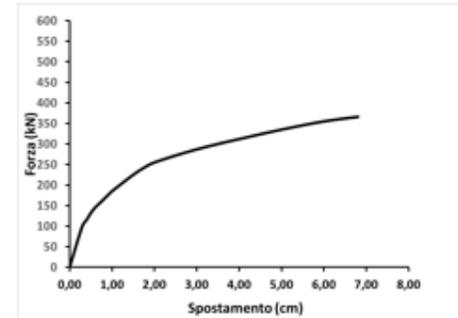
Modello M3 con controventi BRB e telai di rinforzo



LEGENDA

- Attivazione cerniera plastica
- Occupazione immediata
- Salvaguardia della vita

direzione X



LEGENDA

- Attivazione cerniera plastica
- Occupazione immediata
- Salvaguardia della vita

direzione Y

Modello M4 con controventi BRB e telai di rinforzo

Confronti in termini di costi tra diverse tipologie di intervento

Adeguamento con FRP					
	Lavorazione	Unità di misura	Quantità	Costo unitario [€]	Costo totale [€]
1	Ponteggio mobile	m ²	378	€ 17,62	€ 6.660,36
2	Demolizione fodera interna tamponatura	m ²	78	€ 4,78	€ 372,84
3	Demolizione fodera esterna tamponatura	m ²	78	€ 4,78	€ 372,84
4	Demolizione tramezzatura interna	m ²	50,25	€ 4,78	€ 240,20
5	Demolizione pavimentazione	m ²	5,24	€ 8,35	€ 43,75
6	Demolizione massetto	m ²	5,24	€ 14,15	€ 74,15
7	Trasporto a discarica	m ²	24,84	€ 30,90	€ 767,56
8	Nastri in C-FRP	m ²	5,1	€ 247,50	€ 1.262,25
9	Fiocchi in C-FRP	m	153	€ 122,96	€ 18.812,88
10	Fogli in C-FRP	m ²	10,2	€ 247,50	€ 2.524,50
11	Ricostruzione fodera interna tamponatura	m ²	78	€ 26,82	€ 2.091,96
12	Ricostruzione fodera esterna tamponatura	m ²	78	€ 37,69	€ 2.939,82
13	Ricostruzione tramezzatura interna	m ²	50,25	€ 26,82	€ 1.347,71
14	Massetto	m ²	5,24	€ 14,09	€ 73,83
15	Pavimento	m ²	5,24	€ 48,16	€ 252,36
16	Intonacatura	m ²	86,5	€ 18,09	€ 1.564,79
17	Stuccatura	m ²	86,5	€ 8,68	€ 750,82
18	Tinteggiatura pareti interne	m ²	1658,5	€ 7,94	€ 13.168,49
TOTALE					€ 53.321,09
19	Soggiorno in Hotel 3 stelle pensione completa 25 gg	persona per giorno	16	€ 80,00	€ 32.000,00
TOTALE					€ 85.321,09

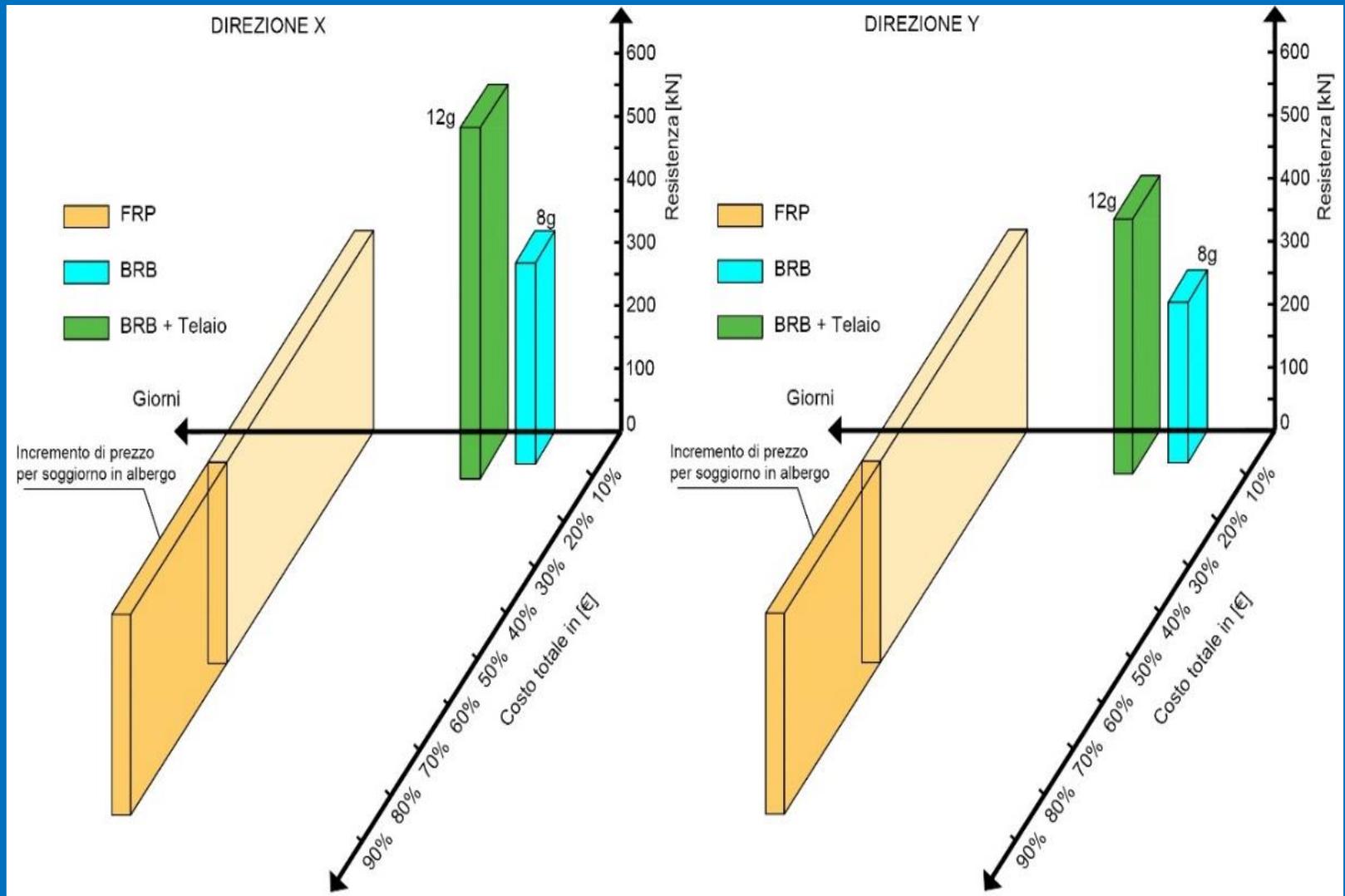
Attività	Durata
1 Allestimento cantiere	1 g
2 Demolizione tamponatura e tompagnatura	2 g
3 Demolizione pavimentazione	1 g
4 Trasporto a discarica	1 g
5 Posa in opera dei nastri C-FRP	3 g
6 Posa in opera dei fiocchi C-FRP	5 g
7 Posa in opera dei fogli C-FRP	1 g
8 Ricostruzione tamponatura e tompagnatura	4 g
9 Ricostruzione pavimentazione	1 g
10 Intonacatura e stuccatura	4 g
11 Tinteggiatura	4 g
12 Smobilizzo cantiere	1 g
Rinforzo con FRP (Totale)	25 g

Costi e cronoprogramma dell'intervento di rinforzo in FRP dell'Edificio di Bagnoli

Lavorazione		Unità di misura	Quantità	Costo unitario [€]	Costo totale [€]
1	Ponteggio mobile	m ²	86,4	€ 17,62	€ 1.522,37
2	Demolizione fodera esterna tamponatura	m ²	78,07	€ 4,78	€ 373,17
3	Trasporto a discarica	m ²	7,82	€ 30,90	€ 241,64
4	BRB	kg	544	€ 4,30	€ 2.339,20
5	Ricostruzione fodera esterna tamponatura	m ²	78,07	€ 37,69	€ 2.942,46
TOTALE INTERVENTO CON BRB					€ 7.418,84
6	Cerchiatura metallica	kg	726	€ 3,04	€ 2.207,04
7	Connettori acciaio-clc	cadauno	150	€ 3,00	€ 450,00
TOTALE INTERVENTO CON BRB e TELAIO DI ACCIAIO					€ 10.075,88

Attività			Durata																	
1	Allestimento cantiere	1 g	■																	
2	Demolizione fodera esterna tamponatura	1 g	■																	
3	Trasporto a discarica	1 g	■	■																
4	Posa in opera IPE 120 per cerchiatura	4 g	■	■	■	■														
5	Posa in opera BRB	4 g					■	■	■	■										
6	ricostruzione fodera esterna tamponatura	1 g											■	■						
7	Smobilizzo cantiere																	■		
Rinforzo con BRB e telaio di acciaio (Totale)		12 g	■																	

Costi e cronoprogramma dell'intervento di rinforzo con BRB dell'Edificio di Bagnoli



Diagrammi tempo/costo/resistenza per gli interventi di adeguamento dell'Edificio di Bagnoli

Edificio Storico con Struttura in Acciaio Deutsche Bank (Napoli)

Intervento di adeguamento strutturale, sia per carichi gravitazionali che per azioni sismiche, di un edificio storico in acciaio, costruito agli inizi degli anni'50 del secolo scorso a Napoli.



Il fabbricato in esame, sede della Deutsche Bank in via S. Brigida, rappresenta uno dei primi esempi di edifici multipiano con struttura in acciaio realizzati in Italia meridionale.

Vista della facciata della Deutsche Bank di via S. Brigida a Napoli

Descrizione della struttura

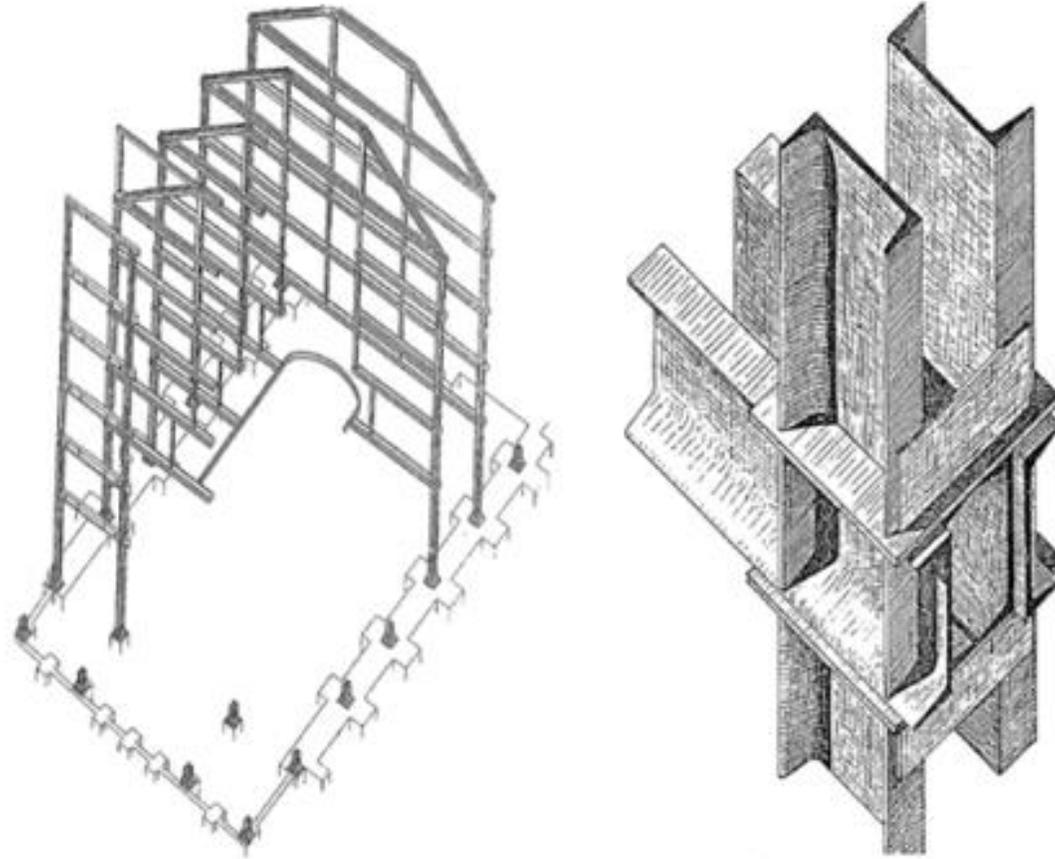
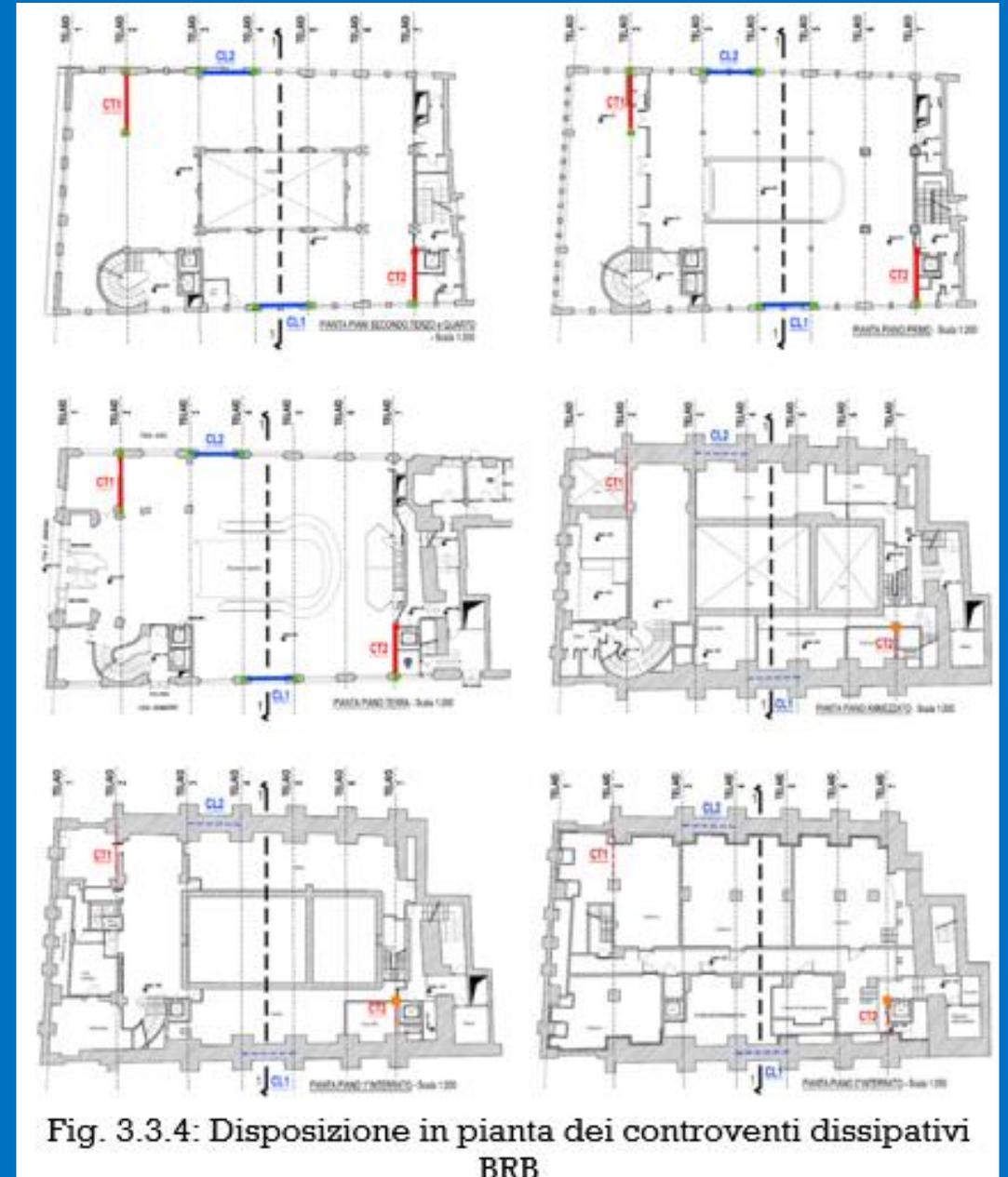
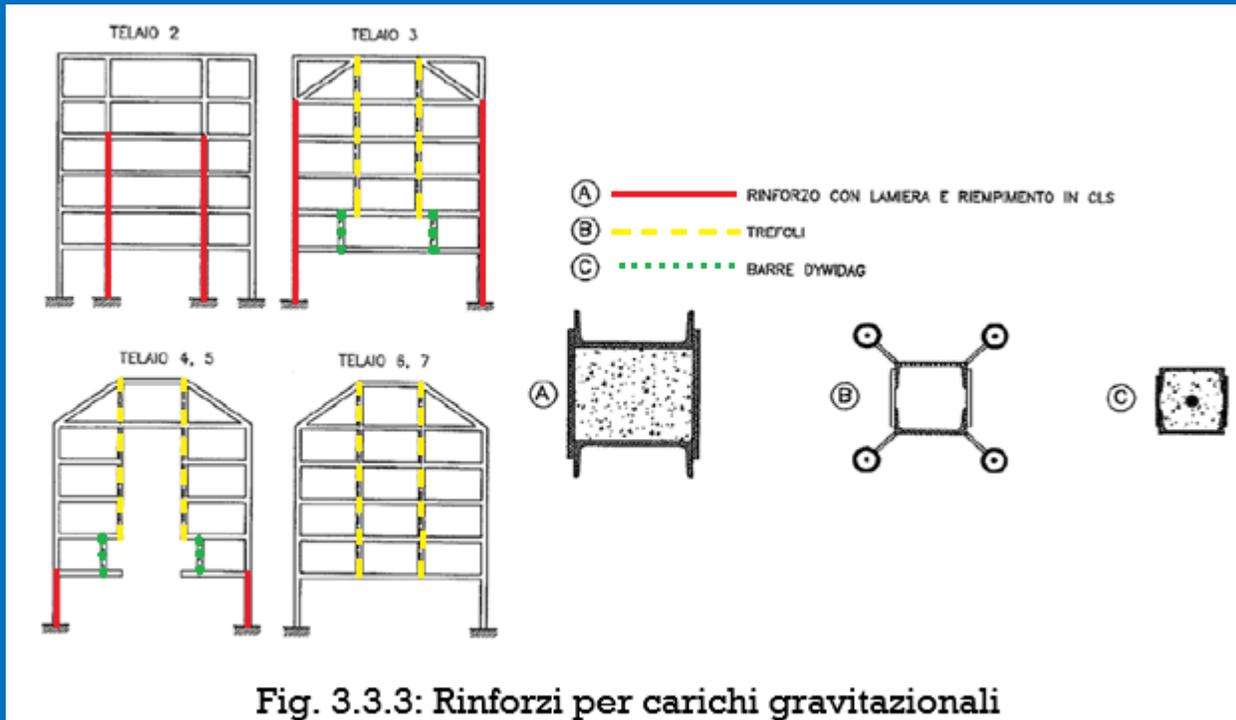


Fig. 3.3.2: Vista dei telai della struttura e particolare del generico nodo trave-pilastro

Inadempienze e adeguamenti (1/2)



Inadempienze e adeguamenti (2/2)

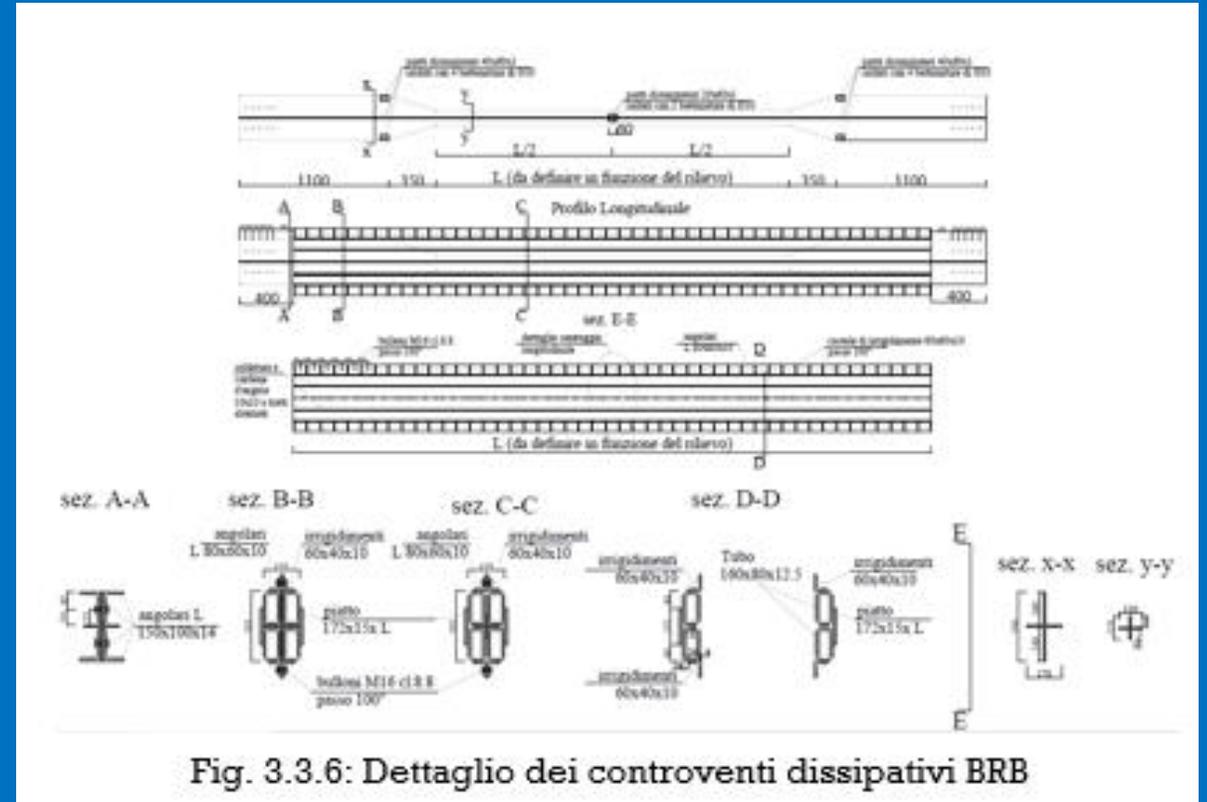


Fig. 3.3.6: Dettaglio dei controventi dissipativi BRB

Progettazione del sistema di controvento BRB (1/2)

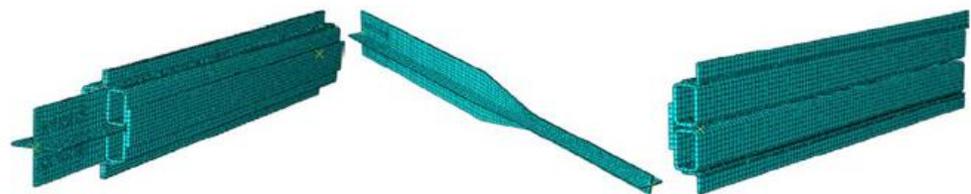


Fig. 3.3.7: Modellazione FEM degli elementi dei controventi BRB

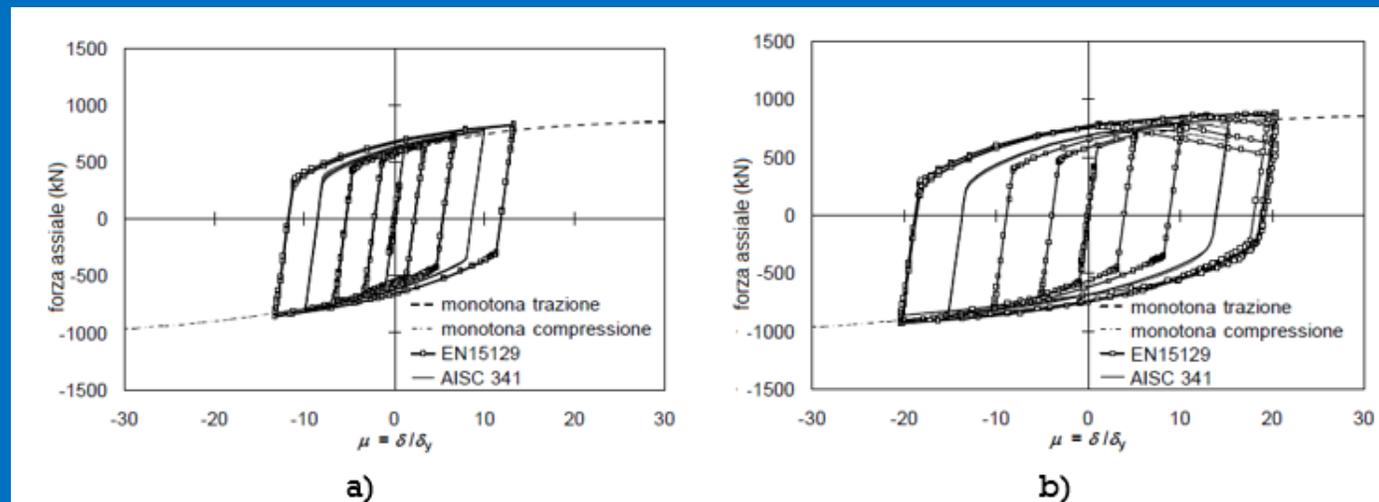


Fig. 3.3.8: Analisi FEM del BRB: confronto tra protocolli di carico ciclici

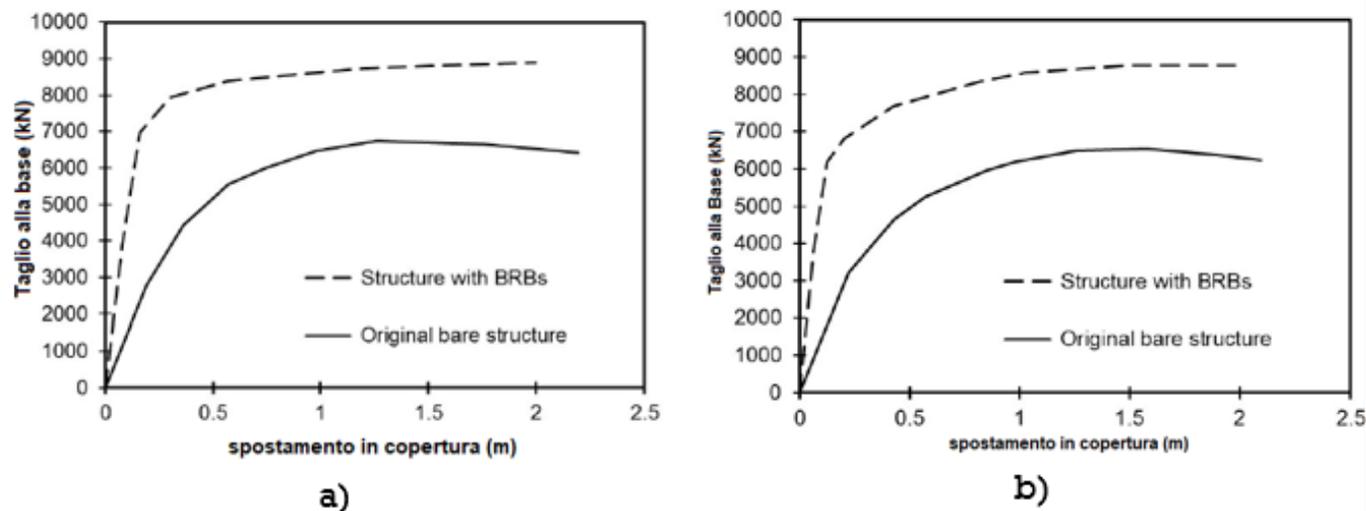


Fig. 3.3.9: Curva di risposta pushover: a) direzione lato lungo; b) direzione lato corto

Progettazione del sistema di controvento BRB (2/2)

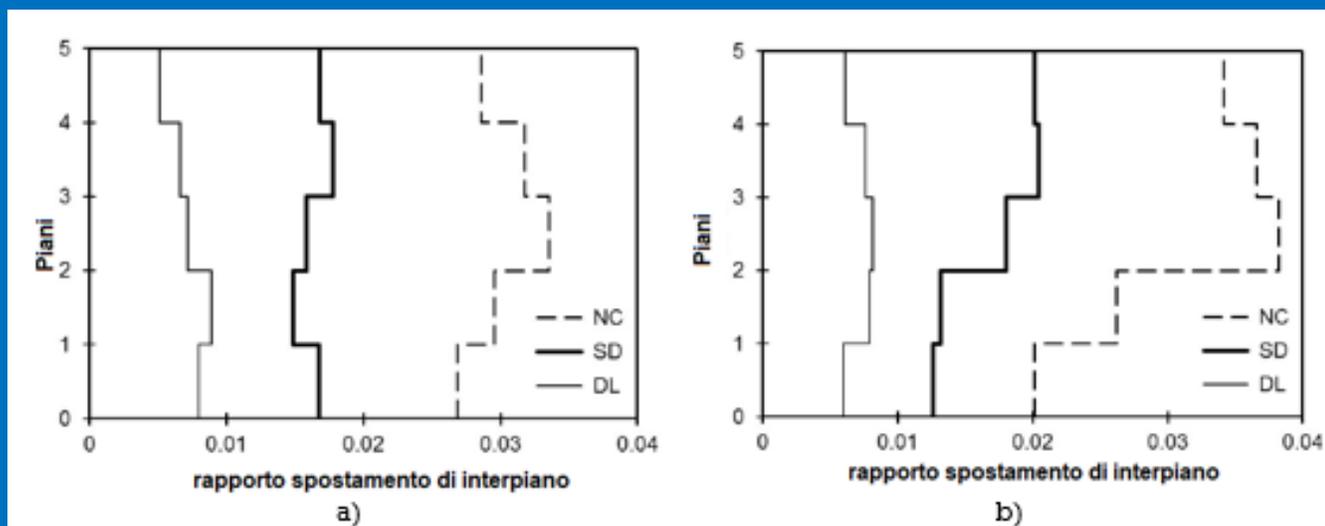


Fig. 3.3.10: Analisi time-history sulla struttura originale: a) sisma in direzione del lato lungo; b) sisma in direzione del lato corto

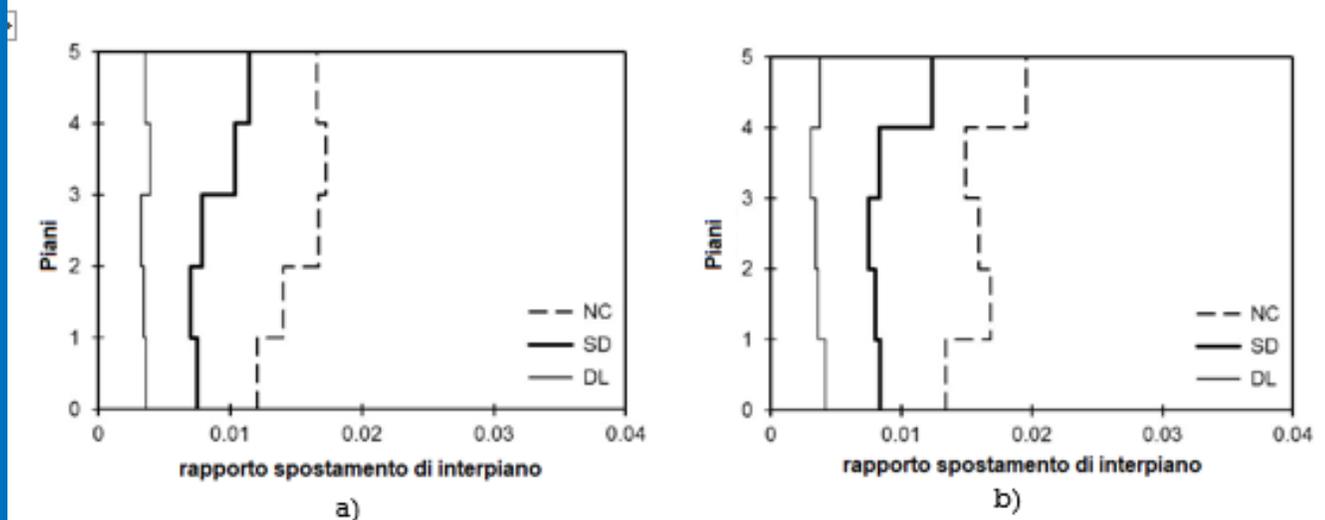
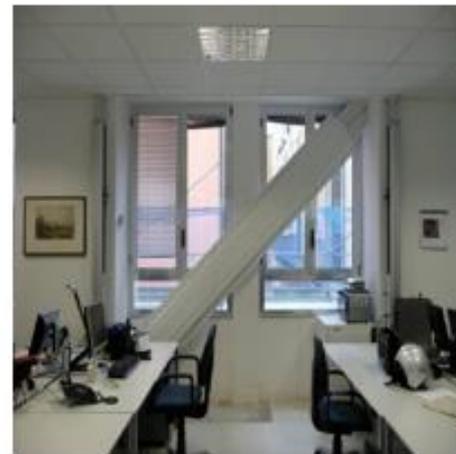


Fig. 3.3.11: Analisi time-history sulla struttura con BRB: a) sisma in direzione del lato lungo; b) sisma in direzione del lato corto

Fasi della messa in opera e dettagli costruttivi



Ubicazione dei cavi di pretrazione nel rinforzo tipo B per carichi verticali



Messa in opera dei controventi BRB

Chiesa San Giovanni Battista a Carife (AV)



Fig. 3.4.1: Vista della chiesa di San Battista a Carife (AV)

Intervento di adeguamento sismico su un edificio religioso di interesse storico: rinforzo strutturale anti-sismico della chiesa di San Giovanni Battista a Carife (AV), condotto attraverso l'impiego di opportuni dispositivi oleodinamici a vincolo provvisorio

Descrizione della struttura

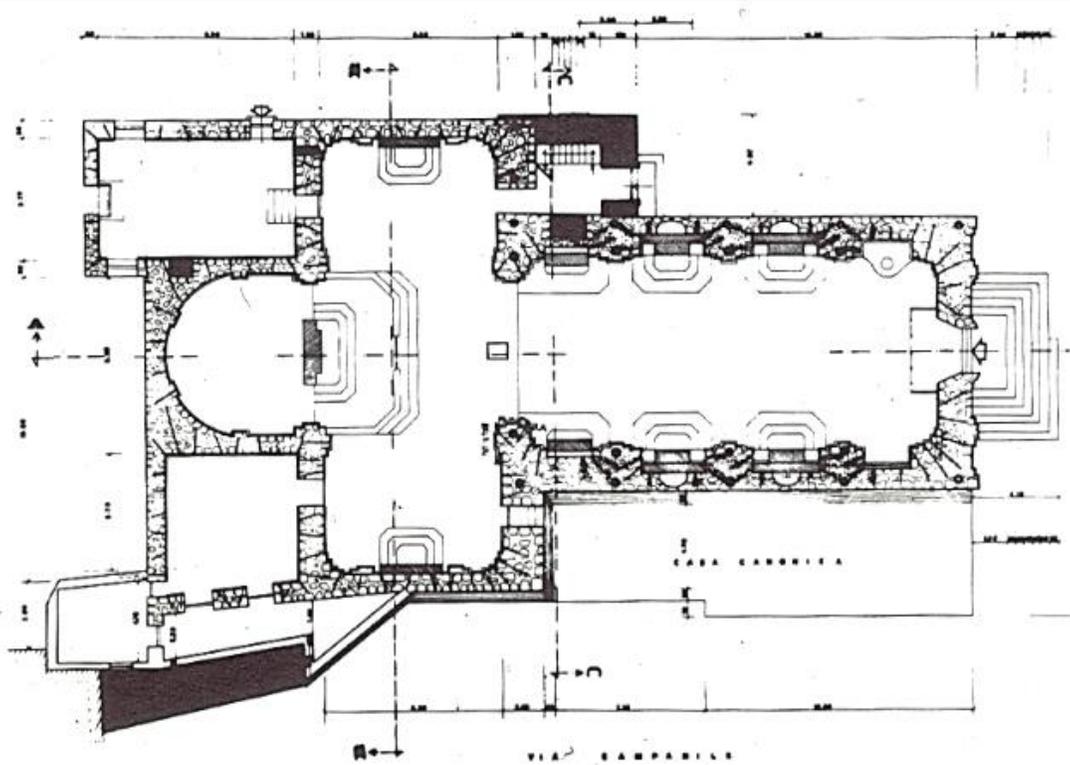


Fig. 3.4.2: Pianta della chiesa



Fig. 3.4.3: Prospetto principale e sezione trasversale

Inadempienze ed adeguamenti

1/2

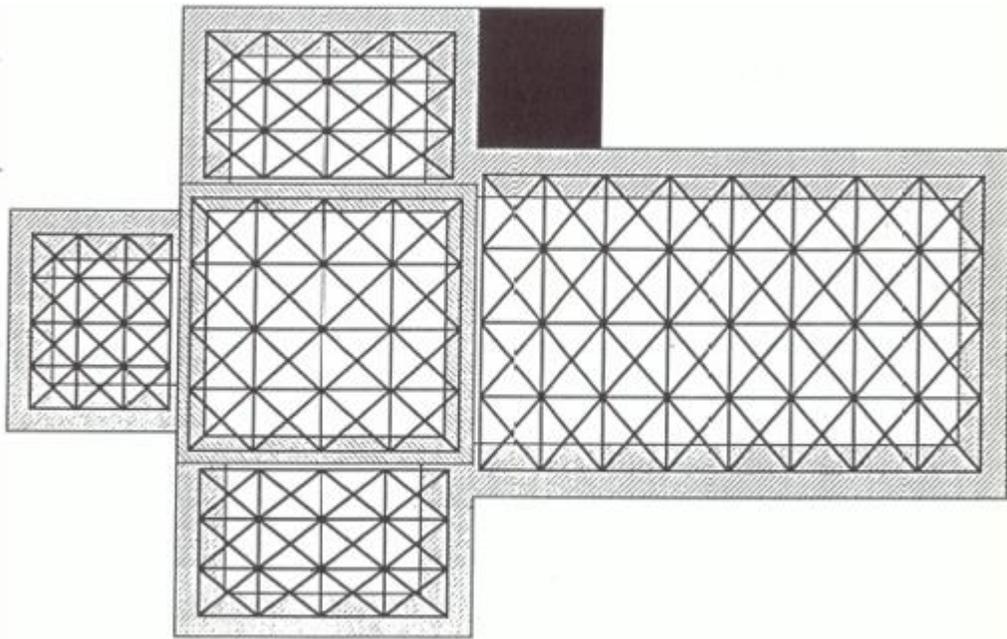
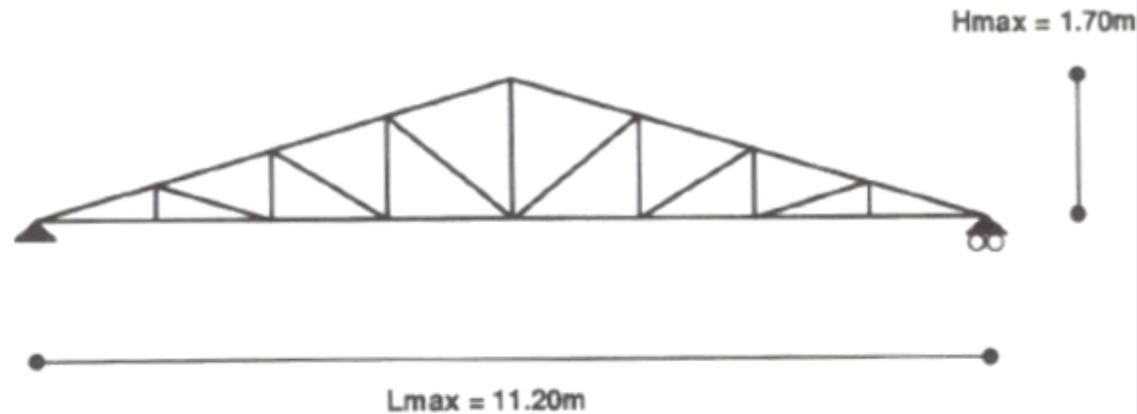


Fig. 3.4.5: Schema planimetrico del grigliato di copertura



Fig. 3.4.4: Immagini della chiesa prima dell'intervento di adeguamento

Inadempienze ed adeguamenti 2/2



Capriata tipo 1 (Navata)

Corrente superiore:
2UPN140
Corrente inferiore:
HEA220
Aste di parete:
2UPN50

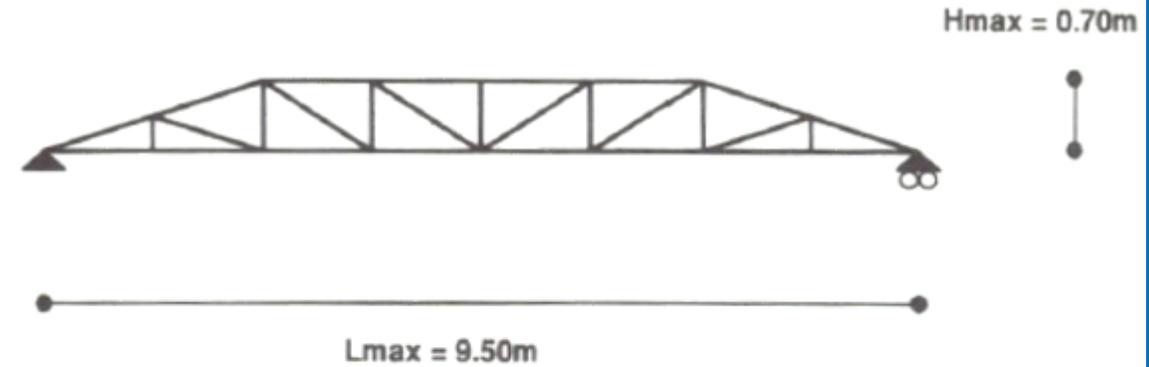
Capriata tipo 2 (transetto, abside)

Corrente superiore:
2UPN120
Corrente inferiore:
2UPN100
Aste di parete: 2UPN50

Capriata tipo 3 (Tamburo)

Corrente superiore:
2UPN100
Corrente inferiore:
2UPN80
Aste di parete:
2UPN50

Fig. 3.4.6: Capriate in acciaio a profilo triangolare



Capriata tipo 4 (Transetto, abside)

Corrente superiore: 2UPN120
Corrente inferiore: 2UPN100
Aste di parete: 2UPN50

Capriata tipo 5 (Tamburo)

Corrente superiore: 2UPN100
Corrente inferiore: 2UPN80
Aste di parete: 2UPN50

Fig. 3.4.7: Capriate in acciaio a profilo trapezoidale

Progettazione dei dispositivi a vincolo provvisorio

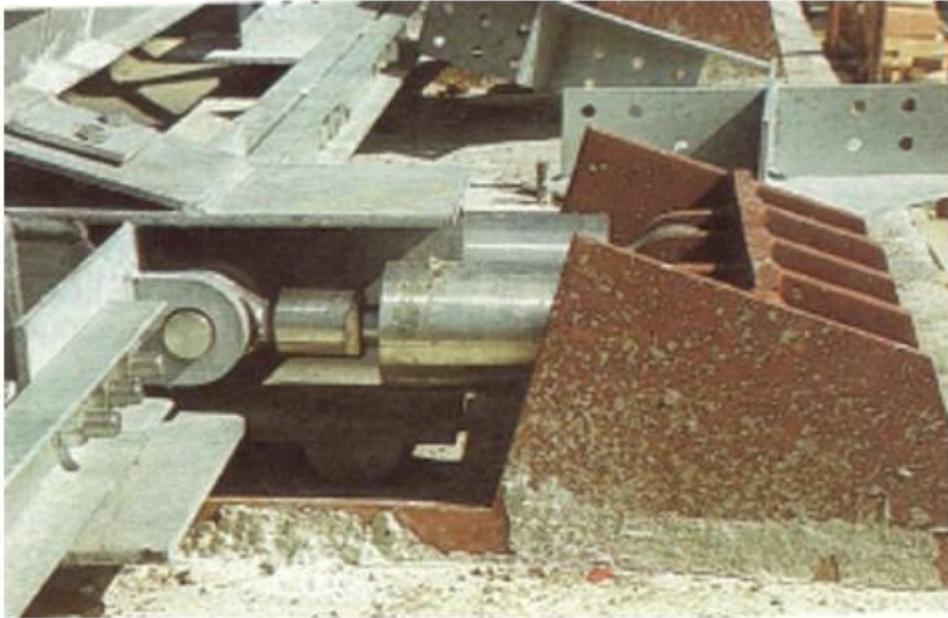


Fig. 3.4.8: Immagine illustrativa di un dispositivo a vincolo provvisorio

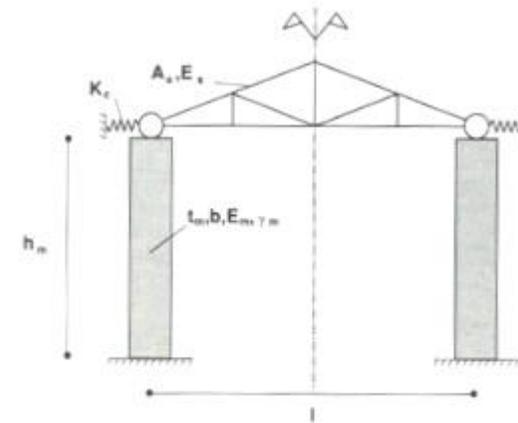


Fig. 3.4.9: Modello di calcolo degli effetti termici

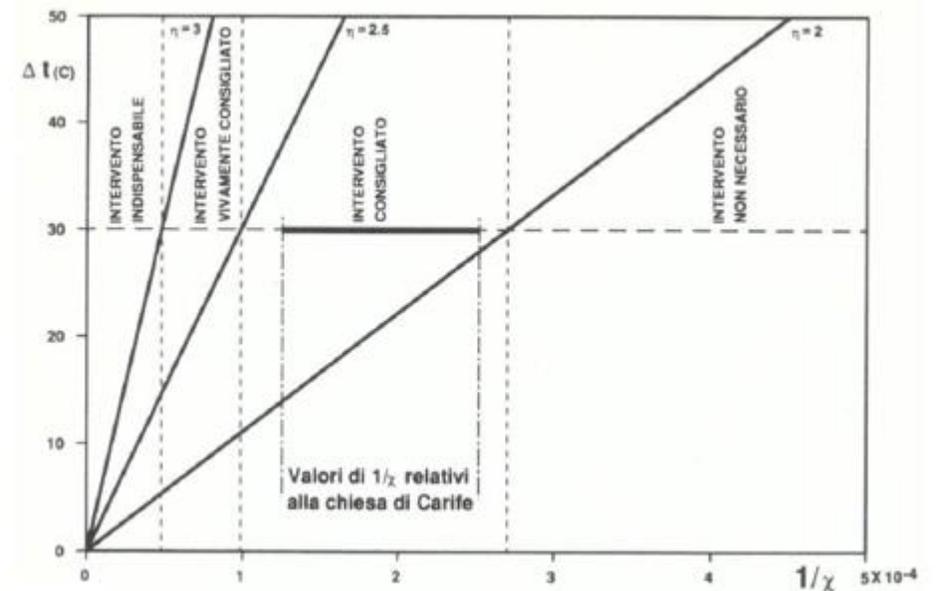
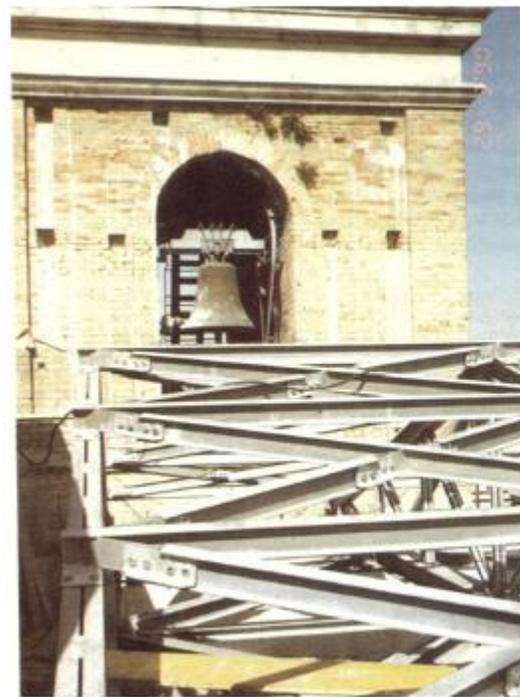


Fig. 3.4.10: Mappa di fattibilità di interventi con dispositivi a vincolo provvisorio

Fasi della messa in opera e dettagli costruttivi 1/2



Particolare del posizionamento delle piastre per vincoli fissi e scorrevoli



Struttura metallica di copertura (grigliato, capriata)

Fasi della messa in opera e dettagli costruttivi 2/2



Particolari della messa in opera dei dispositivi oleodinamici a vincolo provvisorio

Palazzo Gagliardi-Sardi a L'Aquila

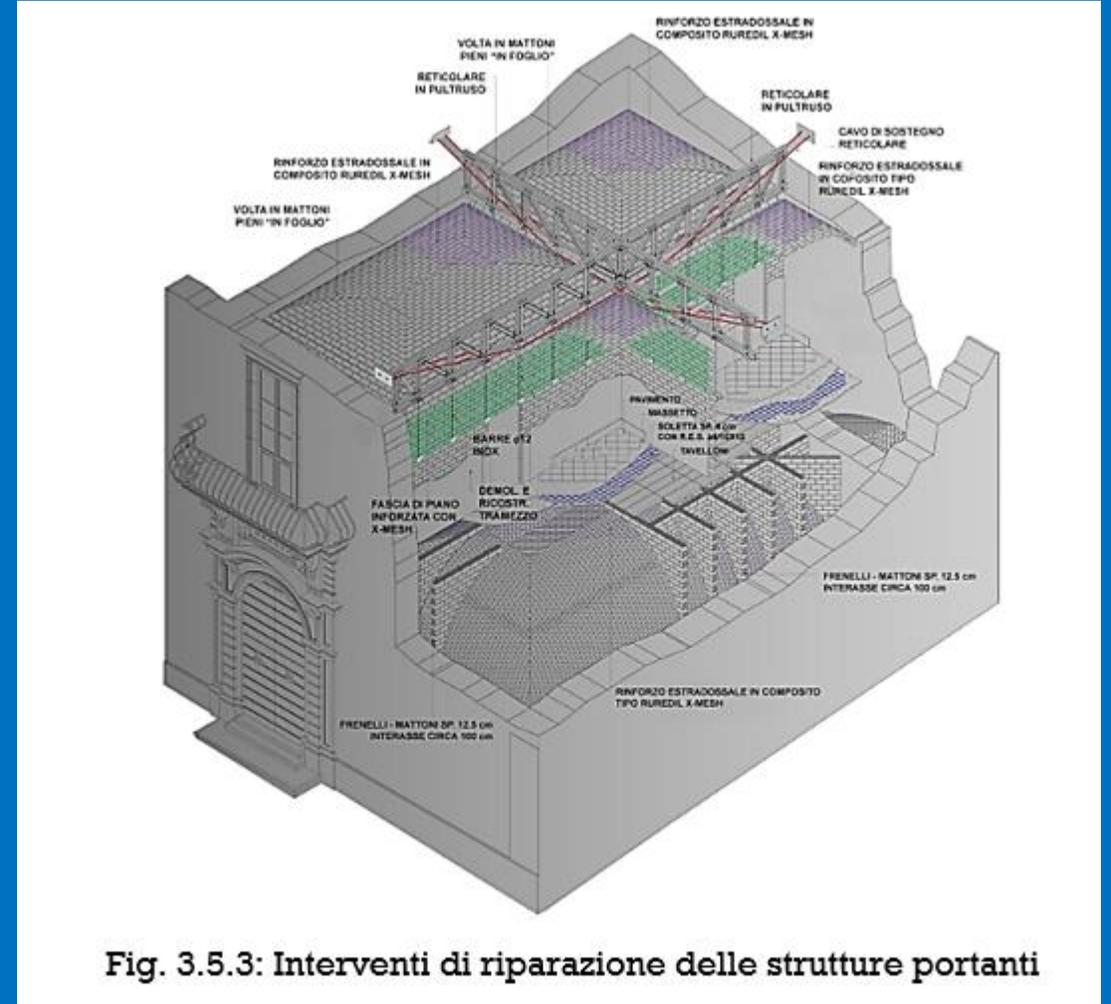
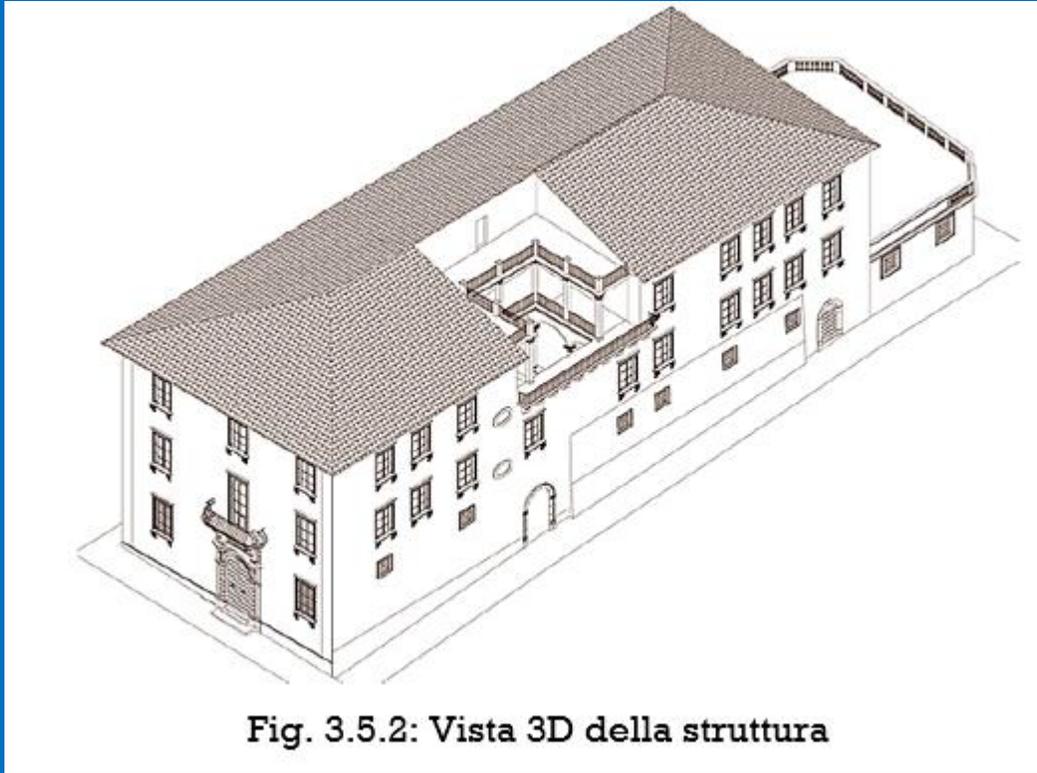
Il palazzo Gagliardi, ubicato nel centro storico del comune dell'Aquila, fu danneggiato severamente dal terremoto del 06 Aprile 2009.



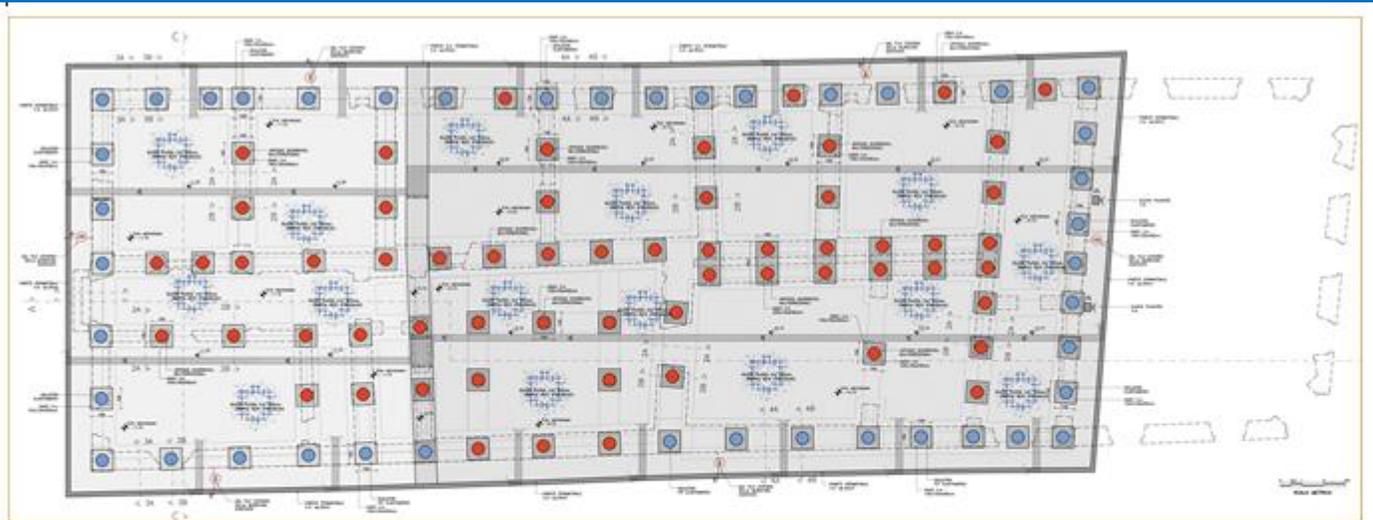
Un intervento di consolidamento di tale edificio che non coinvolgesse l'isolamento sismico (fasciature con FRP, cordoli, ecc.) sarebbe risultato oneroso ed invasivo, tenuto conto soprattutto del pregio architettonico dell'opera. L'intervento qui presentato ha preferito orientarsi sulla tecnica dell'isolamento alla base, in modo tale da ridurre, quanto più possibile gli interventi in elevazione.

Vista di palazzo Gagliardi a L'Aquila

Descrizione della struttura, dei danni e degli interventi di riparazione



Progettazione del sistema di isolamento 1/2



LEGENDA

- N°42 ISOLATORI ELASTOMERICI CON NUCLEO IN PIOMBO LRB-S 500/100-110
- N°60 APPOGGI SCORREVOLI MULTIDIREZIONALI VM 150/150/150

Fig. 3.5.4: Disposizione degli isolatori in fondazione

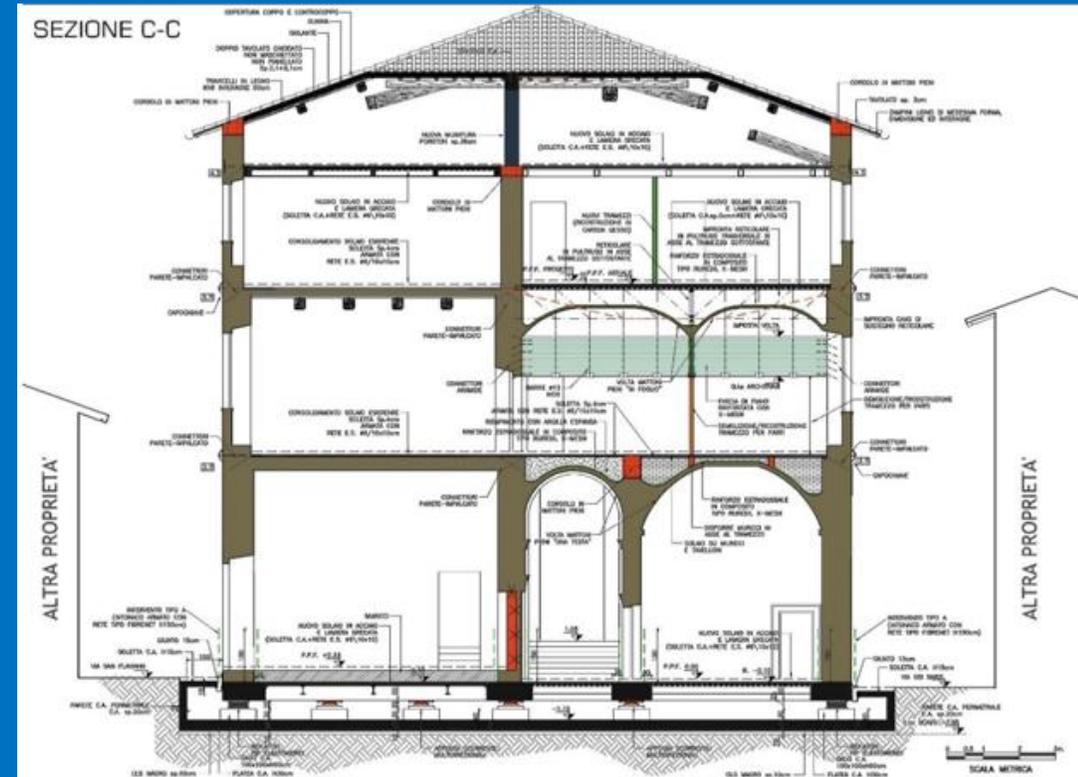


Fig. 3.5.5: Sezione trasversale tipo dell'edificio isolato

Progettazione del sistema di isolamento 2/2

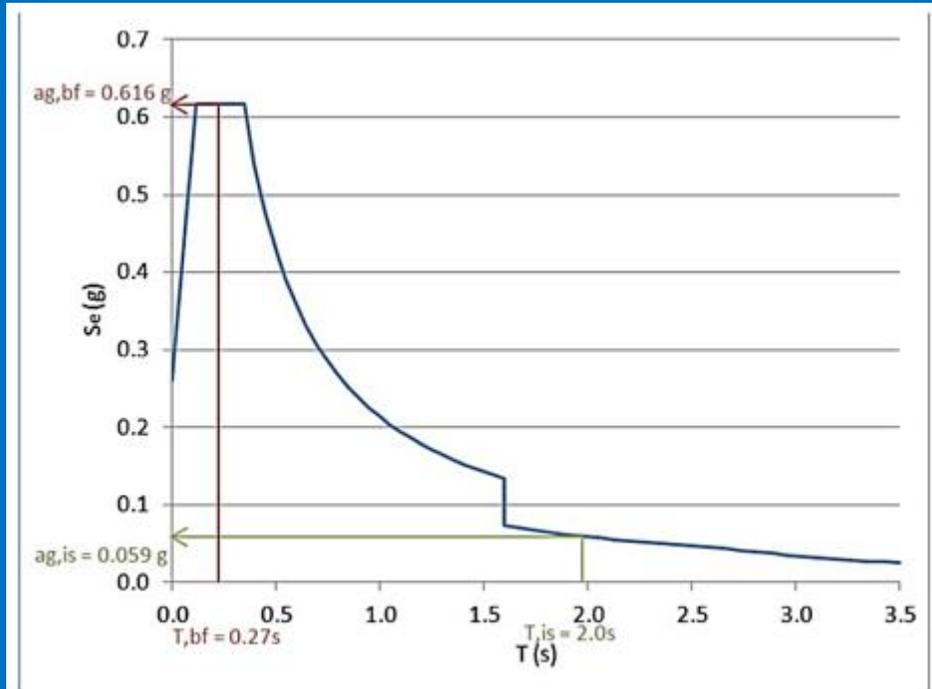


Fig. 3.5.6: Spettro elastico

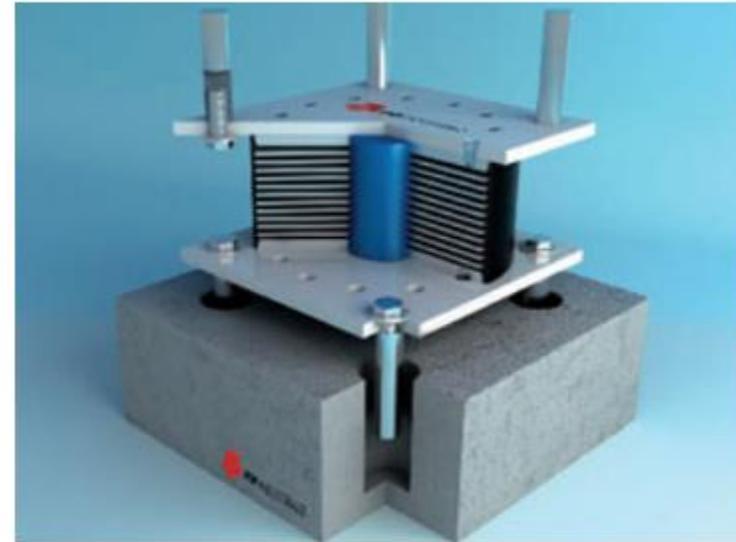
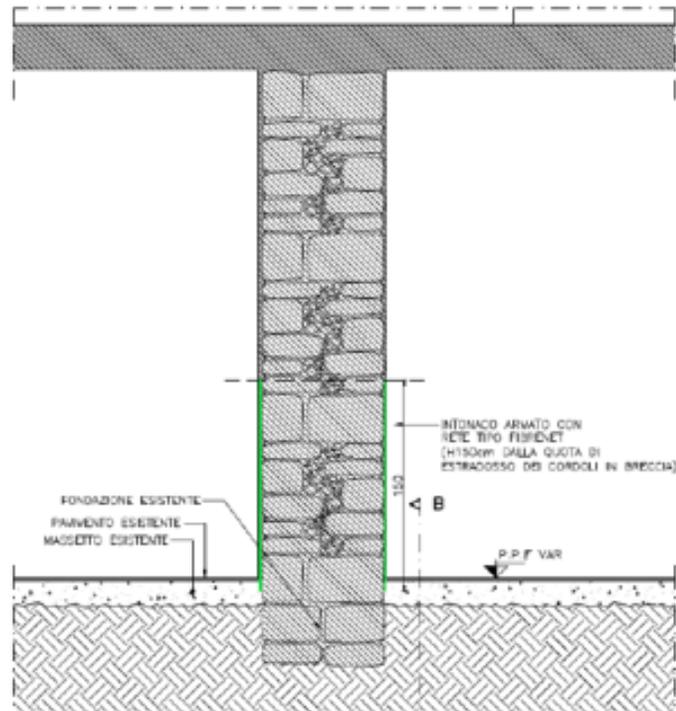
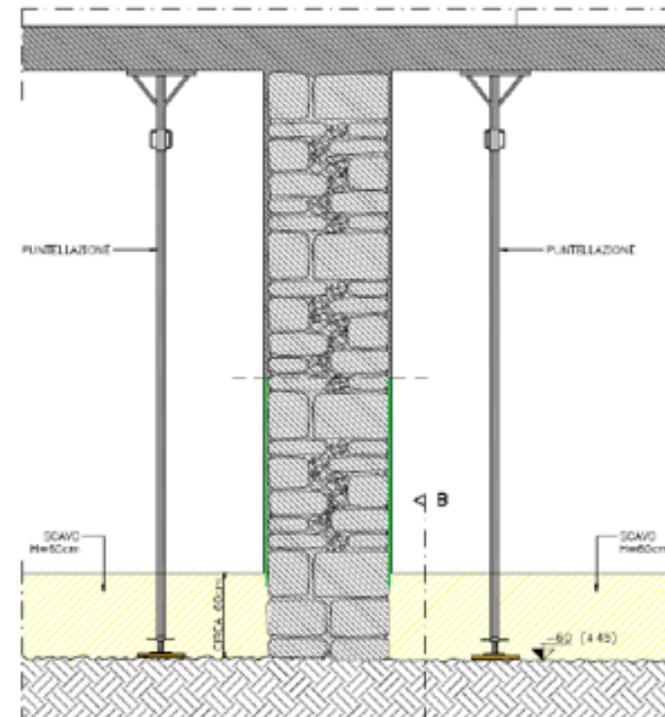


Fig. 3.5.7: Isolatore gomma-piombo LRB-S 500/100-110

Fasi della messa in opera dei dispositivi di isolamento 1/5

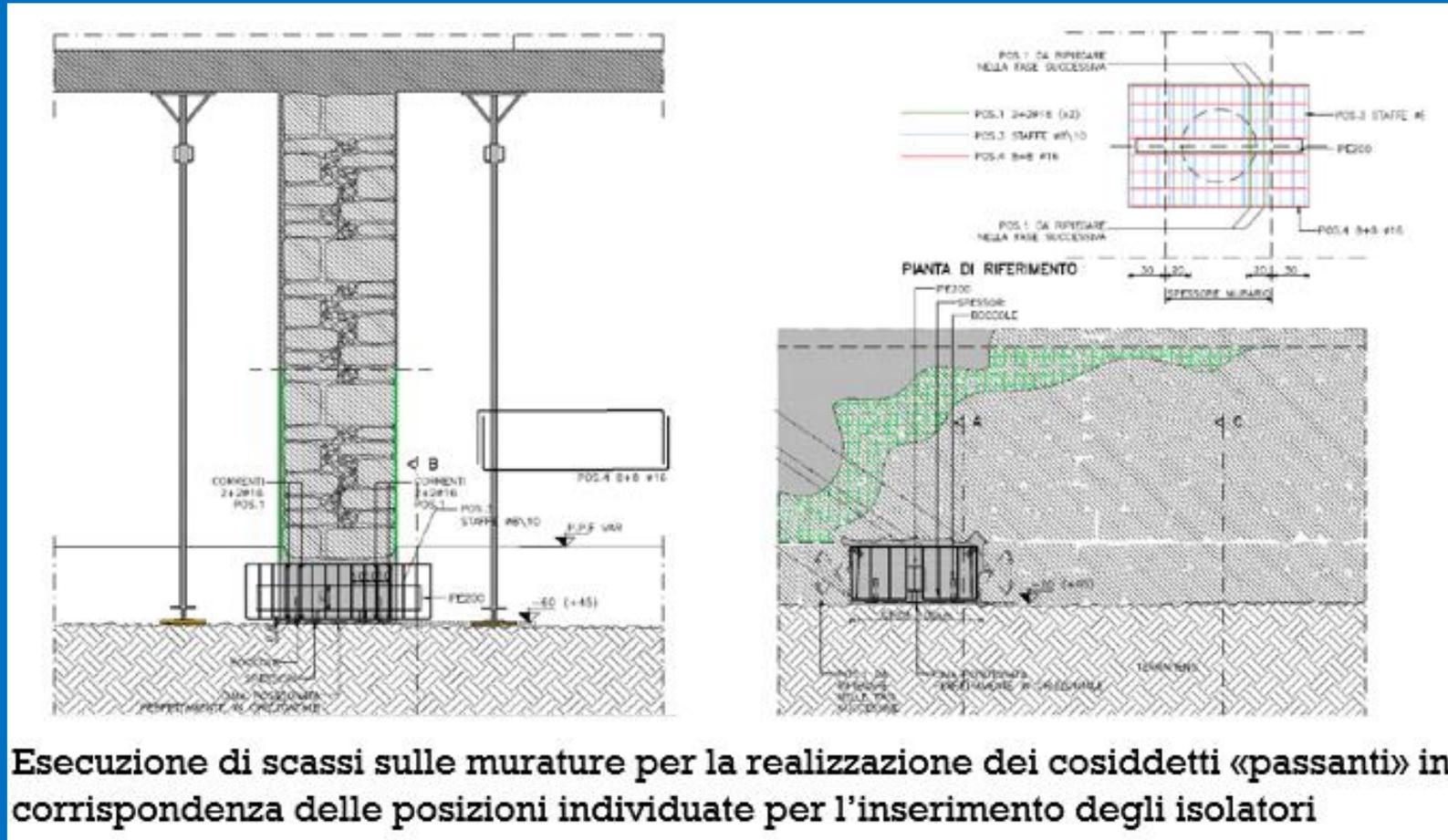


Rinforzo locale della parte basamentale delle murature

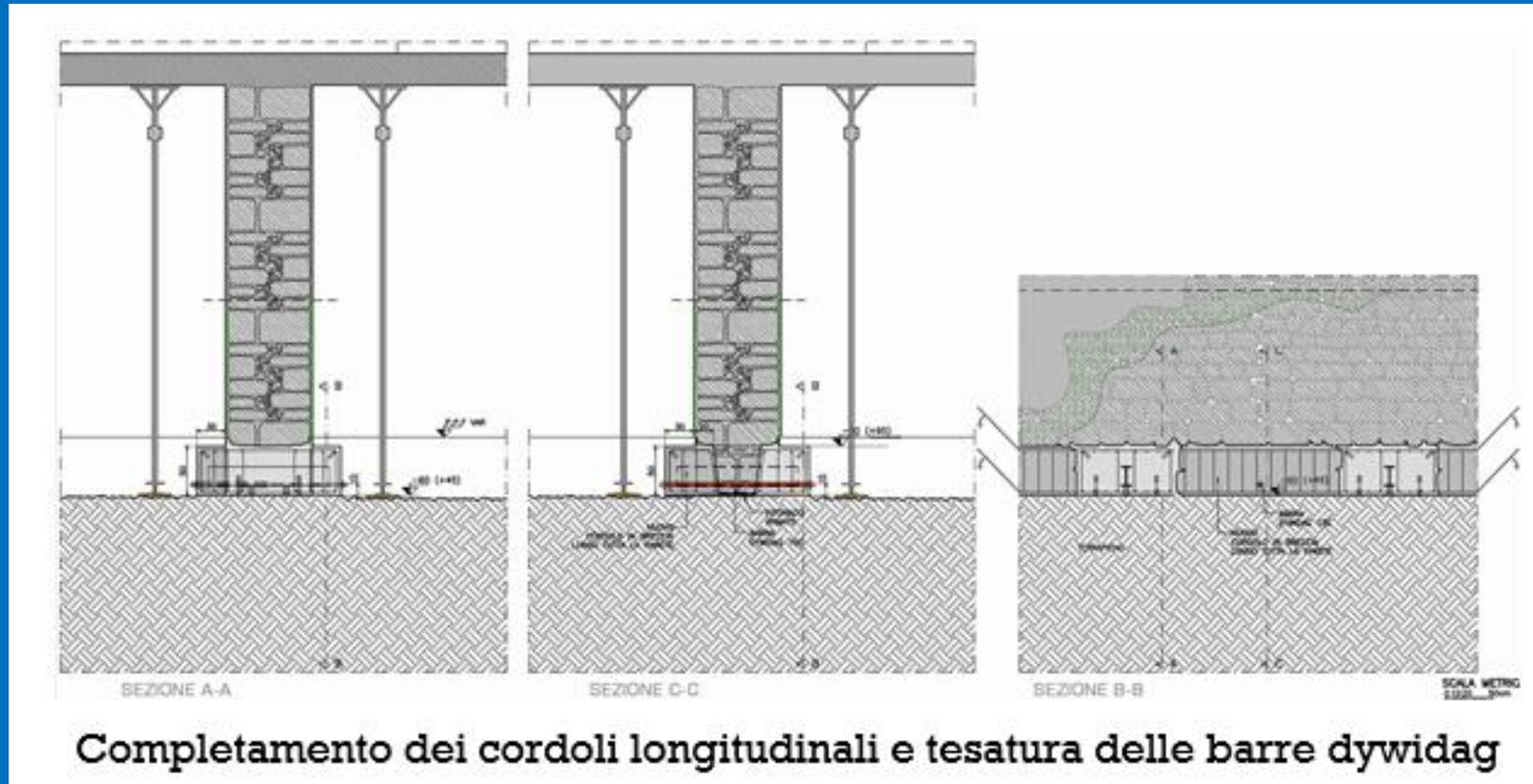


Esecuzione di uno scavo a ridosso delle murature con approfondimento piano di 80cm; Puntellamento ad ogni livello fino a terra di solai e volte per scaricare le murature

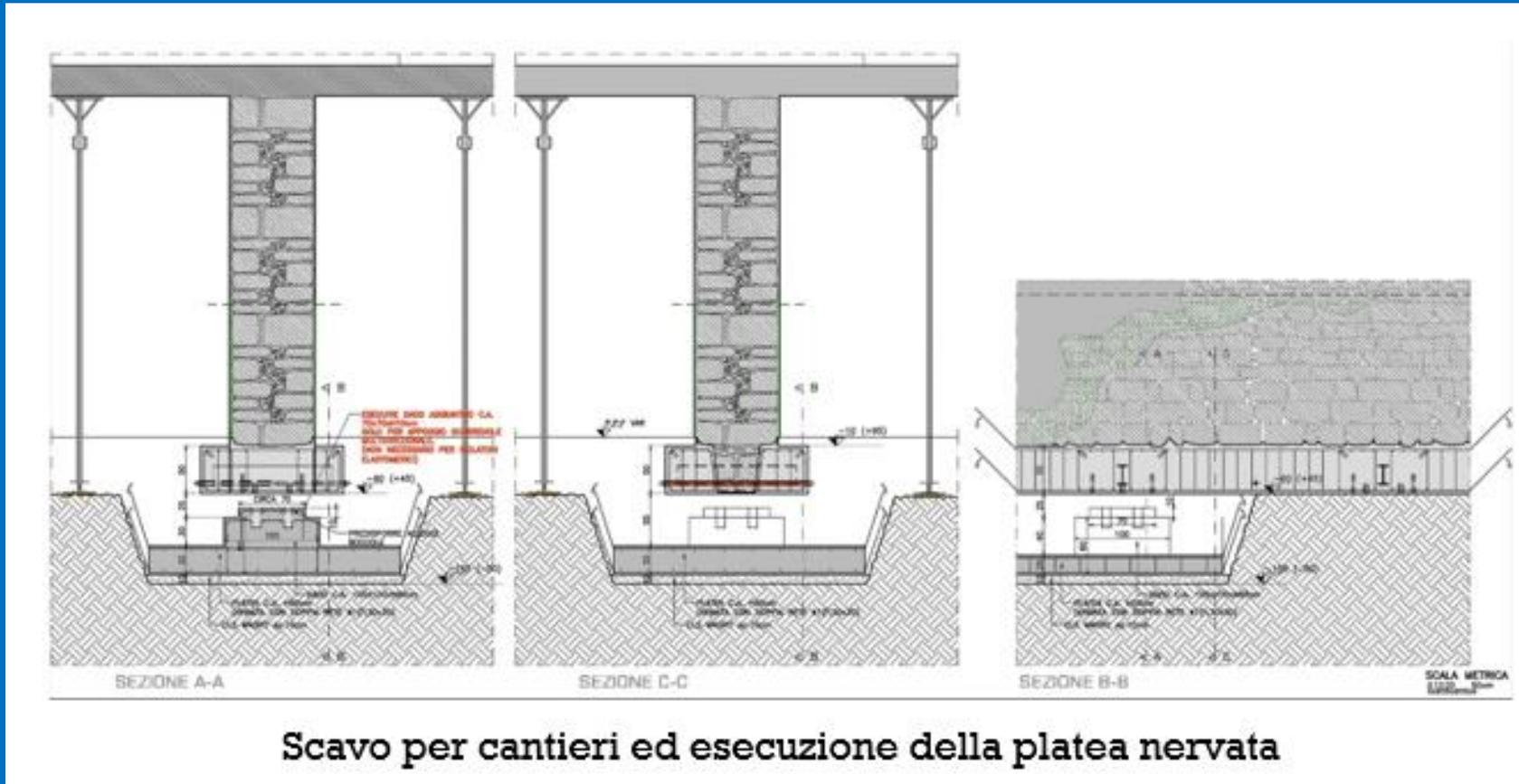
Fasi della messa in opera dei dispositivi di isolamento 2/5



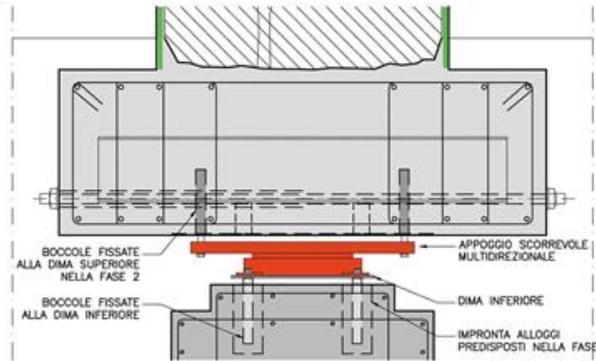
Fasi della messa in opera dei dispositivi di isolamento 3/5



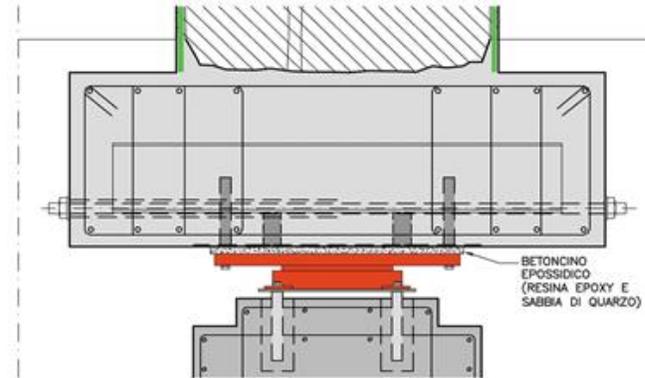
Fasi della messa in opera dei dispositivi di isolamento 4/5



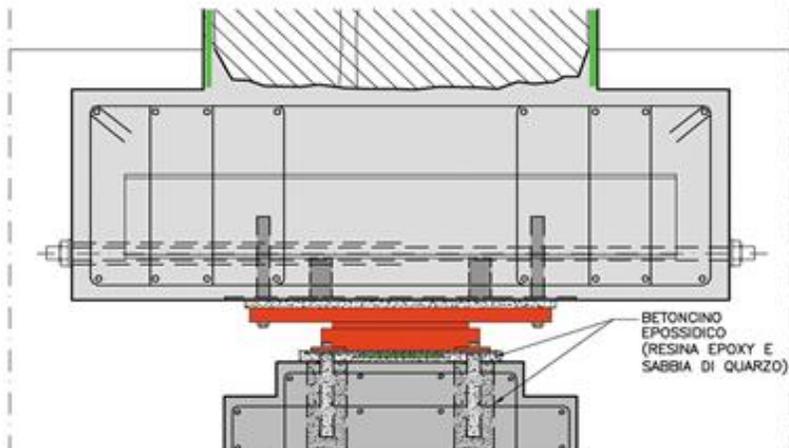
Fasi della messa in opera dei dispositivi di isolamento 5/5



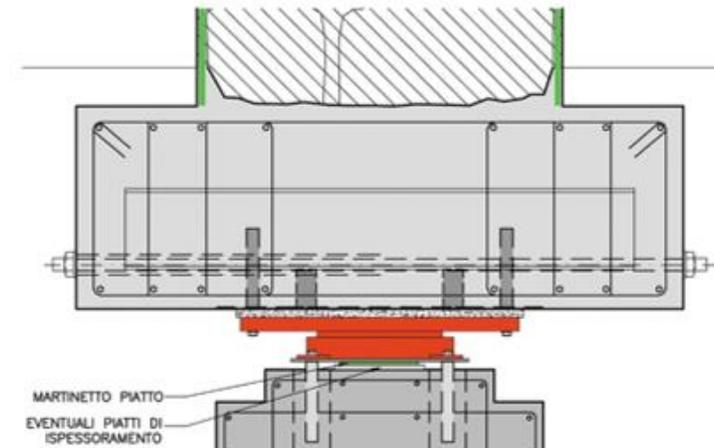
Inserimento isolatore completo di "dima" inferiore e boccole di fissaggio negli appositi alloggi, il tutto appeso alle boccole superiori posizionandolo perfettamente in orizzontale



Sigillatura estradosso isolatore con betoncino epossidico (resina epoxy e sabbia di quarzo)



Sigillatura intradosso con malta espansiva ad alta resistenza



Messa in carico martinetto piatto (cella di carico) iniettando resina bicomponente

Condominio Via Piave a L'Aquila

Il Condominio Via Piave, situato nel centro storico di L'Aquila, è costituito da due corpi di fabbrica, edificati in epoche diverse. Il primo risale agli anni '30 del secolo scorso ed ha una struttura portante in muratura; mentre il secondo, costruito negli anni '60 in adiacenza al primo, ha una struttura portante di cemento armato con telai.



Il complesso edilizio, danneggiato a seguito dell'evento sismico del 06 Aprile 2009, presenta numerose decorazioni ed elementi architettonici di pregio che lo classificano come edificio storico.

Fig. 3.7.1: Vista del Condominio di Via Piave a L'Aquila

Descrizione della struttura

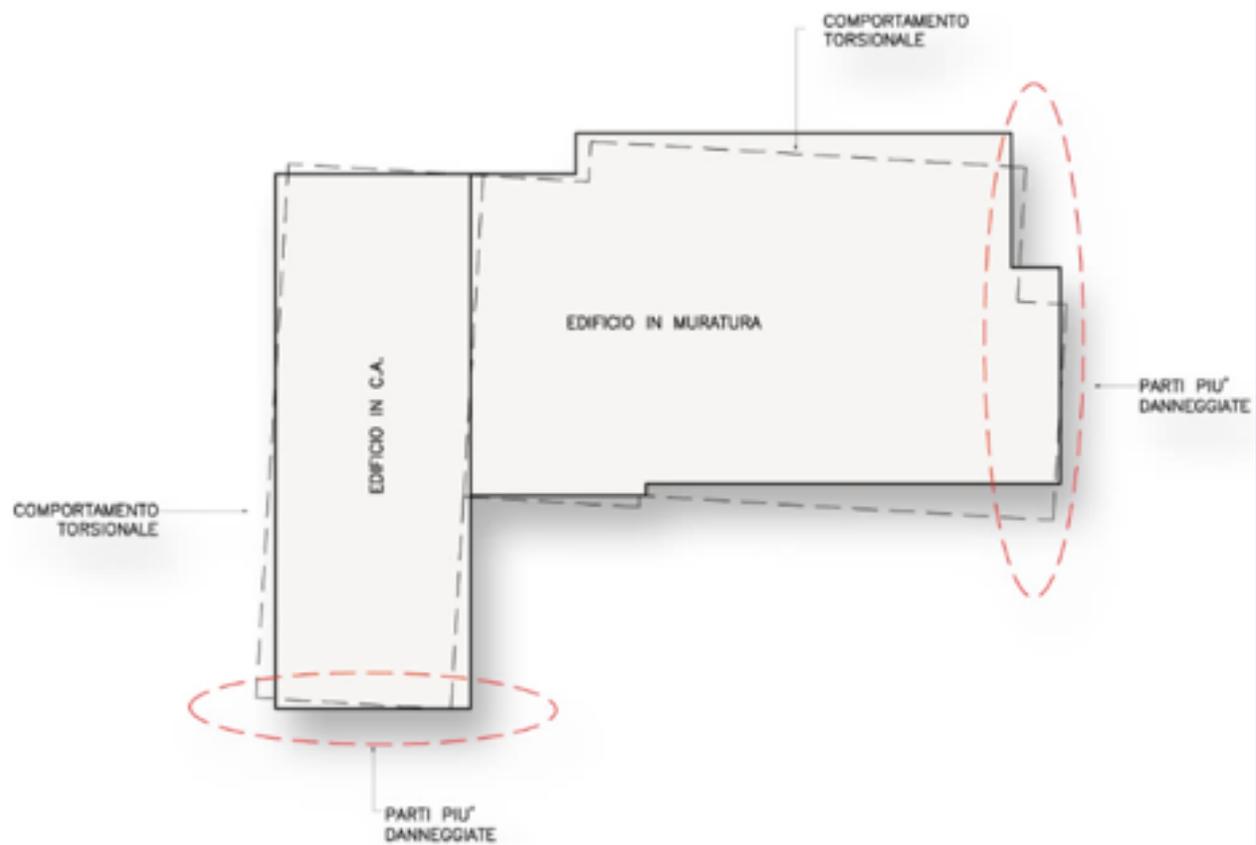


Fig. 3.7.2: Vista in pianta dei due corpi di fabbrica

Descrizione dei danni e degli interventi di riparazione



Fig. 3.7.3: Danno per lesioni da taglio



Fig. 3.7.4: Danno in corrispondenza delle scale

Progettazione del sistema di isolamento 1/4



Fig. 3.7.5: Isolatore elastomerico FIP SI-S 450/102 [www.fipindustriale.it]

Progettazione del sistema di isolamento 2/4



Progettazione del sistema di isolamento 4/4

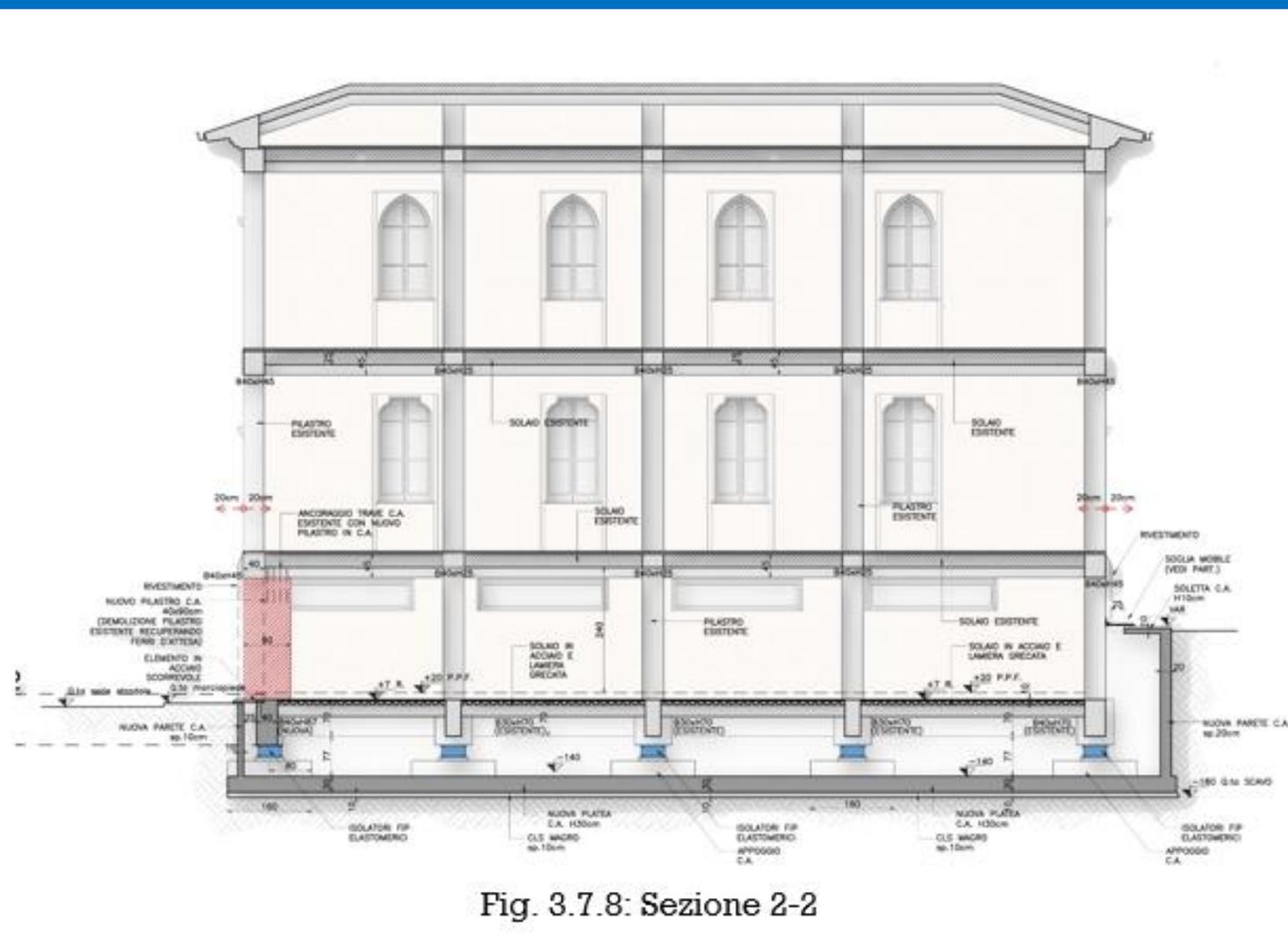
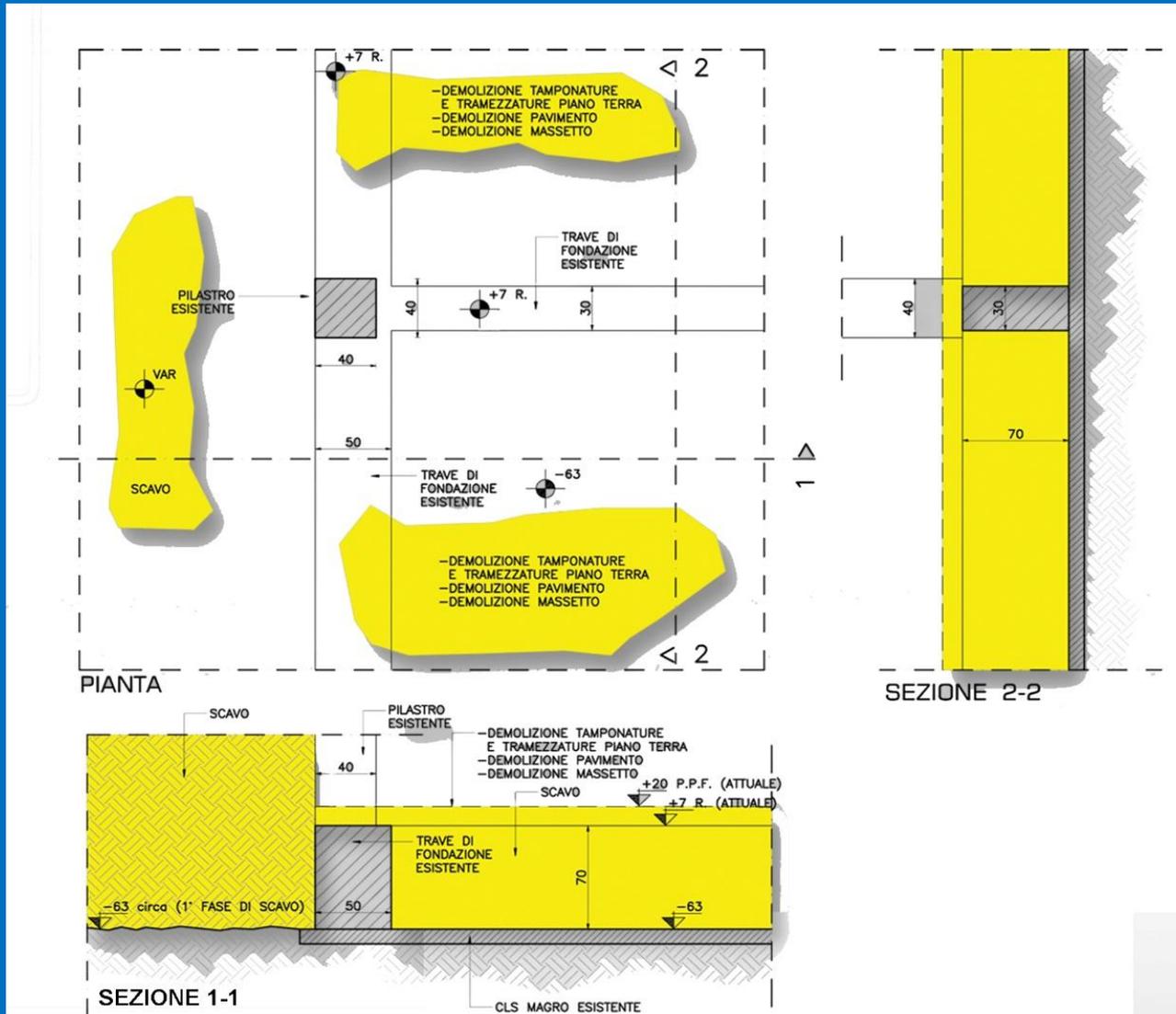
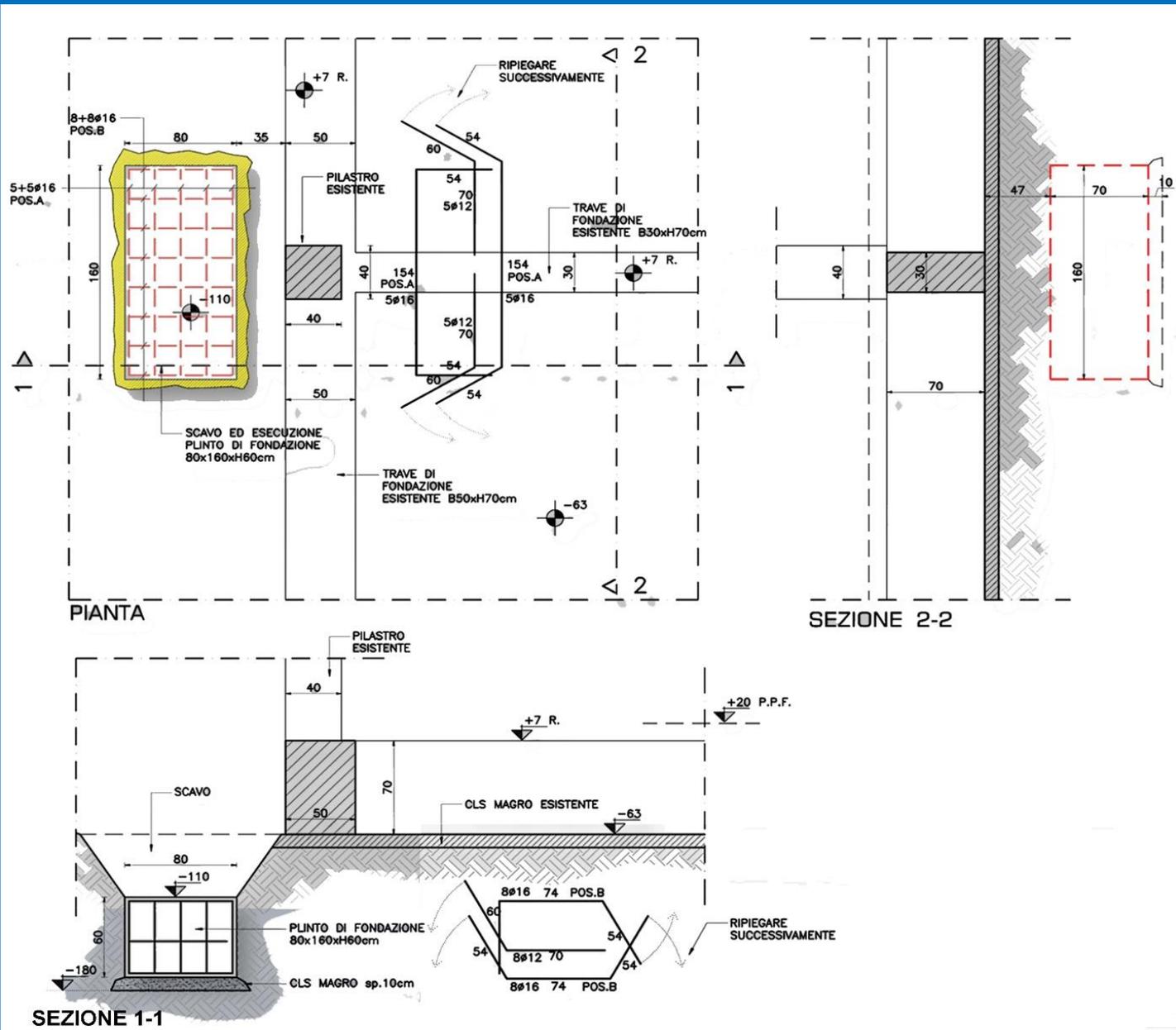


Fig. 3.7.8: Sezione 2-2

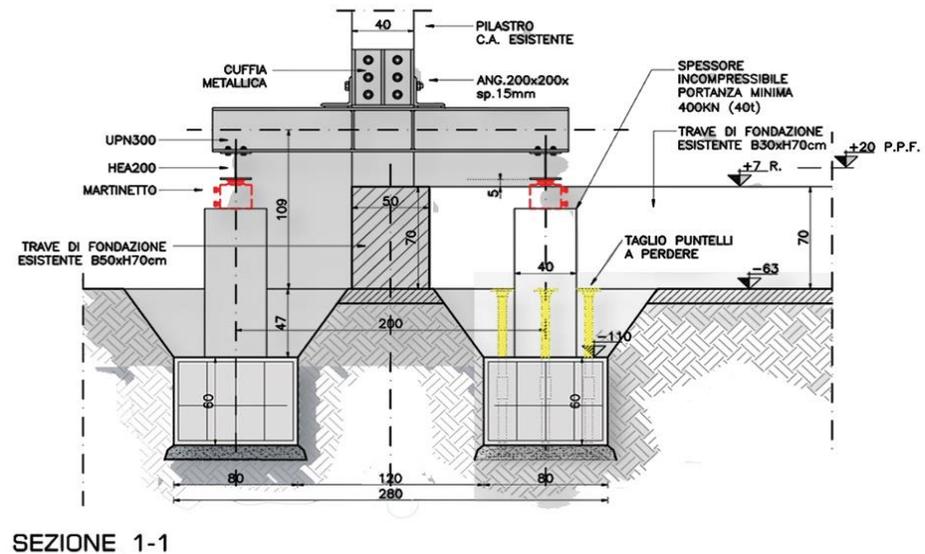
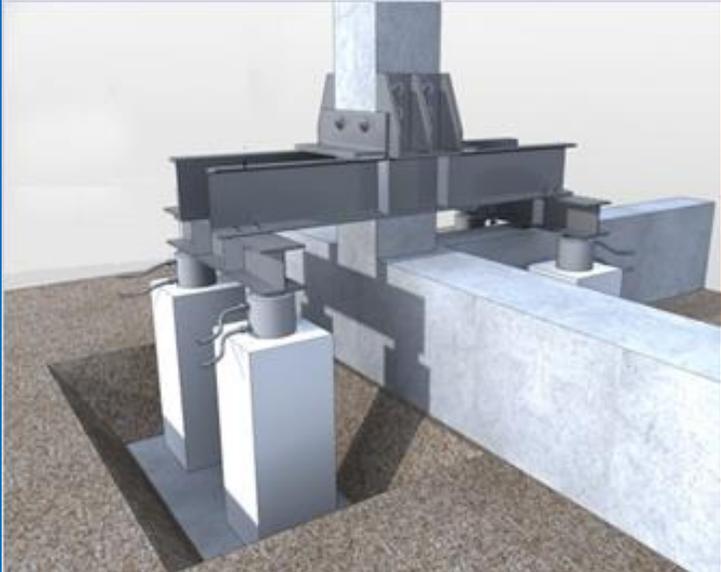
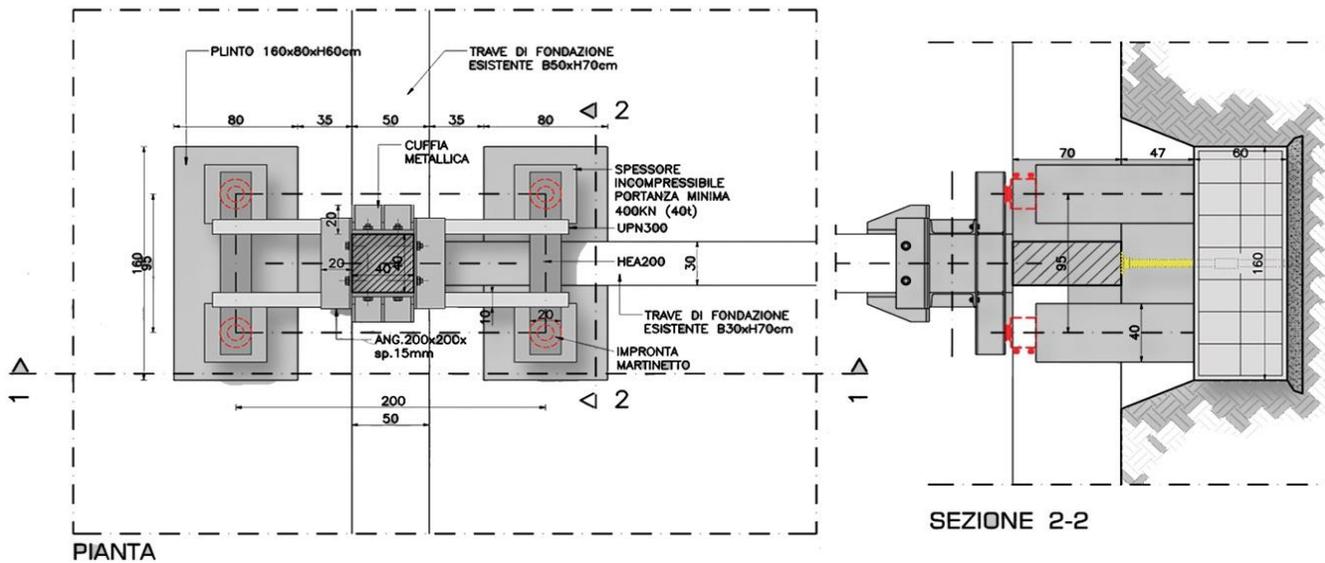
Fasi della messa in opera dei dispositivi di isolamento



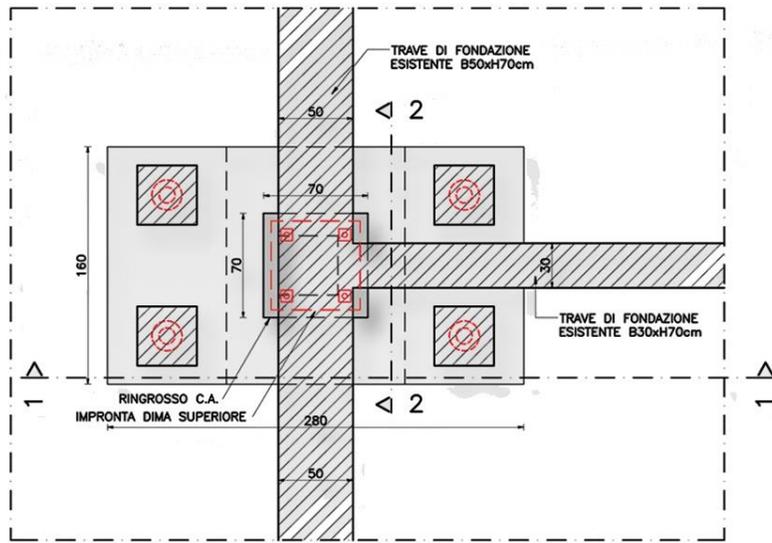
Fase di scavo



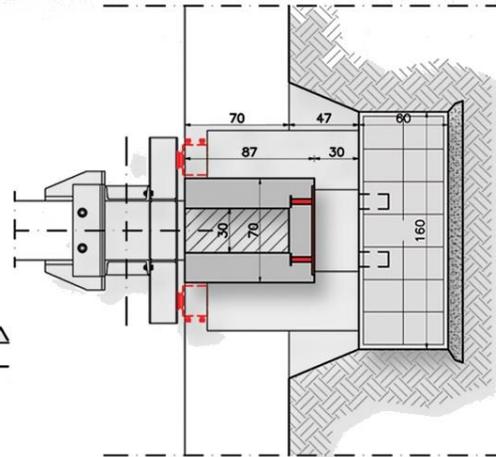
Scavo ed esecuzione 1° plinto di fondazione 160x80xH60



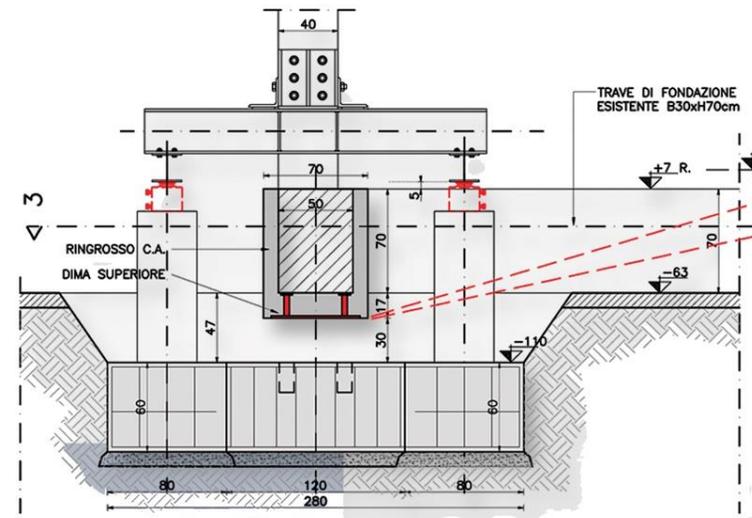
Posizionare struttura metallica e presa in carico pilastro con martinetti



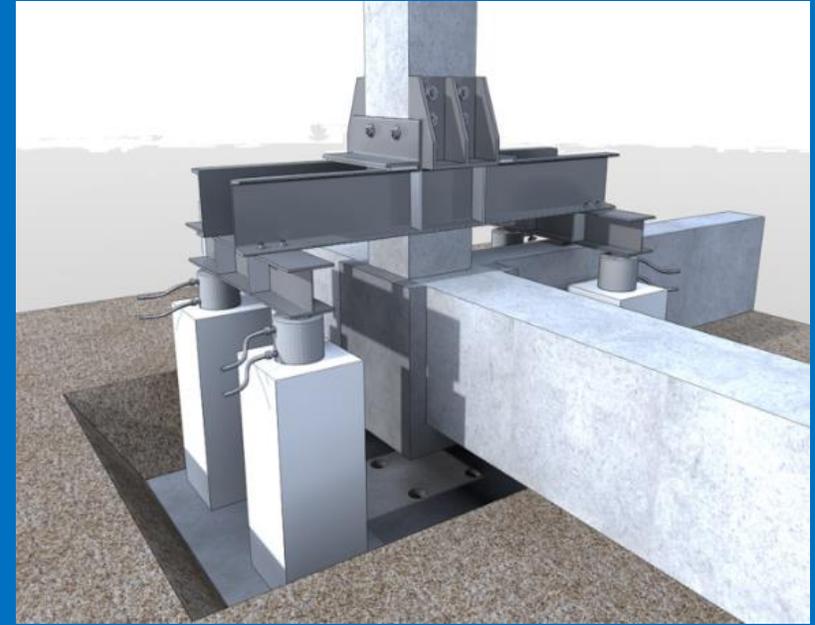
SEZIONE 3-3



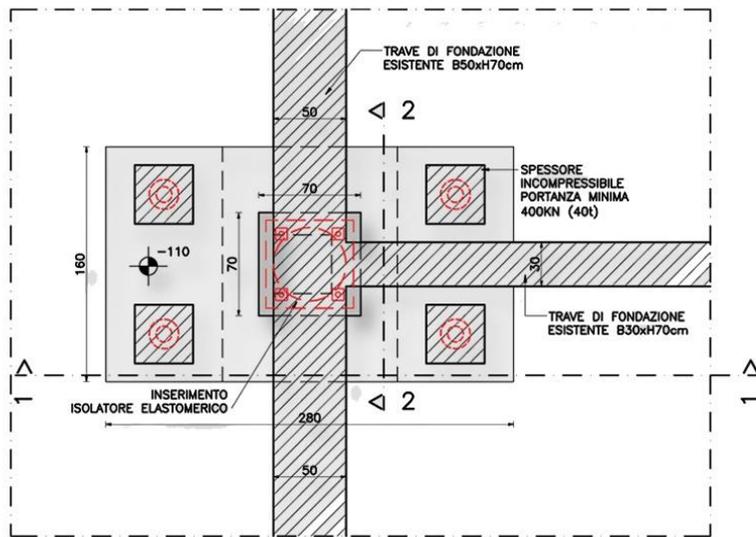
SEZIONE 2-2



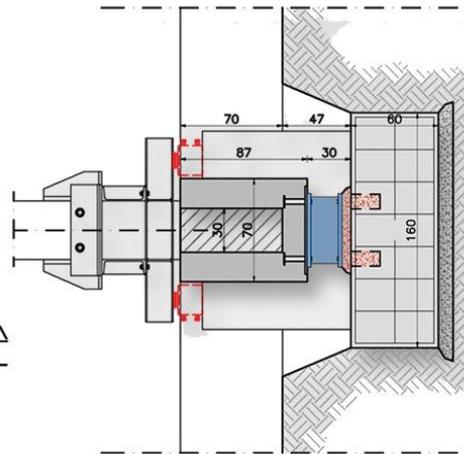
SEZIONE 1-1



Ringrosso trave esistente con predisposta dima superiore di ancoraggio isolatore

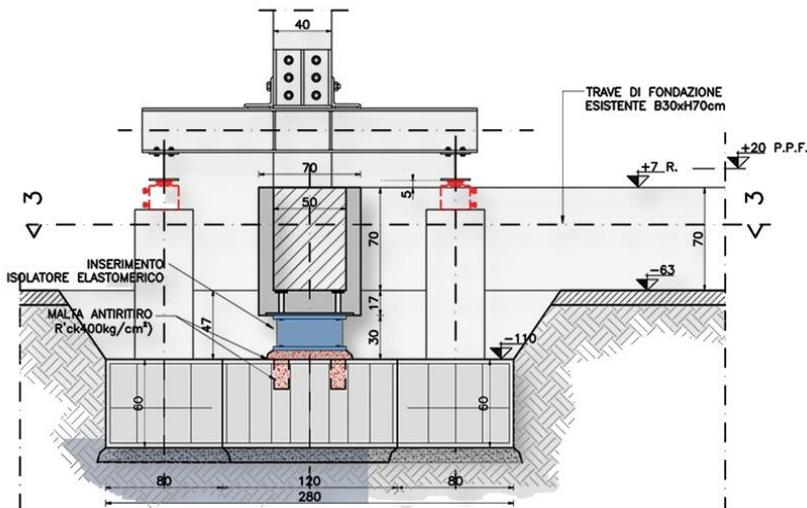


SEZIONE 3-3

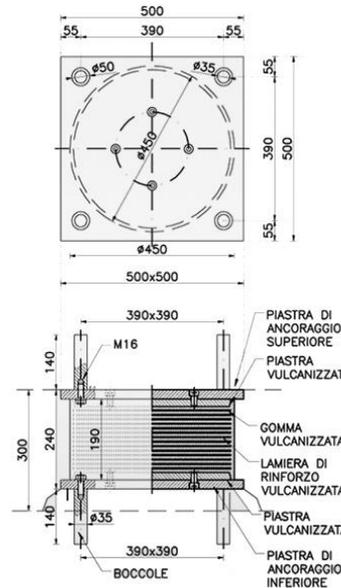


SEZIONE 2-2

FIP TIPO SI-S 450/102
 $K_s=0.62\text{kn/mm}$; $S_{max}=\pm 200\text{ mm}$



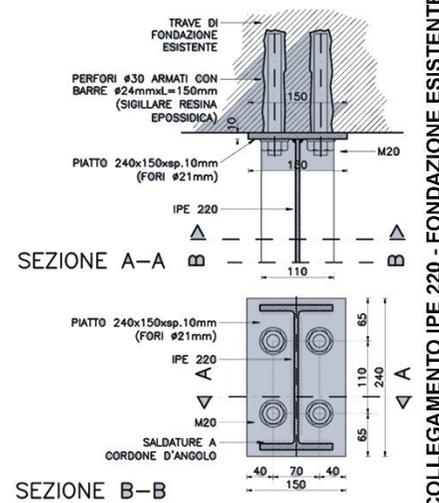
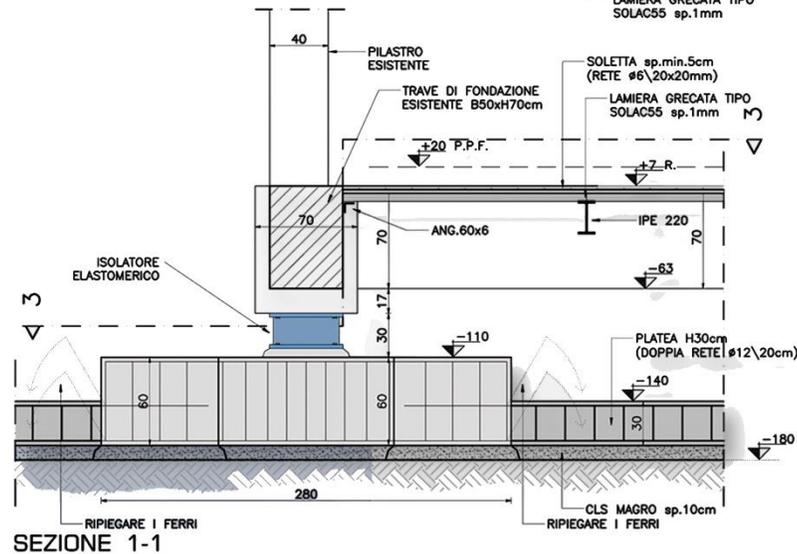
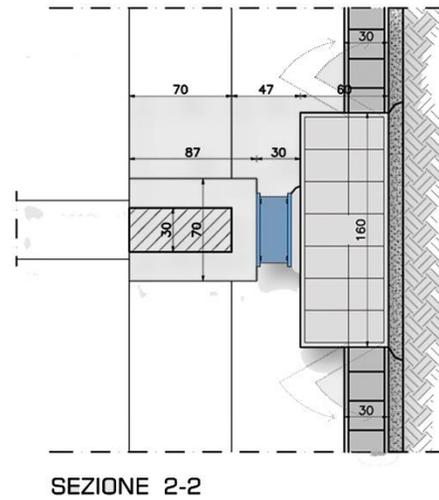
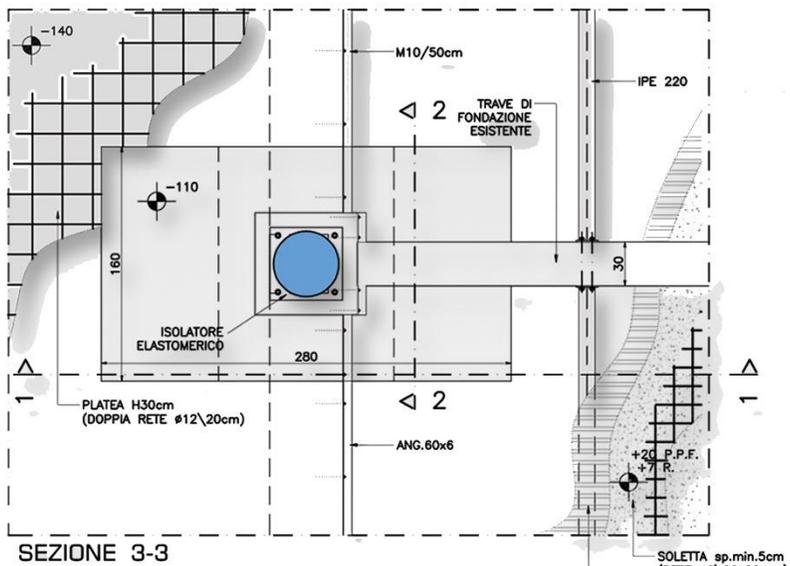
SEZIONE 1-1



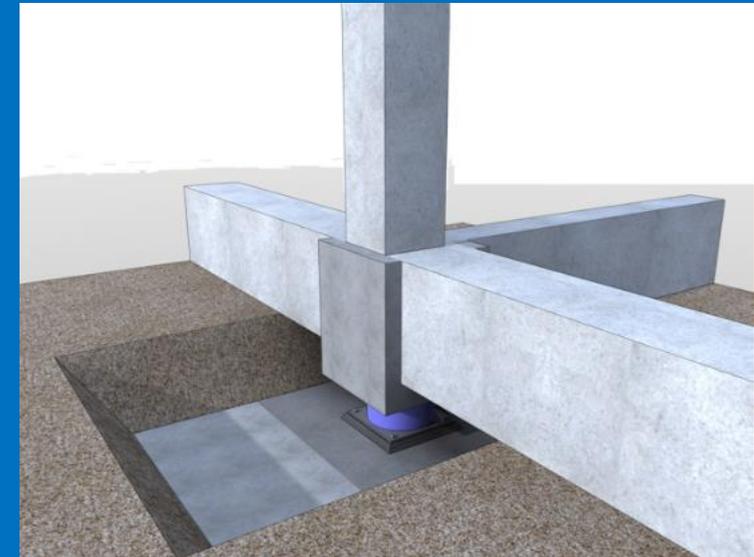
PART. ISOLATORE ELASTOMERICO



Inserimento e serraggio isolatore elastomerico



COLLEGAMENTO IPE 220 - FONDAZIONE ESISTENTE



Smontaggio struttura metallica,
esecuzione platea H 30 cm e
soffitto in acciaio

Edifici IACP a Solarino (Siracusa)

L'edificio in esame è di proprietà dello IACP ed è sito nel comune di Solarino (Siracusa) [70]. Dall'analisi dello stato di fatto è emerso che la struttura portante di tale manufatto risultava vulnerabile a terremoti di progetto di alta e media intensità, come di evince dall'analisi presentata nella tabella che segue.



Vista dell'edificio IACP

Descrizione della struttura



Fig. 3.8.2: Prospetto longitudinale anteriore

Inadempienze e adeguamenti

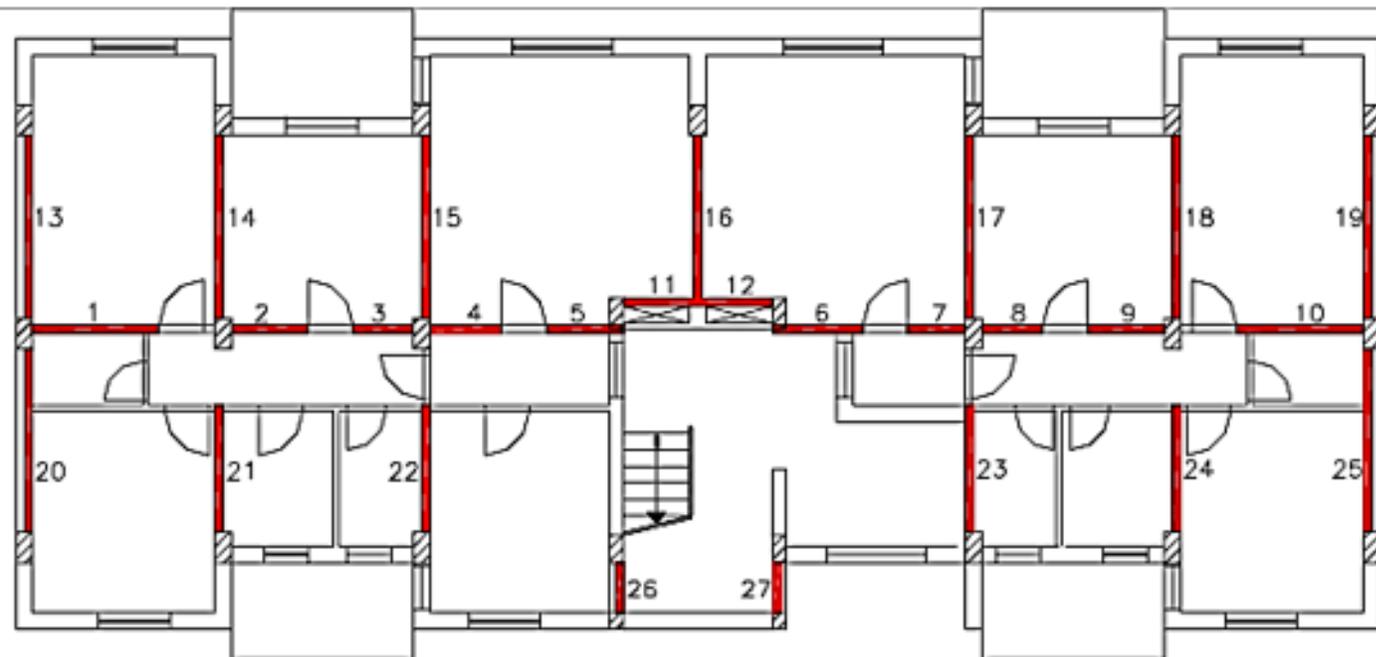
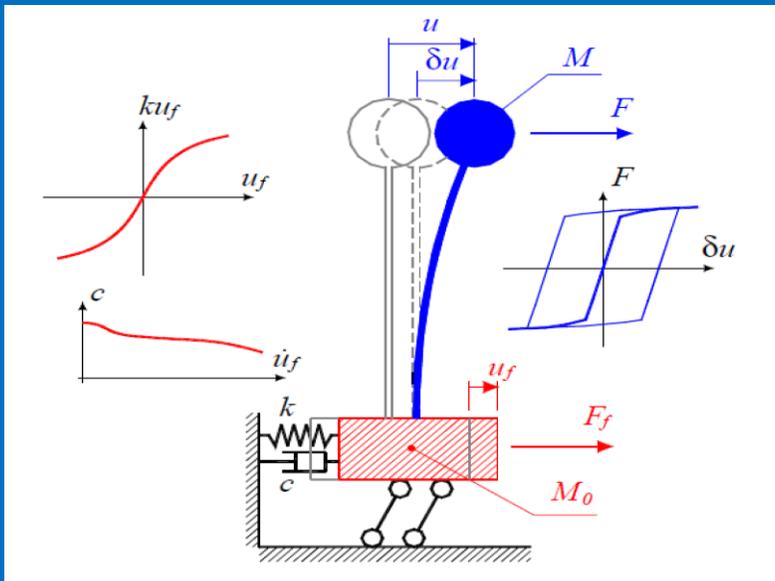


Fig. 3.8.3: Intervento di rinforzo preliminare con l'introduzione di pareti in c.a.

Progettazione del sistema di isolamento



Modello a due gradi di libertà adottato per descrivere il sistema isolato

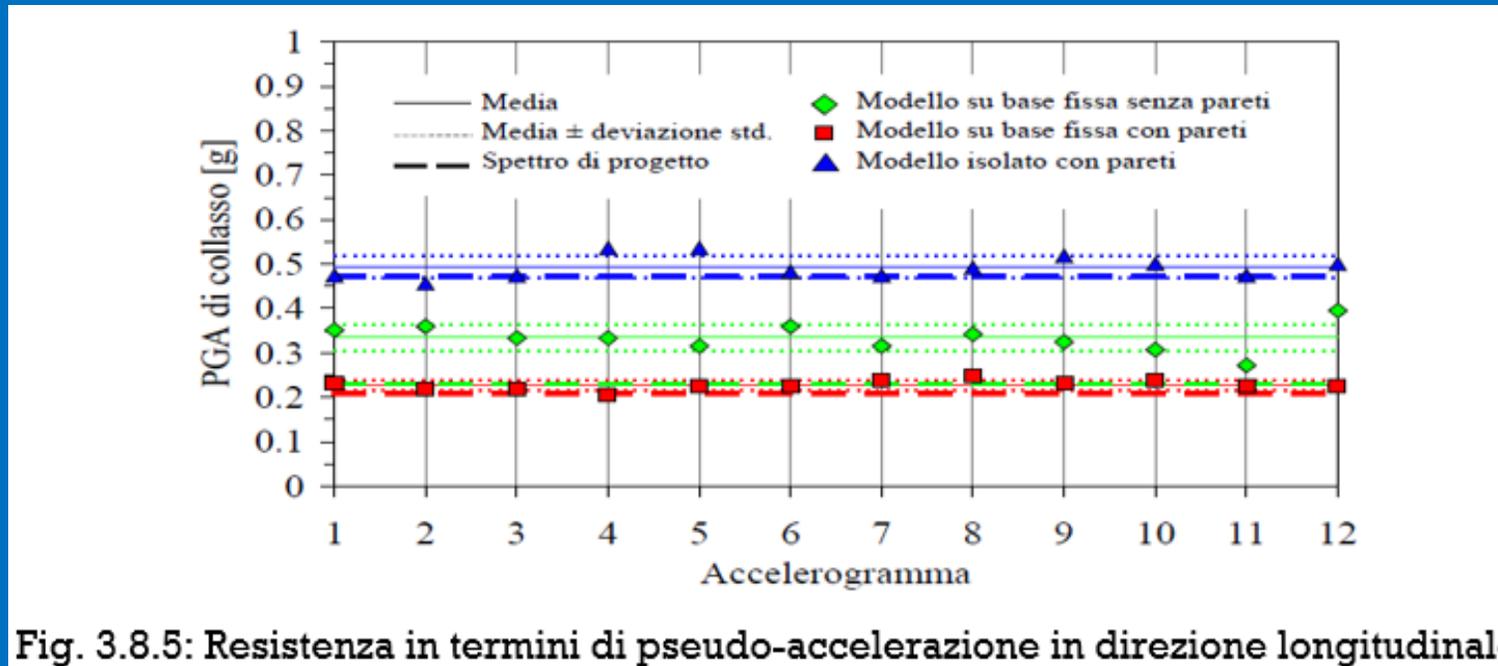
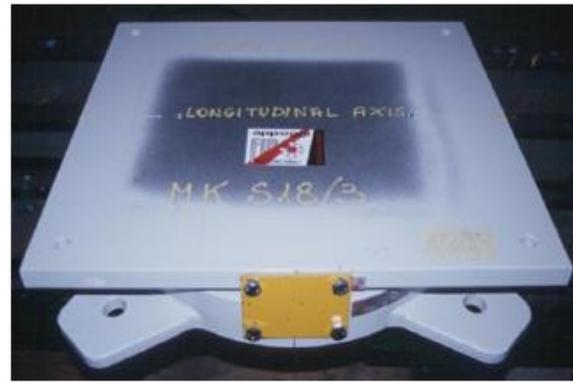


Fig. 3.8.5: Resistenza in termini di pseudo-accelerazione in direzione longitudinale

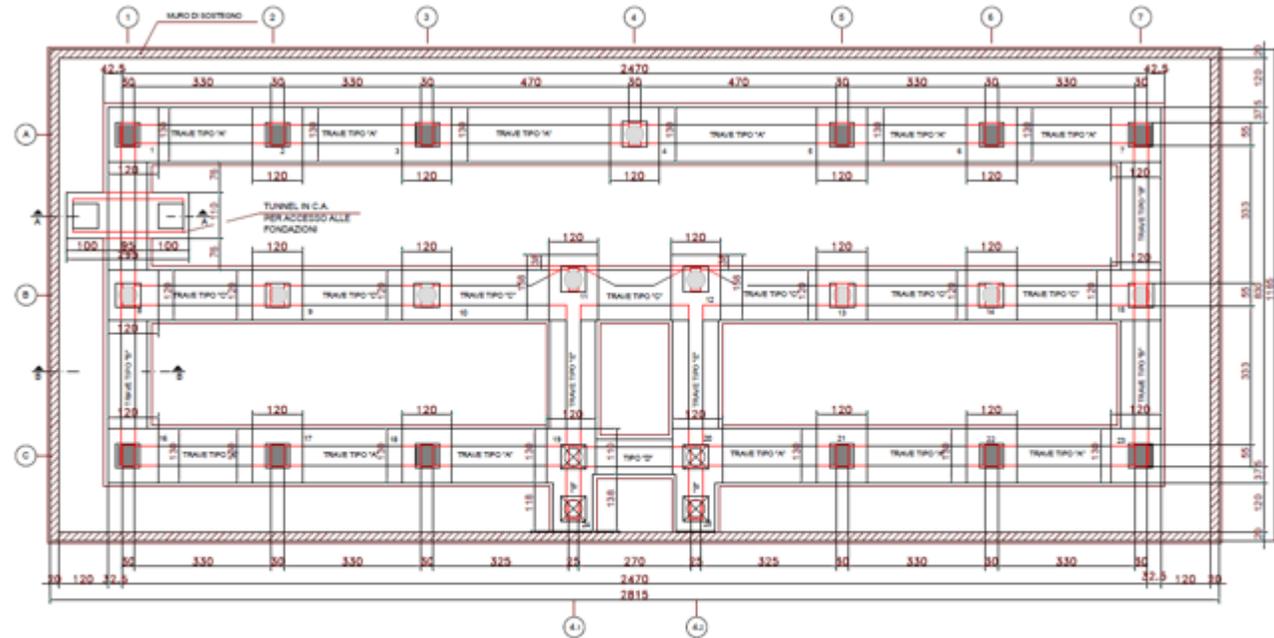


Isolatore elastomerico



Apparecchio di appoggio a basso attrito

Fig. 3.8.6: Tipologie degli isolatori utilizzati

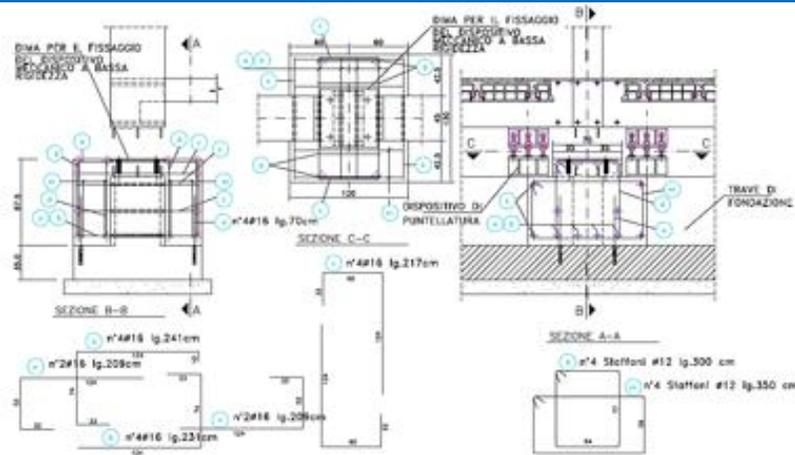


Dispositivo elastomerico
 Apparecchi di appoggio a basso attrito

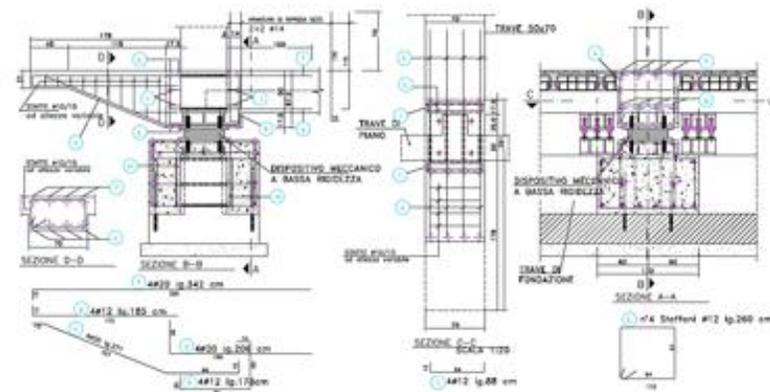
Fig. 3.8.7: Posizionamento in pianta degli isolatori sismici e degli apparecchi di scorrimento

Fase 3: Messa in opera dei dispositivi di puntellatura trave di piano

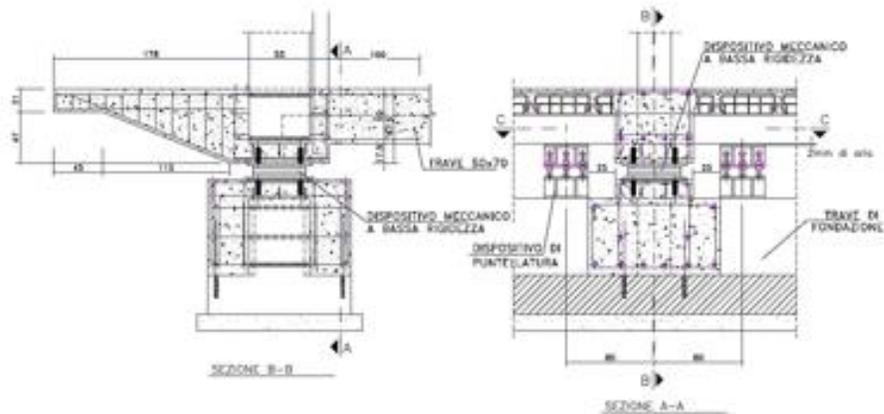
Fase 4: Serraggio dei dispositivi di puntellatura e taglio tronco di pilastro



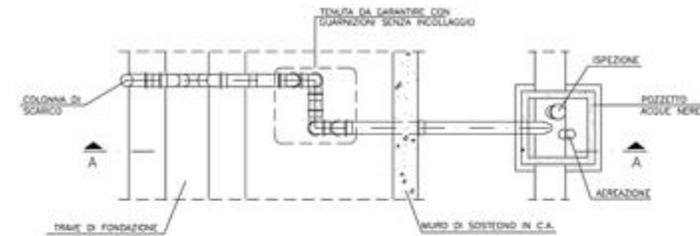
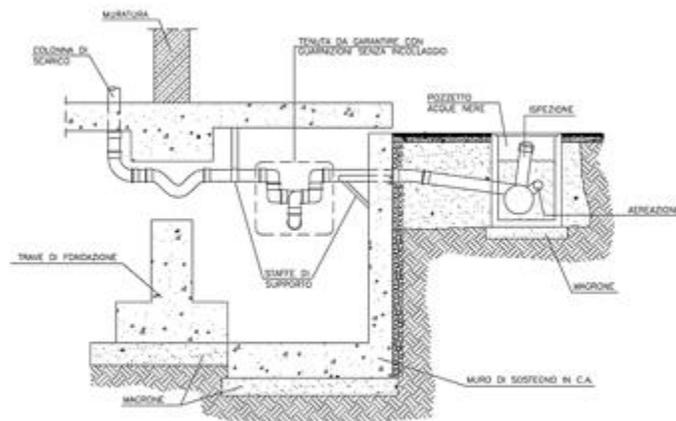
Fase 5: Messa in opera dell'armatura e loro inghisaggio, messa in opera dima per isolatore sismico, getto della base inferiore



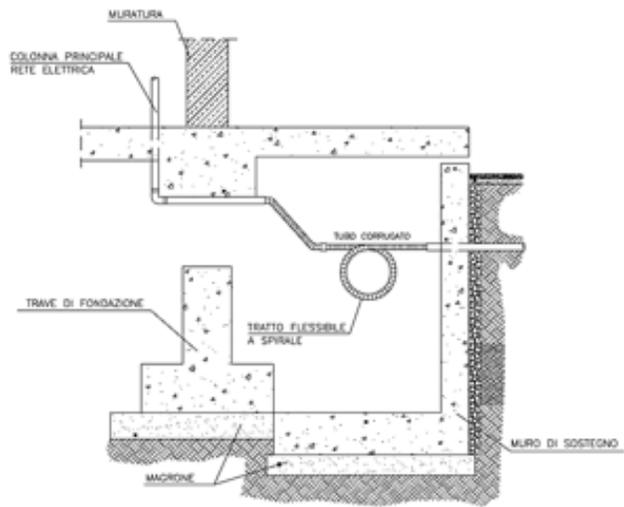
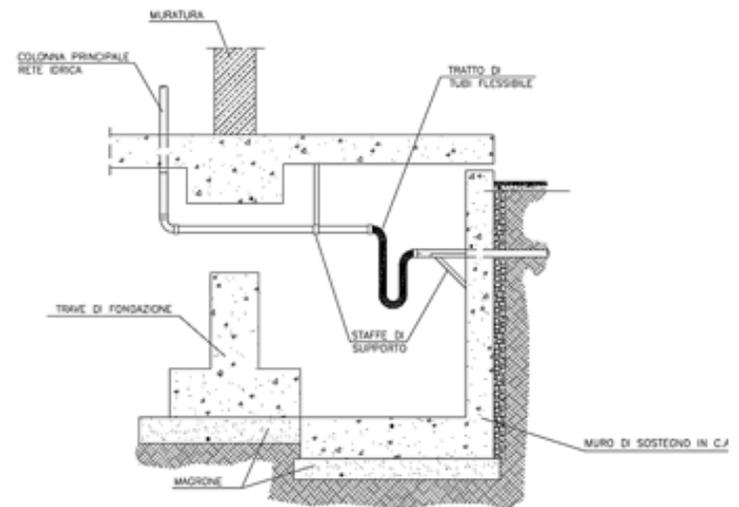
Fase 6: Messa in opera dell'armatura e loro inghisaggio, messa in opera dell'isolatore sismico, getto della base superiore e della trave



Fase 7: Spostamento dei dispositivi di puntellatura e loro fissaggio permanente alla trave di fondazione. Serraggio dei bulloni di regolazione lasciando 2mm di spazio tra la piastra superiore del dispositivo e la trave di piano



Smaltimento acque nere



Ingresso tubi per impianto idrico o gas

Ingresso linea elettrica

Città Ospedaliera di Avellino

La città ospedaliera di Avellino fu progettata e costruita nella sua configurazione originaria dopo il terremoto che colpì l'Irpinia nel 1980. Il suo adeguamento sismico, realizzato mediante isolamento alla base si rese necessario negli anni 2009-2010, allo scopo di uniformare la struttura ai dettami delle sopravvenute NTC 2008.



Fig. 3.9.1: Vista di una struttura della città ospedaliera di Avellino in fase precedente all'intervento di isolamento sismico

Descrizione della struttura

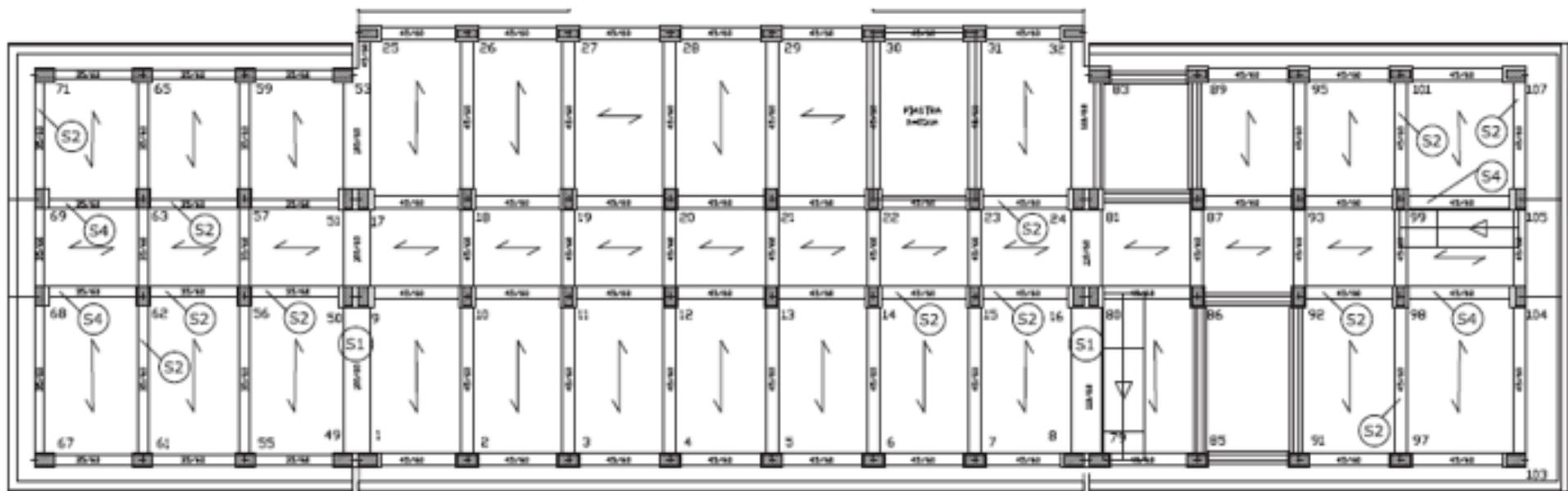
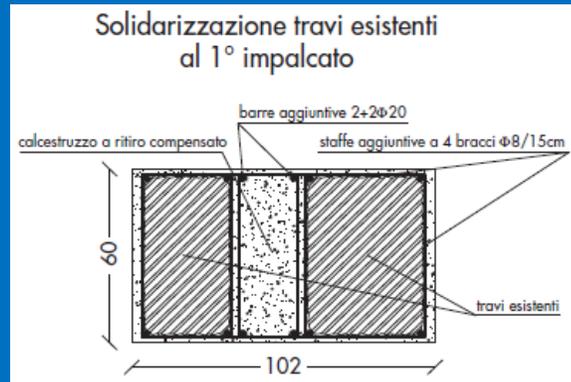


Fig. 3.9.2: Pianta dell'edificio nello stato di fatto

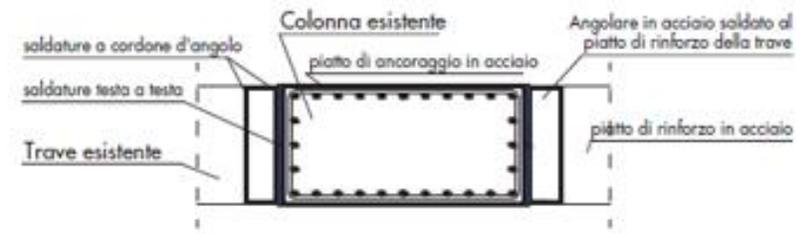
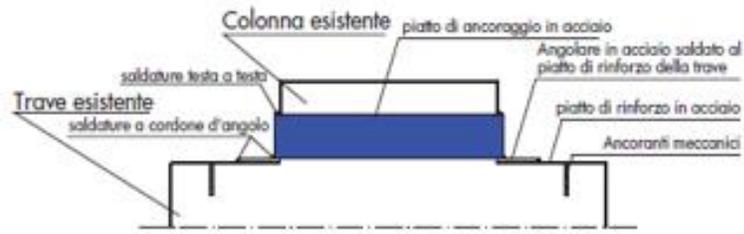
Inadempienze e adeguamenti



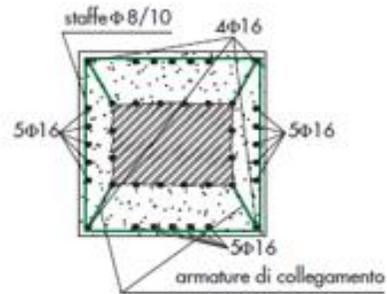
Dettaglio costruttivo
dell'intervento di solidarizzazione
delle travi del primo impalcato



Ancoraggio dei piatti di rinforzo delle travi mediante angolari e collari metallici (S2-S3-S4)



Rinforzo pilastri - S5



Rinforzo pilastri - S6

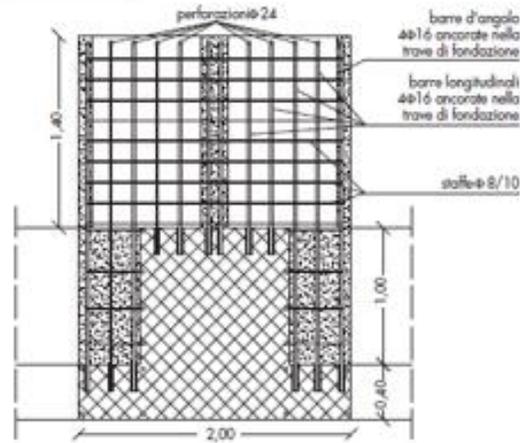
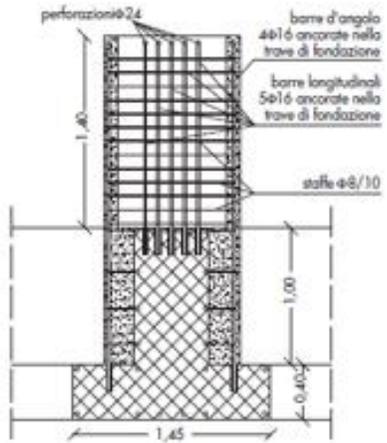
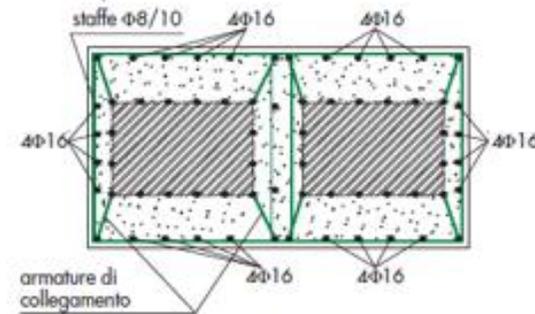


Fig. 3.9.5: Interventi di rinforzo dei pilastri

Progettazione del sistema di isolamento



Fig. 3.9.6: Posizionamento degli isolatori elastomerici e dei dispositivi a slitta

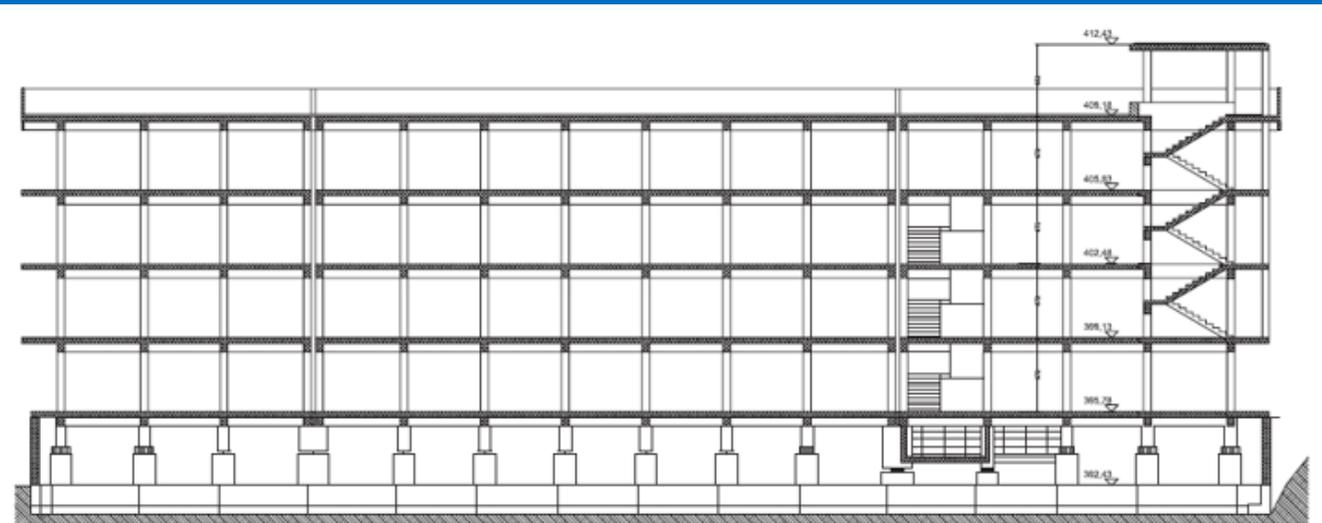
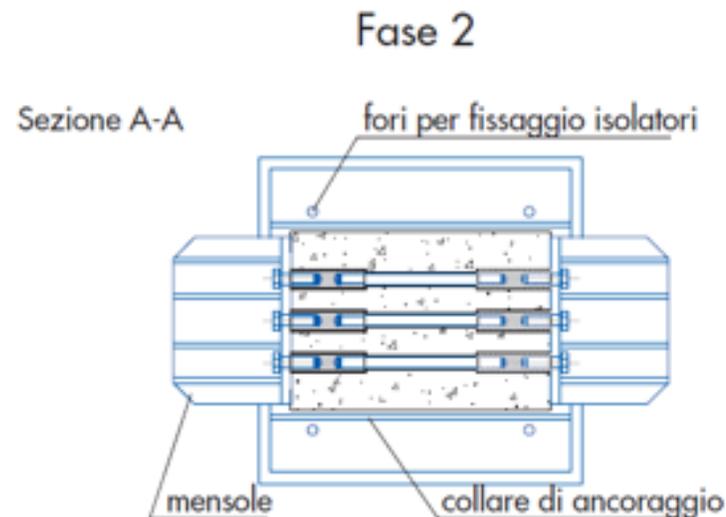
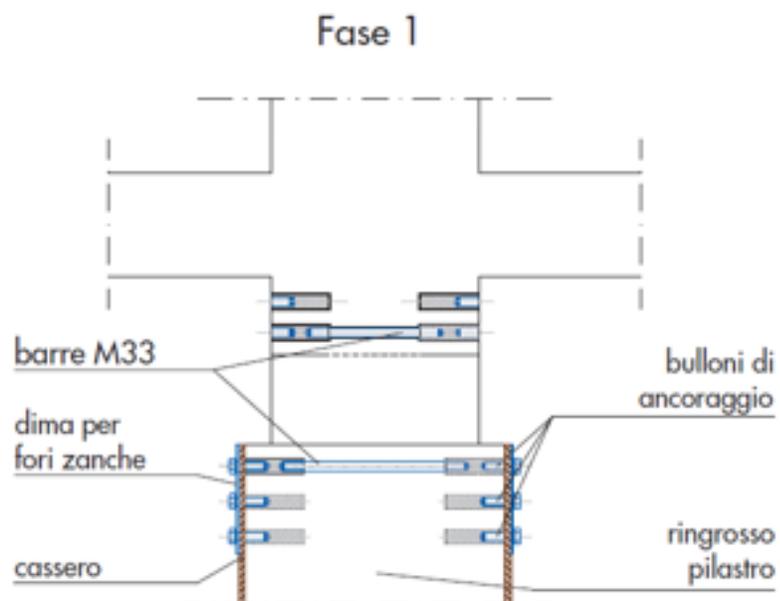


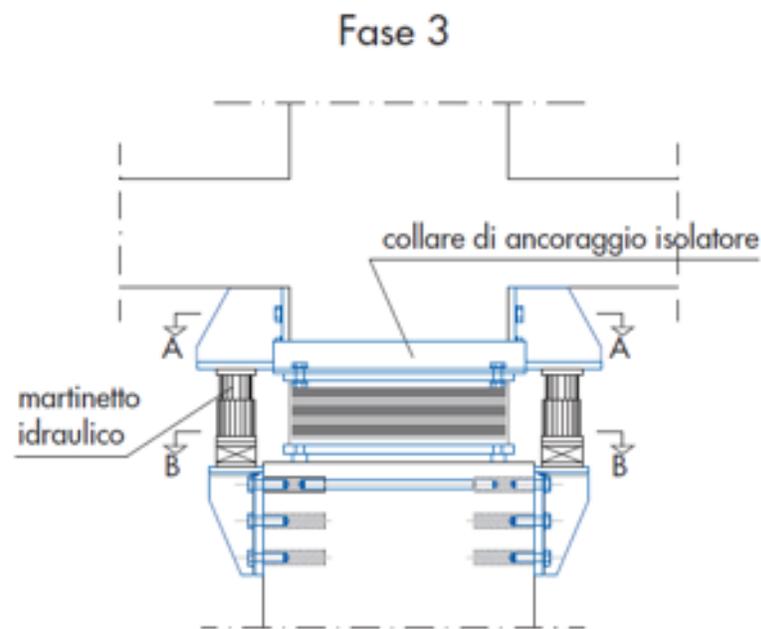
Fig. 3.9.7: Sezione della struttura con i dispositivi di isolamento inseriti

Fasi della messa in opera dei dispositivi di isolamento

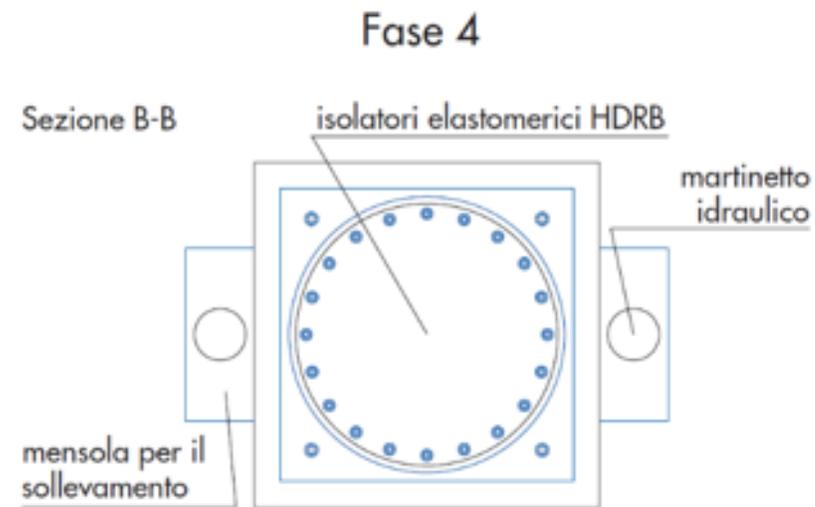


Fase 1: Realizzazione dei fori e predisposizione di zanche per l'ancoraggio delle mensole del sistema di sollevamento

Fase 2: Montaggio delle mensole, messa in carico dei martinetti idraulici di sollevamento e realizzazione del taglio



Fase 3: Posizionamento del dispositivo di isolamento e predisposizione dei collari metallici di collegamento alle sezioni dei pilastri esistenti



Fase 4: Solidarizzazione dei dispositivi ai collari ed alle sezioni del pilastro mediante getto di malta antiritiro autolivellante, e successiva rimozione del sistema di sollevamento



Foto: Fase di installazione dei dispositivi di isolamento



Foto: Fase di installazione dei dispositivi di isolamento

Edificio Scolastico ad Avezzano (L'Aquila)

L'intervento di adeguamento sismico in esame in questo paragrafo si riferisce ad un edificio scolastico sito nel comune di Avezzano (L'Aquila). I vari corpi di fabbrica che compongono tale edificio esibiscono una struttura portante intelaiata di c.a.: i corpi A e C sono adibiti ad aule, mentre il corpo B è destinato ad uffici e biblioteca ed il corpo D è adibito a palestra. I corpi sono separati da un giunto di ampiezza variabile tra 10 e 12 cm.



Fig. 3.10.1: Vista della struttura precedente all'intervento di adeguamento

Descrizione della struttura

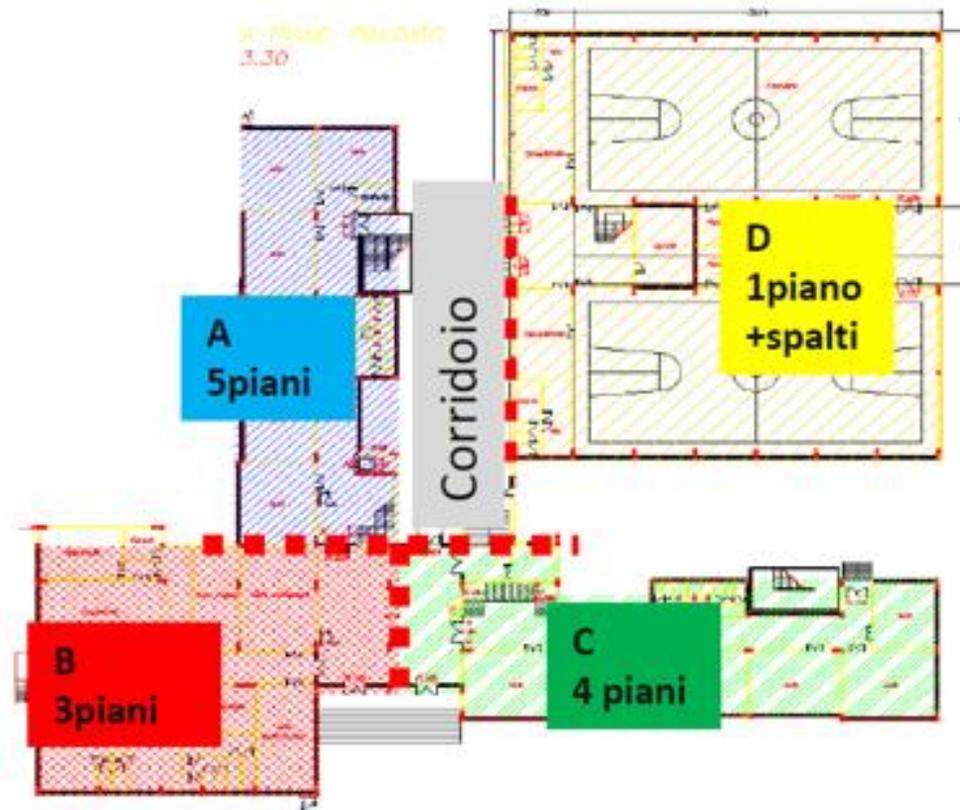


Fig. 3.10.2: Vista planimetrica del piano rialzato dei quattro corpi di fabbrica

Inadempienze ed adeguamenti

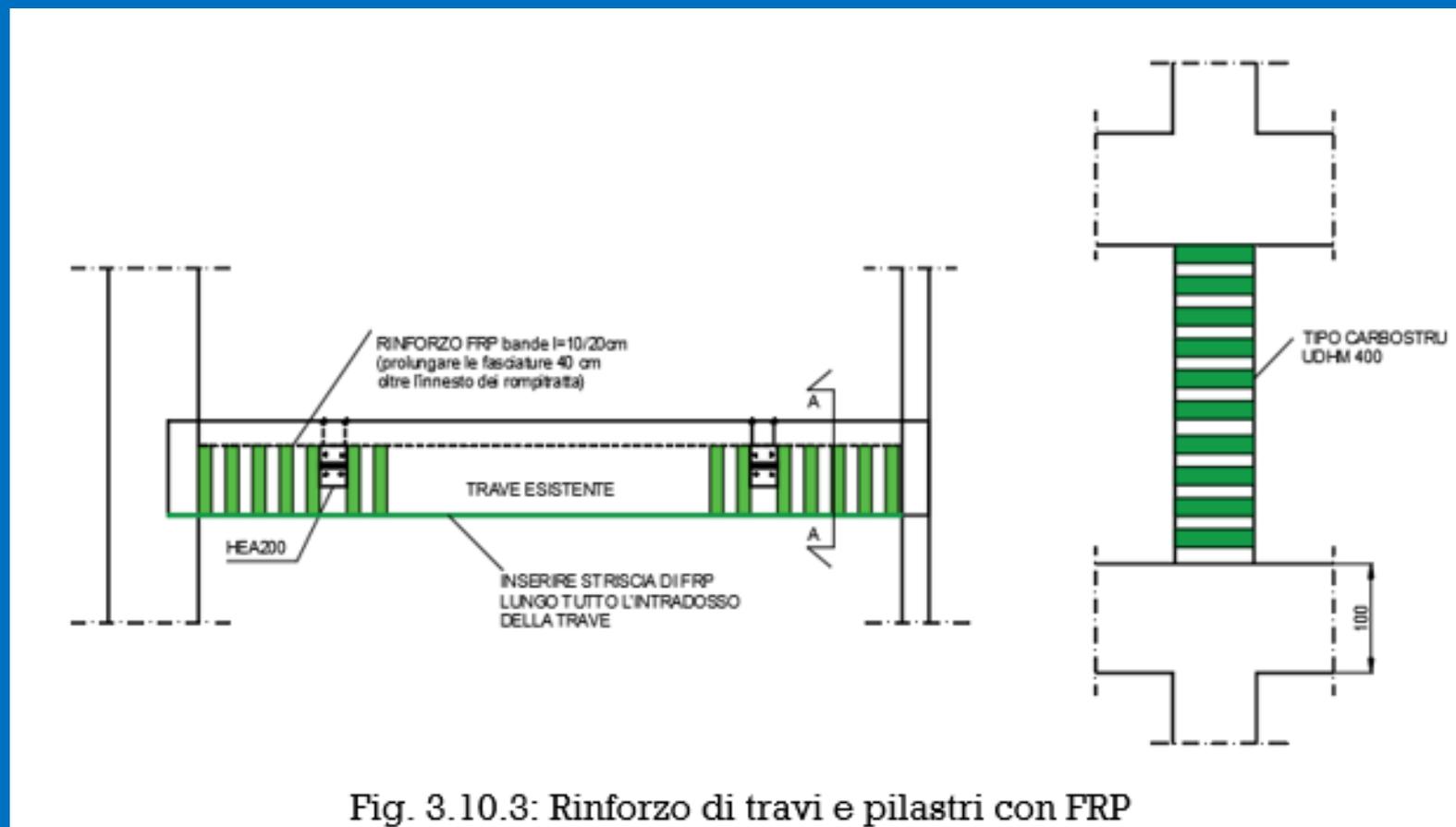


Fig. 3.10.3: Rinforzo di travi e pilastri con FRP

Progettazione del sistema di isolamento

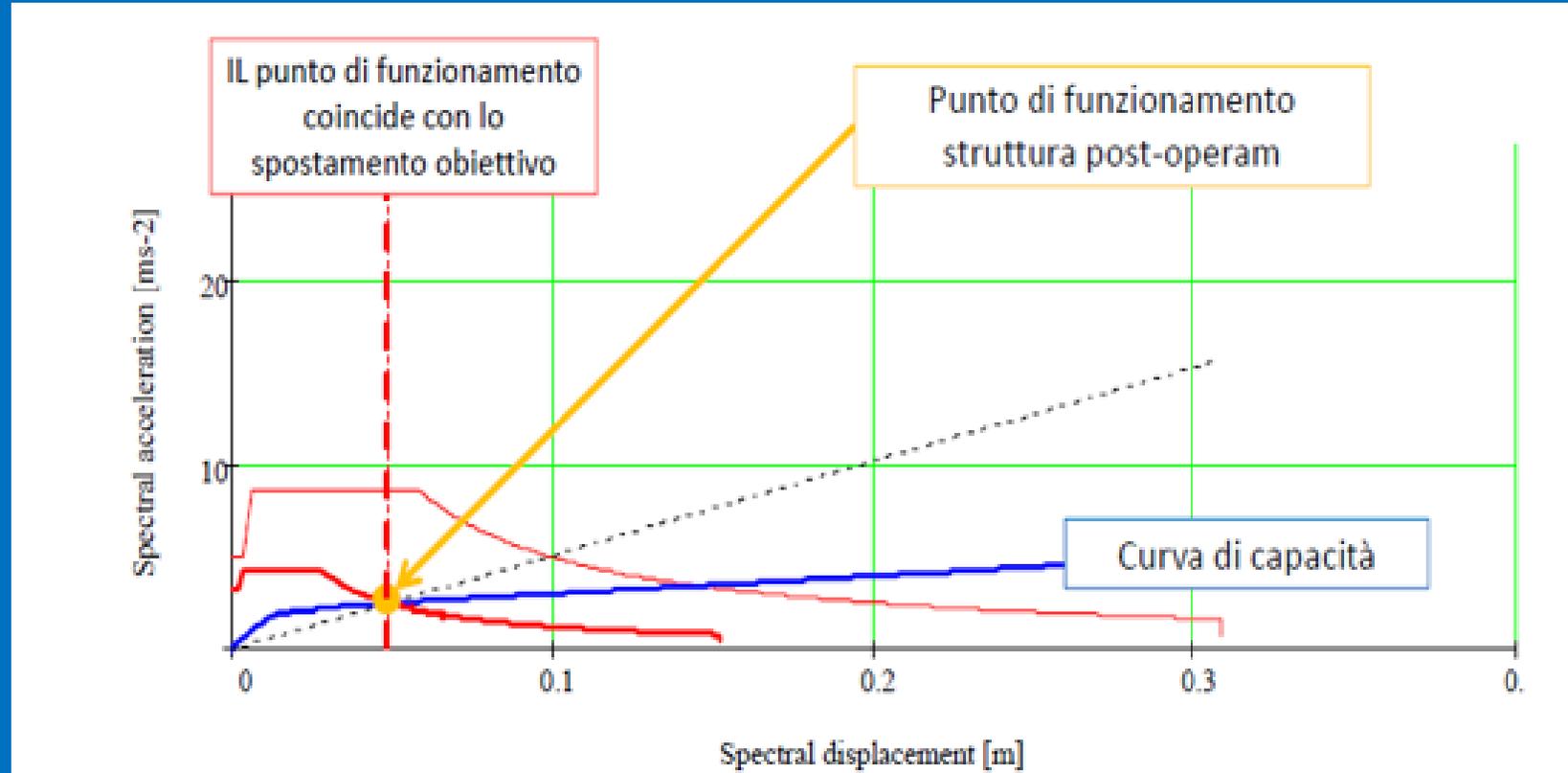
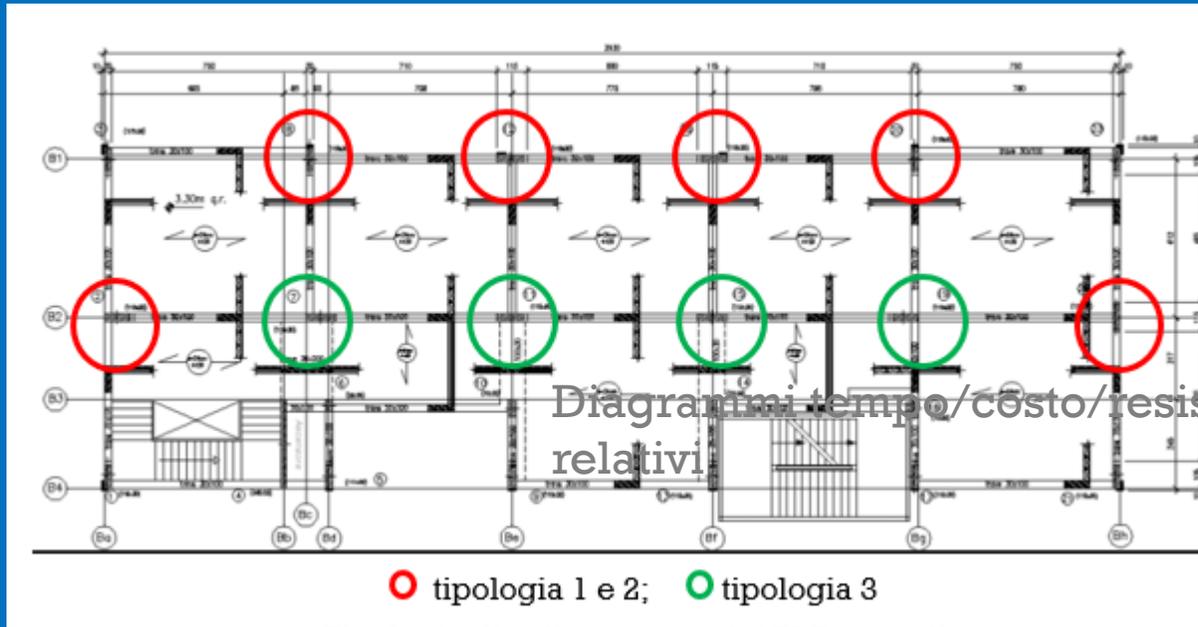
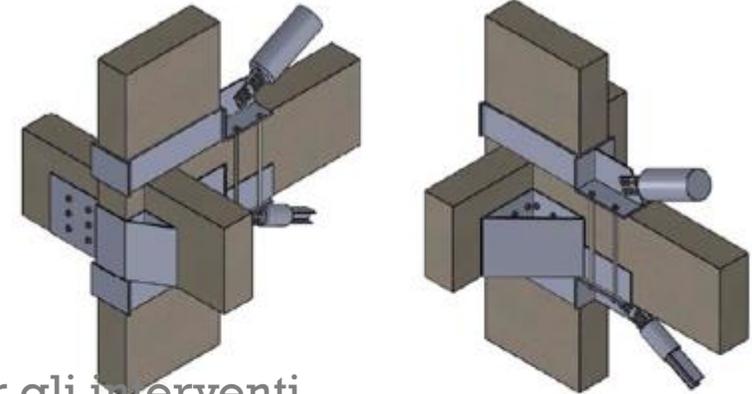


Fig. 3.10.4: Punto di funzionamento della struttura post-operam

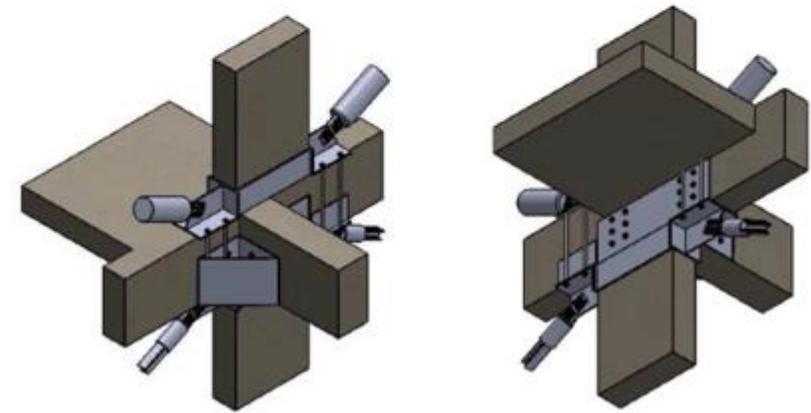
Fasi della messa in opera dei dispositivi



Diagrammi tempo/costo/resistenza per gli interventi relativi



Tipologie di collegamento 1 e 2 nei nodi di estremità



Analisi dei costi

Voci di costo	Intera struttura				Edificio A					Edificio B				
	Spesa	Incidenza			Spesa	Incidenza			Spesa	Incidenza				
	€	€/m ²	€/m ³	€/€ _{tot}	€	€/€ _{tot}	€/m ²	€/m ³	€/€ _{tot}	€	€/€ _{tot}	€/m ²	€/m ³	€/€ _{tot}
Pareti e travi in c.a.	902238	73,3	25,1	26,4%	229620	6,7%	70,2	27,1	17,3%	443206	13,0%	150,2	52,2	44,0%
Travi rompitratta	234732	19,1	6,5	6,9%	98577	2,9%	30,1	11,6	7,4%	62390	1,8%	21,1	7,3	6,2%
Realiz. Soletta all'estradosso	586911	47,7	16,3	17,2%	233136	6,8%	71,3	27,5	17,6%	178924	5,2%	60,7	21,1	17,8%
Controventi dissipativi	325181	26,4	9,0	9,5%	199779	5,9%	61,1	23,6	15,1%	0	0,0%	0,0	0,0	0,0%
FRP	643616	52,3	17,9	18,8%	314356	9,2%	96,1	37,1	23,7%	88568	2,6%	30,0	10,4	8,8%
Collegamento scala	10000	0,8	0,3	0,3%	5000	0,1%	1,5	0,6	0,4%	0	0,0%	0,0	0,0	0,0%
Antiribaltamento tramezzi	19718	1,6	0,5	0,6%	0	0,0%	0,0	0,0	0,0%	19718	0,6%	6,7	2,3	2,0%
Anticorrosivo pilastri esterni	86041	7,0	2,4	2,5%	34060	1,0%	10,4	4,0	2,6%	22167	0,6%	7,5	2,6	2,2%
Impermeabilizzazione copertura	96113	7,8	2,7	2,8%	20664	0,6%	6,3	2,4	1,6%	27276	0,8%	9,2	3,2	2,7%
Ripristino impianti idrosanitari	46500	3,8	1,3	1,4%	18800	0,6%	5,7	2,2	1,4%	13600	0,4%	4,6	1,6	1,3%
Ripristino impianti termici	151978	12,3	4,2	4,5%	55136	1,6%	16,9	6,5	4,2%	52920	1,5%	17,9	6,2	5,3%
Ripristino impianti elettrici	238822	19,4	6,6	7,0%	86642	2,5%	26,5	10,2	6,5%	83160	2,4%	28,2	9,8	8,3%
Opere provvisorie	72605	5,9	2,0	2,1%	30815	0,9%	9,4	3,6	2,3%	15481	0,5%	5,2	1,8	1,5%
	€	€/m ²	€/m ³		€	€/€ _{tot}	€/m ²	€/m ³		€	€/€ _{tot}	€/m ²	€/m ³	
Costi totali (euro)	3414455	277,3	94,8		1326585	38,9%	405,7	156,4		1007410	29,5%	341,5	118,6	

Superficie (m ²)	12313
Cubatura (m ³)	36011

Sup. Ed. A (m ²)	3270
Vol. Ed. A (m ³)	8483

Sup. Ed. B (m ²)	2950
Vol. Ed. B (m ³)	8495

Villa La Silvestrella a L'Aquila

La villa "La Silvestrella" a L'Aquila, realizzata nei primi del novecento, era giunta fino ai giorni attuali senza subire alcuna sostanziale manomissione. Il sisma del 06 Aprile 2009 ha determinato ingenti danni a tale struttura, tali da ricondurla ad uno stato avanzato di danno, prossimo al collasso strutturale.

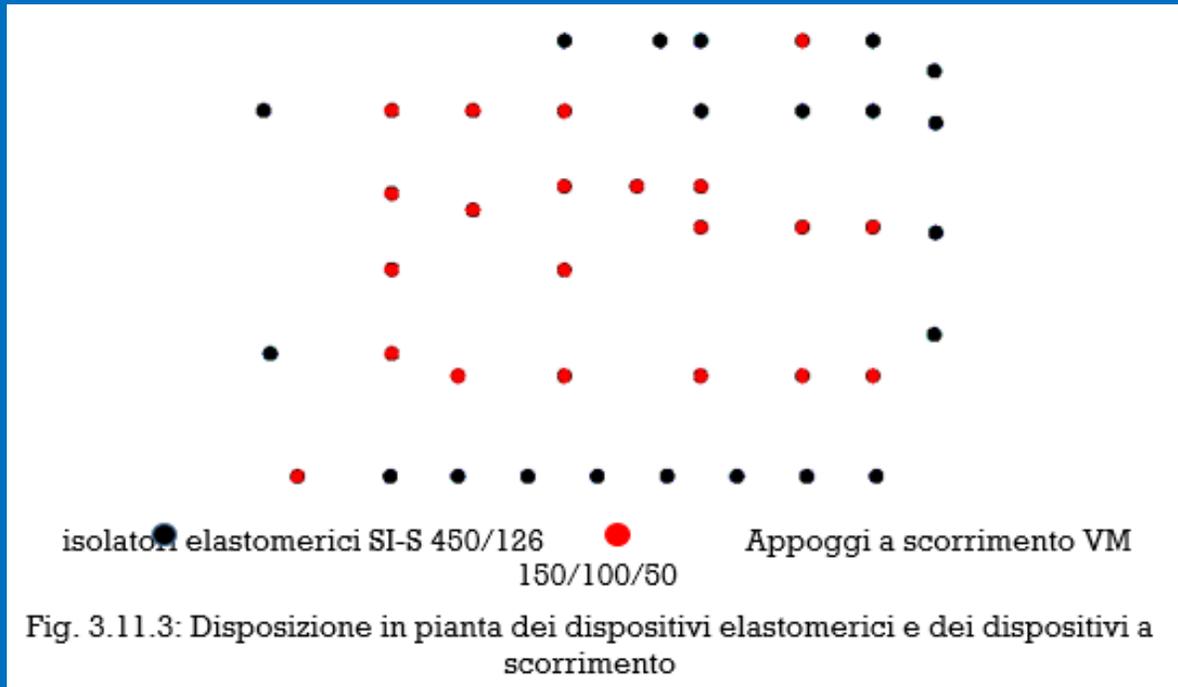


Fig. 3.11.1: Vista di Villa La Silvestrella precedente all'intervento di adeguamento

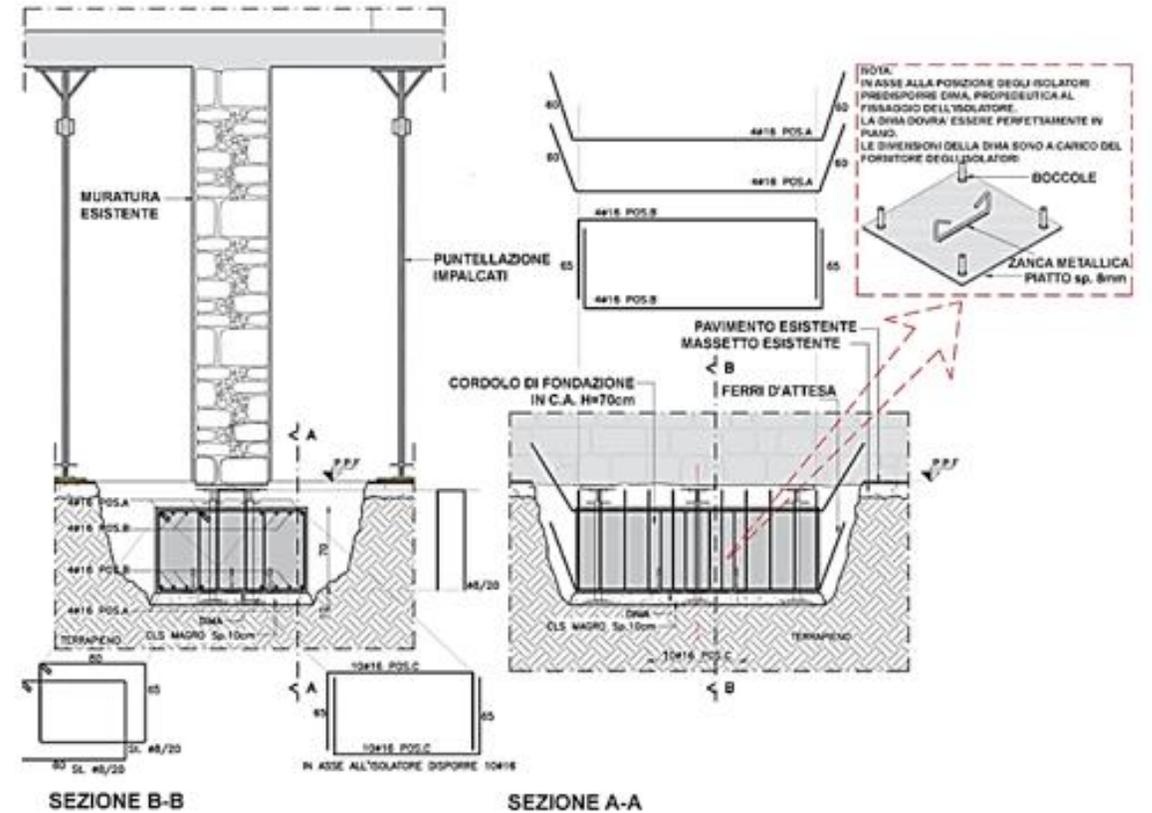
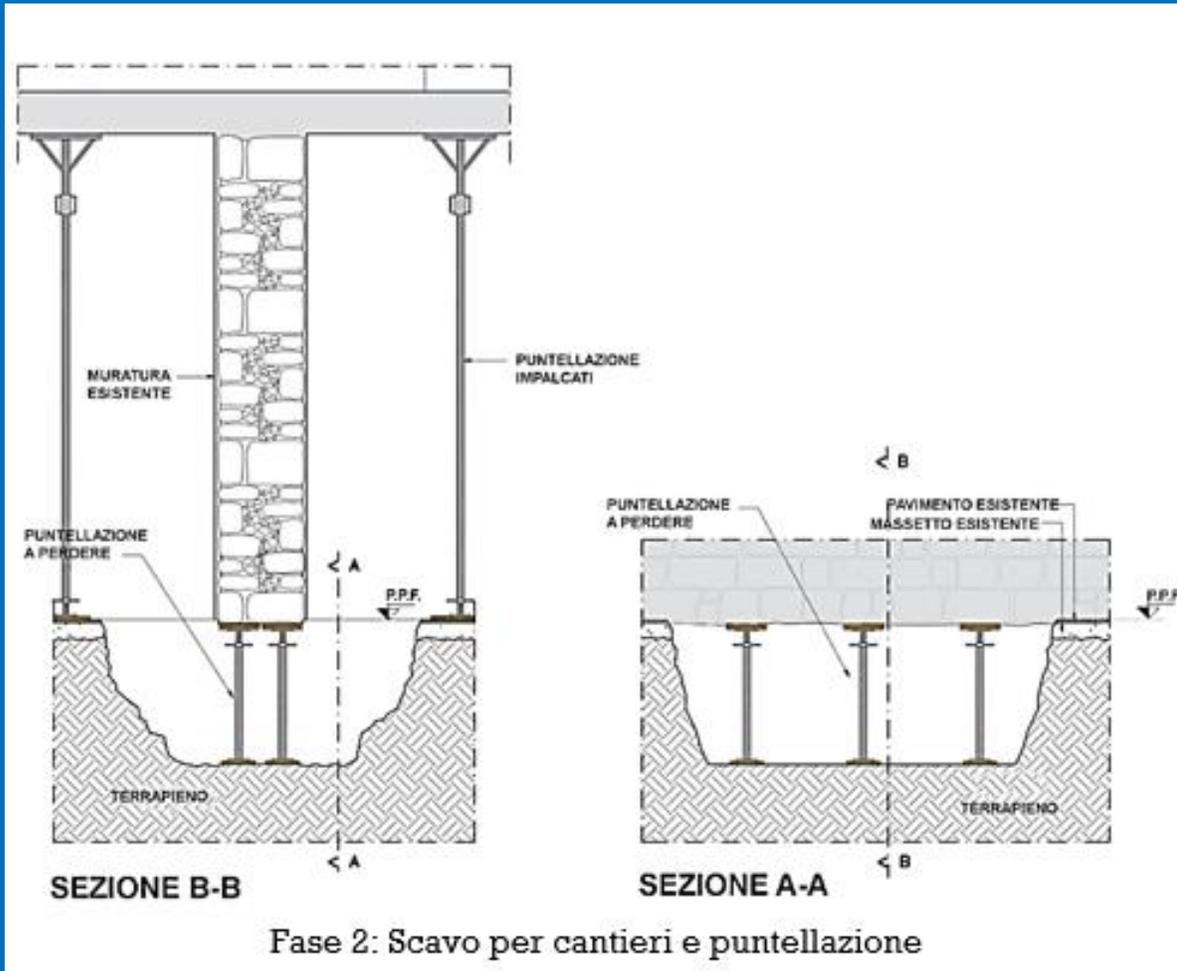
Descrizione della struttura

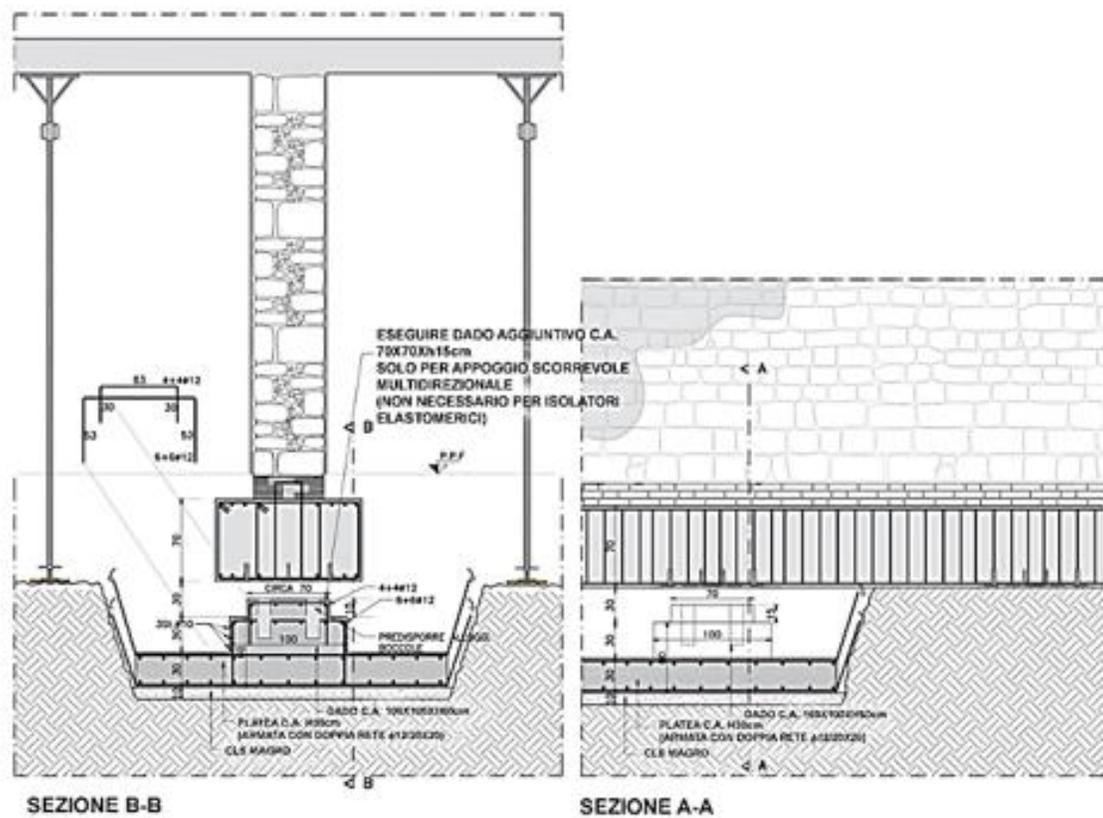


Progettazione del sistema di isolamento

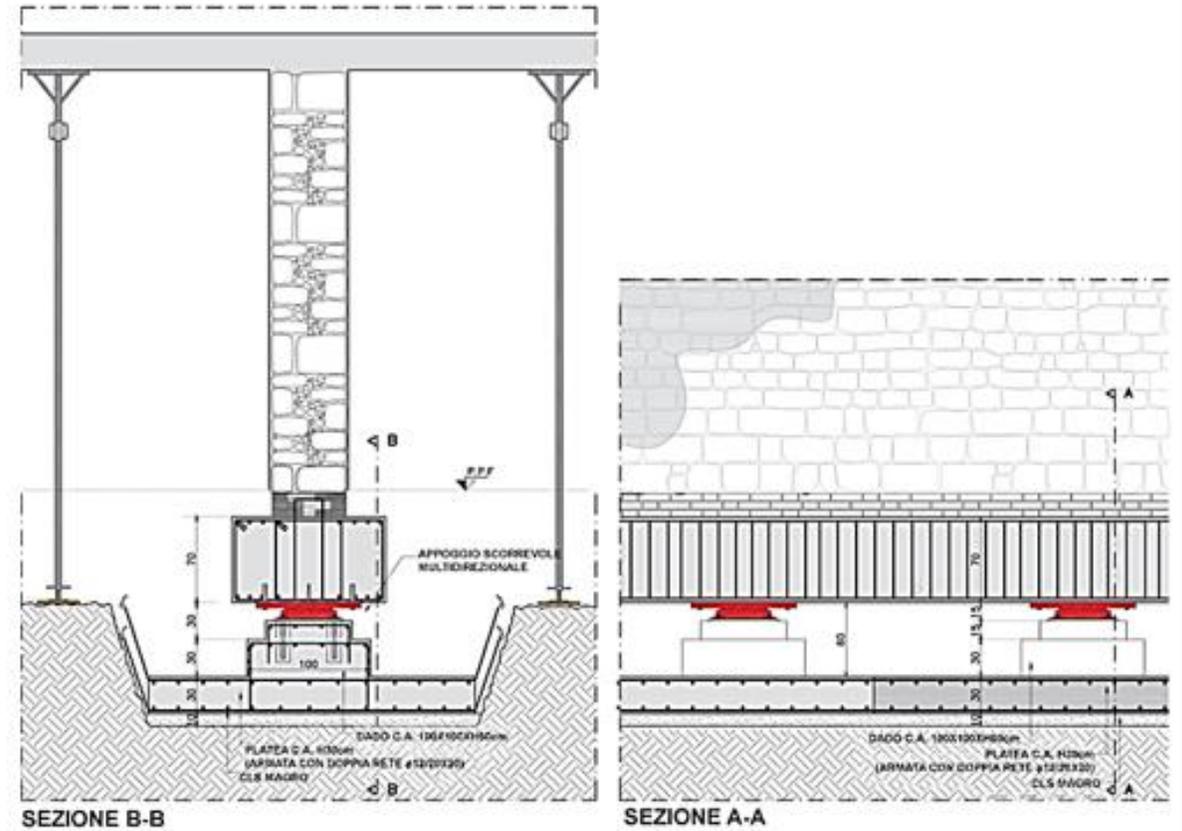


Fasi della messa in opera dei dispositivi di isolamento

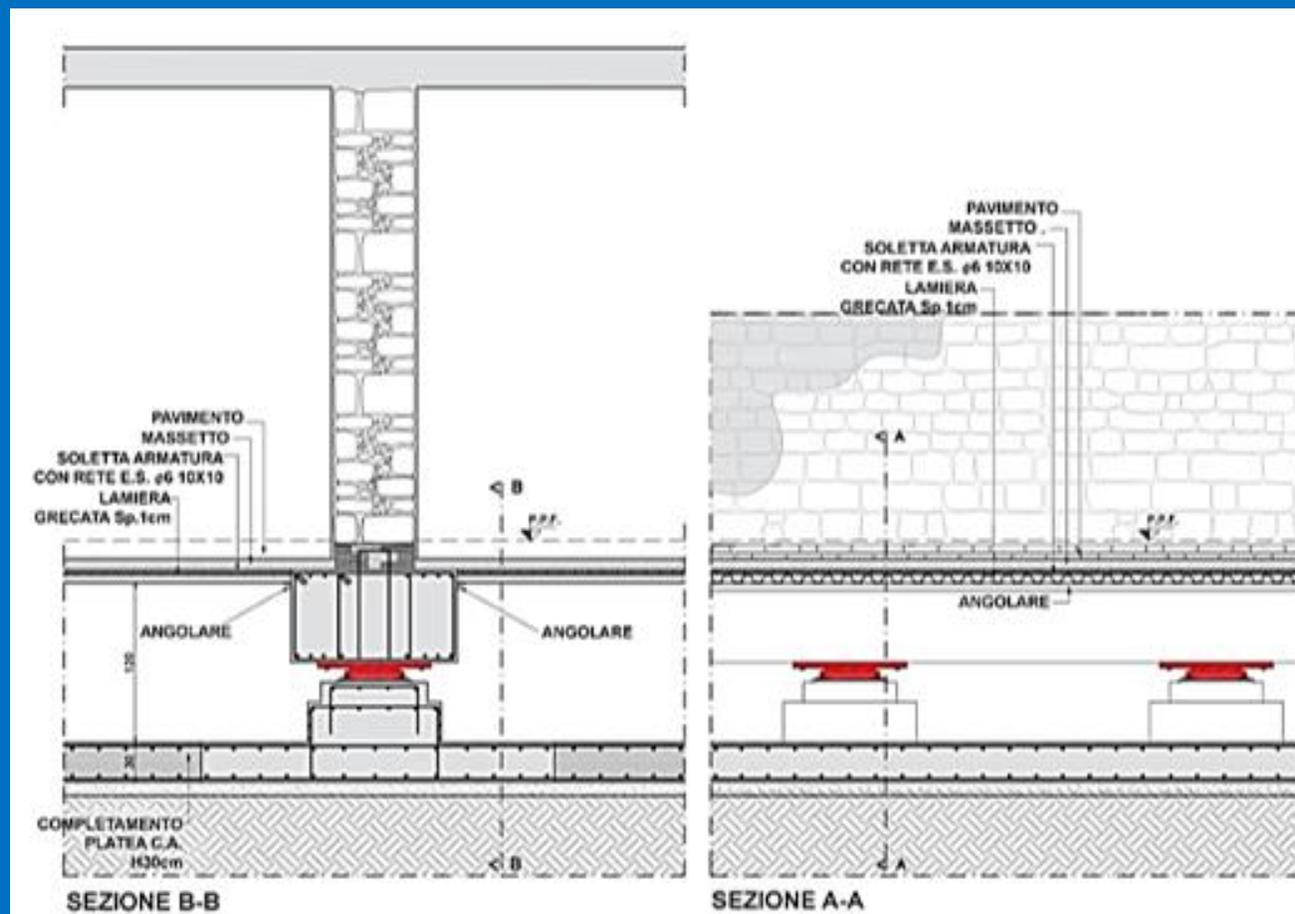




Fase 4: Scavo per cantieri ed esecuzione della platea nervata



Fase 5: Eseguire allo stesso modo le fasi precedenti per tutti gli isolatori



Fase 6: Realizzazione del solaio in lamiera grecata e getto collaborante di complemento



Foto 1: Vista della sottofondazione dell'edificio in muratura



Foto 2: Fase di scavo e realizzazione dei baggioli di appoggio



Foto 3: Vista di un isolatore inserito al di sotto del portico



Foto 4: Vista del baggiolo della sottostruttura, del sistema di isolamento, del cordolo di base e della sovrastruttura

ORDINE DEGLI INGEGNERI
DELLA PROVINCIA DI AVELLINO

CORSO DI AGGIORNAMENTO
SUL CONSOLIDAMENTO SISMICO DELLE STRUTTURE

AVELLINO, GIUGNO/OTTOBRE 2019



Relatori:

Gianmario Benzoni ⁽¹⁾

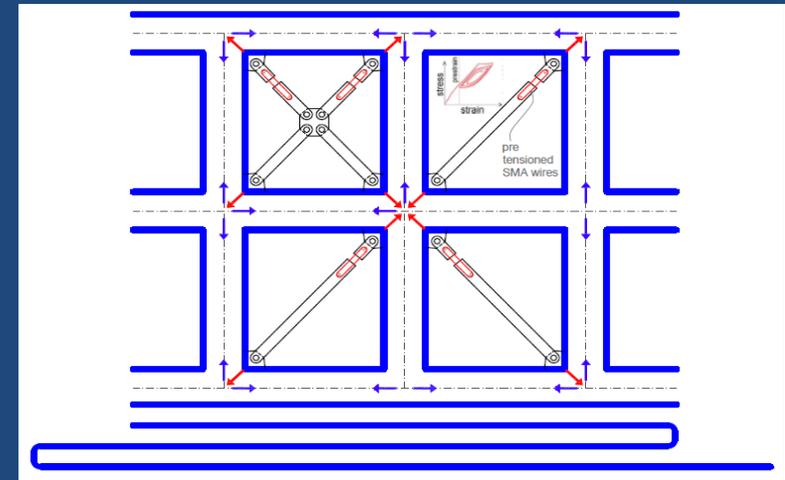
Luciano Feo ⁽²⁾

Fernando Fraternali ⁽²⁾

Giuseppe Rocchetta ⁽²⁾

⁽¹⁾ *University of California, San Diego*

⁽²⁾ *Università degli Studi di Salerno*



Lezione 4

- **Un esempio applicativo di adeguamento sismico di un edificio esistente.**
- **Interventi di adeguamento sismico alla luce della circolare “Sismabonus”.**

EDIFICIO ESISTENTE IN C.A.



MODELLAZIONE SAP



SISMABONUS

ESEMPIO DI DIMENSIONAMENTO E CALCOLO RELATIVO AD UN EDIFICIO ESISTENTE IN C.A.

Si illustra la progettazione e l'analisi di due diversi interventi di adeguamento sismico di un edificio in cemento costruito tra gli anni '60 e '70 del secolo scorso ad Avellino. Si tratta di interventi virtuali, dal momento che l'edificio in esame non ha ancora subito, allo stato, alcun intervento di adeguamento sismico.

Le informazioni tecniche originali sono state ottenute dallo stesso condominio dell'edificio.

Le considerazioni che si passa a presentare sono orientate ad illustrare in forma critica alcune possibili strategie di adeguamento sismico di una tipologia di edifici per civili abitazioni molto diffusa sul territorio nazionale.



ESEMPIO DI DIMENSIONAMENTO E CALCOLO RELATIVO AD UN EDIFICIO ESISTENTE IN C.A.

Fase iniziale:

modellazione della struttura dell'edificio, al fine di valutarne la risposta sismica nelle sue condizioni attuali, nonché il livello di sicurezza e la vulnerabilità sismica.

Livello di conoscenza:

si è ipotizzato un livello di conoscenza dello stato di fatto corrispondente al livello LC3 della normativa NTC2018, in previsione dell'effettuazione di saggi e prelievi in sito per l'individuazione delle caratteristiche meccaniche dei materiali e dell'effettiva entità e disposizione delle armature.

Non disponendo tuttavia di tali risultati, le simulazioni presentate fanno riferimento a valori medi attendibili delle caratteristiche meccaniche dei materiali e delle armature, in considerazione della tipologia strutturale presa in esame e dell'epoca di costruzione del fabbricato.

Modello:

telaio semplice e modello di telaio inglobante bielle equivalenti che simulano la presenza di tamponature in muratura non giuntate dal telaio.

ESEMPIO DI DIMENSIONAMENTO E CALCOLO RELATIVO AD UN EDIFICIO ESISTENTE IN C.A.

Descrizione della struttura

Anno di costruzione:	tra gli anni '60 e '70
Ubicazione:	Via Cappone n. 29 (AV)
Dimensione lungo X:	26.35 m
Dimensione lungo Y:	16.60 m
Numero di piani e altezza interpiano:	n. 8; h=3.70 m
Solai:	latero-cemento con soletta 40 mm
Travi interne:	a spessore 25x25 cm
Travi esterne:	50x25 cm
Pilastri fino al terzo piano:	30x60 cm
Pilastri dal quarto al sesto piano:	30x50 cm
Pilastri ultimo piano:	30x40 cm
Destinazione d'uso:	civile abitazione

ESEMPIO DI DIMENSIONAMENTO E CALCOLO RELATIVO AD UN EDIFICIO ESISTENTE IN C.A.

Descrizione della struttura

Calcestruzzo ipotizzato (barre $\phi 16$ spigoli e $\phi 14$ lati, staffe $\phi 8/20-30$): C20/25

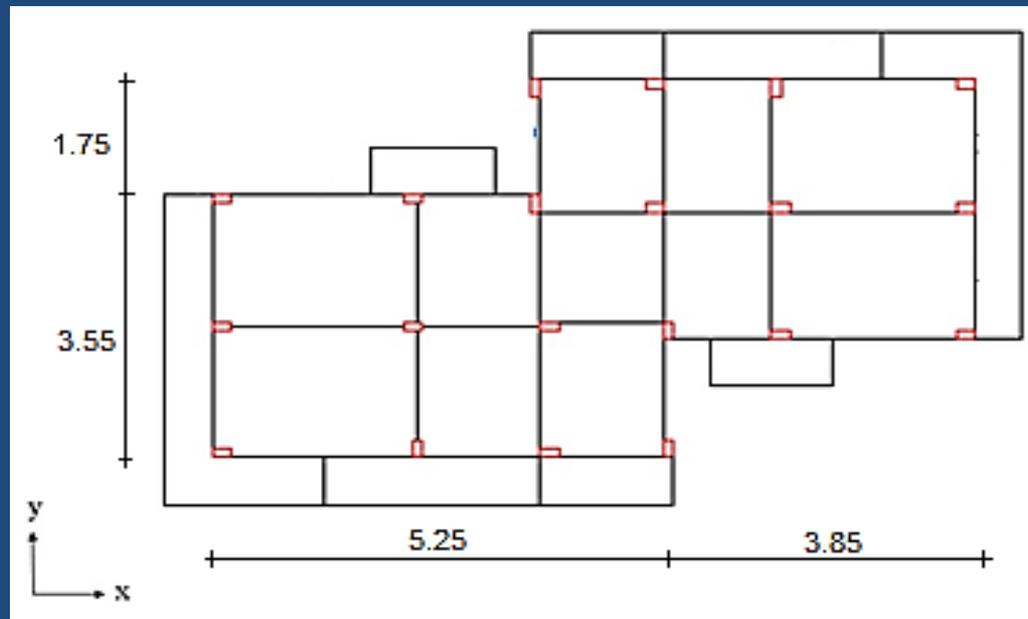
Acciaio ipotizzato:

FeB 32K

Note:

Edificio giuntato ad un altro gemello

presenta un piano seminterrato destinato a garage, parzialmente sottoposto rispetto al piano stradale in pendenza; un piano porticato soprastante e diverse aperture per l'ingresso ai garage. L'ultimo piano ha un'altezza di 2.90 m ed è delimitato da una copertura a falde



ESEMPIO DI DIMENSIONAMENTO E CALCOLO RELATIVO AD UN EDIFICIO ESISTENTE IN C.A.

Analisi dei carichi

Impalcato tipo

Permanenti strutturali:

$$G_1 = 3.00 \text{ kN/m}^2$$

Permanenti non strutturali:

$$G_2 = 1.76 \text{ kN/m}^2$$

Accidentali:

$$Q = 2.00 \text{ kN/m}^2$$

Copertura

Permanenti strutturali:

$$G_1 = 3.00 \text{ kN/m}^2$$

Permanenti non strutturali:

$$G_2 = 1.86 \text{ kN/m}^2$$

Accidentali:

$$Q = 1.50 \text{ kN/m}^2$$

ESEMPIO DI DIMENSIONAMENTO E CALCOLO RELATIVO AD UN EDIFICIO ESISTENTE IN C.A.

Analisi dei carichi

Sbalzi

Permanenti strutturali:

$$G_1 = 5.00 \text{ kN/m}^2$$

Permanenti non strutturali:

$$G_2 = 1.50 \text{ kN/m}^2$$

Accidentali:

$$Q = 4.00 \text{ kN/m}^2$$

Criticità dell'edificio

Progettato precedentemente alla prima normativa tecnica antisismica moderna promulgata in Italia, che si può identificare con la **L. 2 febbraio 1974, n. 64 (Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche)**. L'edificio in esame, pertanto, non fu progettato per rispondere ai criteri alla base delle moderne normative antisismiche, come la maggior parte del patrimonio edilizio in Italia formato da edifici in c.a. destinati a civili abitazioni.

Telai portanti distribuiti su venti pilastri relativamente snelli ed a sezione rastremata in elevazione, con disposizione in pianta non simmetrica, che genera una sensibile eccentricità del centro delle rigidezze strutturali, rispetto al centro delle masse.

Coordinate del centro di massa ($x=13.17$ m; $y=8.30$ m)

Coordinate del centro delle rigidezze ($x=15.19$ m; $y=8.46$)

Eccentricità dal centro delle masse pari a di 0.16 m in direzione x e 2.02 m in direzione y. Si giustifica in tal senso, sulla base di questa osservazione, la previsione di effetti torsionali nella risposta sismica della struttura.

Criticità dell'edificio

Caratteristico e sensibilmente irregolare rispetto al corpo del fabbricato è il **piano terra** di accesso al vano scala, che si presenta libero ed aperto, a formare un unico porticato i cui unici elementi a vista sono rappresentati dai pilastri del primo livello. Esso si configura come un tradizionale "**piano soffice**", insieme al piano seminterrato. Quest'ultimo, attualmente adibito ad autorimessa condominiale, è infatti caratterizzato da una distribuzione irregolare e non continua dei **tamponamenti non collaboranti**, che gli conferiscono un carattere di piano soffice, insieme al porticato.

Va notato che la maggior parte delle aperture del piano cantina si trovano localizzate sul lato y, che rappresenta il lato meno rigido della struttura. Una configurazione strutturale di questo tipo, caratteristica dell'edilizia degli anni '60-'70 del secolo scorso, risulta, come documentato abbondantemente in letteratura, non ottimale in termini di risposta sismica, dal momento che l'energia sismica viene dissipata prevalentemente nel piano soffice, impedendo così la formazione di un meccanismo duttile distribuito lungo lo sviluppo di tutta la struttura.

Criticità dell'edificio

Tali danni potrebbero potenzialmente condurre la struttura al collasso sotto scuotimenti di notevole rilievo, caratterizzati da un'intensità anche superiore al sisma dell'Irpinia del 1980. Si rileva, tuttavia, che l'edificio in esame si caratterizza per un discreto carattere di deformabilità strutturale (primo periodo proprio di vibrazione intorno ad 1.00 s, il che implica la presenza di azioni sismiche assorbibili dalle strutture portanti sotto azioni sismiche di intensità non particolarmente elevata, sempre che le caratteristiche meccaniche dei materiali coincidano con quelle ipotizzate nel presente studio, in assenza di rilievi oggettivi in situ.

Modellazione

È noto che la risposta sismica delle strutture può essere sensibilmente influenzata dalla presenza di elementi non portanti, quali i tramezzi e i tamponamenti. In presenza di azioni sismiche, l'influenza che essi esercitano sul comportamento strutturale, è ampiamente testimoniata dai numerosi studi disponibili in letteratura sull'argomento.



Modellazione

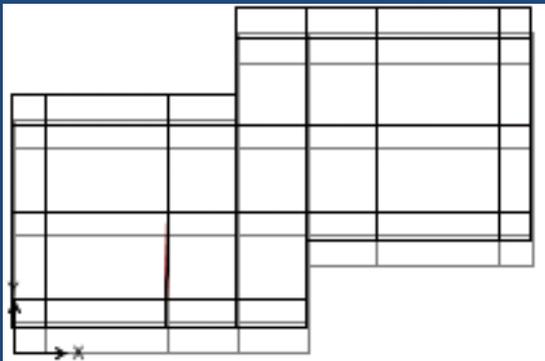
Le bielle equivalenti, che simulano la presenza collaborante dei tamponamenti in muratura, vengono inserite al piano **seminterrato**, in corrispondenza delle facciate cieche ed al **piano terra** in corrispondenza del vano scala. La modellazione T_B viene effettuata introducendo elementi diagonali **bielle non lineari**, che reagiscono solo a compressione. Si osserva che la distribuzione dei tamponamenti è irregolare in pianta, con una presenza maggiore nella direzione **y**, che, come si vedrà in seguito, risulta essere la direzione debole dell'edificio.

Ad ogni impalcato viene attribuita una opportuna rigidità flessionale fuori piano utilizzando nel piano il vincolo **diaframma** per simulare il comportamento di una lastra infinitamente rigida.

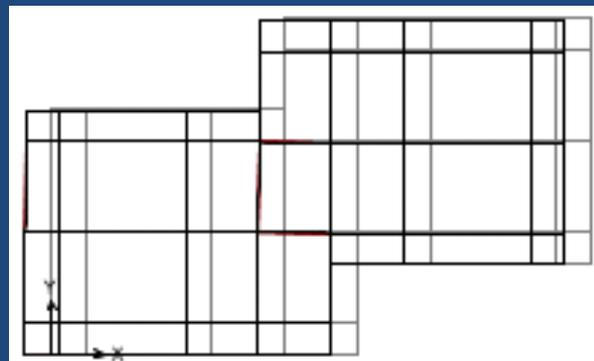
Valutazione della risposta della struttura

- Analisi dinamica modale

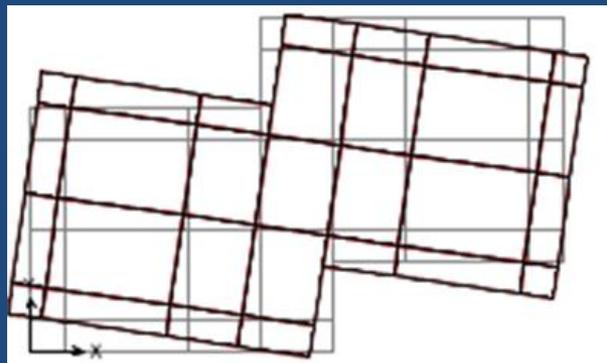
L'analisi dinamica modale con SAP 2000 dei modelli T_S (*senza tamponamenti*) e T_B (*con tamponamenti*) ha focalizzato la propria attenzione sui primi tre modi di vibrare della struttura, sia in termini di forme modali che in termini di frequenze naturali.



Modo 1:
Traslazione lungo y
Massa partec. 80%
Periodo $T = 1.19$ s



Modo 2:
Traslazione lungo x
Massa partec. 79%
Periodo $T = 1.02$ s



Modo 3:
Torsionale
Massa partec. 83%
Periodo $T = 0.83$ s

Valutazione della risposta della struttura

- Analisi dinamica modale

I valori traslazionali di periodo confermano la stima approssimata desumibile dalla seguente formula, introdotta dalle NTC 2018 e ripresa dalla Circolare C.S.LL.PP: n. 7 del 21 gennaio 2019 che riporta istruzioni per l'applicazione delle NTC 2018:

$$T_1 = C_1 H^{3/4} = 0.93 \text{ s}$$

dove:

- H è l'altezza della costruzione, in metri, dal piano di fondazione (28.80 m);
- C_1 vale 0.075 per costruzioni con struttura a telaio in calcestruzzo armato.

L'analisi dinamica modale del modello con bielle equivalenti T_B ha prodotto risultati molto simili a quelli rilevati nel caso del modello T_S . I periodi e le frequenze corrispondenti a tale modello si avvicinano molto a quelli osservati in precedenza.

Modo	T_S [s]	T_B [s]
	Modello senza bielle	Modello con bielle
1	1.19	0.99 (-17%)
2	1.02	0.86 (-16%)
3	0.82	0.73 (-11%)

Valutazione della risposta della struttura

- **Analisi Pushover**

L'analisi pushover è stata condotta sull'edificio in condizioni pre-intervento allo scopo di ottenere una previsione accurata e realistica della risposta sismica **non lineare** della struttura e della sua evoluzione nel tempo. Come è noto, tale analisi porta a costruire un modello evolutivo a plasticità concentrata (**con cerniere plastiche**) della struttura fino al collasso. Essa è stata condotta facendo aumentare progressivamente, attraverso un opportuno moltiplicatore, la distribuzione di carico sismico (**forze orizzontali di piano**) corrispondente al primo modo di vibrazione della struttura.

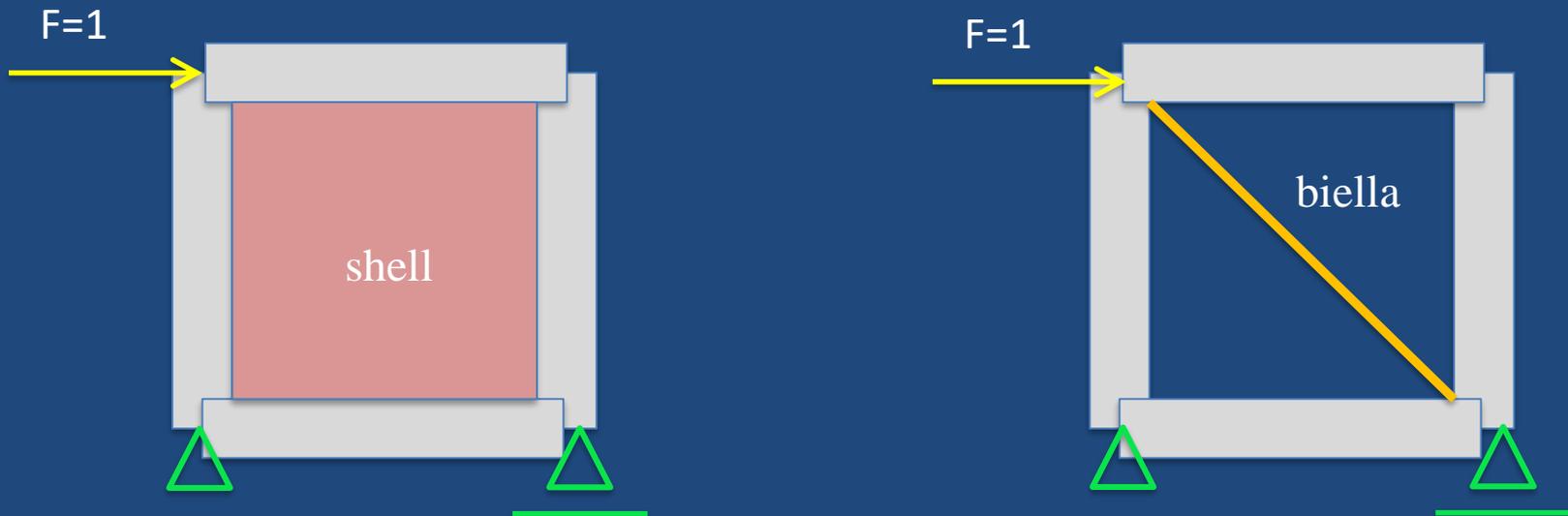
L'analisi pushover è stata condotta nelle due direzioni x e y, monitorando lo spostamento all'ultimo piano dell'edificio per entrambe le modellazioni T_S e T_B .

Valutazione della risposta della struttura

- Analisi Pushover

Modellazione bielle equivalenti per tamponatura

Sono stati inoltre utilizzati appositi link (*MultiLinear Elastic*) che lavorano a sola compressione per simulare il comportamento all'interfaccia telaio-pannello. La larghezza della biella è stata determinata per tentativi fino ad ottenere l'equivalenza tra gli spostamenti, su entrambi i modelli. Il telaio tamponato è stato caricato in sommità con una forza orizzontale unitaria.



Equivalenza degli spostamenti

Valutazione della risposta della struttura

- Analisi Pushover

Modellazione bielle equivalenti per tamponatura

Link/Support Property Data

Link/Support Type: MultiLinear Elastic

Property Name: LIN1

Property Notes:

Total Mass and Weight

Mass: 0.0, Rotational Inertia 1: 0.0, Weight: 0.0, Rotational Inertia 2: 0.0, Rotational Inertia 3: 0.0

Factors For Line, Area and Solid Springs

Property is Defined for This Length In a Line Spring: 10.0, Property is Defined for This Area In Area and Solid Springs: 100.0

Directional Properties

Direction	Fixed	NonLinear	Properties
<input checked="" type="checkbox"/> U1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Modify/Show for U1...
<input type="checkbox"/> U2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for U2...
<input type="checkbox"/> U3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for U3...
<input type="checkbox"/> R1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R1...
<input type="checkbox"/> R2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R2...
<input type="checkbox"/> R3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R3...

P-Delta Parameters: Advanced...

Buttons: Fix All, Clear All, OK, Cancel

Comportamento è non lineare **ma elastico**. Questo vuol dire che l'elemento multilineare è un elemento elastico la cui curva è **non lineare** e la stessa curva viene seguita in fase di carico e in fase di scarico senza avere isteresi.

Link/Support Directional Properties

Edit

Identification

Property Name: LIN1, Direction: U1, Type: MultiLinear Elastic, NonLinear: Yes

Properties Used For Linear Analysis Cases

Effective Stiffness: 585.0039, Effective Damping: 0.0

Multi-Linear Force-Deformation Definition

	Displ	Force
1	-14.8	-938.1532
2	-1.6	-938.1532
3	0.0	0.0
4	0.1	9.807E-04

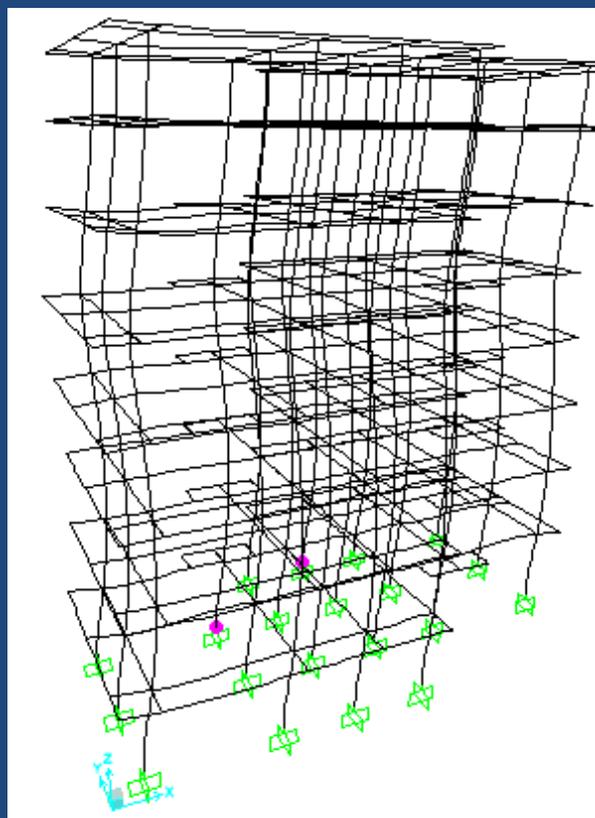
Buttons: Order Rows, Delete Row, Add Row 6, OK, Cancel

Valutazione della risposta della struttura

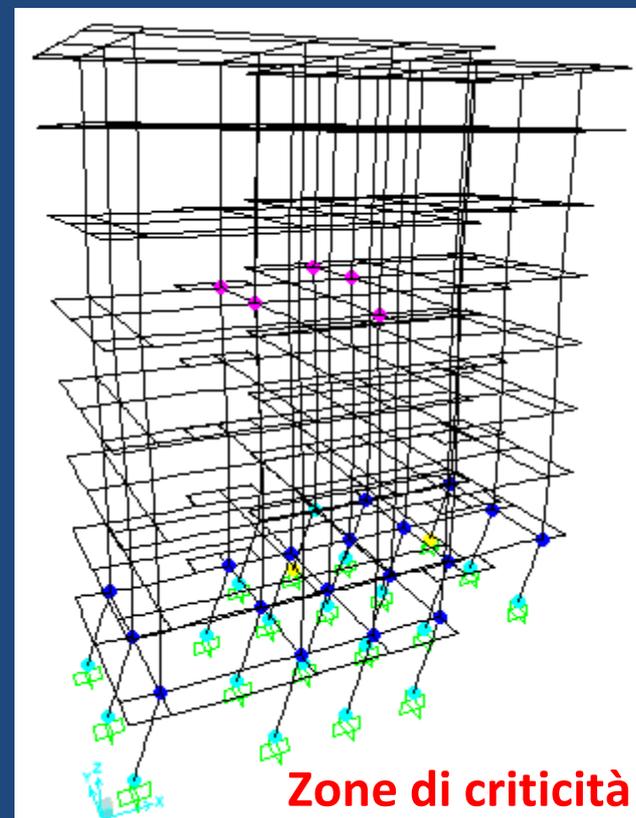
- Analisi Pushover

Si riportano le configurazioni evolutive del modello T_S in corrispondenza degli step iniziale e finale della legge di carico evolutiva – lungo X.

- snervamento
- Fase centrale escursione plastica
- Fase finale zona plastica
- Fase precedente al collasso



step iniziale - X



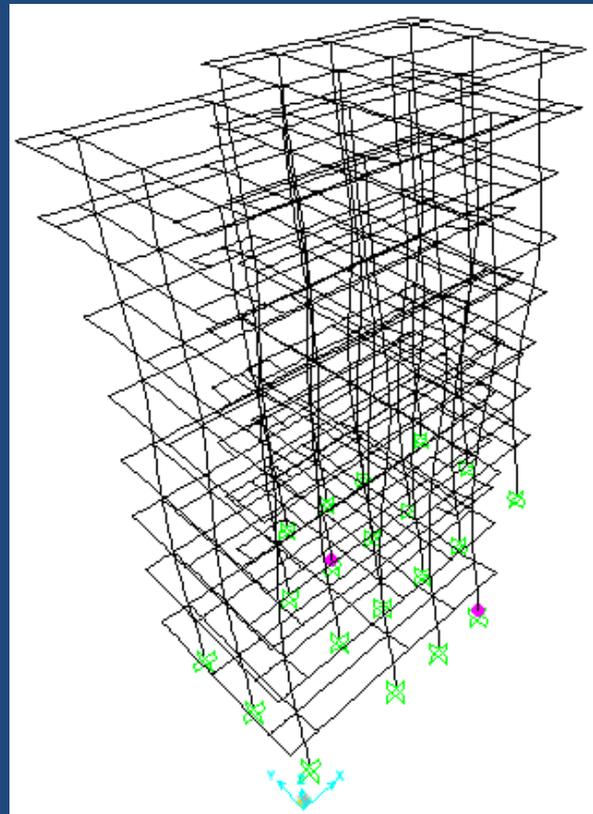
step finale - X

Valutazione della risposta della struttura

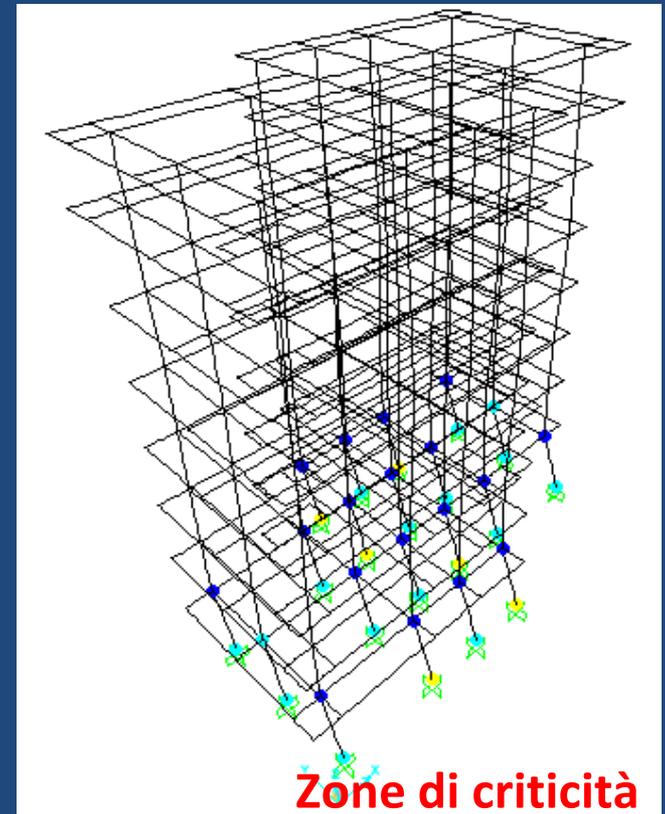
- Analisi Pushover

Si riportano le configurazioni evolutive del modello T_S in corrispondenza degli step iniziale e finale della legge di carico evolutiva – lungo Y.

- snervamento
- Fase centrale escursione plastica
- Fase finale zona plastica
- Fase precedente al collasso



step iniziale - Y



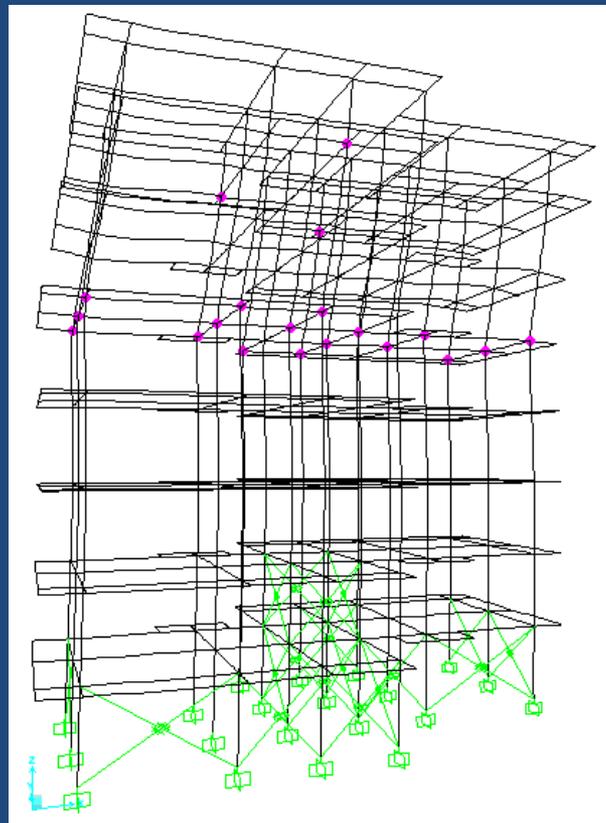
step finale - Y

Valutazione della risposta della struttura

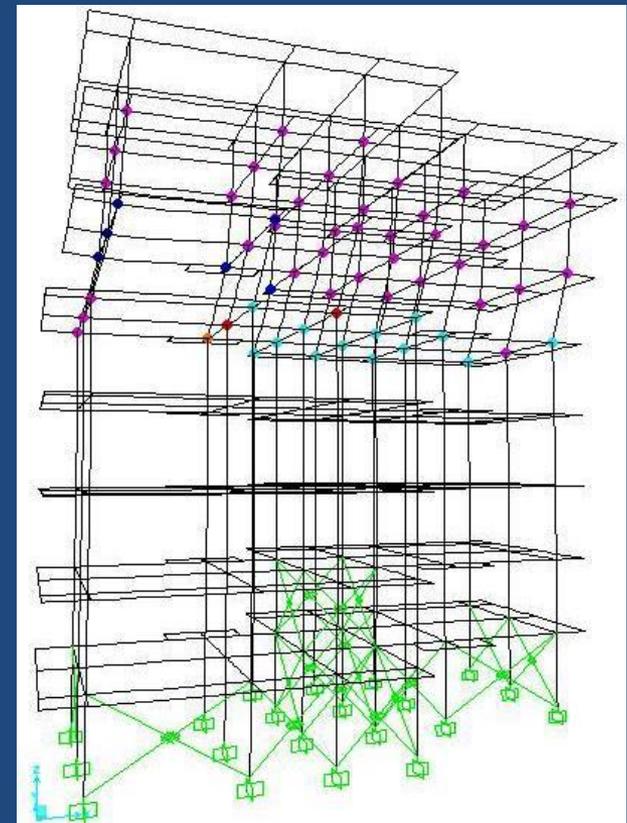
- Analisi Pushover

l'analisi pushover del modello con bielle equivalenti T_B non mette in luce il raggiungimento del limite plastico nei primi step dell'analisi evolutiva – lungo X.

- snervamento
- Fase centrale escursione plastica
- Fase finale zona plastica
- Fase precedente al collasso



step iniziale - X



step finale - X

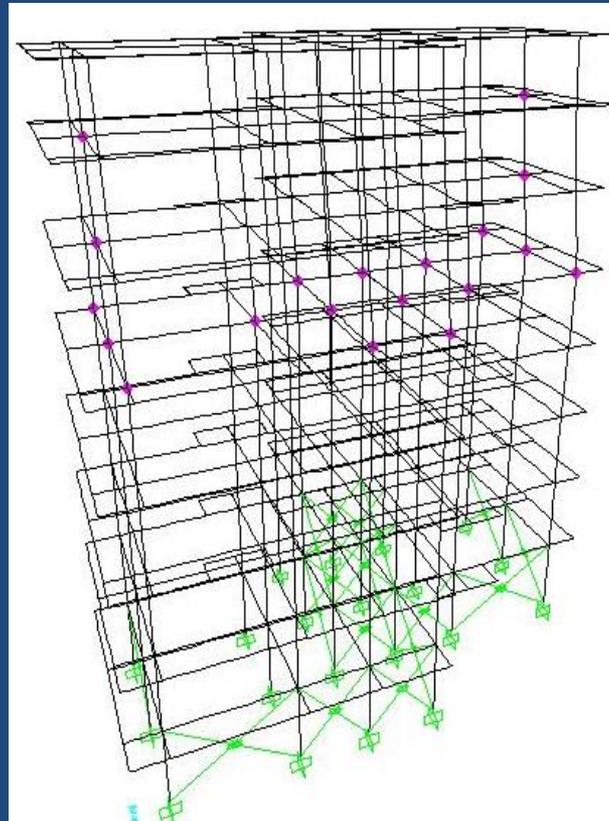
I tamponamenti modificano il valore del carico di attivazione delle cerniere plastiche e la loro distribuzione in elevazione

Valutazione della risposta della struttura

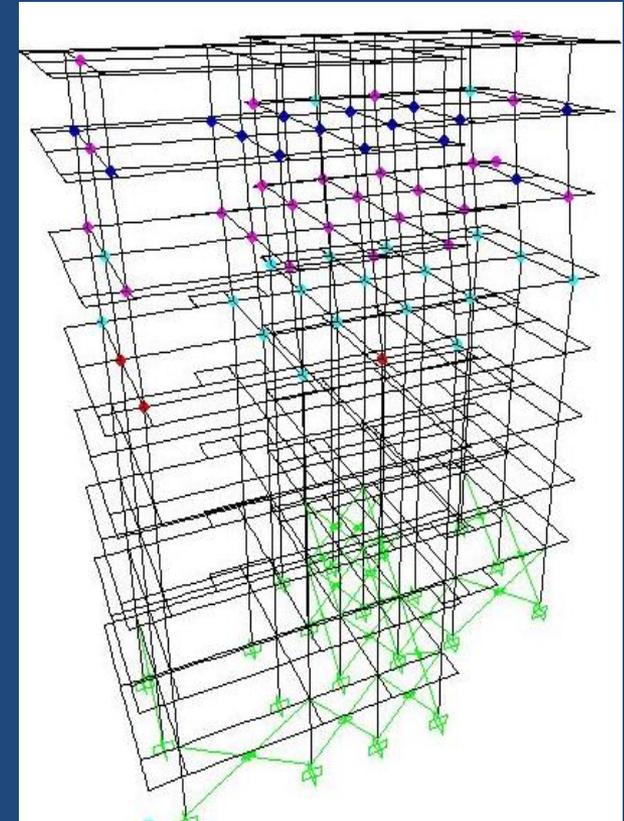
- Analisi Pushover

l'analisi pushover del modello con bielle equivalenti T_B non mette in luce il raggiungimento del limite plastico nei primi step dell'analisi evolutiva – lungo Y.

- snervamento
- Fase centrale escursione plastica
- Fase finale zona plastica
- Fase precedente al collasso



step iniziale - Y



step finale - Y

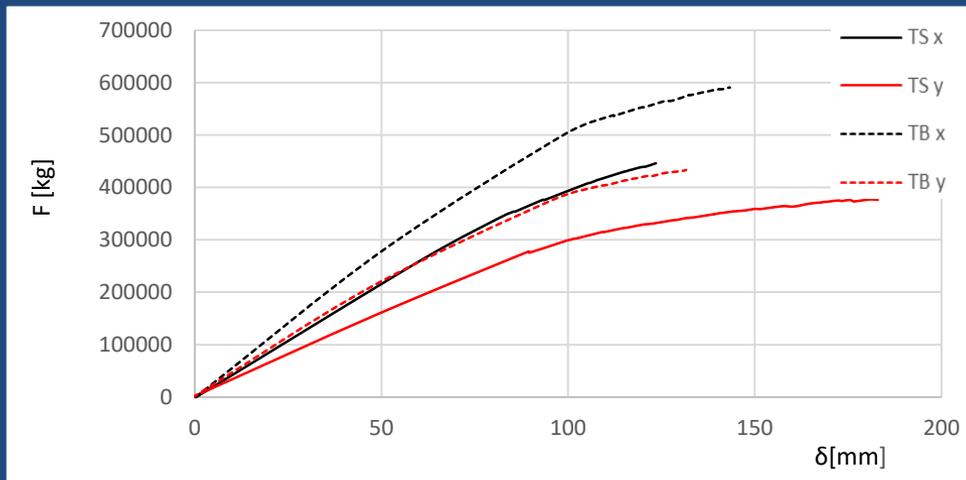
I tamponamenti modificano il valore del carico di attivazione delle cerniere plastiche e la loro distribuzione in elevazione

Valutazione della risposta della struttura

- Analisi Pushover

Osservazioni:

E' utile osservare che gli effetti di piano soffice osservati nel modello T_S non sono da attribuirsi alla presenza del porticato al piano terra, ma bensì dalla distribuzione delle rigidezze strutturali primarie in elevazione, dal momento che il modello T_S non tiene conto della presenza delle tamponature collaboranti. Viceversa, il modello T_B , che porta in conto la risposta delle murature collaboranti del vano scala e del piano semiinterrato, non esibisce significativi effetti di piano soffice al primo ed al secondo impalcato.



incremento di forza laterale del 40% nel caso del modello T_B . Il massimo di spostamento si registra per il modello T_S e raggiunge un valore pari a 182 mm.

Nel seguito, a vantaggio di sicurezza, si farà riferimento al modello T_S .

Valutazione della risposta della struttura

- **Analisi dinamica non lineare mediante time-history**

Per la scelta dell'input da considerare nella presente analisi, si è fatto uso del software **RexeLite**.

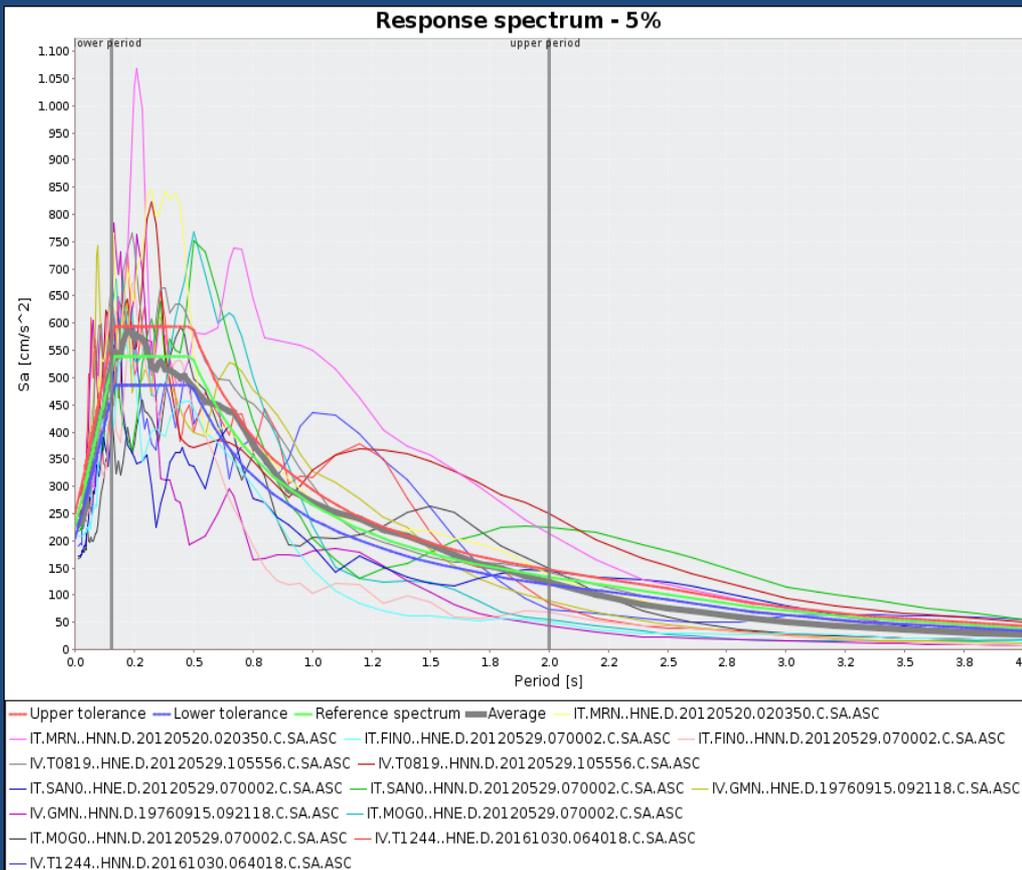
Caratteristiche del sito:

- Latitude: 40.9154
- Longitude: 14.7896
- Site classification: B
- Topography: 1
- Nominal life [years]: 50
- Building functional type (Cu): 1.0
- Limit state probability : 0.1 (life-safety limit state)

Valutazione della risposta della struttura

- Analisi dinamica non lineare mediante time-history

Sulla base dei parametri del sito, si riportano gli spettri di risposta in termini di accelerazione dei sette accelerogrammi ottenuti mediante il software RexeLite per lo stato limite SLV e per ciascuna delle direzioni di sollecitazione x e y.



7 accelerogrammi relativi a terremoti avvenuti in Italia. Essi sono stati scelti in modo che la media dei loro spettri in termini di pseudo-accelerazione fittassero lo spettro fornito dalla NTC18 e relativo ad un suolo di tipo B.

ESEMPIO DI DIMENSIONAMENTO E CALCOLO RELATIVO AD UN EDIFICIO ESISTENTE IN C.A.

Rexel

- Analisi dinamica non lineare mediante time-history

Si genera uno spettro elastico dipendente dal sito

REXEL v 3.5
Computer aided code-based real record selection for seismic analysis of structures
(c) Iunio Iervolino, Carmine Galasso and Eugenio Chioccarelli, 2008-2013
Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura, Università degli Studi di Napoli Federico II, Italy.

1. Target Spectrum
Italian Building Code 2008
ag [g]: 0.17
Longitude [°]: 14.7896
Latitude [°]: 40.9154
Site class EC8: B
Topographic category: T1
Nominal life: 50 yea...
Functional type: II
Limit state: SLC (5...
Horizontal Vertical
Disaggregation for: (Italian sites) Sa(0s)... Conditional hazard for: (Italian sites) PGV[S]...
Build code spectrum User-defined spectrum
Look at disaggregation Look at conditional hazard

2. Preliminary database search
Based on: M, R M minimum: 6 M maximum: 7 records: 2x 36
R minimum [km]: 0 R maximum [km]: 30 events: 13
T [s]: 1 Epsilon minimum: -3 Epsilon maximum: 3
Database: European Strong-motion Data...
Site class: Same as target spectrum
Check database Preliminary plot

3. Spectrum matching
Lower tolerance [%]: 10
Upper tolerance [%]: 10
T1 [s]: 0.10
T2 [s]: 2
Plot spectral bounds

4. Analysis options
Scaled records
(PGA-normalized records' search)
I'm feeling lucky
(Returns only the first combination found)
Set size:
 Individual record
 7 records
 30 records
1 component
2 components
3 components
NEW SEARCH EXIT

Acceleration elastic response spectrum
Sa(T) [g] vs T [s]. The plot shows a blue solid line for the Target Spectrum, a black dashed line for the Lower Tolerance, and a black dotted line for the Upper Tolerance. A red dashed vertical line indicates the Range of periods, spanning from approximately 0.5s to 2.0s.



Rexel

OSSERVAZIONE

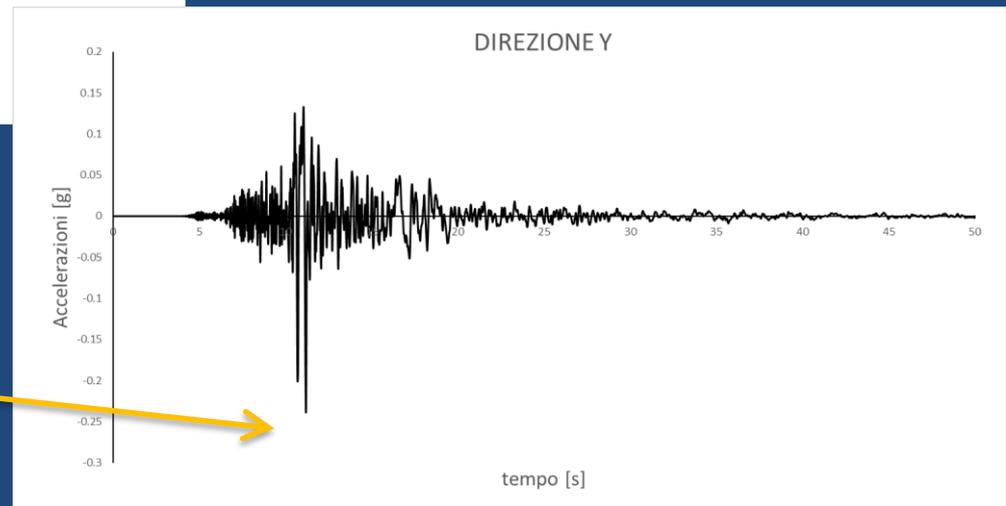
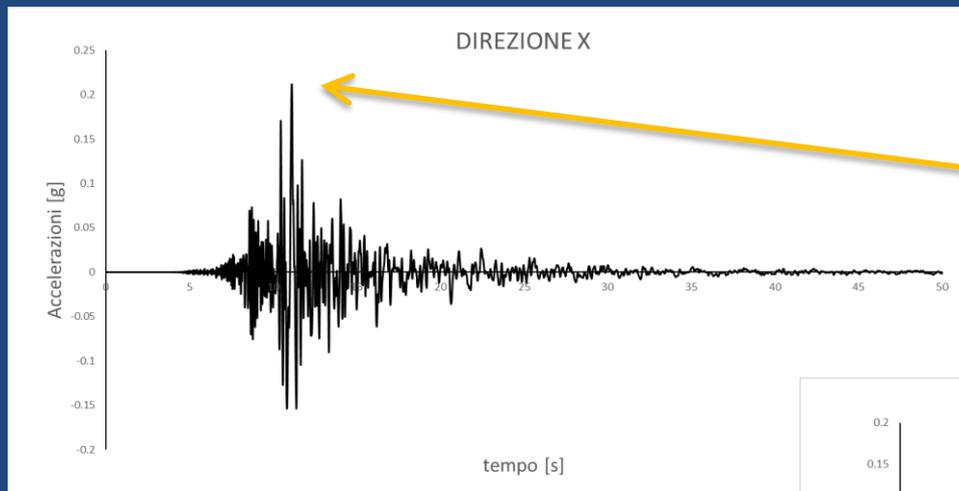
Gli accelerogrammi **artificiali** spettro-compatibili sono caratterizzati da contenuti in frequenza irrealistici. Essi sono caratterizzati da una banda di frequenze irrealisticamente ampia. L'uso di accelerogrammi artificiali in un'analisi di risposta sismica può produrre un'amplificazione contemporanea dei diversi modi di vibrazione del sistema, (**poco realistica**), mentre un'azione sismica reale, caratterizzata da una larghezza di banda modesta, amplifica un limitato numero di modi, o al limite un unico modo.

MEGLIO UTILIZZARE ACCELEROGRAMMI NATURALI

Valutazione della risposta della struttura

- **Analisi dinamica non lineare mediante time-history**

A titolo semplificativo sono stati considerati due accelerogrammi selezionati tra quelli visti in precedenza, uno lungo x e uno lungo y. Essi che presentano picchi di PGA pari a 0.2g in direzione x e -0.23g in direzione y.



Valutazione della risposta della struttura

- **Analisi dinamica non lineare mediante time-history**

Le analisi time-history eseguite si riferiscono alle seguenti combinazioni:

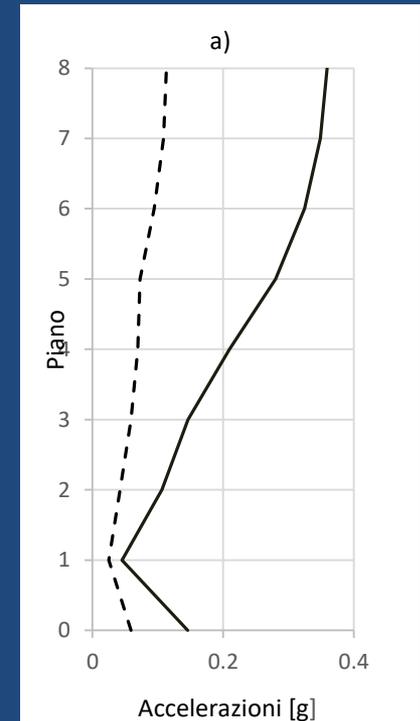
- x 100%;
- y 100%;
- x 100% + y 30%;
- x 30 % + y 100%.



Combinazione più gravosa

In corrispondenza di questa combinazione di eccitazione alla base, in direzione x, l'accelerazione massima in sommità all'ultimo piano ha un valore di 0.36g, con un fattore di amplificazione rispetto all'accelerazione massima alla base pari al 148%. In direzione y si ottiene invece un picco di accelerazione all'ultimo piano pari a 0.11g con fattore di amplificazione rispetto alla base pari all'83%.

———— Lungo x
- - - - - Lungo y



Valutazione della risposta della struttura

- Analisi dinamica non lineare mediante time-history

Le analisi time-history eseguite si riferiscono alle seguenti combinazioni:

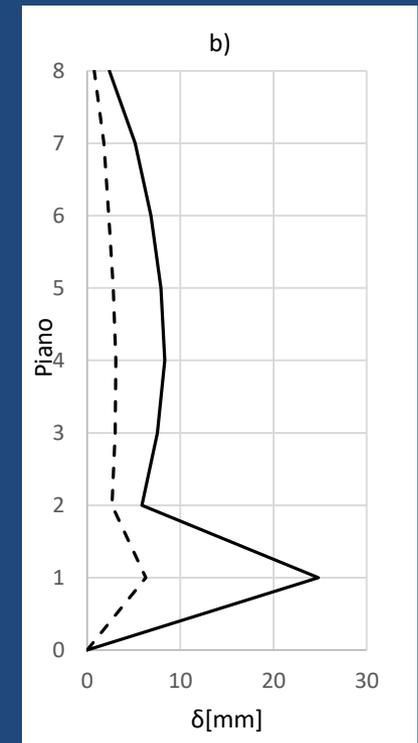
- x 100%;
- y 100%;
- x 100% + y 30%;
- x 30 % + y 100%.



Combinazione più gravosa

In corrispondenza di questa combinazione di eccitazione alla base, si registrano valori massimi di spostamento relativo di interpiano (**interstory-drift**) al primo piano pari a 25 mm lungo la direzione x e 6 mm lungo la direzione y.

———— Lungo x
- - - - - Lungo y



Adeguamento mediante isolamento sismico

Un primo intervento di adeguamento che si prende in esame si fonda sull'adozione di un sistema di isolamento che impieghi un numero totale di 20 isolatori, pari al numero di pilastri che compongono la struttura dell'edificio.

Il periodo proprio della struttura isolata:

$$T = 2 \pi \sqrt{\frac{M}{K_{eff}}}$$

dove K_{eff} è la rigidezza effettiva del sistema isolante e M la massa complessiva al di sopra del piano isolato.

Si fissa il periodo di progetto $T = 3.0 \text{ s}$  $K_{eff} = 7.45 \text{ kN/mm}$

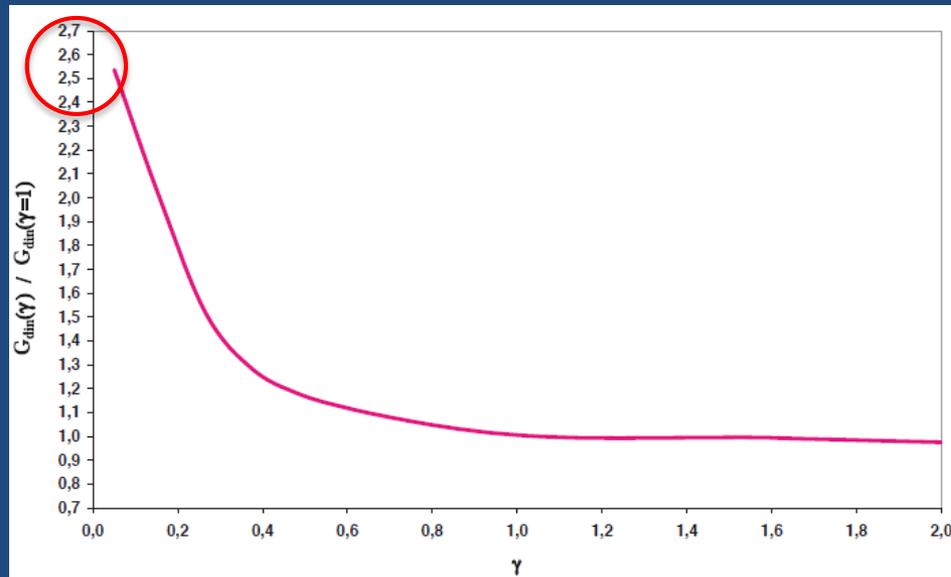
Ipotizzando di applicare isolatori identici ad ogni pilastro, la rigidezza di progetto del singolo isolatore K_{is} risulterà pari a 0.37 kN/mm .

Il carico assiale massimo trasferito dal singolo pilastro all'isolatore (*cautelativamente scelto tra i pilastri alla base*) è pari a 1350 kN

Adeguamento mediante isolamento sismico

Passaggio al sistema bi-lineare conoscendo i parametri dal catalogo

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



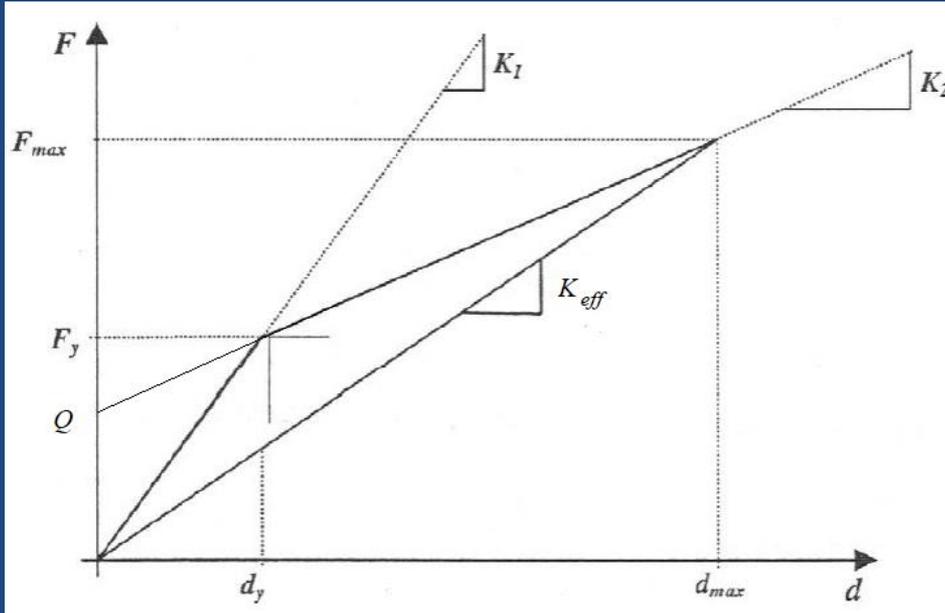
La rigidezza del ramo elastico K_1 la si ricava come:

$$K_1 = 2.5 \cdot K_{eff}$$

Adeguamento mediante isolamento sismico

Passaggio al sistema bi-lineare conoscendo i parametri dal catalogo.

Conoscendo lo smorzamento ξ_{eff} si può ricavare K_2 e ponendo $D = d_{max}$



$$K_2 = K_{eff} - \frac{\xi_{eff} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot K_{eff}}{2 \cdot D(D - 2.5 \cdot K_{eff})}$$

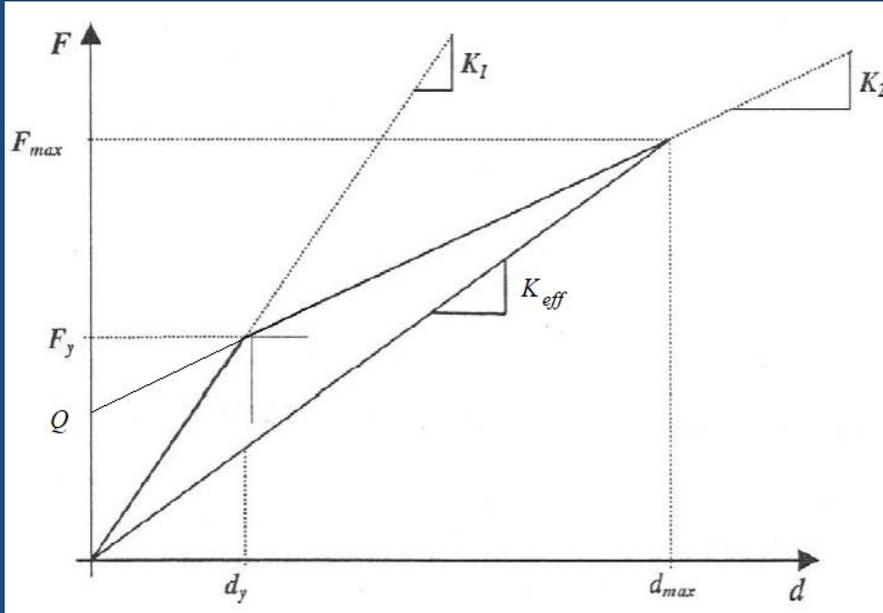
$$\alpha = \frac{K_2}{K_1}$$

$$Q = D(K_{eff} - K_2)$$

Adeguamento mediante isolamento sismico

Passaggio al sistema bi-lineare conoscendo i parametri del catalogo.

Conoscendo lo smorzamento K_2 si può ricavare ξ_{eff} e ponendo $D = d_{max}$



$$\xi_{eff} = \frac{2 \cdot D(K_{eff} - K_2) \cdot (D - 2.5K_{eff})}{\pi \cdot D^2 \cdot K_{eff}}$$

$$\alpha = \frac{K_2}{K_1}$$

$$Q = D(K_{eff} - K_2)$$

Adeguamento mediante isolamento sismico

Strategia di isolamento adottate:

- IB: Isolamento con 20 dispositivi HDRB al piano fondazione
- IB + GAP: Isolamento con 12 HDRB ed 8 slitte al piano fondazione
- IE: Isolamento con 20 HDRB al piano soffice
- IE + GAP: Isolamento con 12 HDRB ed 8 slitte al piano soffice
- FP: isolamento al piano soffice con dispositivi ad attrito

Nelle configurazioni con isolamento al piano soffice i dispositivi sono stati applicati in sommità del piano porticato. È da osservarsi che questo tipo di intervento prevede il contemporaneo rinforzo degli elementi strutturali del piano interrato e degli elementi del piano soffice stesso, che risultano affetti da criticità dovute ad eccessiva flessibilità.

Per semplicità di analisi, questi interventi non sono stati modellati negli esempi qui presi in esame e la struttura al di sotto degli isolatori è stata “esclusa” dall’analisi svolta, introducendo incastri al piede degli isolatori.

La disposizione in pianta deve tener conto della eccentricità tra il centro della rigidità del s.i. rispetto al centro delle masse.

ESEMPIO DI DIMENSIONAMENTO E CALCOLO RELATIVO AD UN EDIFICIO ESISTENTE IN C.A.

Adeguamento mediante isolamento sismico

Modellazione nel SAP2000



La rigidezza iniziale K_1 non influisce significativamente sul ciclo del dissipatore.

Link/Support Directional Properties

Identification

Property Name: RUB1

Direction: U2

Type: Rubber Isolator

NonLinear: Yes

Properties Used For Linear Analysis Cases

Effective Stiffness: 0.2627

Effective Damping: 0.

Shear Deformation Location

Distance from End-J: 0.

Properties Used For Nonlinear Analysis Cases

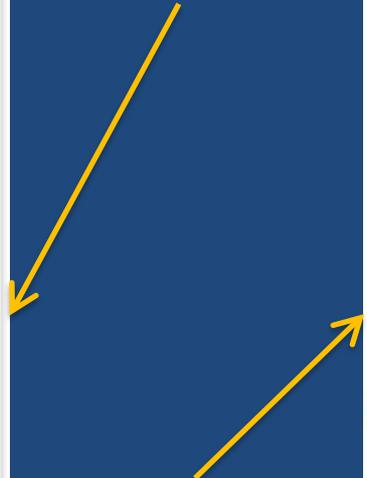
Stiffness: 2.1967

Yield Strength: 12.2387

Post Yield Stiffness Ratio: 0.1

OK Cancel

Rubber



Friction
Pendulum

Link/Support Directional Properties

Identification

Property Name: FRIC1

Direction: U2

Type: Friction Isolator

NonLinear: Yes

Properties Used For Linear Analysis Cases

Effective Stiffness: 9.807E-04

Effective Damping: 0.

Shear Deformation Location

Distance from End-J: 0.

Properties Used For Nonlinear Analysis Cases

Stiffness: 0.9807

Friction Coefficient, Slow: 0.04

Friction Coefficient, Fast: 0.05

Rate Parameter: 0.045

Net Pendulum Radius: 2500.

OK Cancel

Adeguamento mediante isolamento sismico

Modellazione nel SAP2000

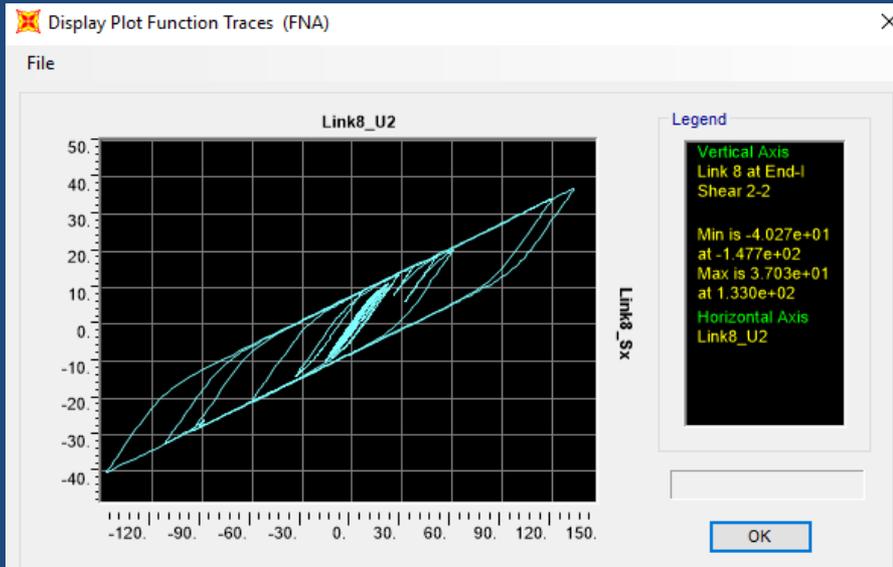
Confronto tra i valori massimi di accelerazione registrati all'ultimo piano per la combinazione x

Casistica	Accelerazione massima all'ultimo piano [g]
Base fissa	0.359125
IB	0.225736
IB+GAP	0.195337
IE	0.261872
IE+GAP	0.217252
FP	0.161657

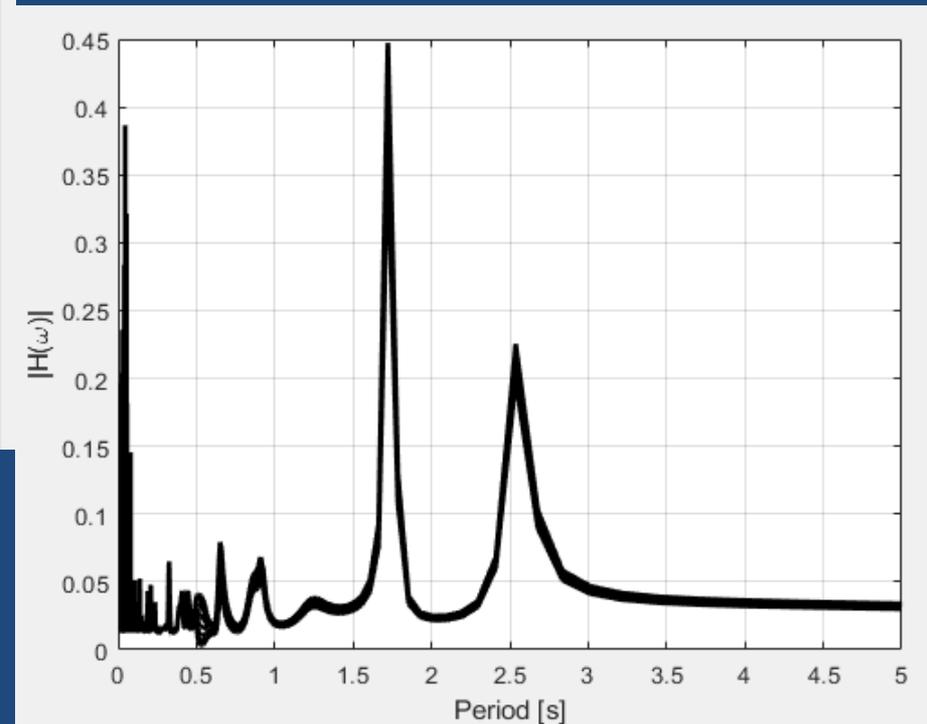
ESEMPIO DI DIMENSIONAMENTO E CALCOLO RELATIVO AD UN EDIFICIO ESISTENTE IN C.A.

Adeguamento mediante isolamento sismico

Isolatori in gomma - IB



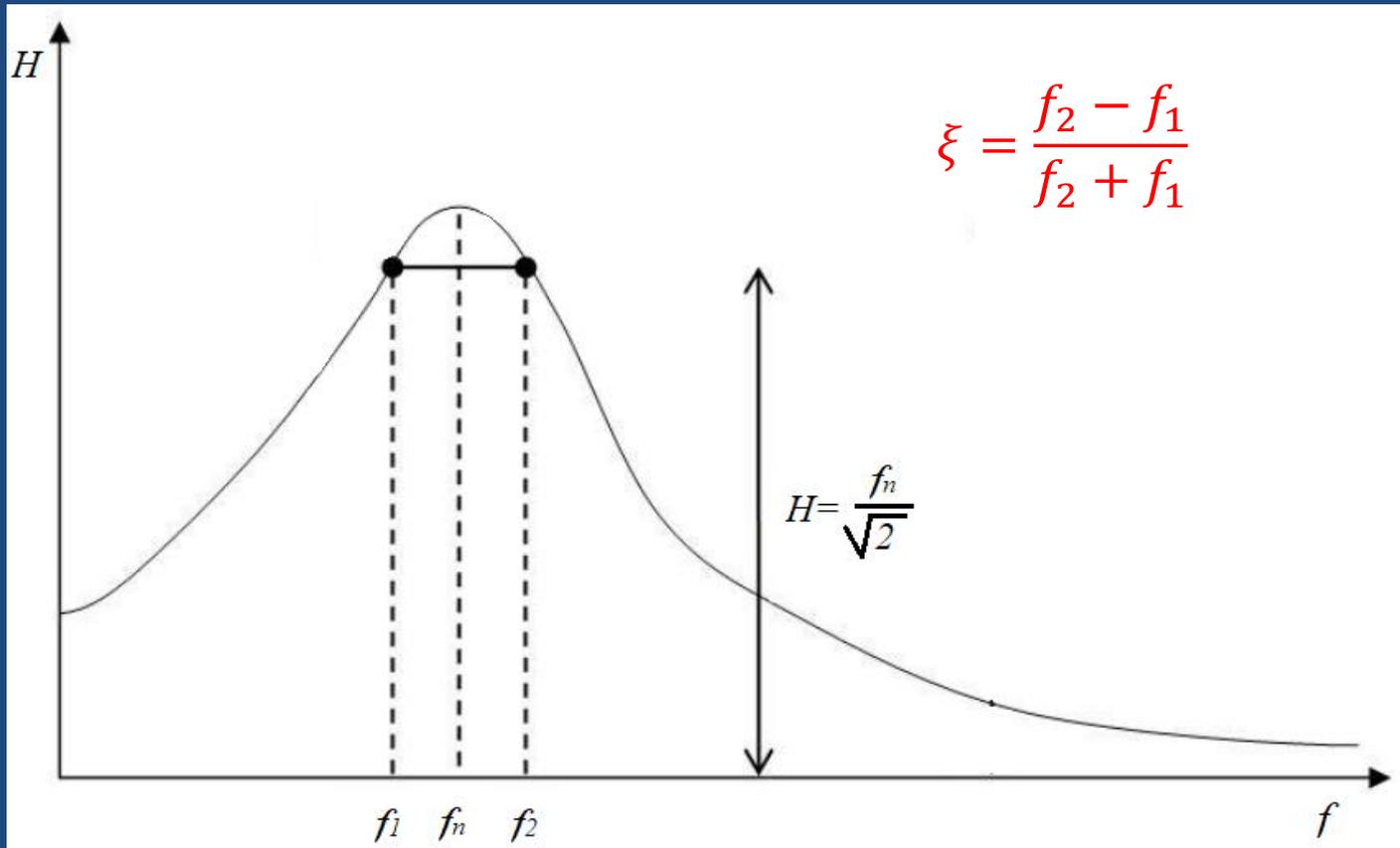
Ciclo isteretico di un isolatore



Funzione di trasferimento

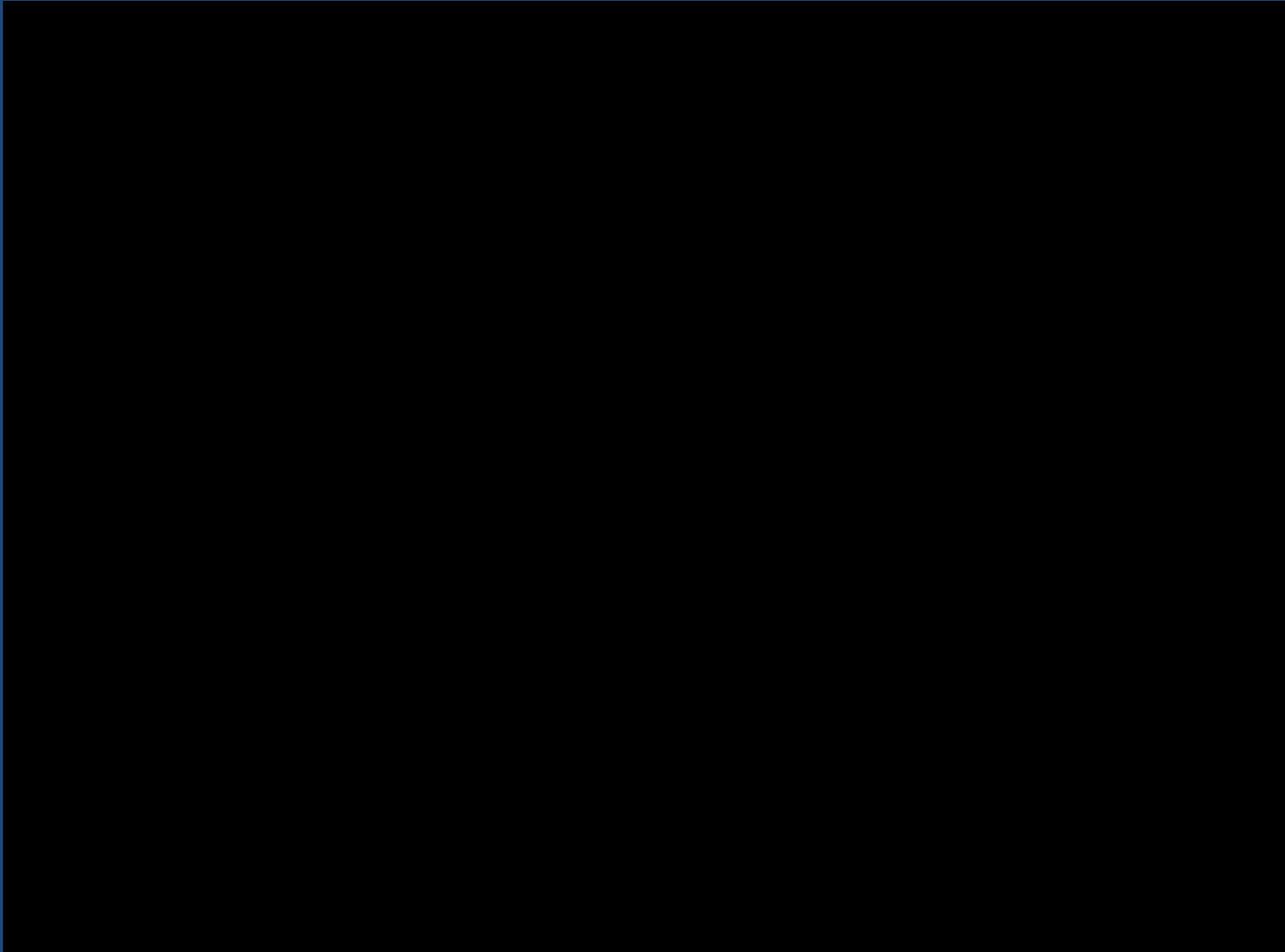
Adeguamento mediante isolamento sismico

Valutazione dello smorzamento attraverso la funzione di trasferimento



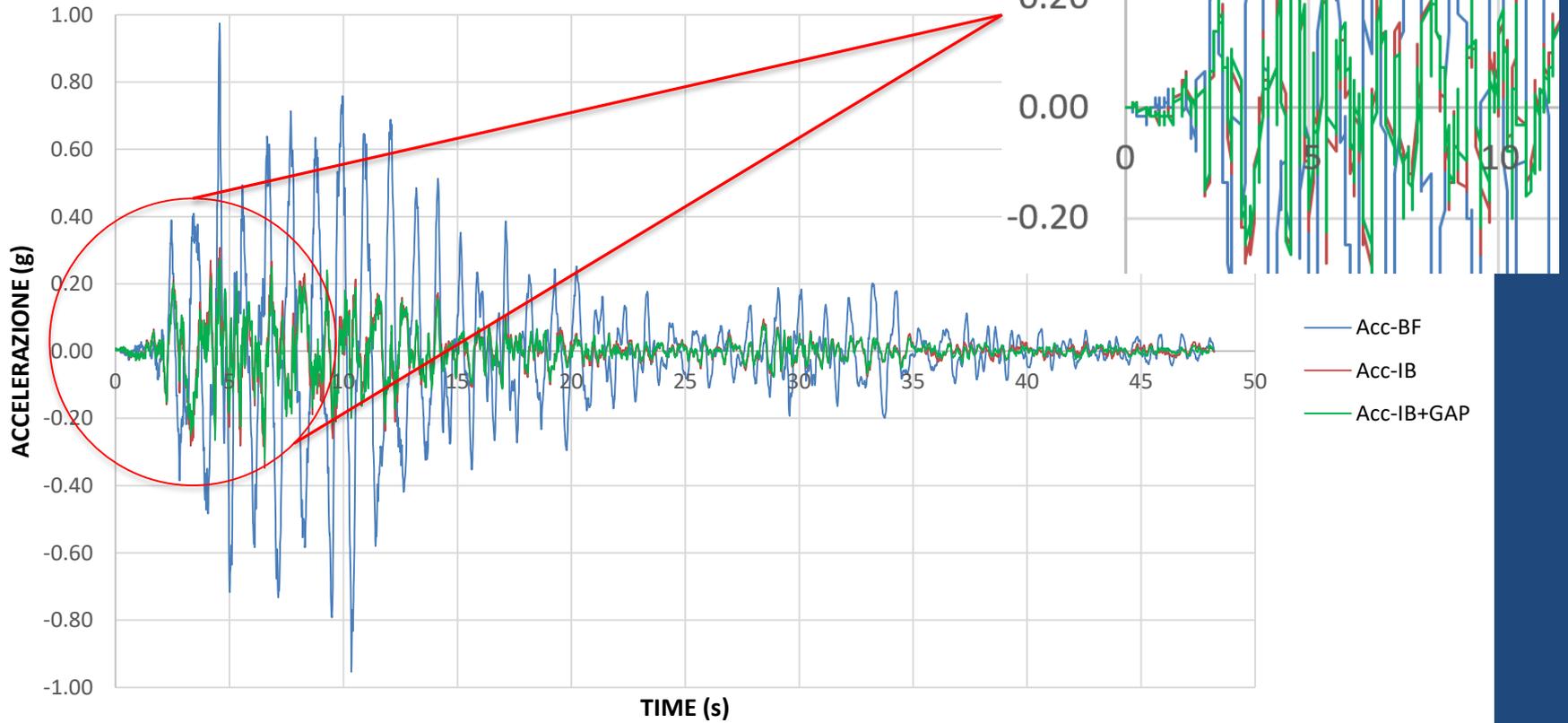
ESEMPIO DI DIMENSIONAMENTO E CALCOLO RELATIVO AD UN EDIFICIO ESISTENTE IN C.A.

Adeguamento mediante isolamento sismico

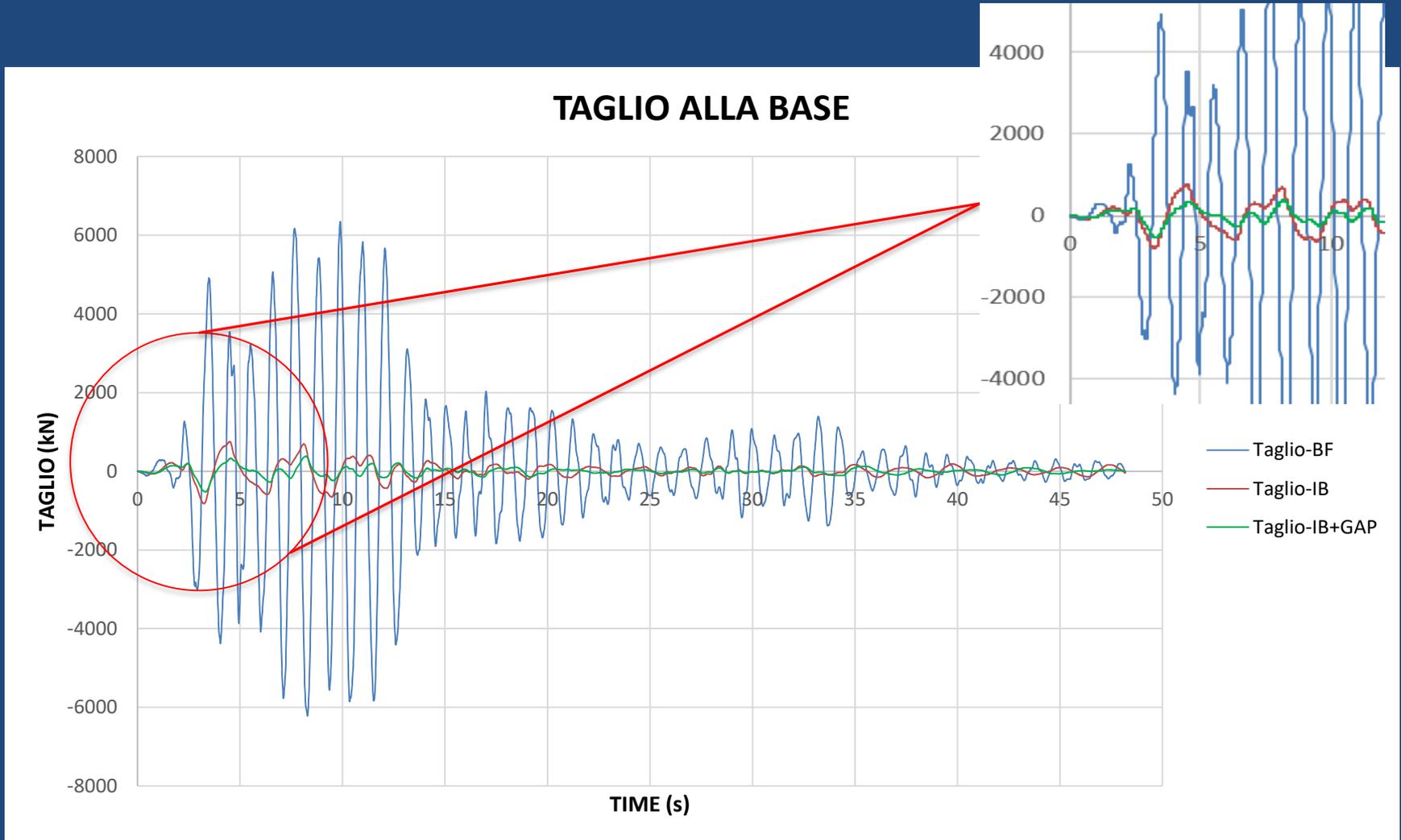


Adeguamento mediante isolamento sismico

ACCELERAZIONE SOMMITA'

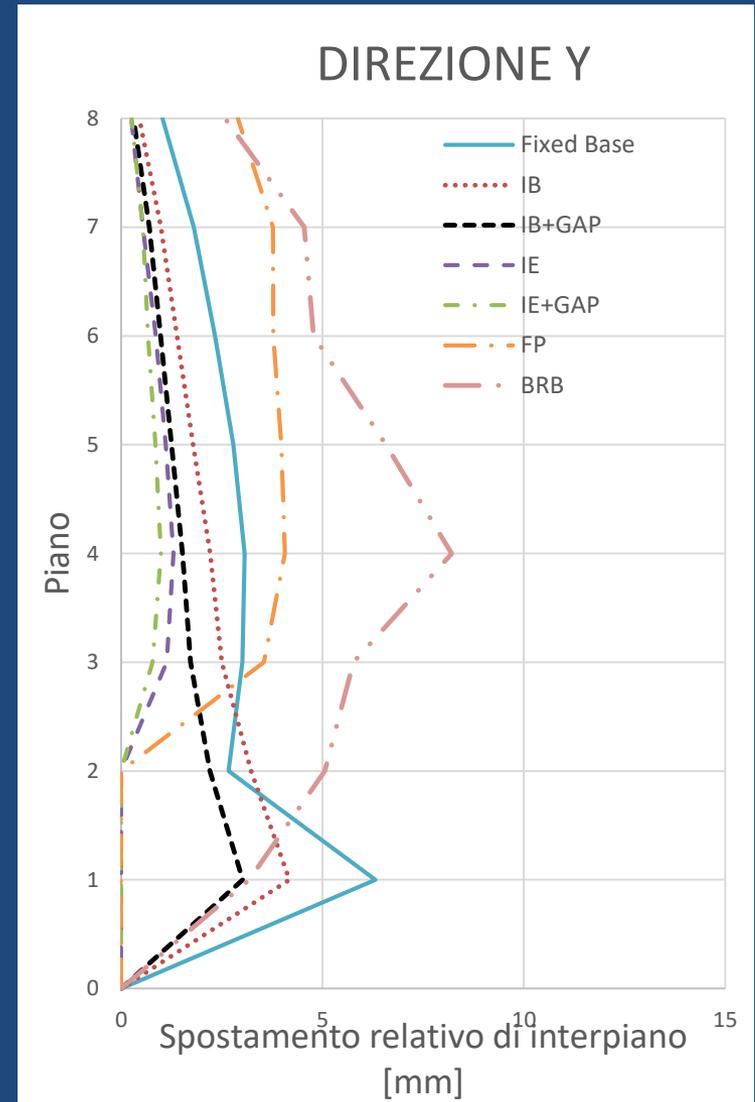
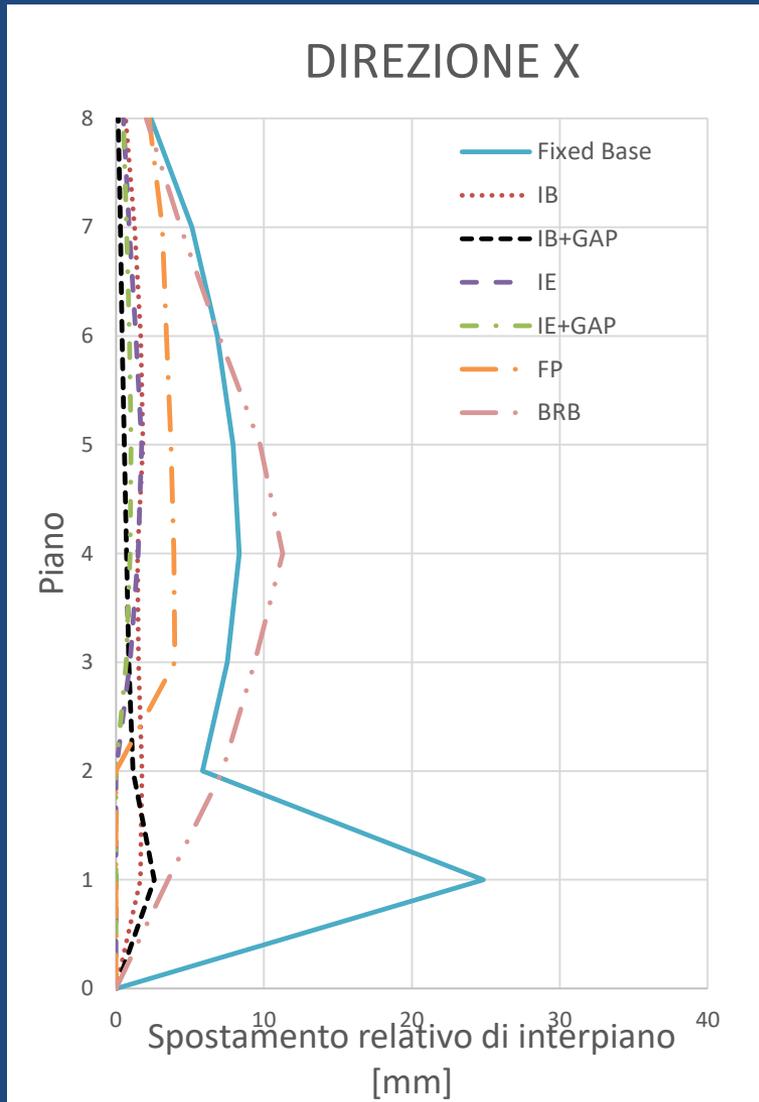


Adeguamento mediante isolamento sismico



Adeguamento mediante dissipazione con BRB

Interstory drift tra i vari piani.

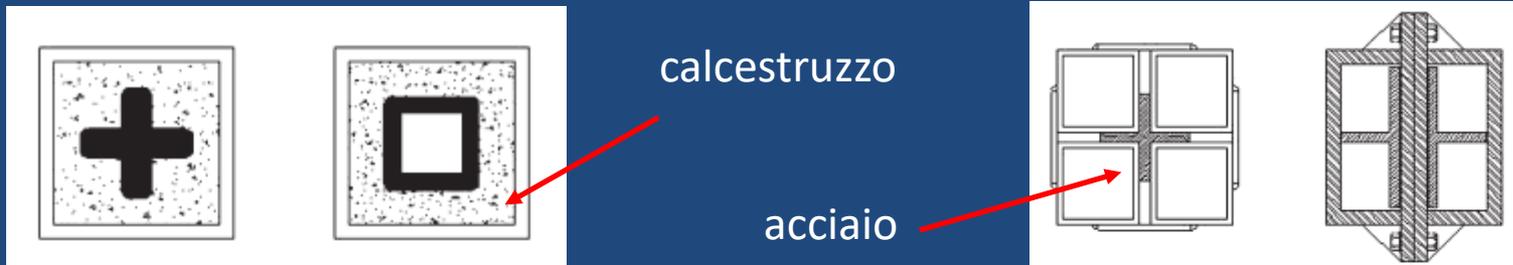


Adeguamento mediante dissipazione con BRB

elementi BRB (buckling-restrained braces), ad instabilità impedita in cui le aste compresse partecipano alla dissipazione di energia che altrimenti sarebbe limitata alle sole aste in trazione.

$$P_{eu} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J}{l_0^2}$$

Il carico critico dipende prevalentemente dalla lunghezza dell'elemento strutturale

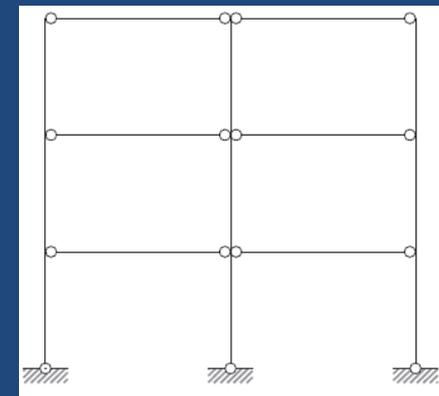


La lunghezza della parte dissipativa del BRB è legata al valore massimo di spostamento richiesto e quindi alla deformabilità della struttura

Adeguamento mediante dissipazione con BRB

Predimensionamento in campo elastico

1. Rendere il modello strutturale senza controventi labile;



1. Inserimento di un unico controvento di tipo elastico (**controvento equivalente**), e per ciascun piano, che ha il compito di sostenere interamente le forze orizzontali ed eliminare la labilità;
2. Si procede con un'analisi dinamica modale, supponendo la struttura a comportamento linearmente elastico (**spettro elastico**) corretta dal coefficiente d'importanza (Stato Limite Ultimo, SLU);
3. Dalle forze normali stimate nelle aste dei controventi equivalenti, si può dimensionare la rigidità assiale del controvento necessaria per ogni piano attraverso la seguente formula:

$$k = \frac{E \cdot N}{L \cdot \sigma_y}$$

Adeguamento mediante dissipazione con BRB

Predimensionamento in campo elastico

5. La rigidezza così calcolata va poi distribuita tra tutti i controventi che si intendono inserire per ciascun piano, in funzione delle scelte architettoniche e di altri vincoli progettuali;
6. La procedura consente una stima del limite superiore delle dimensioni dei controventi, in quanto la struttura è posta in uno stato in cui solo ad essi è stato assegnato il compito di assorbire i carichi orizzontali;
7. La successiva fase di pre-dimensionamento di dettaglio dei BRB comporta la verifica degli spostamenti d'interpiano. Questa verifica permette di modificare, se necessario, le sezioni dei controventi, in modo da soddisfare i limiti posti dalla norma sugli spostamenti d'interpiano.

Adeguamento mediante dissipazione con BRB

Modellazione in campo non lineare

8. Si procede ad un'analisi dell'intera struttura allo Stato Limite Ultimo, considerandola sempre resa labile mediante inserimento di cerniere al piede dei pilastri;
9. Si passa dal sistema MDOF ad uno SDOF;
10. tracciando nel piano ADRS, lo spettro elastico allo stato limite ultimo e quello anelastico, ottenuto da quello elastico attraverso l'introduzione del fattore $R\mu$, la scelta di un valore di duttilità della struttura, che a causa della labilità introdotta, è pari a quella del sistema di controvento ($\mu = 7$).

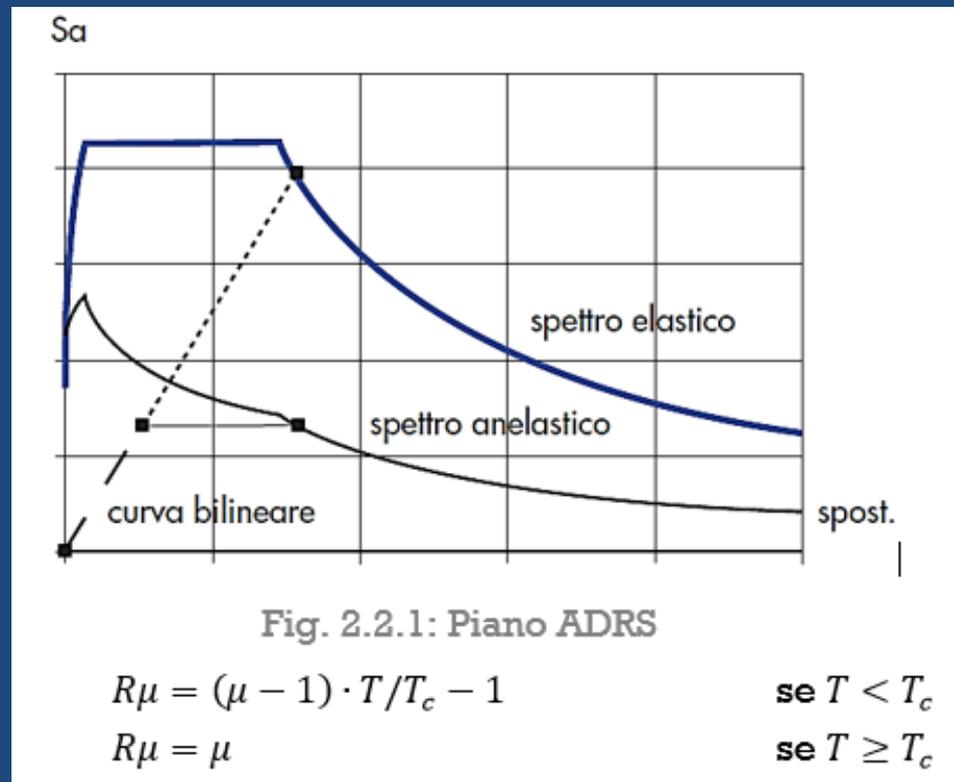
Adeguamento mediante dissipazione con BRB

Modellazione in campo non lineare

Curva bilineare ci da la domanda in spostamento che deve avere il sistema di controvento.

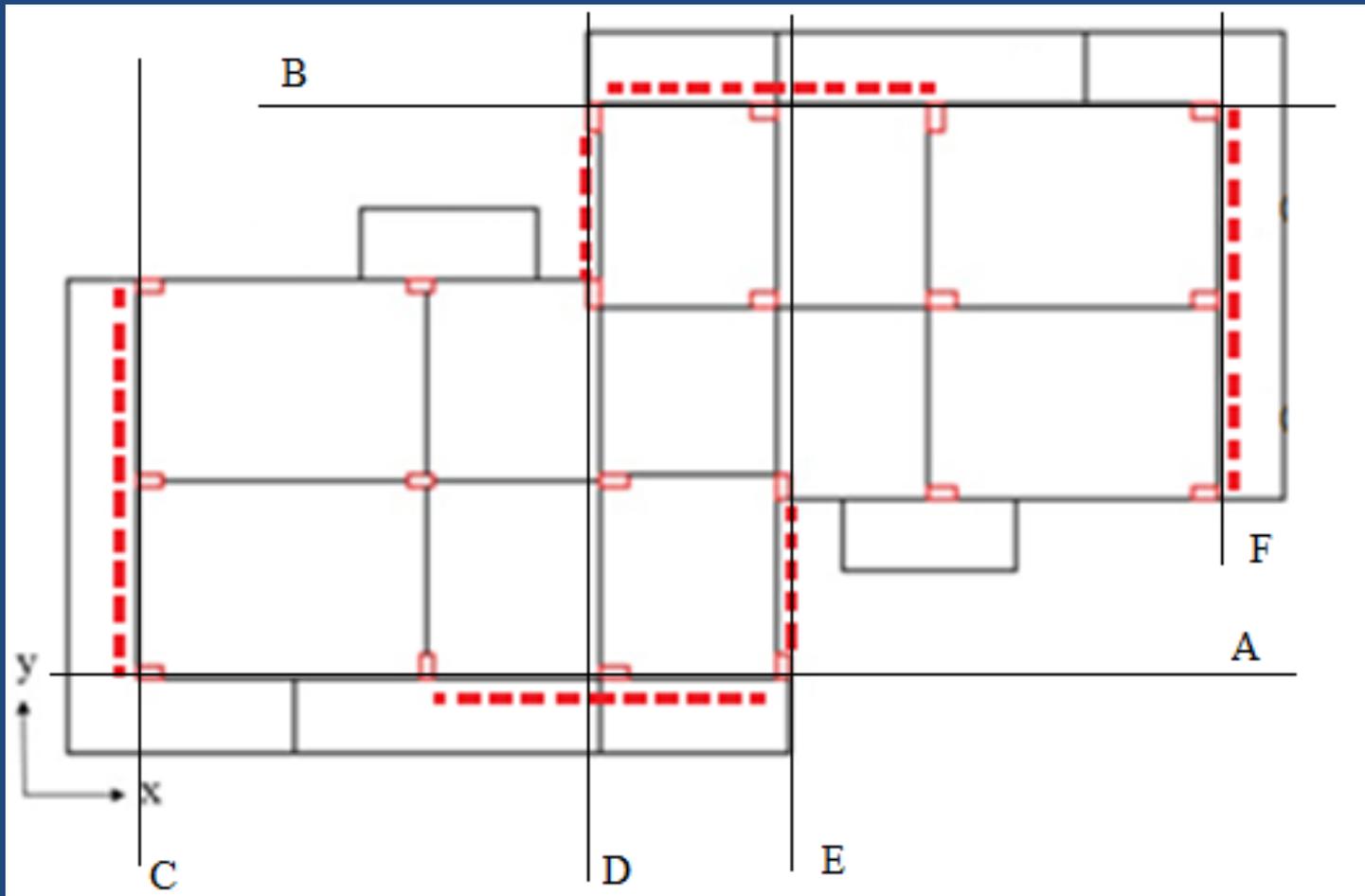
La retta verticale incontra lo spettro anelastico dando la domanda in termini di taglio alla base.

Si ripartisce tra i piani le caratteristiche del controvento equivalente e svolgendo un'analisi dinamica non lineare.



Adeguamento mediante dissipazione con BRB

Disposizione in pianta dei dissipatori BRB



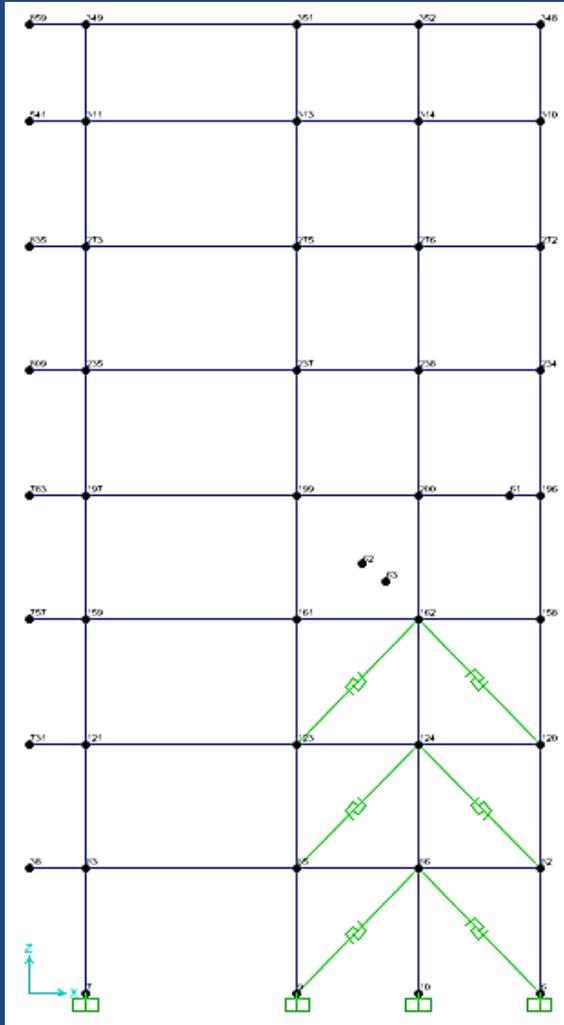
Adeguamento mediante dissipazione con BRB

Criterio di posizionamento dei dissipatori BRB

- *i) privilegiare le campate centrali del telaio al posto di quelle laterali: le campate centrali forniscono un maggior vincolo ai controventi;*
- *ii) privilegiare i telai esterni al posto di quelli interni: i telai interni sono più rigidi di quelli esterni e dal momento che i controventi interagiscono con essi, la rigidezza di questi ultimi risulta più bassa;*
- *iii) privilegiare le campate all'interno delle rientranze: essendo campate in corrispondenza delle rientranze meno rigide rispetto a quelle adiacenti, la rigidezza dei controventi trae beneficio dal momento che le campate adiacenti offrono un buon vincolo;*
- *iv) posizionare i controventi negli angoli dell'edificio al fine di aumentare la rigidezza torsionale della struttura;*
- *v) preferire controventi di area inferiore, in modo da ridurre le forze indotte nel telaio irrigidito;*
- *vi) i controventi dovrebbero essere continui dalla sommità alla base dell'edificio in modo da avere un miglior percorso delle forze da essi sopportate.*

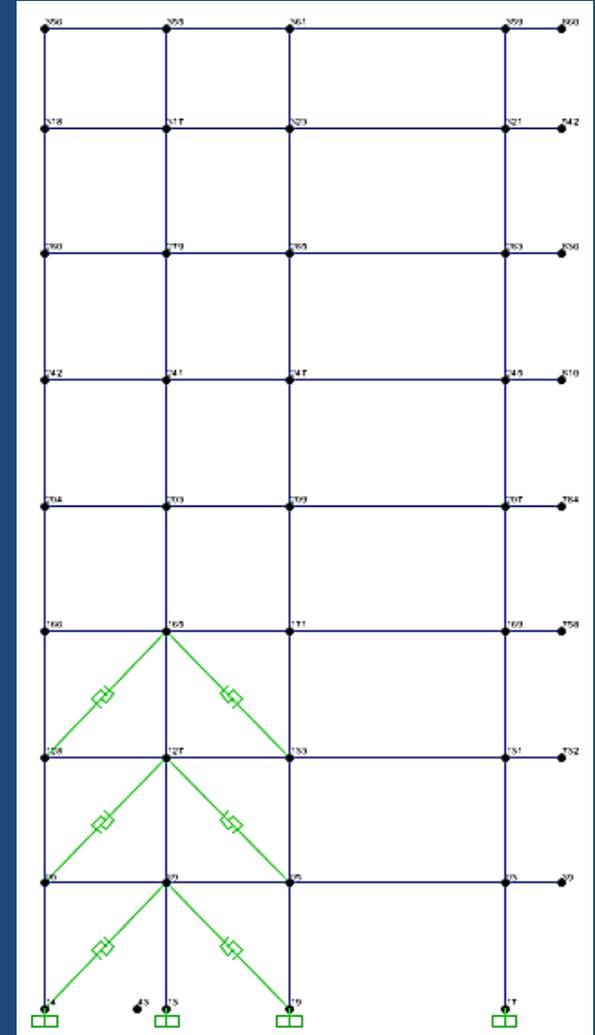
Adeguamento mediante dissipazione con BRB

Allineamento A



La disposizione dei controventi è stata volutamente arrestata al livello tre per valutare gli effetti sugli spostamenti di interpiano dovuti al cambio di rigidezza

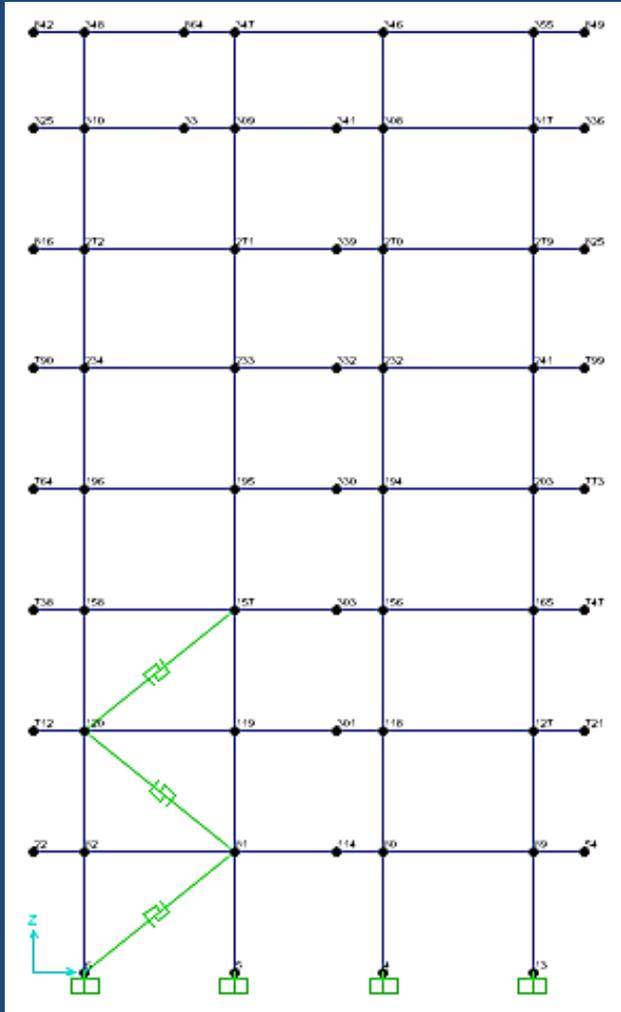
Allineamento B



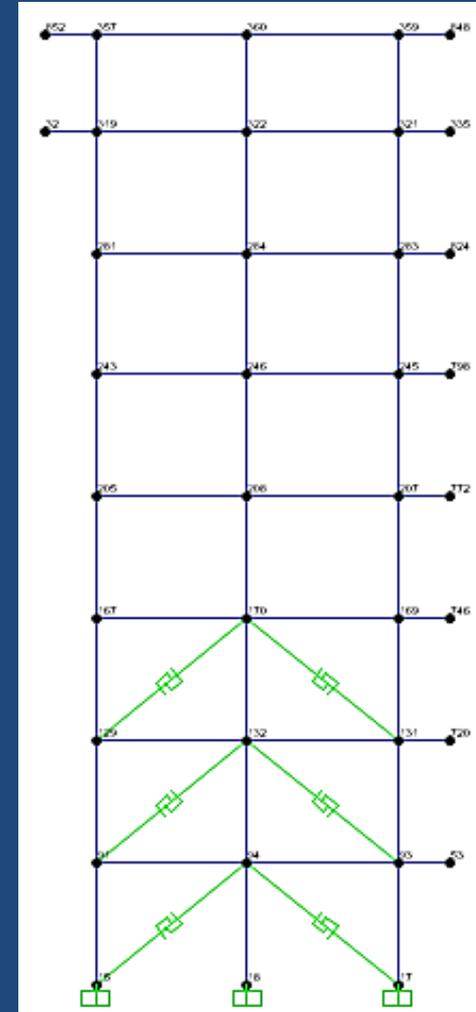
ESEMPIO DI DIMENSIONAMENTO E CALCOLO RELATIVO AD UN EDIFICIO ESISTENTE IN C.A.

Adeguamento mediante dissipazione con BRB

Allineamento E



Allineamento F



Adeguamento mediante dissipazione con BRB

Implementazione in sap2000 dei parametri – BRB

BRAD 21/40b

F1	d1	F2	d2	E	A	L
kN	mm	kN	mm	kN/mm ²	mm ²	mm
178	1.76	194	20	210	3538.78	1355

F_1 = Forza di snervamento al 3° ciclo allo spostamento d_2

d_1 = spostamento di snervamento

F_2 = Forza massima media al 3° ciclo

d_2 = spostamento massimo di progetto

E = modulo elastico

A = Area

L = lunghezza del dispositivo

$$\mu = \frac{K_{pl,brad}}{K_{eq}} = 0.01$$

$$K_{eq,brad} = \frac{F_1}{d_1} = 101.11 \text{ kN/mm}$$

$$K_{eq,asta} = \frac{EA}{L} = 548.4 \text{ kN/mm}$$

$$K_{pl,brad} = \frac{(F_2 - F_1)}{(d_2 - d_1)} = 0.88 \text{ kN/mm}$$

$$K_{eq} = \frac{1}{\left(\frac{1}{K_{eq,brad}} + \frac{1}{K_{eq,asta}}\right)} = 85.39 \text{ kN/mm}$$

ESEMPIO DI DIMENSIONAMENTO E CALCOLO RELATIVO AD UN EDIFICIO ESISTENTE IN C.A.

Adeguamento mediante dissipazione con BRB

Implementazione in sap2000 dei parametri – BRB



$$K_{eff} = \frac{F_2}{d_2} = 9.7 \text{ kN/mm}$$

$$K_1 = 100.11 \text{ kN/mm}$$

$$K_2 = \alpha K_1$$

$$Q = 178 \text{ kN}$$

$$\alpha = 0.013$$

Direction	Fixed	NonLinear	Properties
<input checked="" type="checkbox"/> U1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Modify/Show for U1...
<input type="checkbox"/> U2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for U2...
<input type="checkbox"/> U3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for U3...
<input type="checkbox"/> R1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R1...
<input type="checkbox"/> R2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R2...
<input type="checkbox"/> R3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R3...

Identification

Property Name: BRAD21/40b

Direction: U1

Type: Plastic (Wen)

NonLinear: Yes

Properties Used For Nonlinear Analysis Cases

Stiffness: 100.11

Yield Strength: 178.

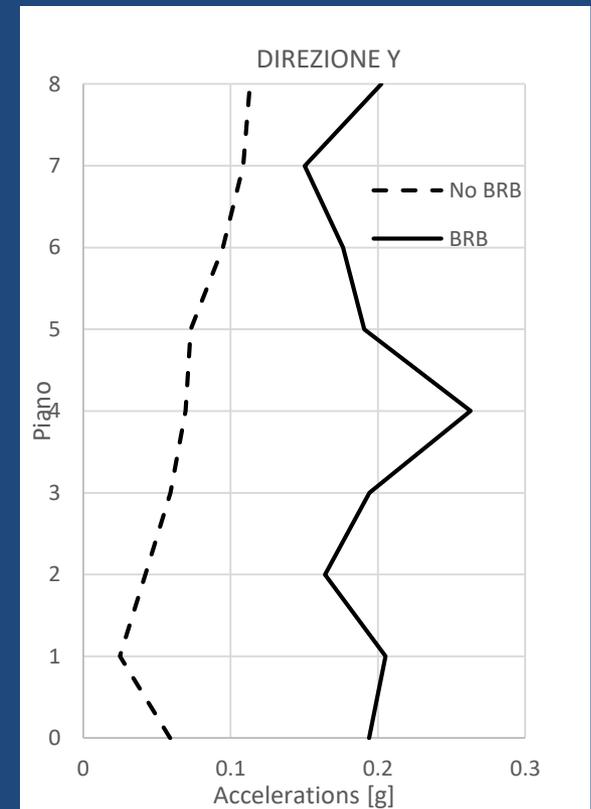
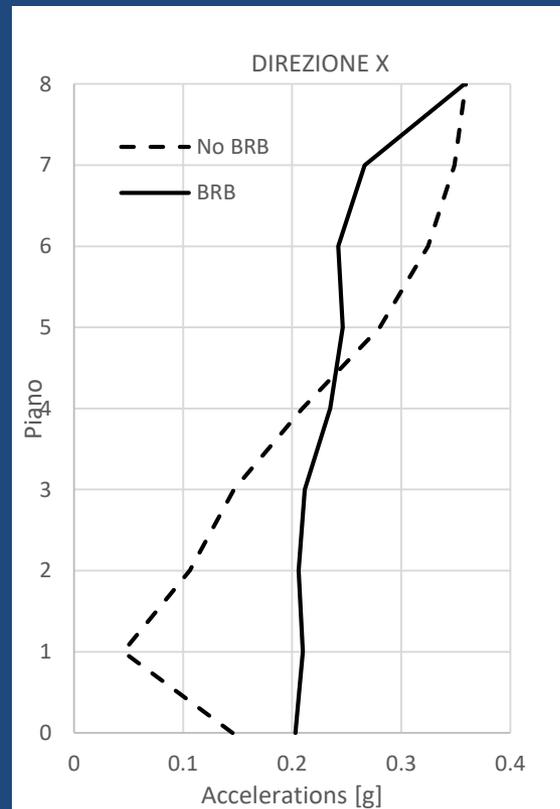
Post Yield Stiffness Ratio: 0.013

Yielding Exponent: 2.

L'esponente di snervamento (**Yielding Exponent**) controlla la transizione dalla fase elastica alla fase post-elastica. Un esponente 2 conduce ad un livello di definizione dello snervamento generalmente sufficiente

Adeguamento mediante dissipazione con BRB

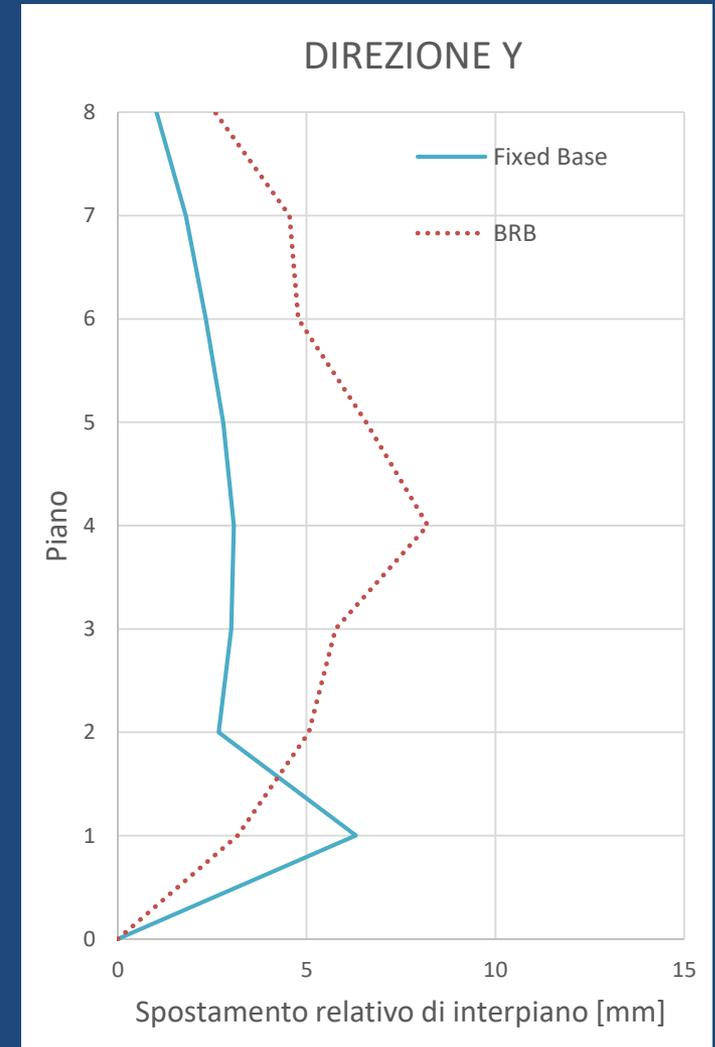
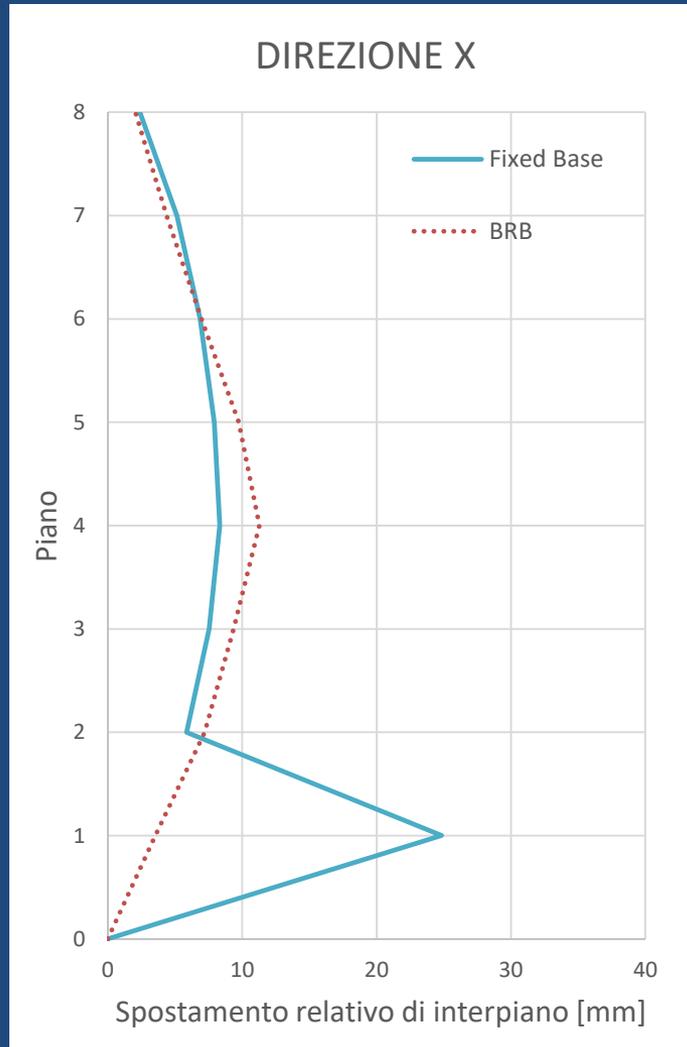
L'analisi svolta è di tipo *time history*, considerando gli accelerogrammi selezionati indicati in precedenza. Si osserva che le accelerazioni massime di piano crescono in presenza dei controventi BRB, come conseguenza della maggiore rigidezza dell'edificio rinforzato mediante tali dispositivi. Nell'edificio rinforzato, tuttavia, le strutture preesistenti assorbono una quantità di energia sismica inferiore, rispetto al caso dell'edificio non rinforzato.



ESEMPIO DI DIMENSIONAMENTO E CALCOLO RELATIVO AD UN EDIFICIO ESISTENTE IN C.A.

Adeguamento mediante dissipazione con BRB

Interstory drift tra i vari piani.



Adeguamento mediante dissipazione con BRB

Periodi

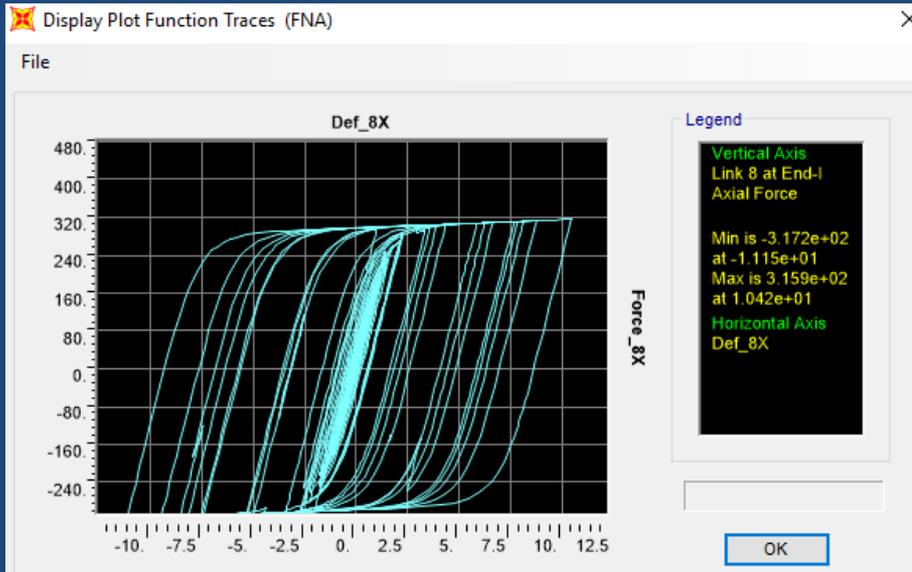
La tabella che segue illustra i periodi fondamentali di vibrazione della struttura senza BRB (o struttura allo stato di fatto SF) e della struttura rinforzata con controventi BRB (struttura CV). In virtù dell'irrigidimento prodotto dai controventi BRB, che si è già menzionato in precedenza, i periodi di vibrazione della struttura CV risultano sensibilmente inferiori rispetto a quelli della struttura SF.

direzione X	
$T_{SF} = 1.02 \text{ s}$	Struttura stato di fatto
$T_{CV} = 0.856 \text{ s}$	Struttura con controventi BRB
direzione Y	
$T_{SF} = 1.19 \text{ s}$	Struttura stato di fatto
$T_{CV} = 0.955 \text{ s}$	Struttura con controventi BRB

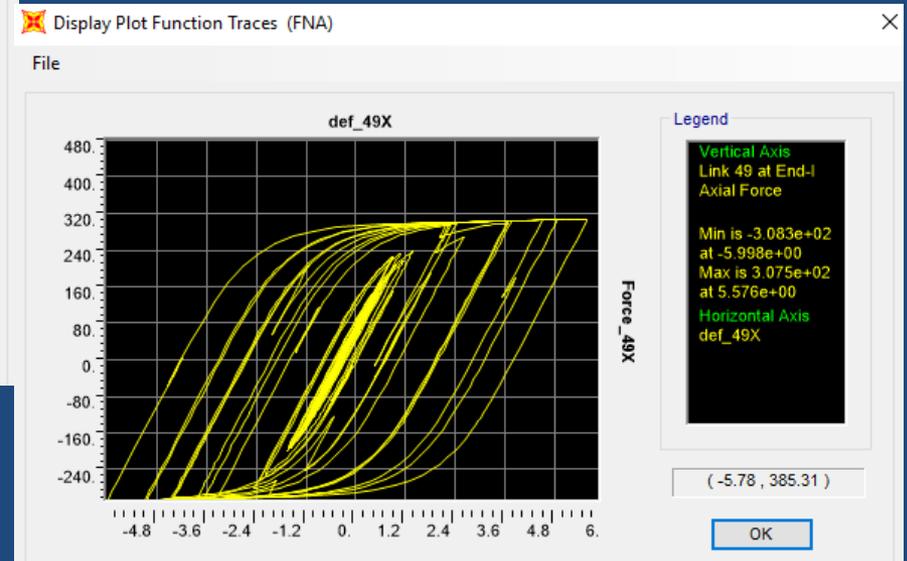
ESEMPIO DI DIMENSIONAMENTO E CALCOLO RELATIVO AD UN EDIFICIO ESISTENTE IN C.A.

Adeguamento mediante dissipazione con BRB

Dissipatore BRB



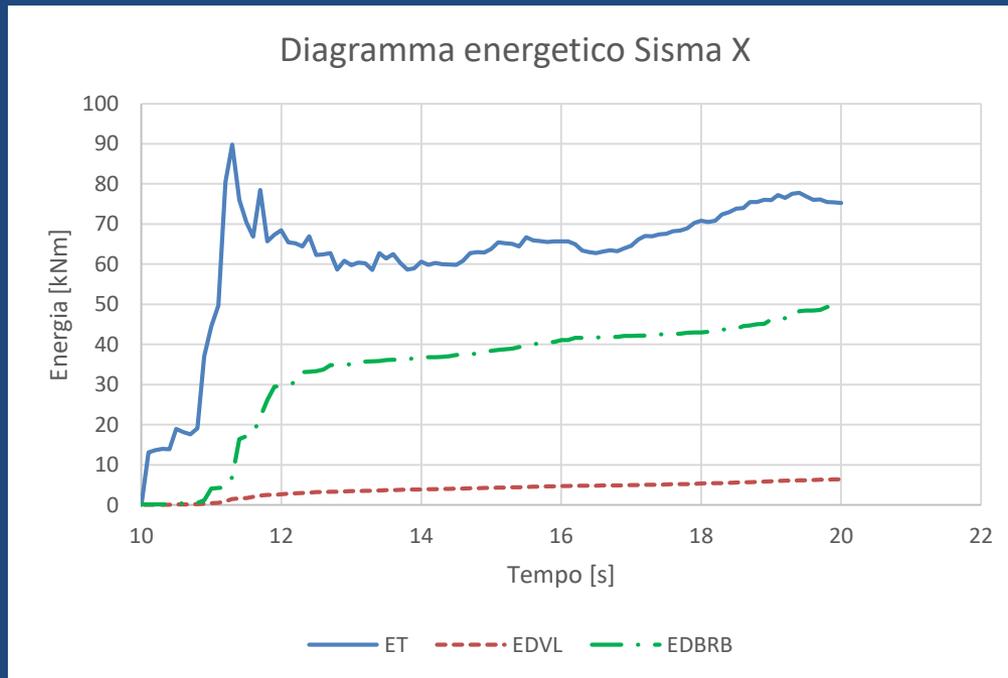
Ciclo isteretico di un isolatore



Ciclo isteretico di un isolatore

Adeguamento mediante dissipazione con BRB

L'effetto benefico in termini di energia assorbita dalle strutture pre-esistenti, che segue al rinforzo con i controventi BRB, è messo in luce dal confronto del bilancio tra le diverse energie in gioco, in corrispondenza delle eccitazioni selezionate in direzione x e y.

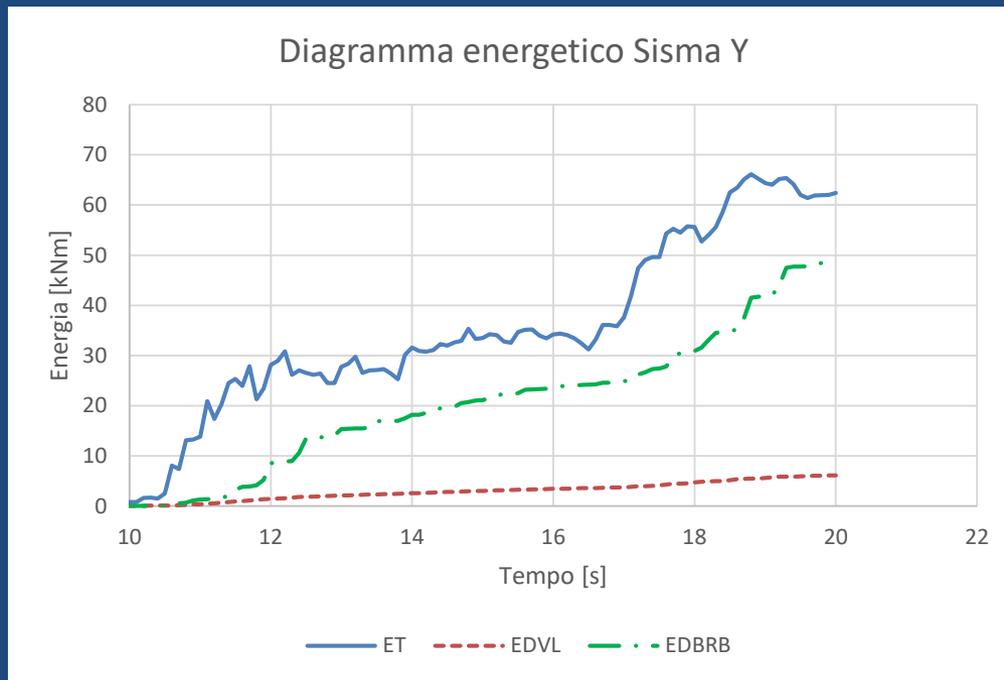


- ET: energia totale
- EDVL: energia viscosa lineare In presenza dello smorzamento convenzionale del 5%
- EDBRB: energia dissipata per effetti isteretici

a 20 secondi dall'inizio dell'eccitazione, l'energia dissipata per dagli elementi BRB risulta circa pari al 78% di ET, molto minore è invece l'energia dissipata per effetti viscosi lineari, che risulta pari a circa il 10% di ET.

Adeguamento mediante dissipazione con BRB

L'effetto benefico in termini di energia assorbita dalle strutture pre-esistenti, che segue al rinforzo con i controventi BRB, è messo in luce dal confronto del bilancio tra le diverse energie in gioco, in corrispondenza delle eccitazioni selezionate in direzione x e y.



- ET: energia totale
- EDVL: energia viscosa lineare In presenza dello smorzamento convenzionale del 5%
- EDBRB: energia dissipata per Effetti isteretici



a 20 secondi dall'inizio dell'eccitazione, l'energia dissipata per dagli elementi BRB risulta circa pari al 78% di ET, molto minore è invece l'energia dissipata per effetti viscosi lineari, che risulta pari a circa il 10% di ET.

Tecniche di analisi dinamica non lineare

Integrazione diretta (DI)

L'approccio più generale per determinare la risposta dinamica di una struttura ci si orienta nella **integrazione diretta** delle equazioni di equilibrio, ovvero, le equazioni del moto vengono soddisfatte in un numero discreto di intervalli di tempo utilizzando un apposito algoritmo.

Tra i diversi algoritmi proposti in letteratura (Newmark, Wilson, Hilbert ecc), il più ampiamente utilizzato è quello di Newmark.

I metodi di integrazione possono essere del tipo:

Espliciti o Impliciti.

- I metodi ***Espliciti*** utilizzano delle equazioni differenziali al tempo t per predire una soluzione al passo $t+Dt$. Sono ***condizionatamente stabili*** rispetto alla grandezza del passo di tempo.
- I metodi ***Impliciti*** soddisfano delle equazioni differenziali al tempo t dopo che la soluzione è stata trovata al passo $t-Dt$, possono essere ***condizionatamente o incondizionatamente stabili.***

Tecniche di analisi dinamica non lineare

Integrazione diretta (DI)

Il metodo DI è consigliato:

- si vuole utilizzare la non linearità del materiale
- è stata definita la dipendenza dal tempo delle caratteristiche dei materiali
- non sia trascurabile l'effetto di 2° ordine
- non sia applicabile il metodo FNA.

Suggerimento:

Integrare l'equazione di moto ogni $1/100$ s, ovvero $1/100$ del periodo. Vuol dire che ogni $1/100$ s la matrice di rigidezza cambia (per formazione di cerniere plastiche, non linearità geometriche, ecc.) quindi essa deve essere riassemblata, invertirla, ecc.

Evento di 30 s con $1/100$ s di integrazione → occorrono 3000 volta in cui si va ad assemblare la matrice.

Tecniche di analisi dinamica non lineare

FNA – Fast Nonlinear Analysis

L'alternativa all'analisi non lineare ad integrazione diretta, è stata formulata da Wilson (2002) e va sotto il nome di “Fast Nonlinear Analysis” (FNA). Tale strategia, nata dalla estensione al campo non lineare del metodo di sovrapposizione modale, si basa sul disaccoppiamento delle equazioni di moto. Questo approccio consiste nel separare i gradi di libertà a **comportamento lineare** da quelli a **comportamento non lineare**, definendo un sistema di equazioni di moto su base di autovettori determinati con il metodo di **Ritz** (mediante l'uso di “forme” dipendenti dal carico).

Pertanto, ad ogni passo di integrazione, la procedura incrementale-iterativa viene applicata soltanto agli elementi non lineari, mentre le matrici di **rigidezza** e di **smorzamento viscoso lineare** della struttura (risposta di tipo elastico), rimangono quelle valutate al passo iniziale.

Il metodo consiste, quindi, nel separare il vettore delle forze interne ed esterne non lineari (**concentrato in un numero limitato di elementi**), dal vettore delle forze interne ed esterne elastiche e viscoso lineari della restante parte della struttura.

Tecniche di analisi dinamica non lineare

FNA – Fast Nonlinear Analysis

Risulta, pertanto, un vantaggio computazionale di questo metodo rispetto ad algoritmi di integrazione diretta al passo. Le analisi FNA consentono, a parità di accuratezza numerica, una riduzione di un fattore pari ad almeno 100 rispetto al metodo dell'integrazione diretta.

Il metodo FNA è consigliato quando:

- Le non linearità sono concentrate negli NLLINK
- siano trascurabili effetti di 2° ordine (grandi spostamenti)
- siano presenti nel modello numerosi elementi non lineari

Tecniche di analisi dinamica non lineare

FNA – Fast Nonlinear Analysis

Una analisi **FNA**, essendo basata sul disaccoppiamento su base modale, deve essere preceduta da un'analisi modale effettuata con il metodo di Ritz, scegliendo un numero di modi di vibrare **sufficientemente alto**. Nel metodo di Ritz viene applicata una correzione agli autovettori in modo da compensare gli errori indotti dal trascurare i modi superiori.

Esempio:

- Attivazione della massa totale con 20 modi
- Supponiamo di avere 50 link non lineari, ognuno con 3 dof attivi

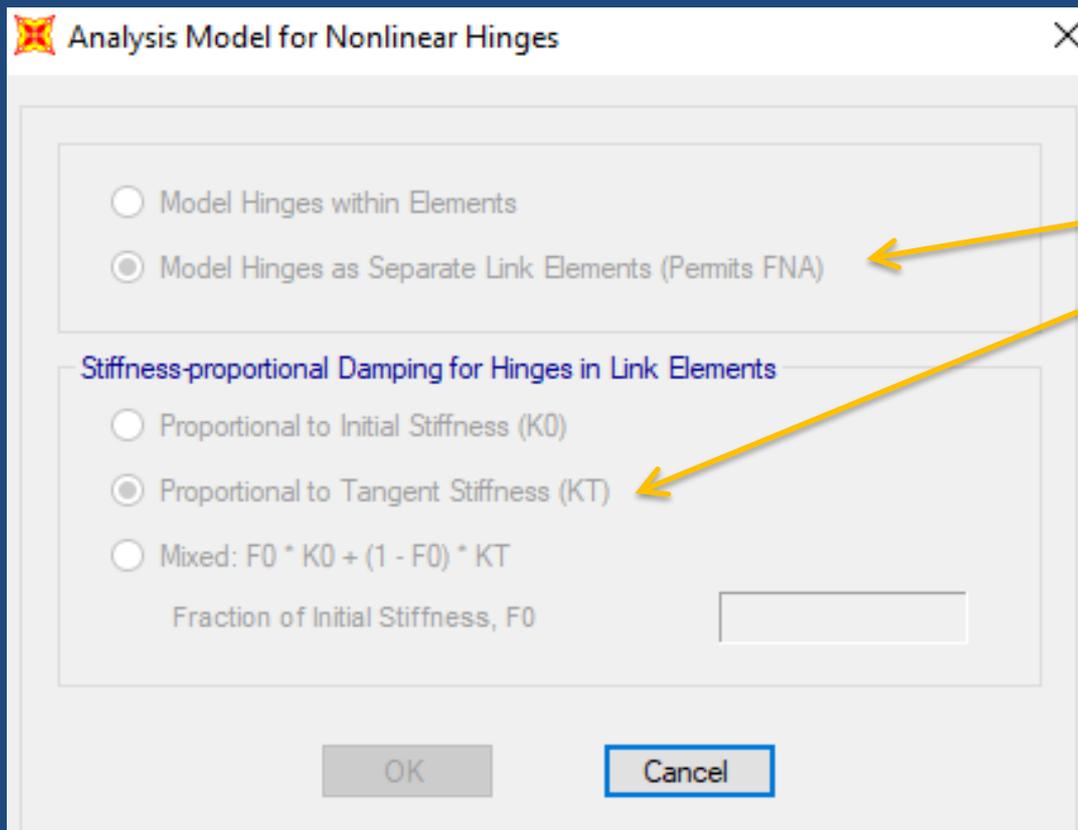
Minimo numero di modi da considerare è $3 \times 50 + 20 = 170$.

Si dovranno passare come vettori di carico di Ritz le seguenti opzioni: Accelerazioni **Uy**, **Uy** ed **Rz**; la voce “**Link All**”. L'accelerazione **Uz** o vettori di carico verticali, bisogna includerla nel caso si abbiano link che si attivano per carichi gravitativi, per esempio **link ad attrito**.

Tecniche di analisi dinamica non lineare

FNA – Fast Nonlinear Analysis

All'interno del Sap è possibile modellare le cerniere plastiche attraverso dei link. Non attraverso le Hing che si utilizzano per l'analisi Pushover.



Elementi NNLINK in Sap 2000

NNLINK:

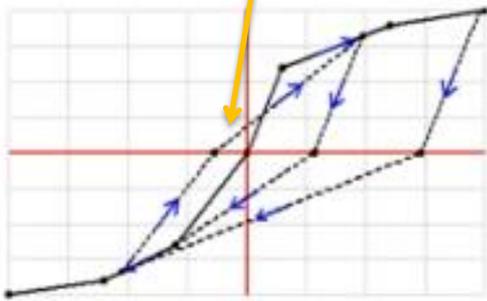
L'elemento NNLINK è usato per la modellazione delle non linearità locali all'interno della struttura.

- **Multi linear elastic:** elementi elastici non lineari
- **Gap:** elementi solo compressi (mossa con in serie un'apertura)
- **Damper:** elementi a viscosità non lineare
- **Multi linear Plastic:** elementi a comportamento esto-plastico con leggi varie
- **Rubber Isolator:** isolatori isteretici
- **Friction Isolator:** isolatori ad attrito

Leggi costitutive dei>NNLINK in Sap 2000

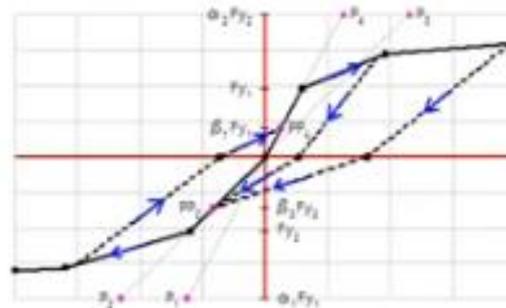
Multi linear Plastic

danneggiamento



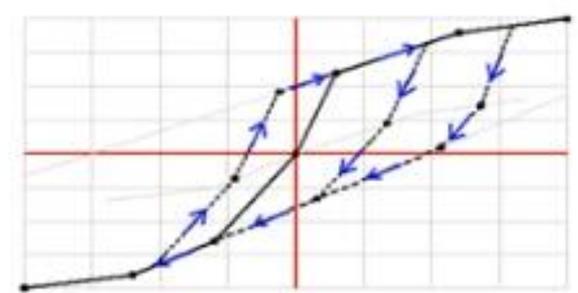
isteresi secondo il modello Takeda

calcestruzzo



isteresi secondo il modello Pivot

calcestruzzo



isteresi secondo un modello ad incrudimento cinematico

Acciaio (elasto plastici metallici)

Cosa cambia: Cambia la fase di scarico, ovvero l'isteresi

Analisi comparativa dei costi di diverse tecniche di adeguamento sismico

Si passa ad esaminare un confronto tra costi relativi alle tecniche di adeguamento sismico analizzate nell'esempio progettuale visto in precedenza con riferimento ad un intervento con isolatori sismici ed un intervento con inserimento di controventi dissipativi BRB.

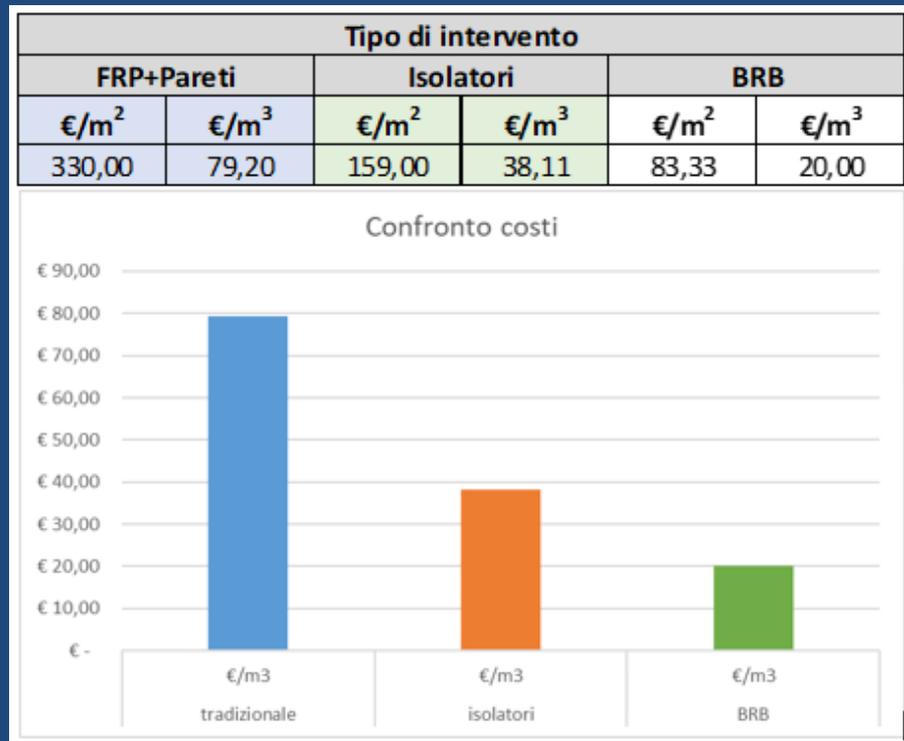
Il confronto tra i costi analizza anche un'ulteriore tipologia d'intervento, che non era stata presa in esame la quale prevede rinforzi di travi e pilastri con fasciature FRP ed inserimento di pareti suppletive di rinforzo in c.a. al piano terra (intervento di tipo **"tradizionale"** o **"FRP+Pareti"**).

Per la valutazione dei costi dell'intervento con **isolatori sismici**, è stata effettuata una stima sulla base del prezzo della **Regione Abruzzo 2016**. Per quanto riguarda invece l'adeguamento mediante i **dissipatori BRB**, oltre al costo dei singoli dispositivi, sono stati considerati anche i costi necessari a rinforzare i pilastri dei telai nei quali sono inseriti tali controventi. Anche in questo caso si è fatto riferimento al prezzo della **Regione Abruzzo 2016**. La valutazione del costo dell'intervento di tipo tradizionale, è stato infine effettuato con riferimento all'ordinanza del **Presidente del Consiglio dei Ministri n. 19 del 7 Aprile 2017**, che indica i costi parametrici per un intervento di **miglioramento/adeguamento** di strutture civili.

ESEMPIO DI DIMENSIONAMENTO E CALCOLO RELATIVO AD UN EDIFICIO ESISTENTE IN C.A.

Analisi comparativa dei costi di diverse tecniche di adeguamento sismico

Un computo sintetico di tale intervento è stato condotto considerando i costi relativi ad un rinforzo diffuso di travi e pilastri, oltre alle spese per demolizione e rifacimento di tamponature, tramezzature e impianti, comprese le opere di finitura.



In particolare, nel caso in esame, i costi unitari a mq degli interventi con isolatori e con BRB sono pari rispettivamente al 48% ed al 25% del costo unitario dell'intervento di tipo tradizionale.

Analisi comparativa dei costi di diverse tecniche di adeguamento sismico

E' utile evidenziare che l'intervento di adeguamento mediante isolatori preso in esame comporta l'esecuzione di lavori solo in corrispondenza del solo piano terra (**adibito a porticato**) e del piano interrato (**adibito a garage**). Programmando opportunamente gli interventi, è possibile svolgere tali lavori di adeguamento **senza evacuare** gli alloggi posti ai piani superiori, soluzione non perseguibile con un intervento di tipo tradizionale.

Risulta anche utile osservare, che **l'isolamento sismico** garantisce all'edificio una **protezione sismica sicuramente superiore** rispetto a quella assicurata dall'intervento di tipo tradizionale sopra descritto, dal momento che alla sovrastruttura dell'edificio isolato perviene una domanda più contenuta in termini di accelerazioni di piano, rispetto al caso dell'edificio a base fissa, con il risultato che la funzione principale dei telai portanti sarà quella di garantire la resistenza nei confronti dei carichi verticali.

Si tenga presente, tuttavia, che l'intervento con isolatori deve essere necessariamente applicato ad entrambi i corpi di fabbrica gemelli dell'edificio analizzato, allo scopo di evitare possibili spostamenti in contrasto di fase degli stessi e martellamenti tra tali corpi in elevazione.

SISMABONUS

SISMABONUS ORDINARIO

DETRAZIONE PER INTERVENTI ANTISISMICI SU EDIFICI ESISTENTI

Art. 16, co.1bis-1quater, e 1-sexies, D.L. 63/2013 (conv. nella Legge 90/2013)

Per le spese sostenute dal 01.01.2017 al 31.12.2021, per interventi antisismici eseguiti su costruzioni adibite ad abitazioni e ad attività produttive, ubicate in zone sismiche 1, 2 e 3, spetta una detrazione, da ripartire in 5 anni, pari al:

- 50% delle spese sostenute, sino ad un massimo di 96.000 euro per unità immobiliare, per interventi sulle parti strutturali che non conseguono un miglioramento della classe sismica
- 70% delle spese sostenute sino ad un massimo di 96.000 euro per unità immobiliare, per interventi che riducono il rischio sismico di 1 classe
- 80% delle spese sostenute sino ad un massimo di 96.000 euro per unità immobiliare, per interventi che riducono il rischio sismico di 2 classi

NOVITA'

- Estensione a tutte le abitazioni (non solo alle «abitazioni principali»)
- Estensione alla zona sismica 3
- Ripartizione in 5 anni (anziché in 10)
- Modulazione della % in funzione della tipologia di intervento

SISMABONUS CONDOMINI

DETRAZIONE PER INTERVENTI ANTISISMICI SU PARTI COMUNI DI EDIFICI ESISTENTI

Art. 16, co.1-quinquies, D.L. 63/2013 (conv. nella Legge 90/2013)

Per le spese sostenute dal 01.01.2017 al 31.12.2021, per interventi antisismici eseguiti su parti comuni di edifici condominiali, ubicati in zone sismiche 1, 2 e 3, spetta una detrazione, da ripartire in 5 anni, pari al:

- 75% delle spese sostenute, sino ad un massimo di 96.000 euro moltiplicato per il numero delle unità immobiliari dell'edificio, per interventi che riducono il rischio sismico di 1 classe
- 85% delle spese sostenute , sino ad un massimo di 96.000 euro moltiplicato per il numero delle unità immobiliari dell'edificio, per interventi che riducono il rischio sismico di 2 classi
- Possibilità di cedere il credito alle imprese esecutrici degli interventi e a «soggetti privati»

LIMITE DI SPESA

96.000 euro moltiplicato per il numero delle unità immobiliari di ciascun edificio.

CALCOLO 96.000 EURO (CM 7/E/2018):

Limite autonomo per ogni unità immobiliare di cui si compone l'edificio (unità principali e pertinenze autonomamente accatastate)

ES: 6 abitazioni e 2 pertinenze con autonomo accatastamento = 8 unità totali. Limite massimo di spese per intervento su condominio = € 768.000 (€ 96.000 x 8) da ripartire tra i condomini sulla base della Tabella millesimale

SISMABONUS

NOVITÀ LEGGE BILANCIO 2018 (L.205/2017)

- Estensione del beneficio anche agli interventi di messa in sicurezza effettuati dagli **IACP** e da altri enti aventi le medesime finalità (tra cui rientrano le cooperative di abitazioni a proprietà indivisa, assegnate ai soci)
- Attribuzione del monitoraggio all'Enea, laddove gli interventi di messa in sicurezza statica consentano di ottenere anche un risparmio energetico

ACQUISTO CASE ANTISISMICHE IN ZONA 1

ART. 16, CO.1-SEPTIES, D.L. 63/2013 (CONV. IN L. 90/2013)

AGEVOLAZIONE

- detrazione dall'imposta sul reddito riconosciuta all'acquirente di abitazioni facenti parte di edifici demoliti e ricostruiti (anche con variazione volumetrica) da imprese di costruzioni che li cedono, in zona sismica 1

CONDIZIONI

- intervento su intero edificio eseguito da impresa di costruzione/ristrutturazione immobiliare
- intervento di demolizione e ricostruzione, anche con variazione volumetrica rispetto alla preesistente, ove consentita da norme urbanistiche
- acquisto (rogito) dell'unità immobiliare entro 18 mesi dal termine dei lavori

BENEFICIO

- detrazione pari al 75%/85% (a seconda del miglioramento ottenuto in termini di classe sismica) del prezzo indicato in atto entro un ammontare massimo di spesa di 96.000 euro
- Possibilità di cedere la detrazione sotto forma di credito d'imposta (cm 7/e/2018)

ACQUISTO ABITAZIONI ANTISISMICHE ALL'INTERNO DI EDIFICI DEMOLITI E RICOSTRUITI (CON AUMENTO VOLUMETRICO)

ESEMPI DI CALCOLO:

IPOTESI 1

1 solo acquirente

prezzo dell'unità immobiliare = € 150.000

IMPORTO AMMESSO A DETRAZIONE

$85\% \times € 96.000 = € 81.600$ entro il limite dei 96.000 per unità immobiliare

IMPORTO DETRAIBILE ANNUO

$€ 81.600 : 5 = € 16.320$

Importo complessivamente detraibile = € 81.600 in 5 anni (€ 16.320 all'anno)

ACQUISTO ABITAZIONI ANTISISMICHE ALL'INTERNO DI EDIFICI DEMOLITI E RICOSTRUITI (CON AUMENTO VOLUMETRICO)

ESEMPI DI CALCOLO:

IOTESI 2

2 acquirenti (comproprietari)

prezzo dell'unità immobiliare = € 500.000

IMPORTO AMMESSO A DETRAZIONE

$85\% \times € 96.000 = € 81.600$ entro il limite dei 96.000 per unità immobiliare

IMPORTO DETRAIBILE ANNUO

$€ 81.600 : 5 = € 16.320$

Importo effettivo detraibile per ciascun annuo

$€ 16.320 / 2 = € 8.160$

SISMABONUS ORDINARIO

DETRAZIONE PER INTERVENTI ANTISISMICI SU EDIFICI ESISTENTI

Classificazione rischio sismico dell'edificio Decreto MIT 28 febbraio 2017
Modalità di attestazione dell'efficacia degli interventi realizzati

Progettista strutturale

Direttore dei lavori e
collaudatore statico

assevera, secondo i Contenuti delle Linee Guida, la classe di rischio dell'edificio precedente all'intervento e quella conseguibile a seguito dell'esecuzione dei lavori

Il direttore dei lavori e il collaudatore statico (se nominato ex lege), al collaudo dei lavori, attestano per rispettiva competenza, la conformità degli interventi eseguiti al progetto asseverato

SISMABONUS ORDINARIO

DETRAZIONE PER INTERVENTI ANTISISMICI SU EDIFICI ESISTENTI

SOGGETTI AMMESSI

Soggetti IRPEF e IRES (società, cooperative, etc.) che sostengono le spese per gli interventi antisismici e detengono il bene immobile in base ad un titolo idoneo (proprietà o altro diritto reale, locazione, o altro diritto reale di godimento)

FABBRICATI AGEVOLATI

Costruzioni:

- adibite ad **abitazioni** o ad **attività produttive** (a prescindere dalla classificazione catastale) anche se posseduti da società e locati a terzi
- ubicate in aree ad alta pericolosità sismica: zone 1, 2 e 3, individuate in base all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003

attività produttive: Unità immobiliari in cui si svolgono attività agricole, professionali, produttive di beni e servizi, commerciali e non commerciali

SISMABONUS ORDINARIO

DETRAZIONE PER INTERVENTI ANTISISMICI SU EDIFICI ESISTENTI

INTERVENTI AGEVOLATI (art.16-bis, co.1, lett.i, del D.P.R. 917/1986)

- opere per la messa in sicurezza statica in particolare sulle parti strutturali degli edifici
- redazione della documentazione obbligatoria, atta a comprovare la sicurezza statica
- interventi necessari al rilascio della suddetta documentazione obbligatoria

E' ammesso dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici che gli interventi di demolizione e ricostruzione rappresentano la più efficace strategia di riduzione del rischio sismico per le costruzioni non adeguate alle norme tecniche e, come tali, rientranti appieno nel Sismabonus

SISMABONUS ORDINARIO

DETRAZIONE PER INTERVENTI ANTISISMICI SU EDIFICI ESISTENTI

SPESE DETRAIBILI

dal 1° gennaio 2017, tra i costi detraibili dell'intervento rientrano anche le spese sostenute per la classificazione e verifica sismica degli immobili

Limite di spesa agevolato di 96.000 euro per unità immobiliare per ciascun anno.

In caso di prosecuzione in più anni dello stesso intervento, nel calcolo del limite dei 96.000 euro si devono considerare le spese sostenute in anni precedenti per le quali si è già fruito della detrazione

SISMABONUS ORDINARIO

DETRAZIONE PER INTERVENTI ANTISISMICI SU EDIFICI ESISTENTI

MODALITA' DI PAGAMENTO E RIPARTIZIONE TRA COMPROPRIETARI (RM 34/E/2018 e CM 7/E/2017)

i pagamenti devono avvenire con **bonifico bancario** o **postale**, contenente, nella causale, i riferimenti normativi della detrazione (art.16, co.1-bis, DL 16/2013, convertito con modifiche nella legge 90/2013)

in caso di più proprietari, ciascuno ha diritto alla detrazione in base alle spese effettivamente sostenute, risultanti dai bonifici e dalle fatture, a prescindere dalla quota di proprietà

la detrazione può spettare anche a colui che, pur avendo sostenuto le spese, non risulti intestatario del bonifico e/o della fattura, a condizione che i documenti di spesa (**le fatture pagate**) siano appositamente integrati con il suo nominativo e con l'indicazione della relativa percentuale di spesa sostenuta

SISMABONUS ORDINARIO

DETRAZIONE PER INTERVENTI ANTISISMICI SU EDIFICI ESISTENTI

LE NOVITÀ DEL DECRETO CRESCITA 2019

Il Decreto Legislativo n. 32 del 18 Aprile 2019 chiamato anche "*Decreto Crescita*" introduce tra le altre novità per l'edilizia anche due aspetti che riguardano i bonus fiscali.

- è possibile usufruire del Sismabonus anche per l'acquisto di immobili situati in zone sismiche 2 e 3, oltre che in zona 1
- è possibile accedere ad uno sconto sull'importo lavori in alternativa alla cessione del credito.

SISMABONUS ORDINARIO

DETRAZIONE PER INTERVENTI ANTISISMICI SU EDIFICI ESISTENTI

LE NOVITÀ DEL DECRETO CRESCITA 2019

La prima novità estende ai **comuni in zona sismica 2 e 3** le **detrazioni per le spese di rafforzamento antisismico nel caso di demolizione e ricostruzione di interi edifici**, anche con variazione volumetrica rispetto a quella preesistente, eseguiti da imprese di costruzione o ristrutturazione immobiliare che provvedono, entro 18 mesi dal termine lavori, alla successiva alienazione dell'immobile.

La detrazione è calcolata come il 75% (a fronte della riduzione del rischio sismico che determini il passaggio ad una classe di rischio inferiore) o l'85% (a fronte della riduzione del rischio sismico che determini il passaggio a due classi di rischio inferiore) del prezzo di acquisto dell'unità immobiliare, calcolato su un ammontare massimo di spesa non superiore a 96.000 euro. È possibile in alternativa cedere il credito maturato dall'acquisto.

SISMABONUS ORDINARIO

DETRAZIONE PER INTERVENTI ANTISISMICI SU EDIFICI ESISTENTI

LE NOVITÀ DEL DECRETO CRESCITA 2019

La seconda novità riguarda gli interventi di efficientamento energetico e di messa in sicurezza delle strutture e la possibilità di **accedere direttamente ad uno sconto sull'importo dei lavori pari alla detrazione fiscale maturabile**. Questa misura permette di non dover disporre di una piena liquidità per poter eseguire i lavori e ha come intento una maggior applicazione degli stessi strumenti di agevolazione fiscale. **Lo sconto sull'importo dei lavori è effettuato dal fornitore della prestazione di intervento al quale verrà corrisposta la somma scontata all'importo lavori sotto forma di credito d'imposta**. Tale credito potrà essere utilizzato in compensazione, in cinque quote annuali di pari importo, senza l'applicazione dei limiti di compensabilità.

SISMABONUS

QUADRO RIASSUNTIVO

LE DETRAZIONI IRPEF E IRES PER GLI INTERVENTI ANTISISMICI (spese sostenute dal 1° gennaio 2017 al 31 dicembre 2021)

PERCENTUALI di detrazione	50%	70%, per le singole unità immobiliari, se si passa a una classe di rischio inferiore	80%, per le singole unità immobiliari, se si passa a due classi di rischio inferiore
		75%, per gli edifici condominiali, se si passa a una classe di rischio inferiore	85%, per gli edifici condominiali, se si passa a due classi di rischio inferiori
IMPORTO MASSIMO delle spese	96.000 euro per unità immobiliare per ciascun anno		
	96.000 euro moltiplicato per il numero delle unità immobiliari di ciascun edificio, per gli interventi sulle parti comuni di edifici condominiali		
RIPARTIZIONE della detrazione	5 quote annuali		
IMMOBILI INTERESSATI	qualsiasi immobile a uso abitativo (non solo l'abitazione principale) e immobili adibiti ad attività produttive l'immobile deve trovarsi in una delle zone sismiche 1, 2 e 3		

SISMABONUS

QUADRO RIASSUNTIVO

LA DETRAZIONE PER L'ACQUISTO DI UN'UNITÀ IMMOBILIARE ANTISISMICA (In vigore dal 2017)

PERCENTUALI di detrazione	75% del prezzo di acquisto (se si passa a una classe di rischio inferiore)
	85% del prezzo di acquisto (se si passa a due classi di rischio inferiori)
IMPORTO MASSIMO su cui calcolare la detrazione	96.000 euro per ogni unità immobiliare
RIPARTIZIONE della detrazione	5 quote annuali
LE CONDIZIONI	<ul style="list-style-type: none">• gli immobili interessati sono quelli che si trovano nei Comuni ricadenti in una zona classificata "a rischio sismico 1"• devono far parte di edifici demoliti e ricostruiti per ridurre il rischio sismico, anche con variazione volumetrica rispetto al vecchio edificio• i lavori devono essere stati effettuati da imprese di costruzione e ristrutturazione immobiliare che entro 18 mesi dal termine dei lavori vendono l'immobile

SISMABONUS

QUADRO RIASSUNTIVO

EDIFICI CONDOMINIALI: LA DETRAZIONE PER GLI INTERVENTI COMBINATI ANTISISMICI E DI RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA (In vigore dal 2018)

PERCENTUALI di detrazione	80% se i lavori determinano il passaggio a una classe di rischio inferiore
	85% se a seguito degli interventi effettuati si passa a due classi di rischio inferiori
IMPORTO MASSIMO su cui calcolare la detrazione	136.000 euro moltiplicato per il numero delle unità immobiliari dell'edificio
RIPARTIZIONE della detrazione	10 quote annuali
LE CONDIZIONI	<ul style="list-style-type: none">• gli interventi devono essere effettuati su edifici condominiali che si trovano nei Comuni ricadenti nelle zone sismiche 1, 2 e 3• i lavori devono essere finalizzati congiuntamente alla riduzione del rischio sismico e alla riqualificazione energetica

ATTENZIONE: queste detrazioni possono essere richieste in alternativa a quelle già previste per gli interventi antisismici e per la riqualificazione energetica degli edifici condominiali

SISMABONUS

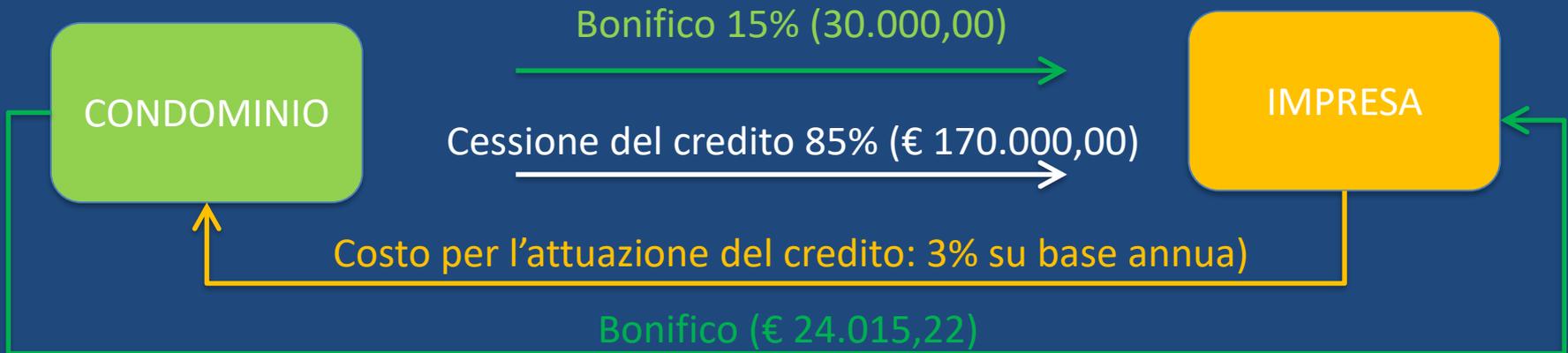
DETRAZIONE PER INTERVENTI ANTISISMICI SU EDIFICI ESISTENTI

ESEMPIO: Intervento di miglioramento sismico (passaggio di due classi)

COSTO LAVORI
€ 200.000,00

Sismabonus
85%

Anni
5



	1 anno	2 anno	3 anno	4 anno	5 anno	
Credito ceduto	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	
€	170.000,00	€ 164.900,00	€ 159.953,00	€ 155.154,41	€ 150.499,78	€ 145.984,78
						SOMMA
€	5.100,00	€ 4.947,00	€ 4.798,59	€ 4.654,63	€ 4.514,99	€ 24.015,22

COSTO SOSTENUTO DAL CONDOMINIO

€ 200.000 – € 170.000 + € 24.015,22 = € 54.015,22

RISPARMIO: € 200.000 - € 54.015,22 = 145.984,78 → 73%