

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

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

Isolamento e dissipazione

Prof. Felice Ponzo

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

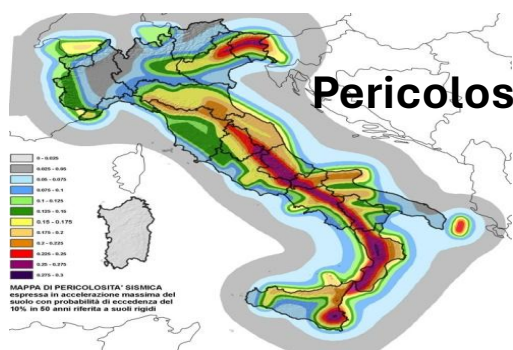
Prof. Luigi Di Sarno

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

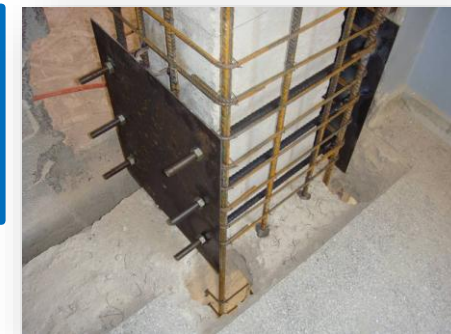
Progettazione interventi di rafforzamento sismico

Valutazione Entità

Pericolosità

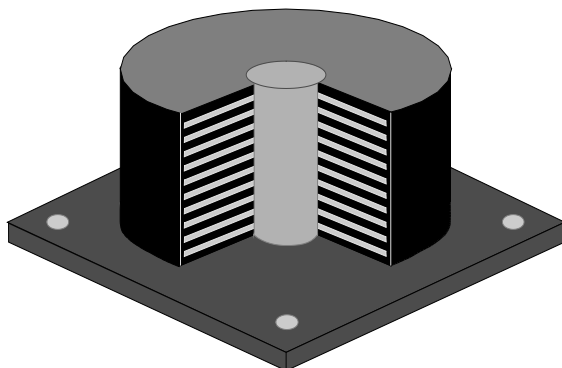


Strategie basate
sull'incremento della
RESISTENZA e DUTTILITÀ



DOMANDA < **CAPACITA'**

Isolamento sismico



Dissipazione di energia



Masse accordate



Strategie basate sulla riduzione della domanda

Struttura elastica
(*sismi moderati*)

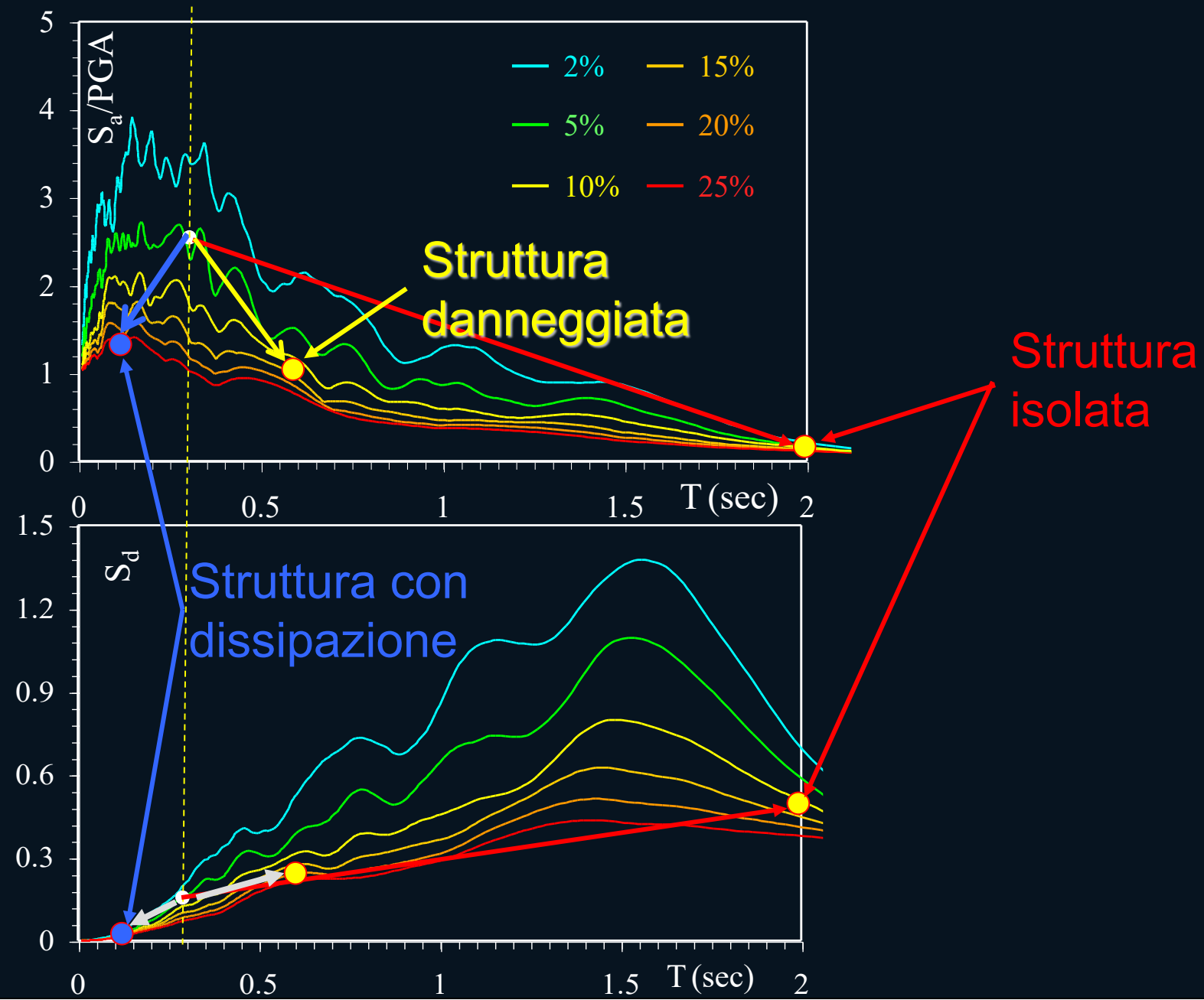
$$T_o = N/12$$

$$\xi = 5\%$$

Struttura danneggiata
(*sismi violenti*)

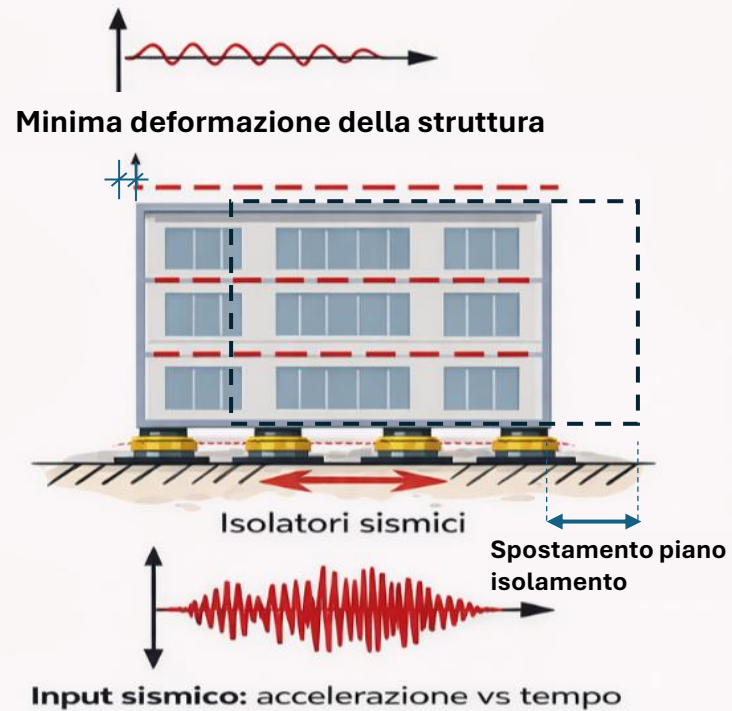
$$T = (1.5 \div 2) T_o$$

$$\xi = (15 \div 20) \%$$

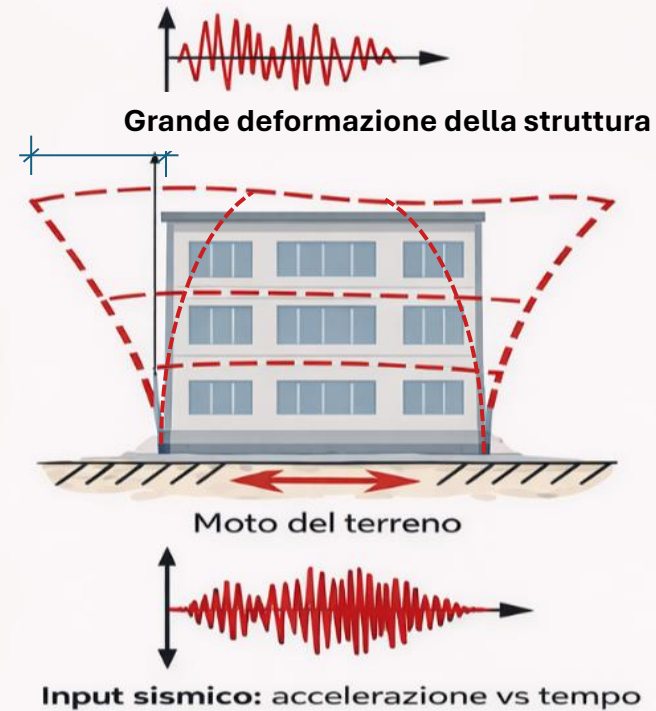


Isolamento Sismico alla Base

Struttura isolata alla base



Struttura non protetta



ISOLATORI ELASTOMERICI

Eventuale Nucleo dissipativo

Riduce le forze sismiche e gli
Spostamenti dissipando energia
Impedisce movimenti della
Struttura per bassi livelli di forza

Rivestimento in gomma

a protezione dei piatti di acciaio

Piatti di acciaio di rinforzo

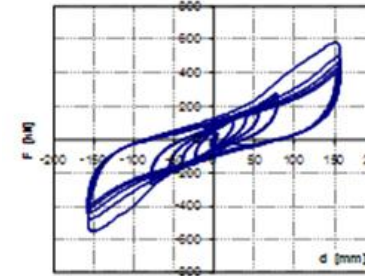
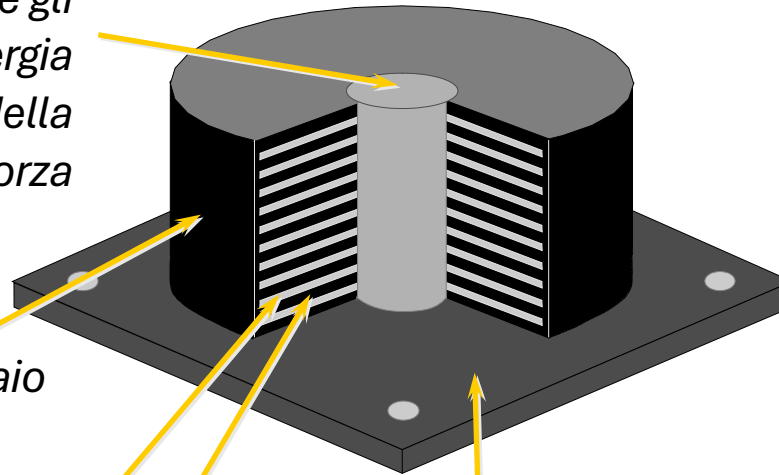
Capacità di carico verticale
Confinamento del nucleo
dissipativo

Strati di gomma

Per la flessibilità laterale

Piastra di aggancio inferiore

Per la connessione alla struttura



LDRB: Low Damp.
Rubber Bearing

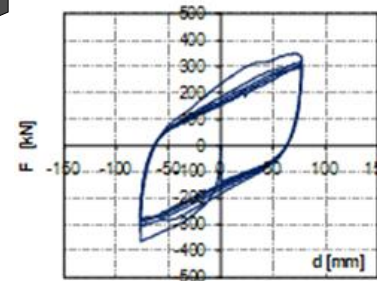
→ $\xi E < 6\%$

HDRB1: High Damp.
Rubber Bearing

→ $6\% < \xi E < 15\%$

HDRB2: High Damp.
Rubber Bearing

→ $\xi E > 15\%$



LRB: Lead Rubber
Bearing

→ $15\% < \xi E < 30\%$

PPRB: Polymer
Plugged Rubber
Bearings

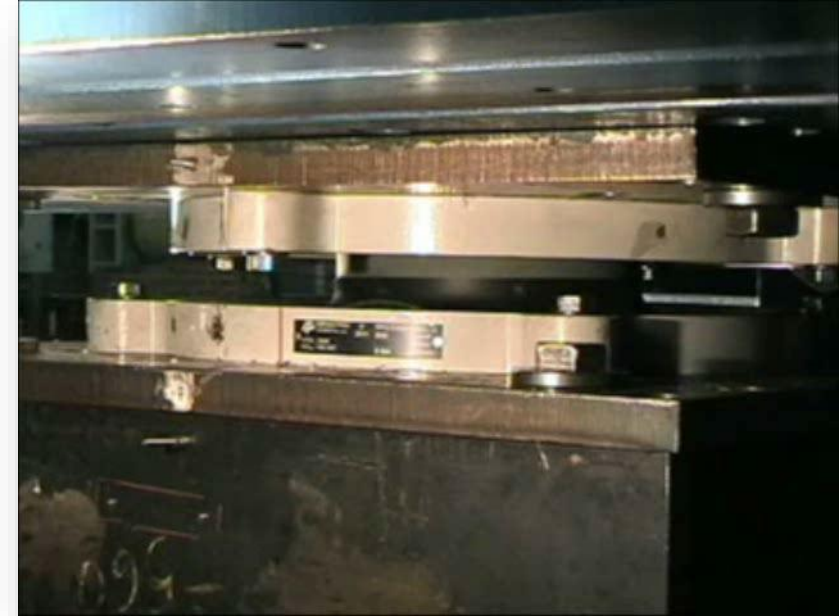
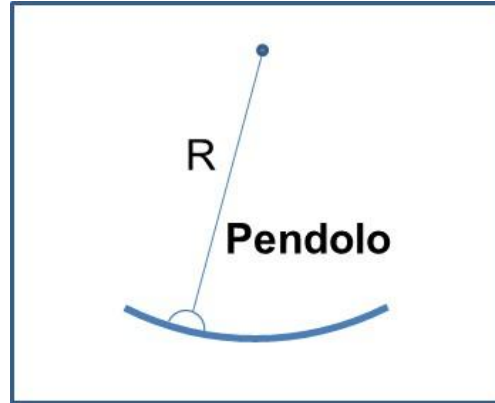
→ $\xi E > 15\%$



ISOLATORI ATTRITIVI A SUPERFICI DI SCORRIMENTO CURVE

REQUISITI FUNZIONALI

- CAPACITA' DI REGGERE I CARICHI GRAVITAZIONALI DELLA STRUTTURA
- CONSENTIRE GLI SPOSTAMENTI LATERALI
- DISSIPAZIONE DI ENERGIA
- CAPACITA' DI RICENTRAGGIO

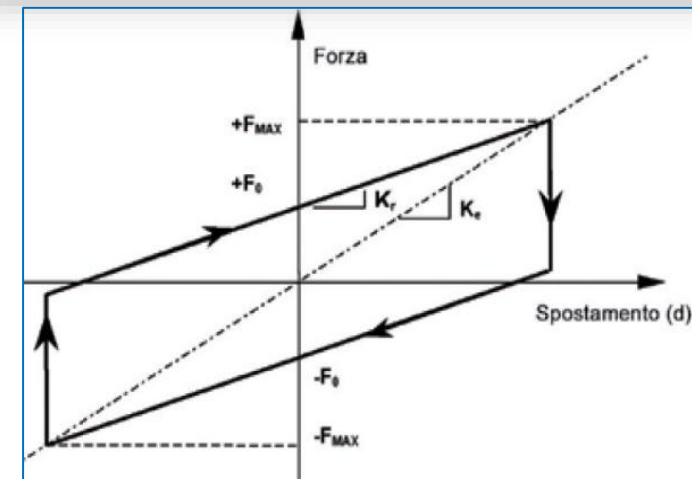


$$F_{max} = \mu \cdot N_{SD} + \frac{N_{SD} \cdot d_{bd}}{R}$$

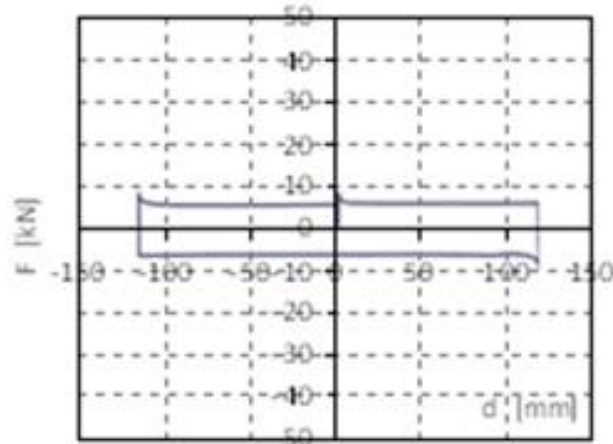
$$K_{eff} = \frac{N}{R} + \mu \frac{N}{d_0}$$

$$\xi_{eff} = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{1}{\frac{d_{bd}}{\mu \cdot R} + 1}$$

$$T_{eff} = 2\pi \sqrt{\frac{R \cdot d_0}{g(d_0 + \mu R)}}$$



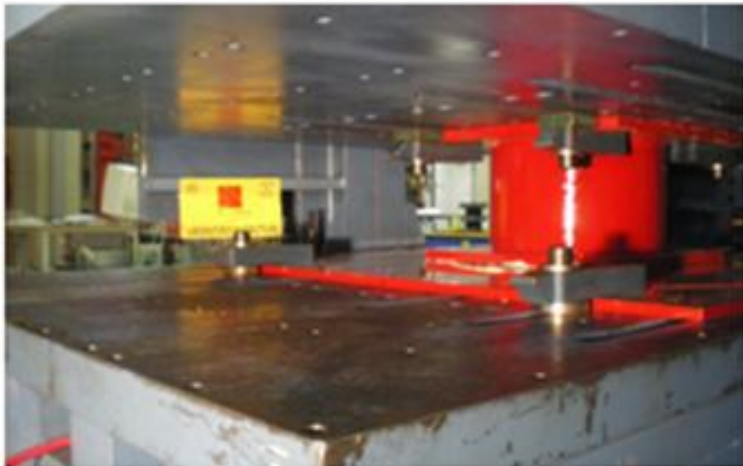
ISOLATORI ATTRITIVI A SUPERFICI DI SCORRIMENTO PIANE



REQUISITI FUNZIONALI

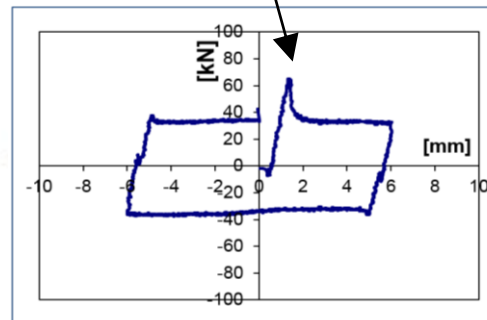
- POSSONO ESSERE TRATTATI COME CASO LIMITE DEGLI ISOLATORI A SCORRIMENTO A SUPERFICIE CURVA CON RAGGIO DI CURVATURA, $R=\infty$
- NON POSSIEDONO CAPACITA' DI RICENTRAGGIO
- POSSONO ESSERE UTILIZZATI PER DISSIPARE ENERGIA

Isolatore a scorrimento Acciaio – PTFE



Dispositivo a scorrimento Acciaio – PTFE : Prova di qualificazione.

Forza d'attrito di primo distacco



Progettazione isolamento per edifici esistenti

- 1) E' sempre possibile isolare sismicamente un edificio esistente?
- 2) Come si progetta un intervento di retrofit di edifici esistenti mediante isolamento sismico?
- 3) E' conveniente isolare un edificio esistente?

Applicabilità dell'isolamento sismico

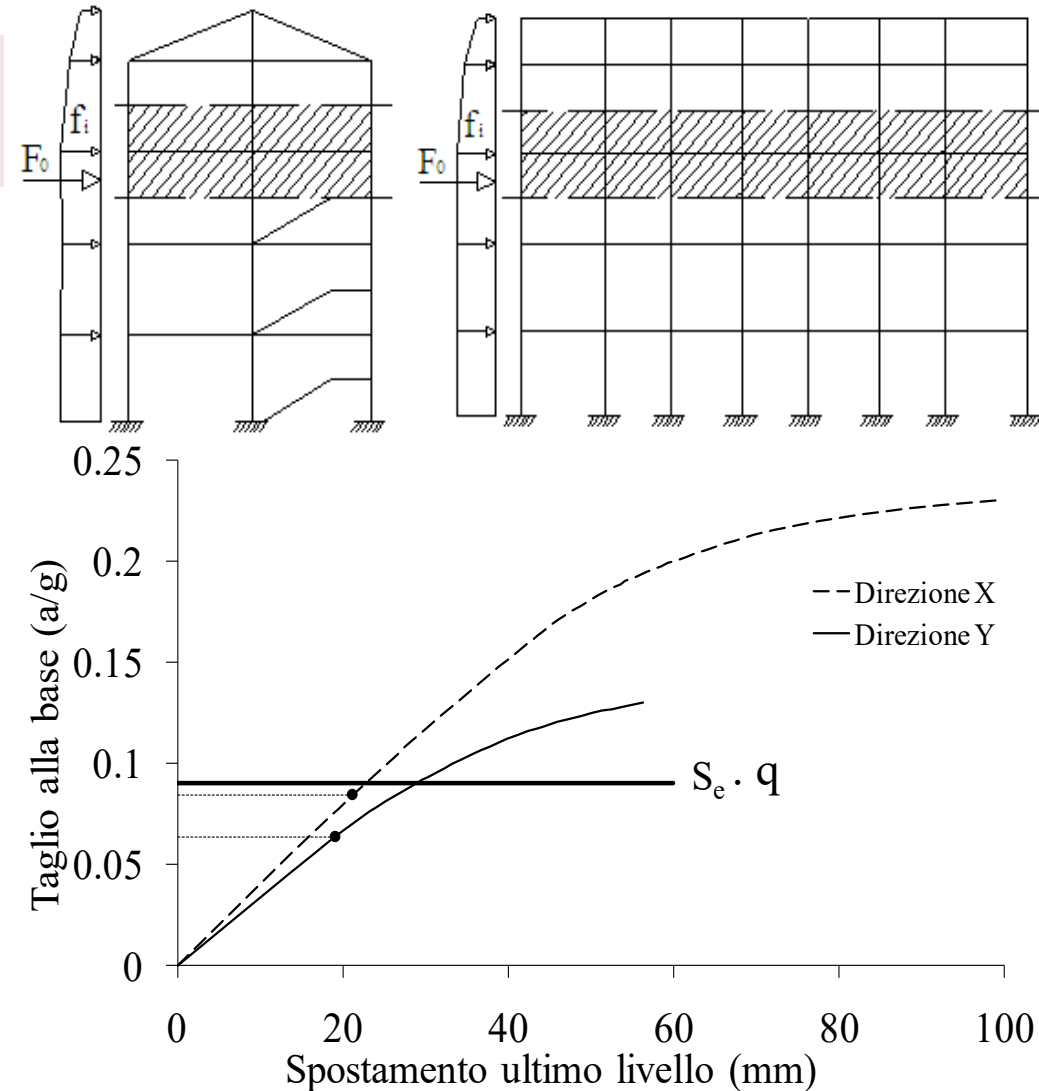
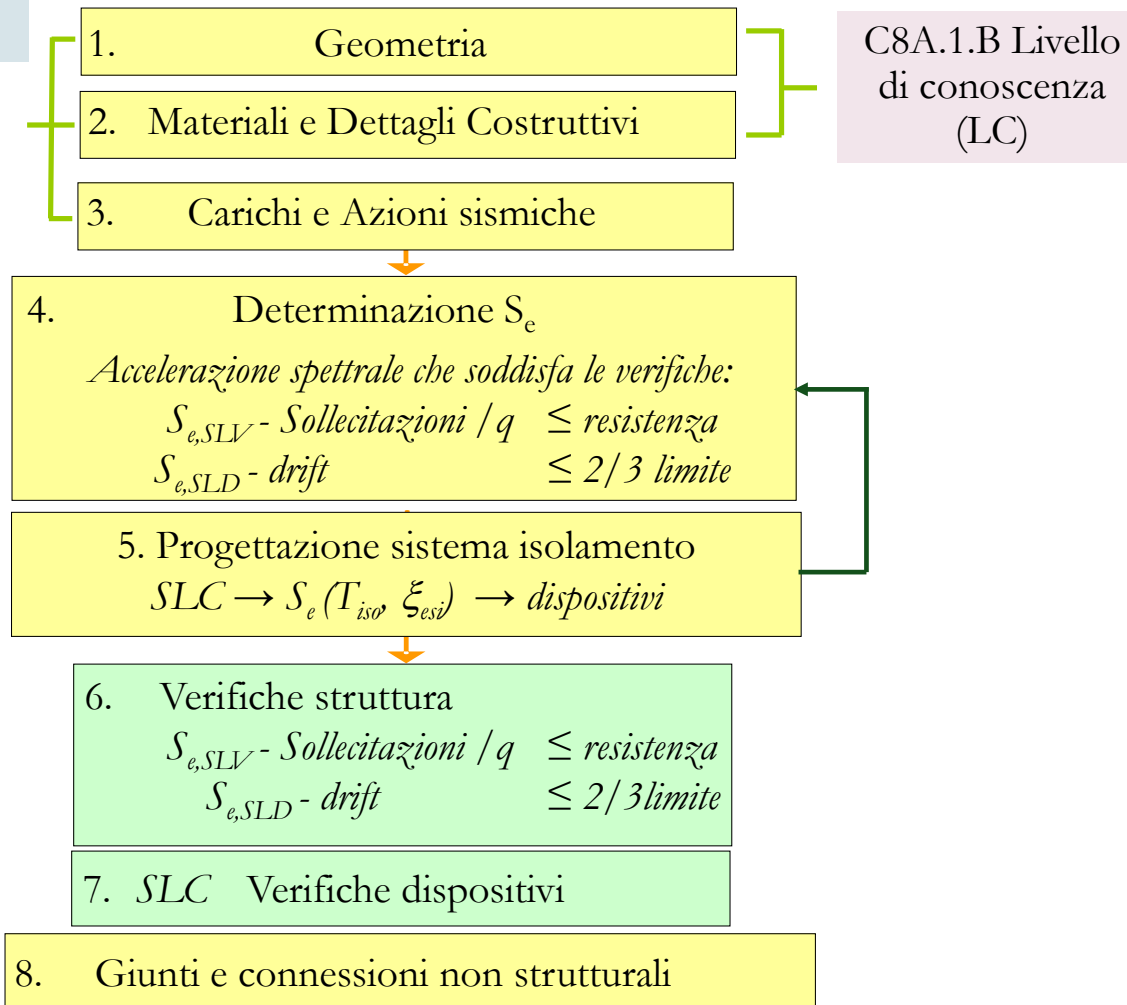
- **Terreni sufficientemente rigidi:** terremoti con basso contenuto energetico alle basse frequenze
- **$T_{iso} \leq 4.0$ sec:** eccessivi spostamenti alla base; scarsa conoscenza delle armoniche ad elevato periodo
- **Strutture sufficientemente rigide e resistenti:** $T_{iso} / T_{bf} \geq 2$ (pericolo di risonanza)

Progettazione isolamento per edifici esistenti

8. Edifici Esistenti

8.3 Valutazione della SICUREZZA

7.10. Edifici con Isolamento Sismico



Progettazione isolamento per edifici esistenti

Determinazione di $T_{is,min} \rightarrow T_{is}$

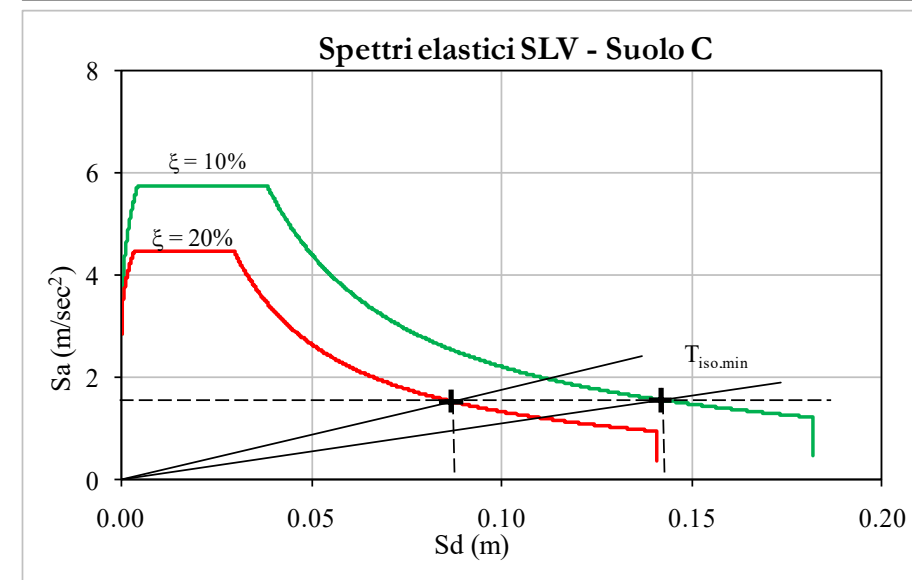
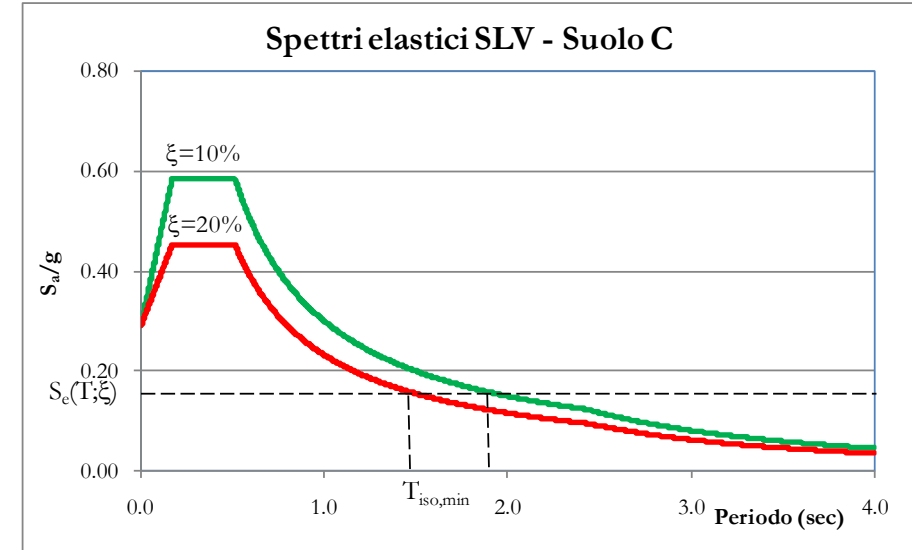
- Individuato S_e
- Fissato lo smorzamento del sistema ξ_{esi}

Si ricava $T_{is,min}$



Periodo della struttura isolata T_{is} t.c.:

$$T_{is,min} \leq T_{is}$$



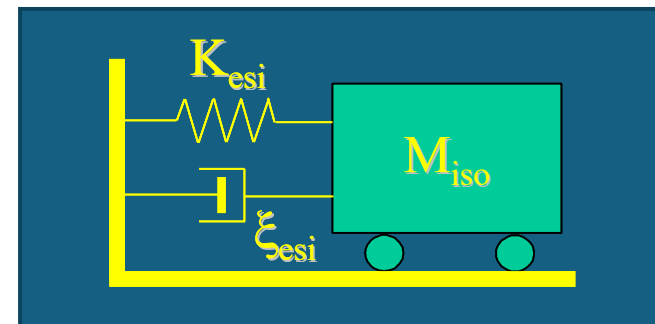
Progettazione isolamento per edifici esistenti

Caratteristiche globali del sistema di isolamento

Rigidezza equivalente orizzontale del sistema di isolamento

$$K_{esi} = (2\pi / T_{is})^2 M_{iso}$$

$$M_{iso} = M_{tot} = M + M_{base}$$



Massa della struttura isolata = Massa della sovrastruttura + Massa del solaio di base

Distribuzione delle rigidezze degli isolatori

$$K_{esi} = \sum_j K_{iso,j}$$

$e(K, G) \leq 3\% L_{trasp}$

$$d_{dc} = \frac{S_e(T_{is}; \xi_{esi})}{\omega^2}$$

Stima per difetto spostamento massimo
singolo isolatore (effetti torsionali
accidentali → incrementi 20-30%)

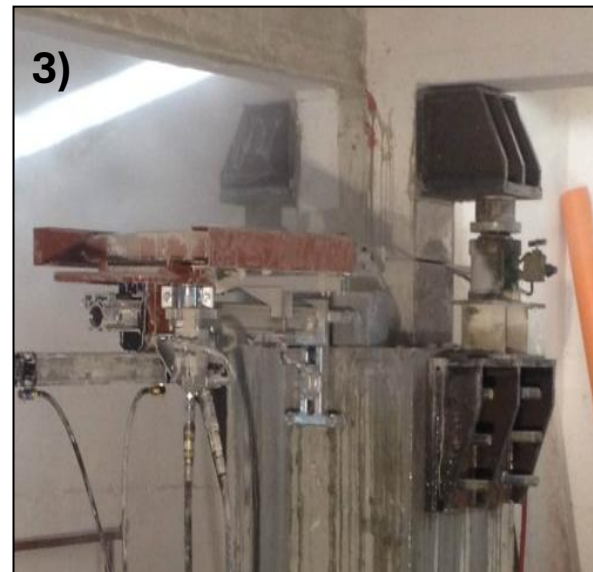
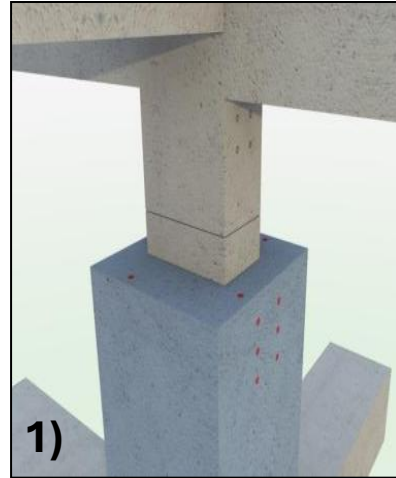
Per l'applicabilità dell'analisi statica lineare: Limite non necessario
se si applica un'analisi diversa dalla Statica Lineare, ma comunque
facilmente raggiungibile con un'attenta distribuzione

Progettazione isolamento per edifici esistenti: Verifiche di sicurezza

Stato Limite	Componente	Verifica
SLD	Sovrastuttura (drift)	Spostamento interpiano $\leq 2/3$ del limite valido per edifici fissi alla base (limiti SLD).
	Connessioni/elementi non strutturali e impianti (attraverso giunti o tra parti isolate e non isolate)	Capacità di spostamento pari allo spostamento relativo previsto allo SLD senza danni e senza limitazioni d'uso.
	Dispositivi di isolamento	Funzionalità a SLD: nessun danneggiamento che comprometta le prestazioni; controllo spostamenti residui all'interfaccia d'isolamento (compatibili con la funzionalità).
	Sottostruttura e fondazioni	Livello di protezione richiesto allo SLD ritenuto soddisfatto se risultano verificate le condizioni allo SLV per sottostruttura e fondazioni.
SLV	Sovrastuttura	Capacità resistente (verifica agli stati limite ultimi). Se si usa analisi lineare, valutazione della domanda con fattore di comportamento $q \leq 1,5$ (edifici), $q=1$ (ponti).
	Parti elastiche / non dissipative dei dispositivi	Capacità resistente con coefficiente di sicurezza $\geq 1,5$ (componenti che devono rimanere in campo elastico).
	Connessioni/elementi non strutturali e impianti (in particolare per Classe d'uso IV)	Capacità di spostamento pari allo spostamento relativo previsto allo SLV senza danni (requisito rafforzato per CU IV).
SLC	Dispositivi di isolamento	Capacità di spostamento senza rotture allo SLC (spostamento di riferimento previsto, incluse eventuali maggiorazioni/effetti di non linearità secondo progetto).
	Giunti e impianti pericolosi (attraversamento del giunto, es. gas, linee critiche)	Verifica della capacità di spostamento allo SLC, coerente con gli spostamenti massimi del sistema d'isolamento, senza rotture e con livello di sicurezza adeguato.

Progettazione isolamento per edifici esistenti – dettagli esecutivi

1. Ringrosso pilastro con predisposizione fori per zanche isolatore, inserimento boccole per fissaggio mensole inferiori e superiori
2. Installazione mensole metalliche e messa in carico dei martinetti
3. Taglio porzione pilastro con filo diamantato e rasatura superficie inferiore
4. Inserimento collare metallico per l'ancoraggio superiore dell'isolatore
5. Inserimento e fissaggio dell'isolatore, e successivo inghisaggio mediante malta antiritiro
6. Rimozione dei martinetti con conseguente messa in carico dell'isolatore

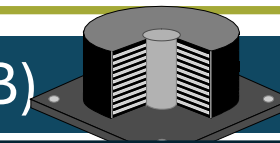


Courtesy: Gabriella Castellano: FIP MEC

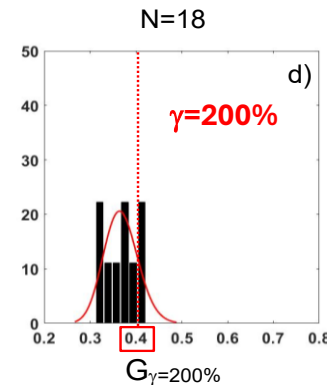
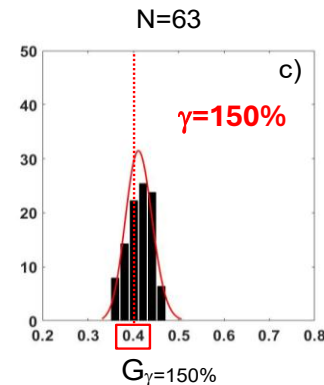
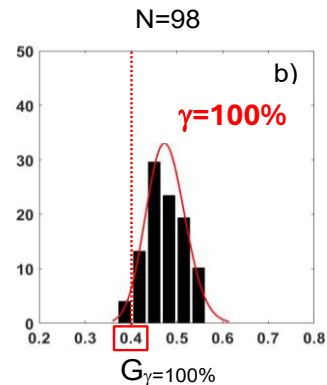
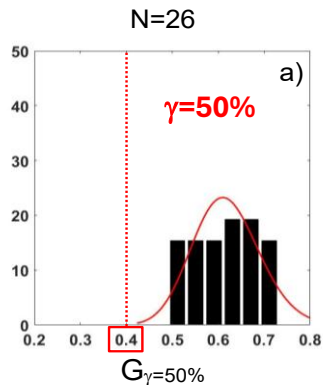
Sperimentazione sui dispositivi e strutture



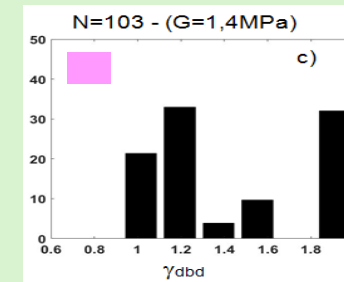
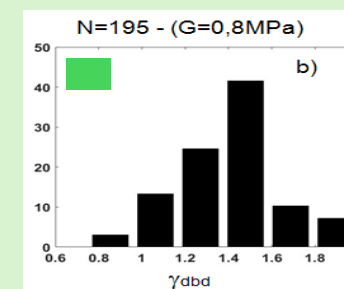
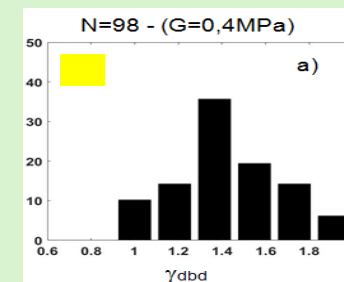
Analisi statistica Data-base Unibas Sislab: isolatori ELASTOMERICI (HDRB)



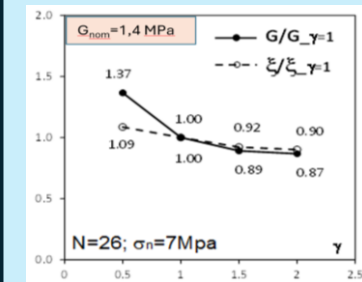
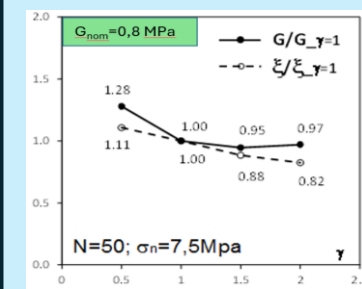
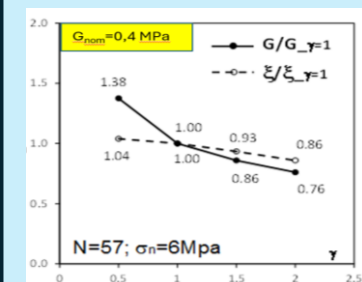
HDRB -
G=0.4 Mpa
 $G_{\gamma_{dbd}} / G_{non} = 1.04$



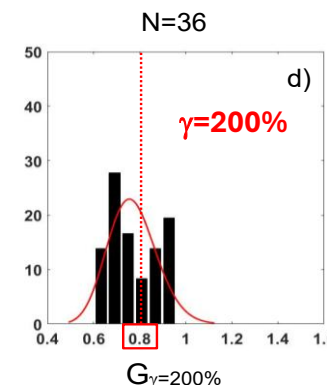
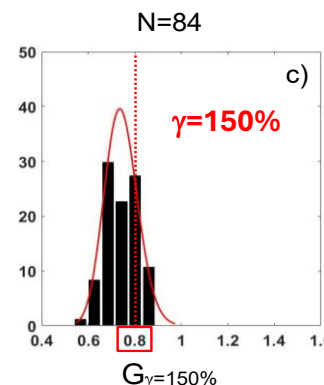
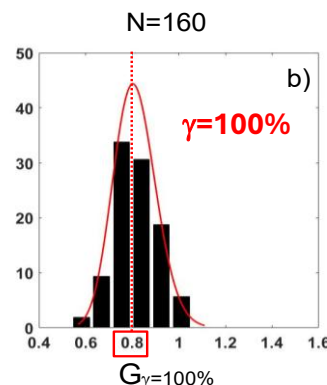
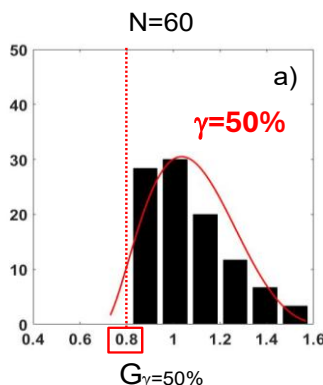
Frequenza Relativa di γ_{dbd} di progetto al d_{bd} .
Deformazione media γ pari a circa il **140%**.



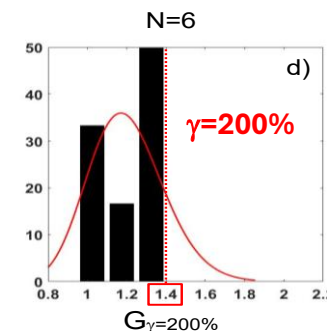
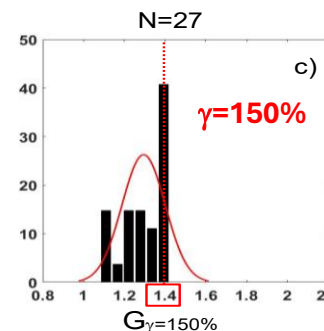
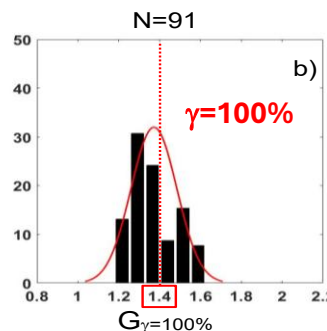
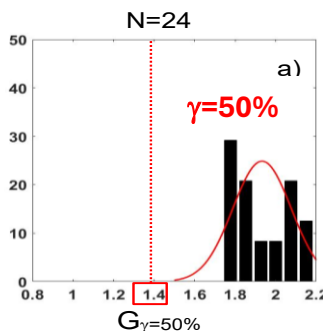
Curve normalizzate di G e ξ in funzione di γ

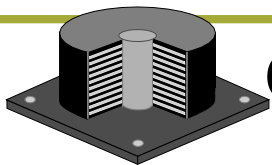


HDRB -
G=0.8 Mpa
 $G_{\gamma_{dbd}} / G_{non} = 0.97$



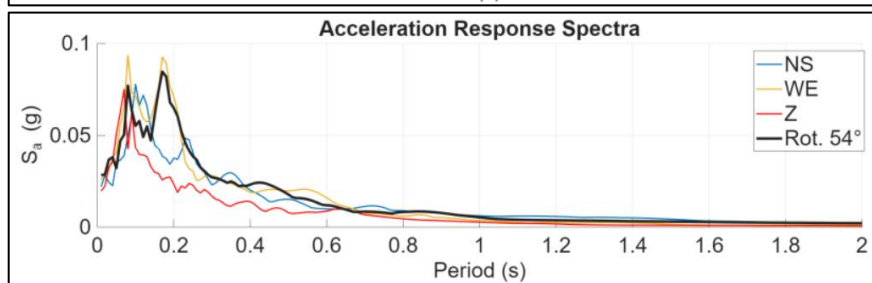
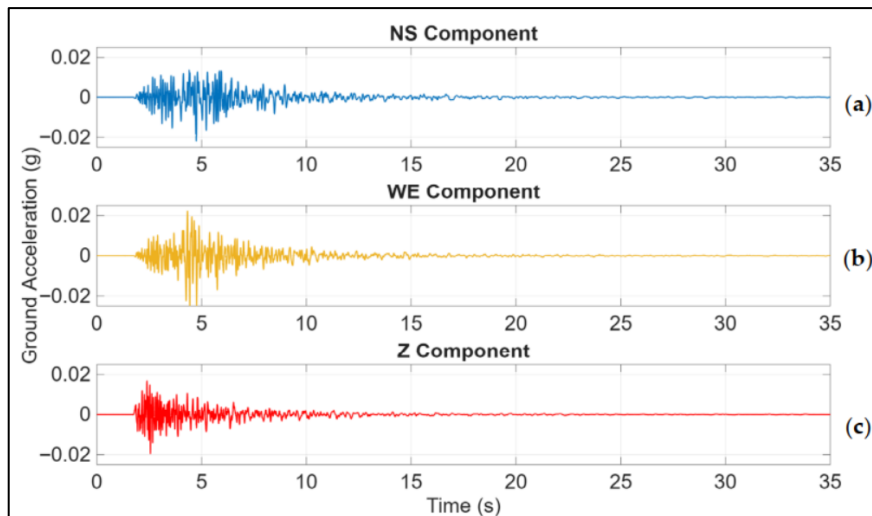
HDRB -
G=1.4 Mpa
 $G_{\gamma_{dbd}} / G_{non} = 0.92$



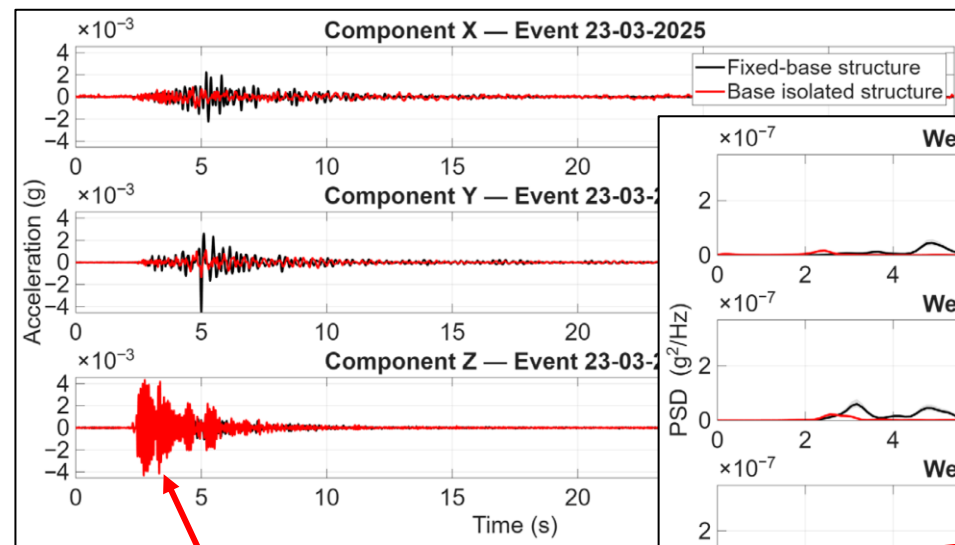
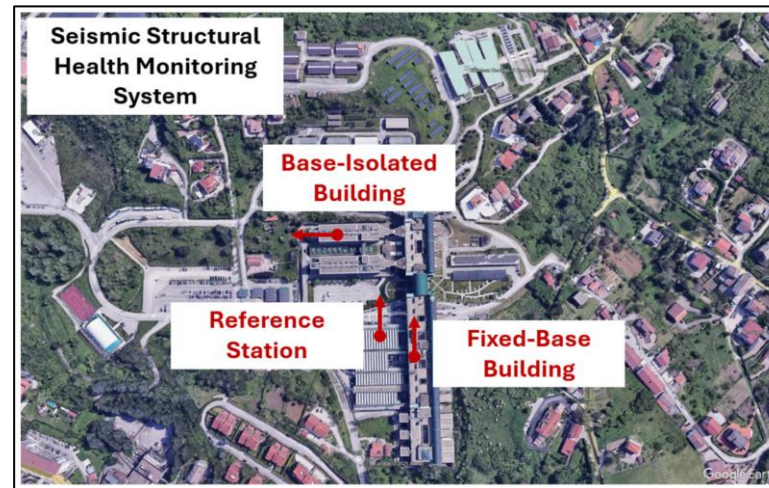


Componenti Verticali

Mainshock - 18 marzo 2025 - Mw = 4.2 Potenza



SEISMIC HAZARD PARAMETERS				
LIMIT STATE	T _s	a _g /g	F ₀	T*s
	[years]	[-]	[-]	[s]
Operability	30	0.055	2.332	0.287
Damage	50	0.072	2.334	0.310
Life Safeguard	475	0.203	2.448	0.362
Collapse Prevention	975	0.264	2.447	0.399



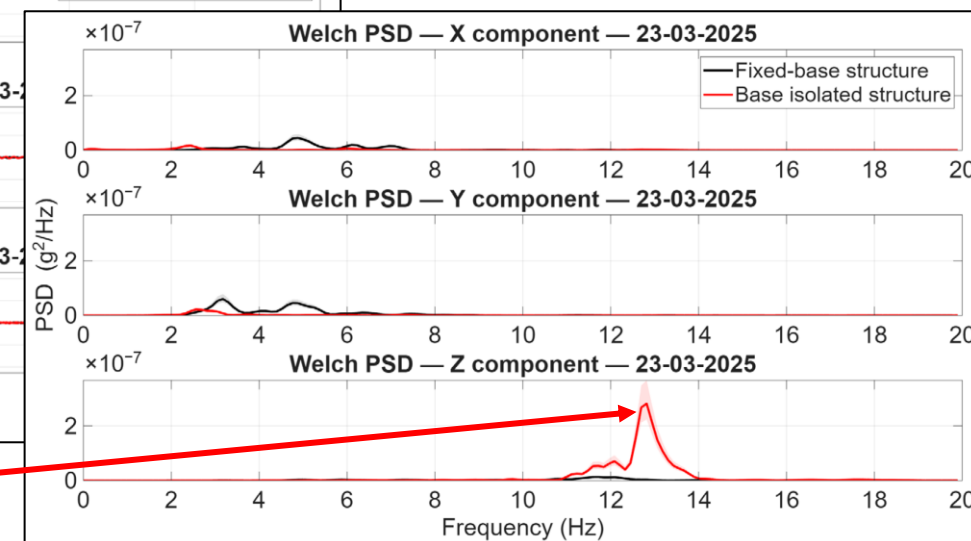
WARNING
 Componente Verticale
 Edificio a Base Isolata

Disp. Elastomerici

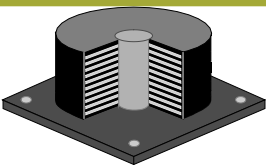
Aftershocks

Evento	Mw	Profondità ipocentro
19/03/2025, 19:13:16 (ora locale)	2.3	10 km
23/03/2025, 20:38:07 (ora locale)	2.7	11 km

Registrazione accelerometrica
 dell'aftershock avvenuto il 23
 marzo 2025

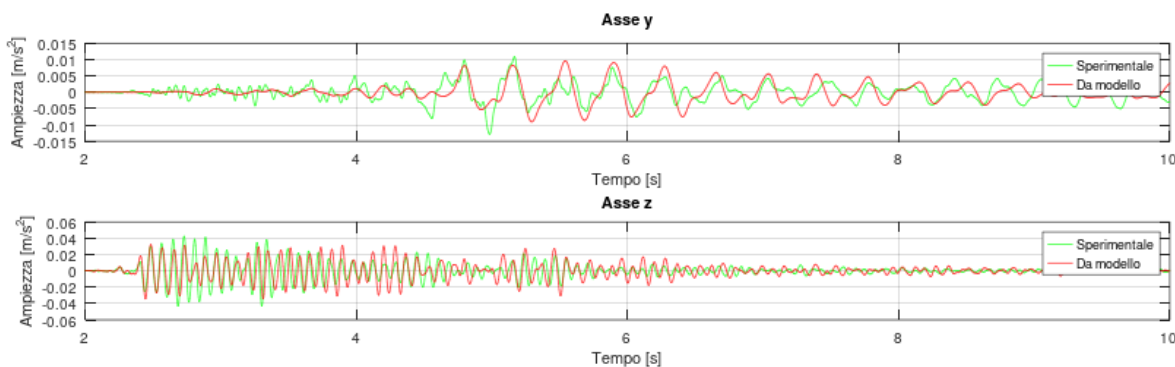
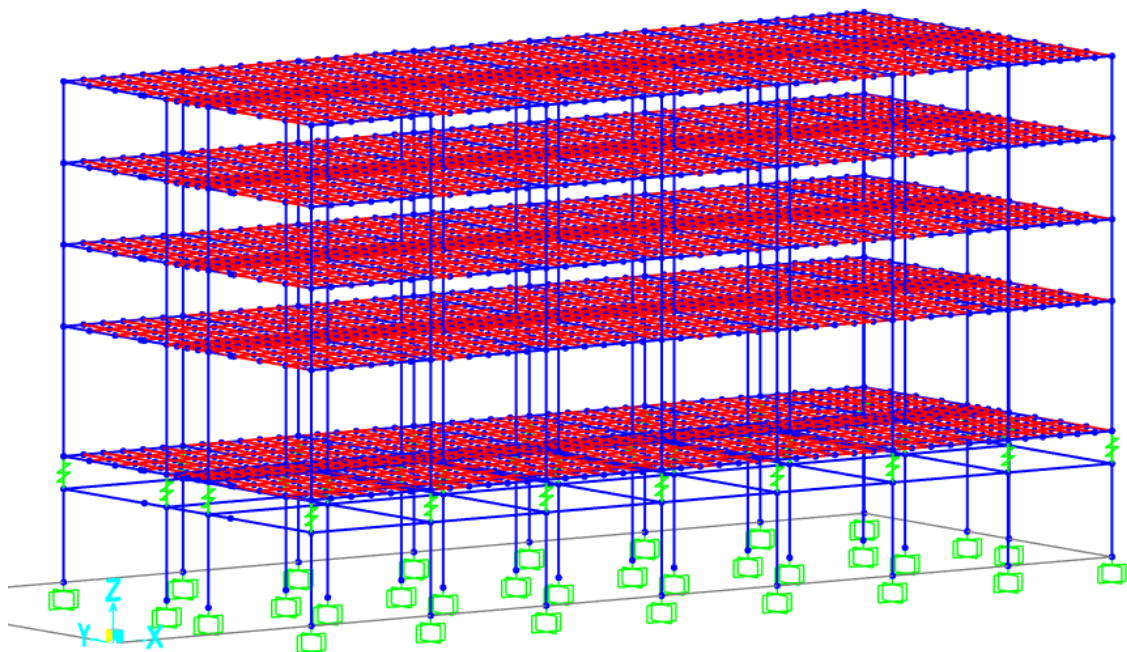


Ditommaso, R., Ponzo, F.C. (2026). Vertical Ground-Motion Effects in Base-Isolated Buildings: Preliminary Observations from Twin Fixed-Base and Base-Isolated Structures During the 18 March 2025 Potenza Sequence. *Buildings*, Volume 16. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings16030482>.



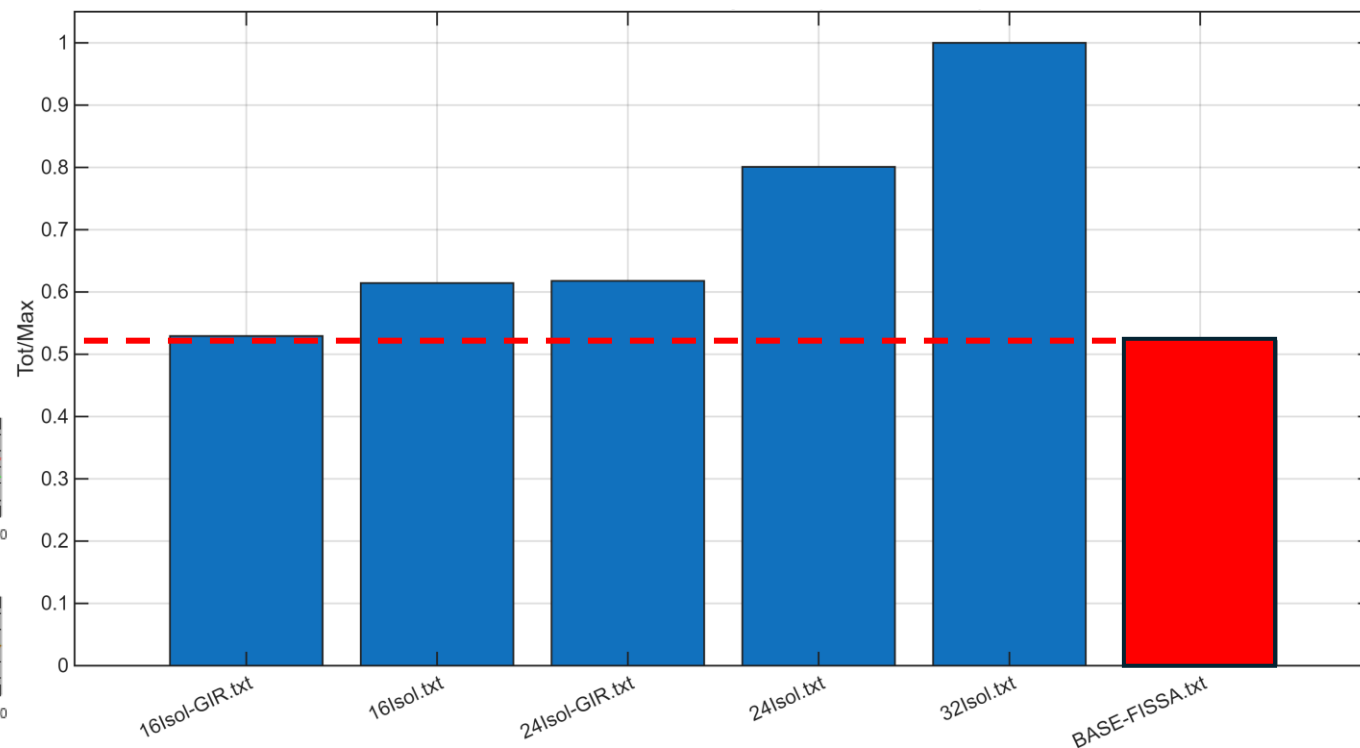
Disp. Elastomerici

Calibrazione Modello Numerico e Analisi Parametriche

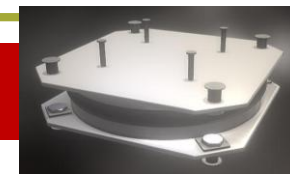


Modello	Tipologia	Q.tà	Rigidità grigliato
32 isol	Isolatore equival.	32	normale
16 isol	Isolatore equival.	16	normale
	Slitta	16	
16 isol GIR	Isolatore equival.	16	rigido
	Slitta	16	
24 isol	Isolatore equival.	24	normale
	Slitta	8	
24 isol GIR	Isolatore equival.	24	rigido
	Slitta	8	
BF	-	-	normale

Massima Accelerazione Spettrale Verticale (Valore mediato su tutte le pilastrate)



Analisi statistica Data-base Unibas Sislab: isolatori ATTRITIVI



VARIAZIONE DEL DATO SPERIMENTALE RISPETTO AL VALORE NOMINALE

PROVE UNIBAS

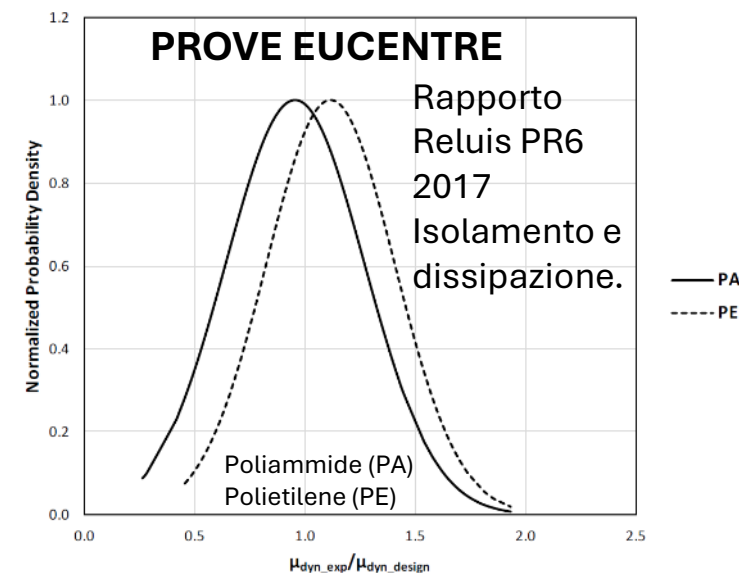
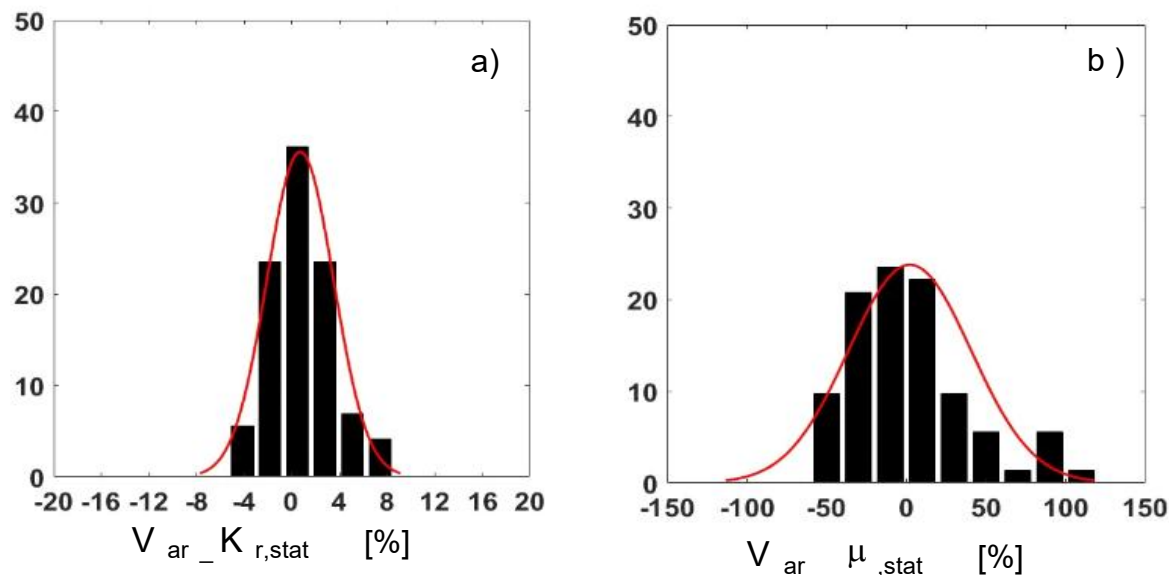
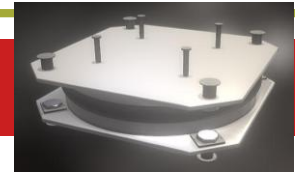


Figura 2.1. Dispersione del coefficiente di attrito sperimentale rispetto al valore di progetto

- La **variabilità della rigidezza**, legata alla sola **geometria** delle superfici di scorrimento, **non risulta significativa**.
- La **variabilità percentuale media dell'attrito dinamico**, osservata nell'ambito delle forniture e delle prove di tipo risulta **prossima al 32-33%**.
- Gli **effetti sul sistema** di isolamento e sulla sovrastruttura non saranno proporzionali alla variabilità dell'attrito dinamico sperimentale.

Analisi statistica Data-base Unibas Sislab: isolatori ATTRITIVI



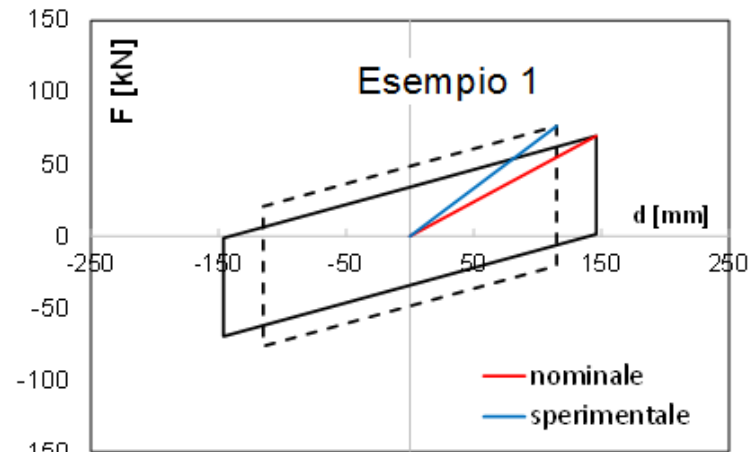
(caso studio L'Aquila, SLV)

Ipotesi

- Attrito: +40%

Effetti

- **F_{max}: +10%**



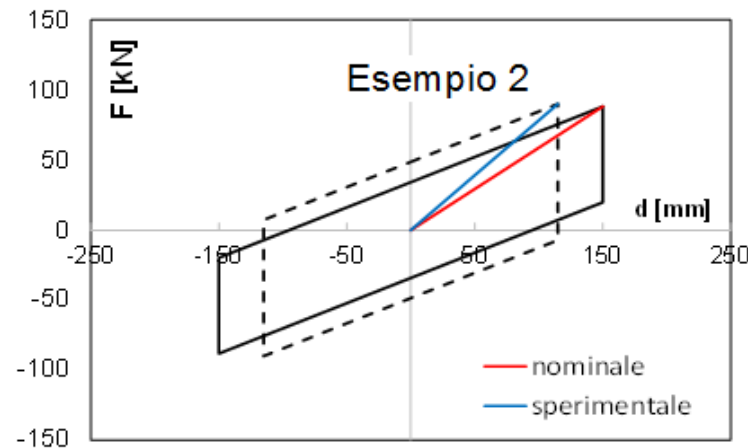
dispositivo	progetto	sperimentali
N _{Sd} [kN]	900	900
R [m]	3.700	3.700
μ _{din} [%]	3.8%	5.4%
d _{bd} [mm]	146	115
K _{equiv} [kN/m]	477.5	665.85
ξ _{r,nom} [%]	31.2%	40.4%
T _e [sec]	2.75	2.33
F _{max} [kN]	69.7	76.7
F _{d=0} [kN]	34.2	48.6

Ipotesi

- Attrito: +40%

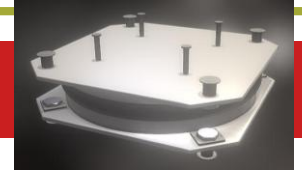
Effetti

- **F_{max}: +2%**



dispositivo	progetto	sperimentali
N _{Sd} [kN]	900	900
R [m]	2.500	2.500
μ _{din} [%]	3.8%	5.4%
d _{bd} [mm]	150.00	115.00
K _{equiv} [kN/m]	588	782
ξ _{r,nom} [%]	24.7%	34.4%
T _e [sec]	2.48	2.15
F _{max} [kN]	88.2	90
F _{d=0} [kN]	34.2	48.6

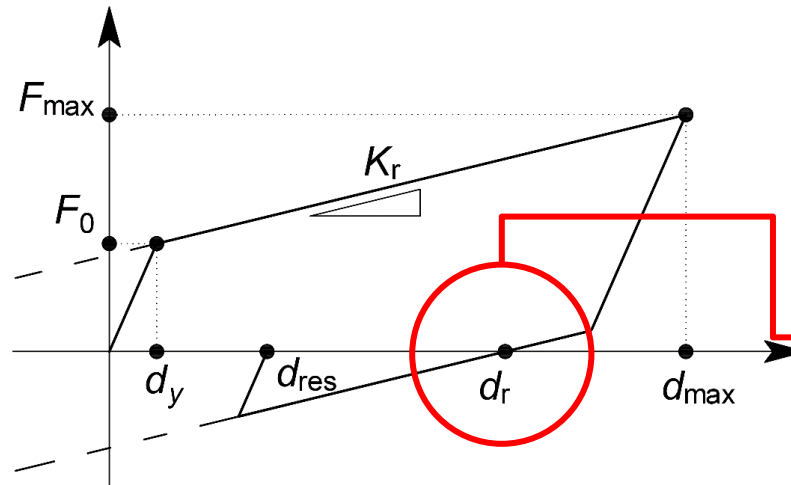
Ricentraggio di dispositivi attritivi a superficie curva



Per una completa funzionalità delle strutture isolate alla base dopo un terremoto, i sistemi di isolamento basati su dispositivi attritivi a superfici curve dovrebbero avere una **capacità ricentrante sufficiente ad evitare grandi spostamenti residui e il loro accumulo**.

La legge forza-spostamento dei dispositivi
Attritivi a Superfici Curve (CSS) dipende da:

- Raggio di curvatura: R
- Coefficiente di attrito: μ .



Se: Forza di attrito > forza di ripristino



Spostamento residuo - d_{res}

Massimo spostamento residuo statico

$$d_r = F_0 / K_r = \mu \cdot R$$

Proprietà del Sistema di
isolamento sismico

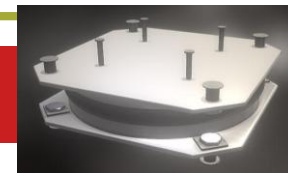
**$d_{max}/d_r > 0.5$ per
assicurare una buona
capacità ricentrante**

- **Periodo di isolamento elevato (raggio di curv. elevato)**
- **Maggiore dissipazione di energia (Coeff. di attrito elevato)**



**BASSA CAPACITÀ
RICENTRANTE**

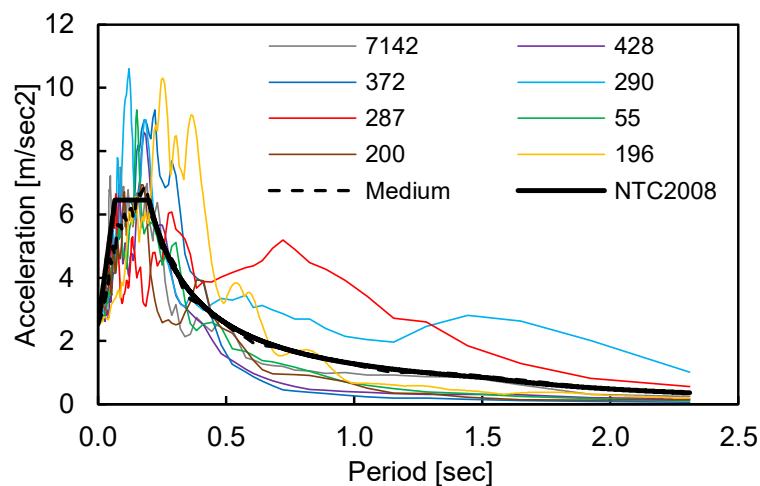
Ricentraggio di dispositivi attritivi a superficie curva



INPUT SISMICO

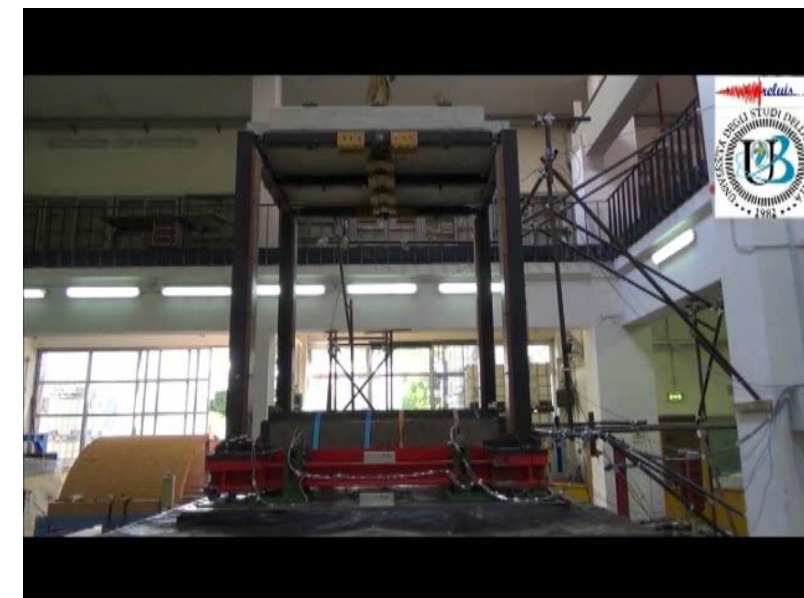
TEST SISMICO SU TAVOLA VIBRANTE – LAB UNINA

Waveform ID	Seismic event	Date	Mw	PGA _{ref} [a _g /g]	Soil
7142	Bingol	2003	6.3	0.25	A
55	Friuli	1976	6.5	0.25	A
200	Montenegro	1979	6.9	0.25	A
428	Etolia	1988	5.3	0.25	A
372	Lazio-Abruzzo	1984	5.9	0.25	A
290	Campano Lucano	1980	6.9	0.25	A
287	Campano Lucano	1980	6.9	0.25	A
196*	Montenegro	1979	6.9	0.45	B



Double Curved Surface Slider

- $R_e = 1805\text{mm}$
- $d_m = \pm 180\text{mm}$
- 3 friction conditions

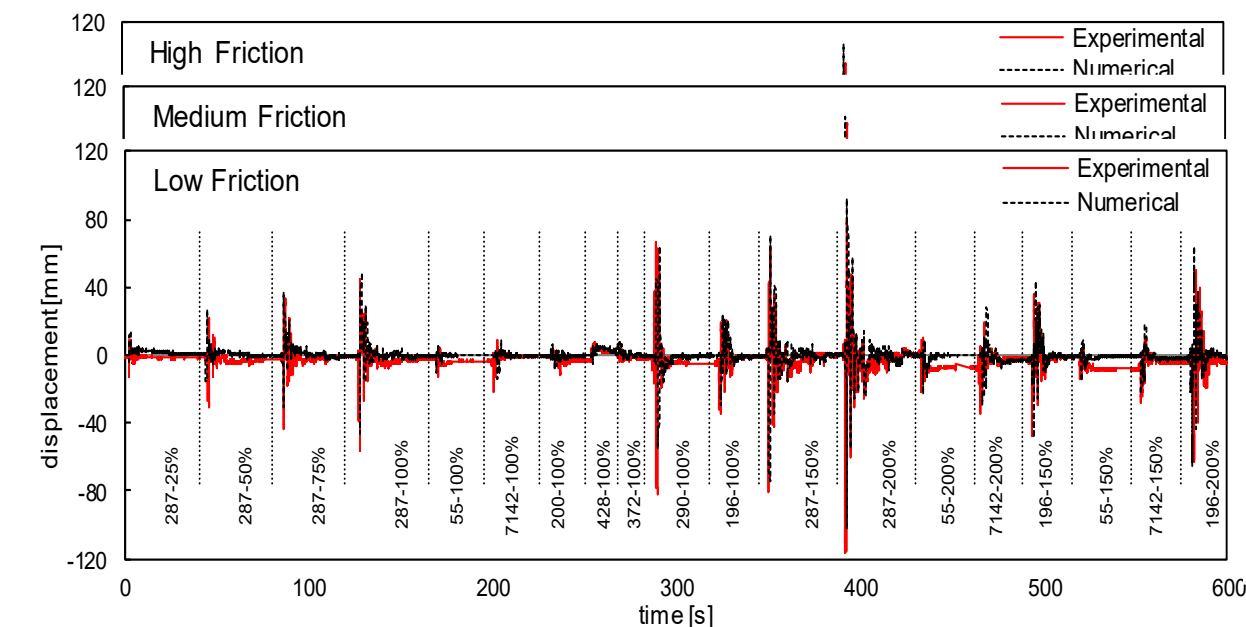
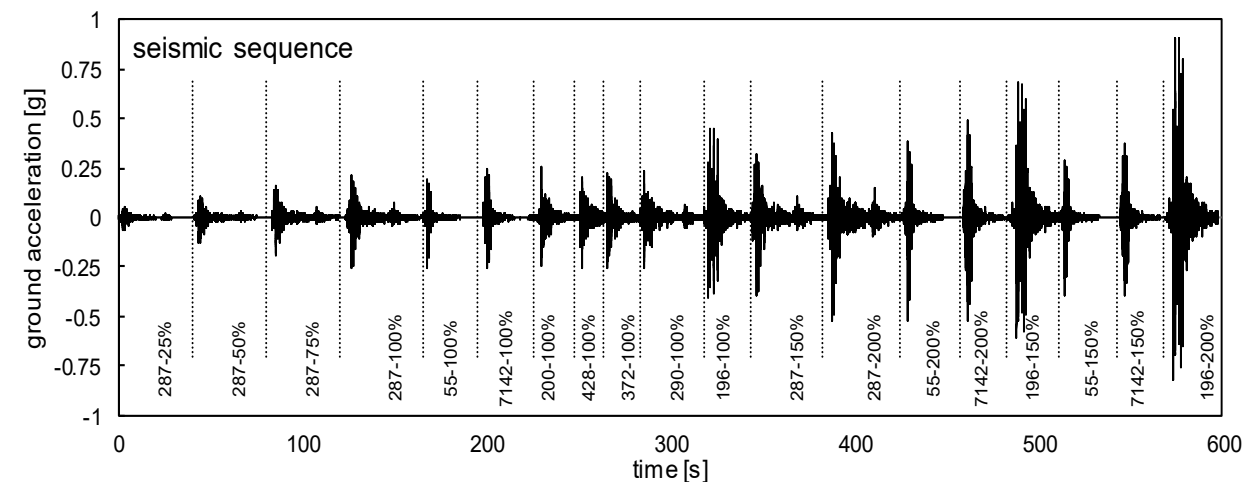
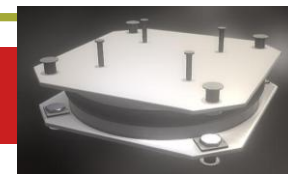


- Struttura in acciaio 1 liv.
- Scala 1:3
- $H = 2.9\text{m}$
- ingombro= $2.5\text{m} \times 2.0\text{m}$

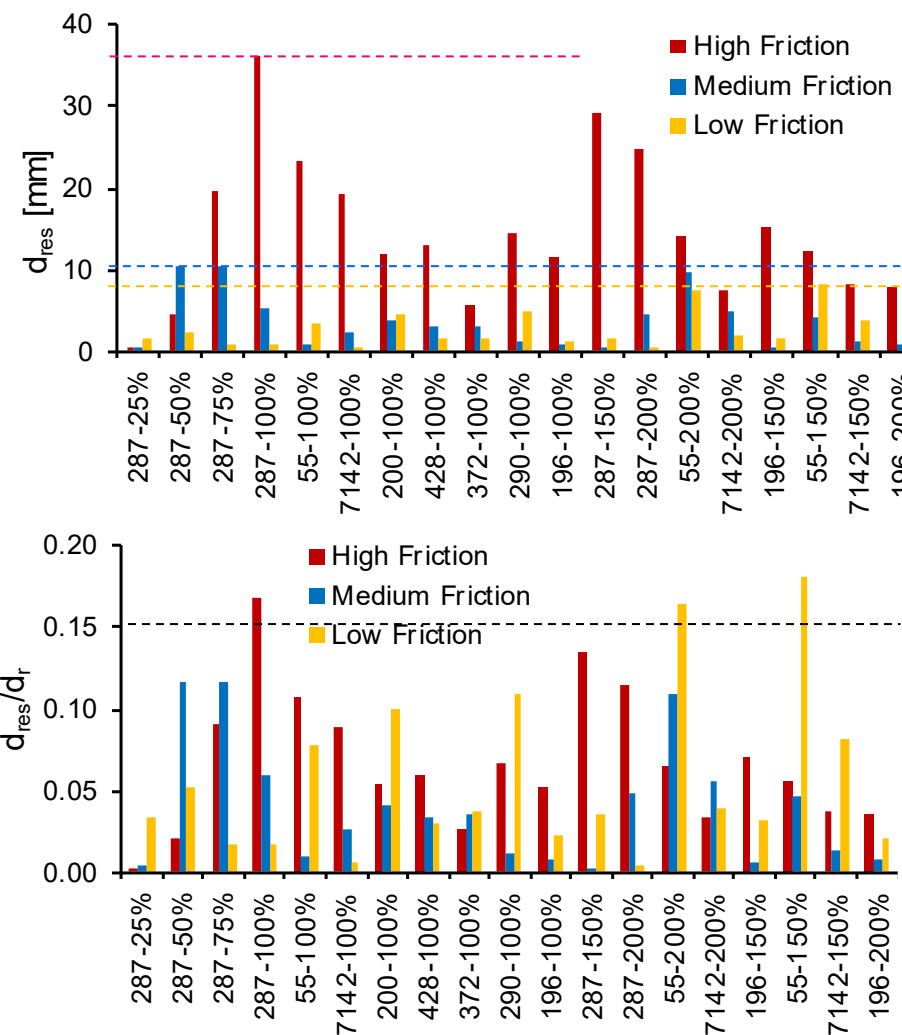


Earthquake: 287@200% PGA 0.52g)

Ricentraggio di dispositivi attritivi a superficie curva



RISULTATI SPERIMENTALI



Spostamento residuo
assoluto - d_{res}

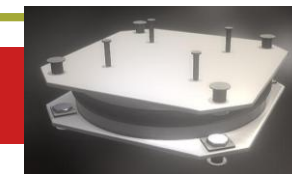
Valori maggiori per
elevati valori di attrito
(come atteso!)

Spostamento
residuo relativo -
 d_{res}/d_r

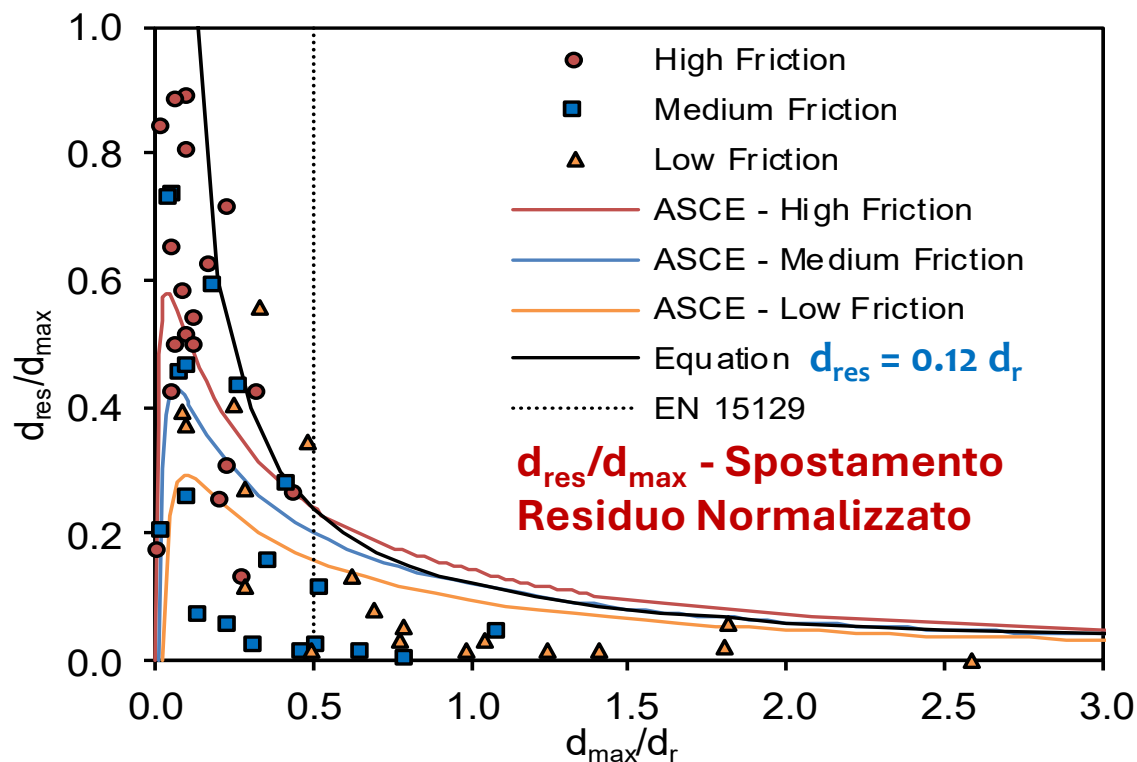
Per quasi tutte le
condizioni*:
 $d_{res}/d_r < 0.15$

*soli in 3 test si
registrano valori
superiori.

Ricentraggio di dispositivi attritivi a superficie curva



STIMA DELLO SPOSTAMENTO RESIDUO PERMANENTE



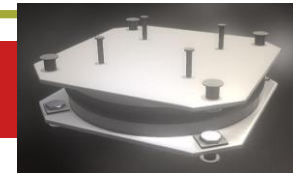
$$d_{res} = 0.12 d_r$$

Funzione solo delle caratteristiche del sistema di isolamento. La curva inviluppo restituisce con buona approssimazione lo spostamento residuo permanente

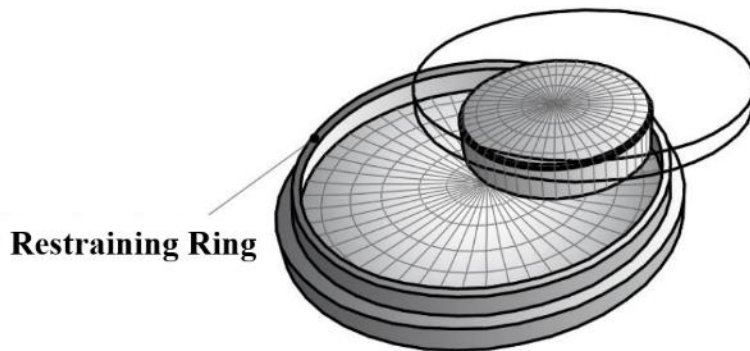
INDICAZIONI SCATURITE DALLA SPERIMENTAZIONE:

- Lo spostamento residuo d_{res} risulta essere approssimativamente un ordine di grandezza inferiore rispetto a d_r ;
- in condizioni di attrito elevato e per terremoti di bassa intensità si osserva un significativo accumulo di spostamento residuo;
- Lo spostamento residuo iniziale sembra non influenzare il valore massimo di spostamento raggiunto durante il sisma successivo;
- I risultati confermano la validità del criterio $d_{max}/d_r > 0.5$ per assicurare una buona capacità ricentrante. In questo caso, lo spostamento residuo è minore al 10% dello spostamento massimo;
- Lo spostamento residuo permanente d_{res} può essere stimato come una frazione di d_r tramite l'espressione " $d_{res} = 0.12 d_r$ ";
- i codici normativi attuali dovrebbero colmare la mancanza di specifiche disposizioni progettuali per i sistemi di isolamento basati su CSS.

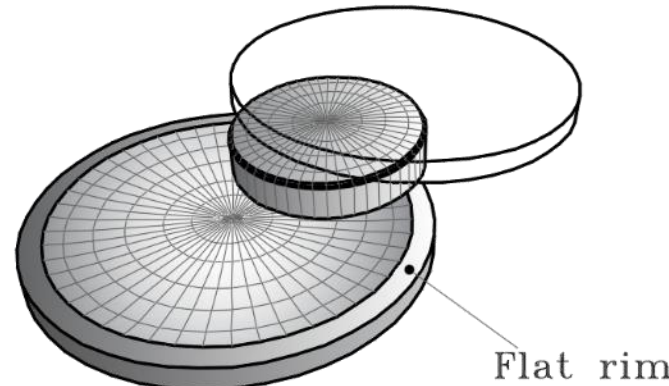
Analisi della risposta sperimentale in regime Extra-Corsa



Dispositivi comunemente utilizzati negli USA



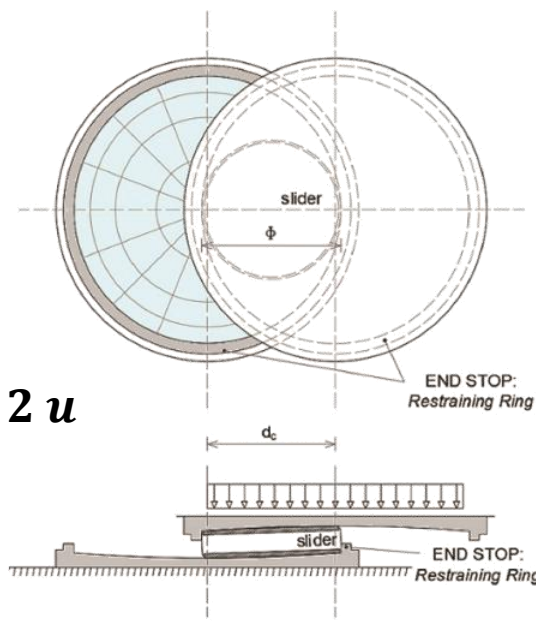
European Standards UNI EN. 15129



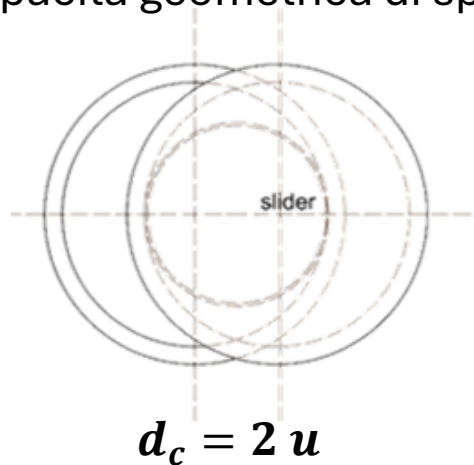
Capacità geometrica di spost.

Spostamento extra-corsa

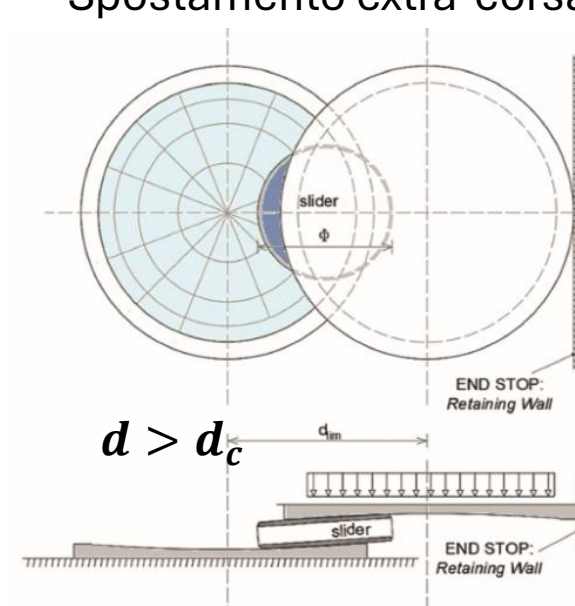
$$d_c = 2u$$



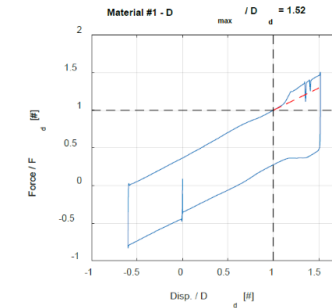
$$d_c = 2u$$



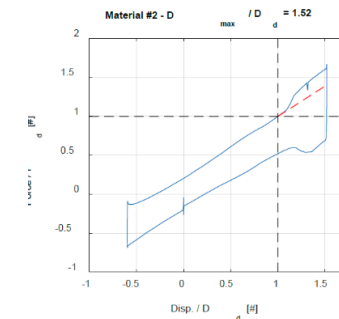
$$d > d_c$$



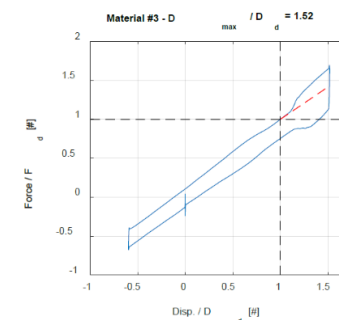
- Mat. #1: PTFE caricato al carbonio;



- Mat. #2: Polietilene;



- Mat. #3: PTFE ordinario.



Analisi della risposta sperimentale in regime Extra-Corsa

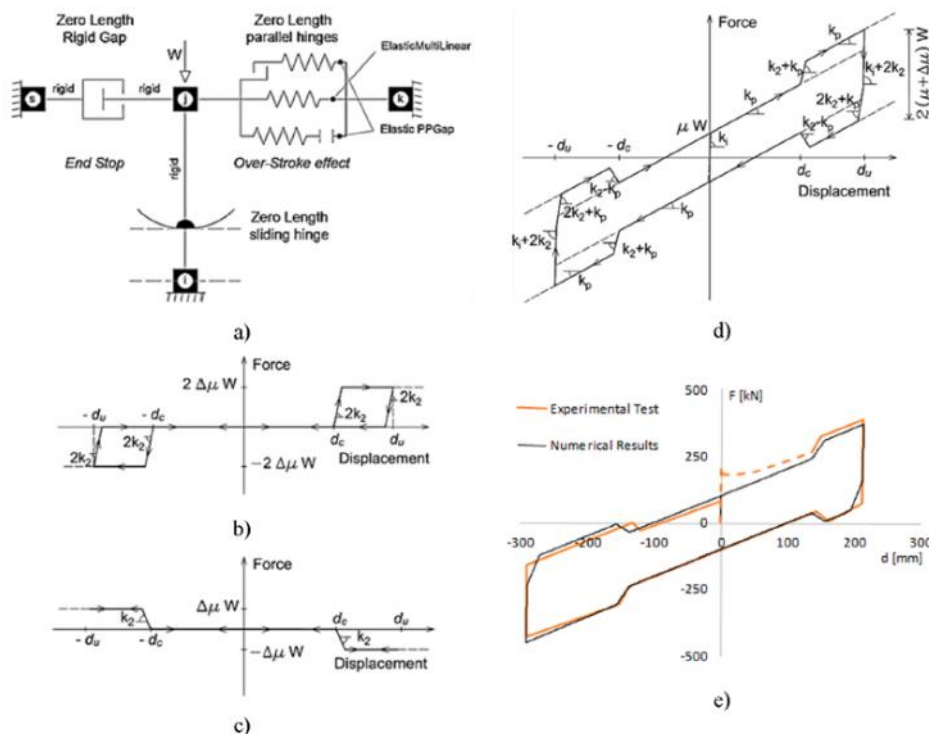
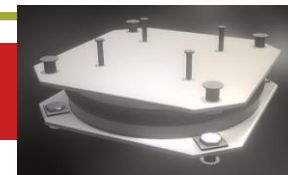


Fig. 4. (a) Spring representation of modified model for the over-stroke displacement of bearing; (b) elastic PPGap materials; (c) elastic multi-linear material; (d) modified force-displacement cyclic behavior; (e) comparison of numerical behavior and experimental results.



Improving the earthquake resilience of isolated buildings with double concave curved surface sliders

Antonio Di Cesare*, Felice Carlo Ponzo, Alessio Telesca

School of Engineering, University of Basilicata, 85100 Potenza (PZ), Italy

$$\frac{\mu}{\mu_o} = p + \frac{\alpha}{2} \left[1 + \tanh\left(\frac{D - D_o}{U}\right) \right]$$

μ : coefficiente di attrito in funzione di D
 μ_0 : coefficiente di attrito per spostamento inferiori al valore di progetto

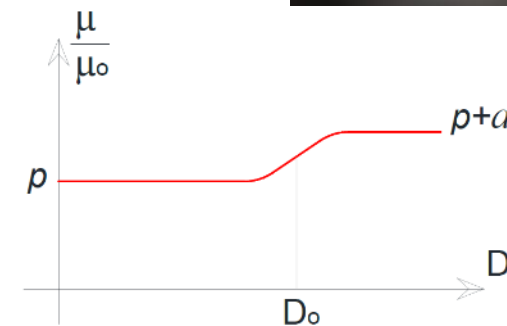


Figura 2.5. Modellazione attrito in regime di extra-corsa

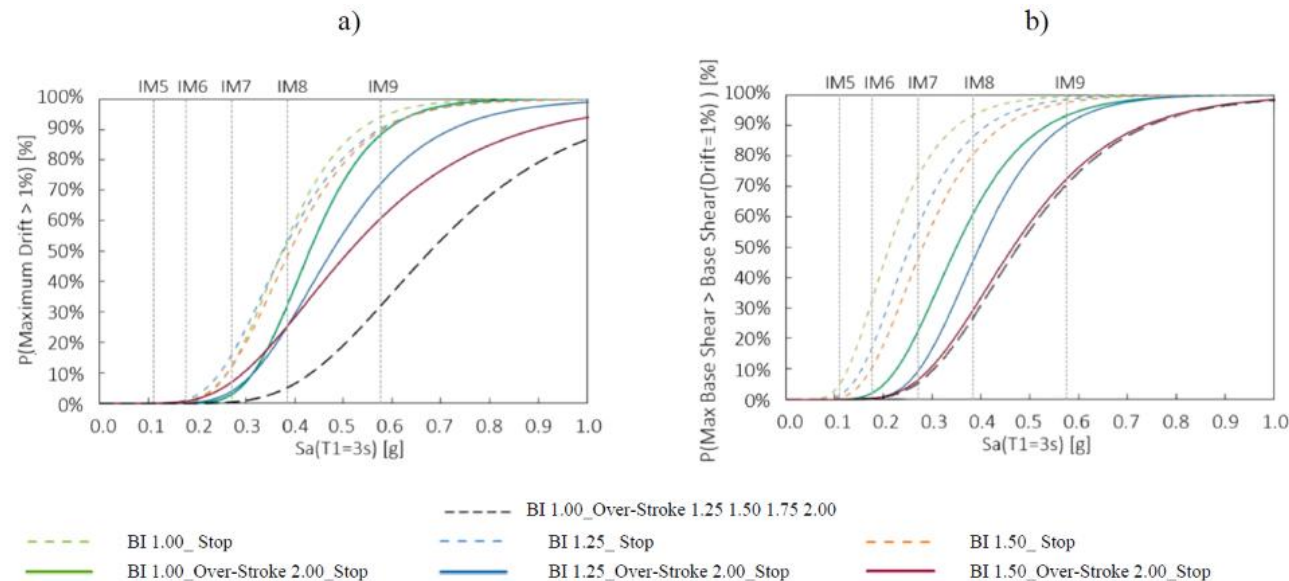
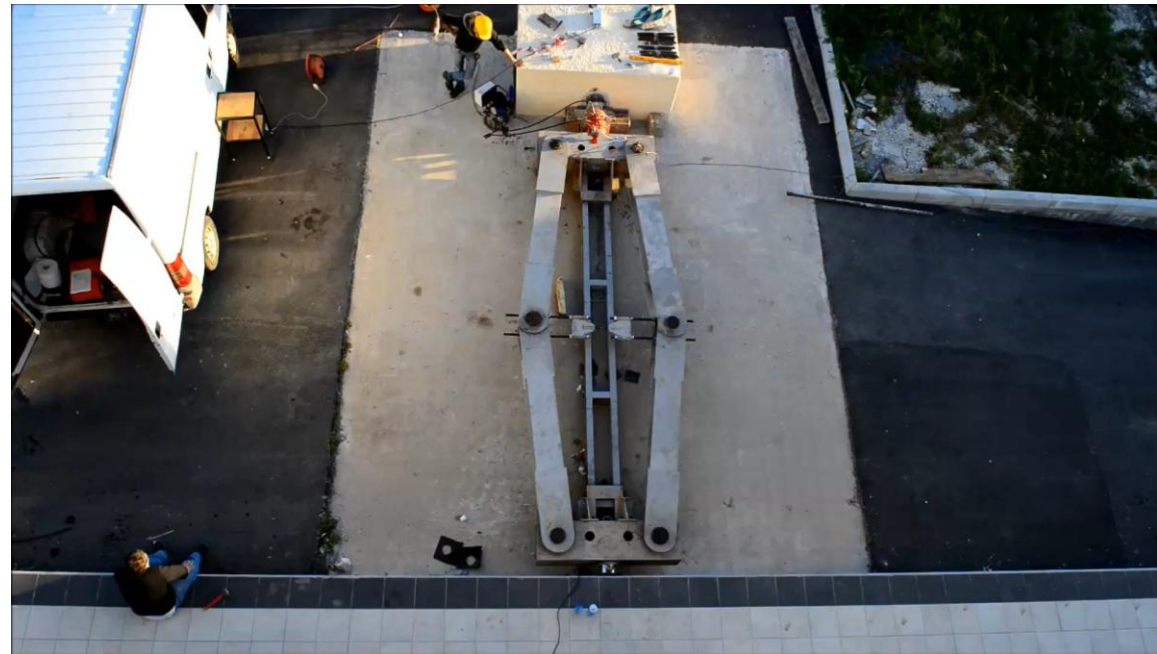


Fig. 12. Borderline fragility curves for: (a) the superstructure drift; (b) the base shear.

Test in fase di collaudo

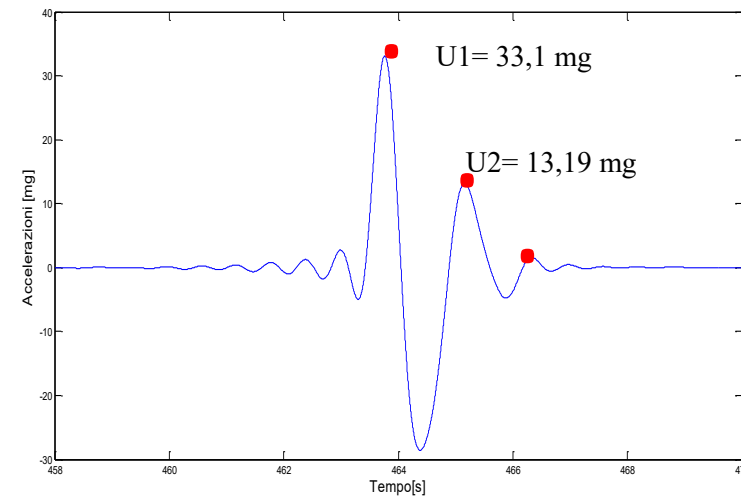
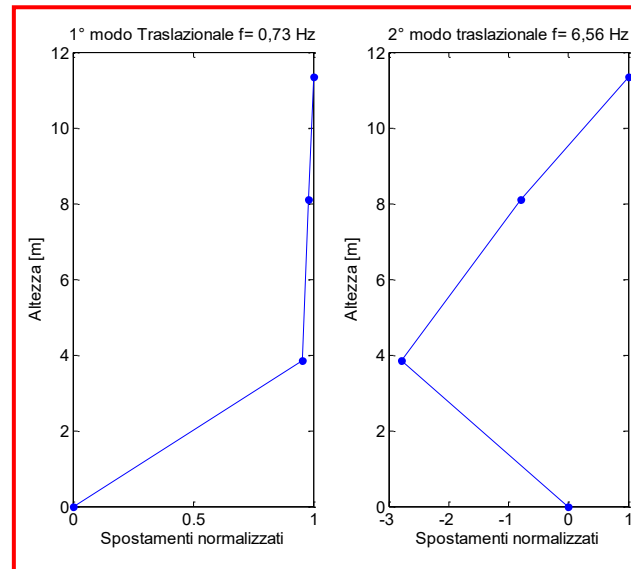
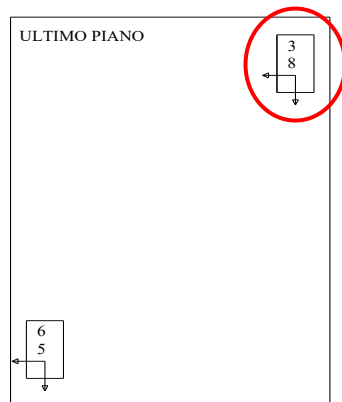
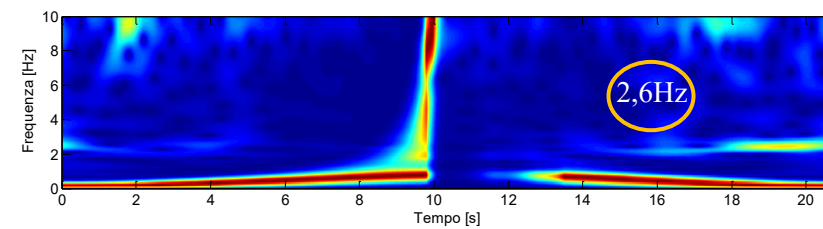
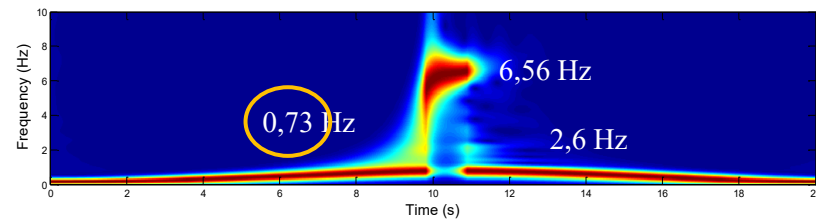
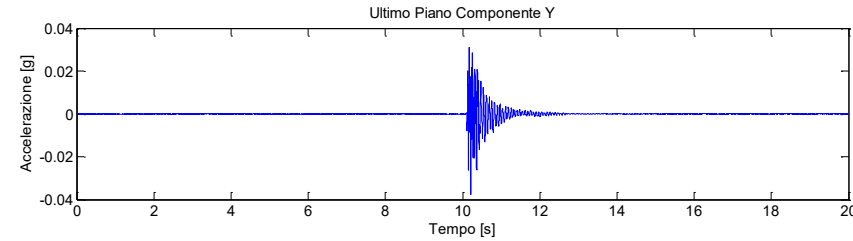
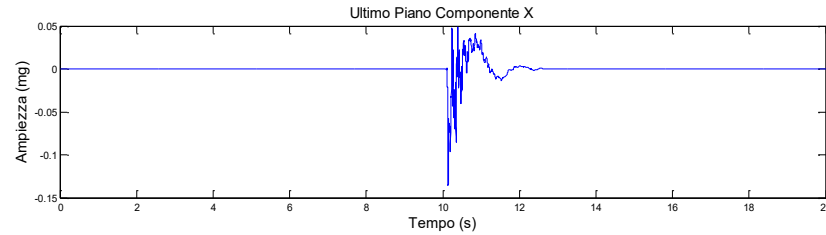
Base isolated R/C Building
School building in Augusta (SR)

Snap back tests (2013)



- Athanasίου A., Oliveto G., Ponzio F.C. (2017). Baseline correction of digital accelerograms from field testing of a seismically isolated building. Earthquake Spectra. Doi <http://doi.org/10.1193/022817EQS040M>
- Athanasίου A., Oliveto N. D., Ponzio F.C. (2020). Identification of first and second order models for the superstructure of base-isolated buildings using free vibration tests: A case study. SOIL DYNAMICS AND EARTHQUAKE ENGINEERING, vol. 135, ISSN: 0267-7261, doi: 10.1016/j.soildyn.2020.106178.

Test in fase di collaudo – experimental results



Sensor's position

1st and 2nd mode shapes

$$\xi = [\log(U1/U2)] / (2 * \pi) = 14,64 \% \text{ Damping}$$

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

Conclusioni

- Possibilità di utilizzo delle strutture durante i lavori di inserimento del sistema di isolamento
- Robustezza dei sistemi di isolamento: danni ridotti anche alle componenti non strutturali per sollecitazioni fino allo SLV; Controllo della torsione, spostamenti massimi e residui.
- Risorse di resistenza aggiuntive rispetto ai valori nominali (Extra corsa)

GRAZIE PER LA CORTESE ATTENZIONE!