



Rete dei Laboratori Universitari
di Ingegneria Sismica e Strutturale

Convegno ReLUIs



Progetto DPC_ReLUIs 2022-2024
Esposizione delle attività svolte e prospettive

Roma, 7 novembre 2023

WP 15 - CONTRIBUTI NORMATIVI PER ISOLAMENTO E DISSIPAZIONE

Felice Carlo Ponzo, Giorgio Serino

Descrizione del WP 15:

Sulla scorta dei risultati scaturiti dalle attività sviluppate nel progetto precedente (Reluis 2019-2021), consistiti nella revisione dei punti normativi connessi al comportamento dei dispositivi di isolamento e dissipazione e alla progettazione e applicazione di tali tecniche ad edifici e ponti esistenti, il progetto per il biennio 2022-24 è stato strutturato in due Task:

WP15.1: DISPOSITIVI ANTISISMICI (Cap. 11.9);

- 1.1. Avanzamento tecnologico dei dispositivi antisismici**
- 1.2. Omogeneizzazione con gli ultimi aggiornamenti delle Norme Europee**

WP15.2: EDIFICI e PONTI con isolamento e/o dissipazione di energia (Cap. 7.10);

- 2.1. Isolamento sismico alla base**
- 2.2. Dissipazione di energia**

PARTECIPANTI AL WP15

	Coordinatore	Unità di Ricerca	Task 15.1		Task 15.2	
			15.1.1	15.1.2	15.2.1	15.2.2
			Losanno	Pavese	Mele	Mazza
1	Felice Carlo Ponzo (UNIBAS)	Univ. Basilicata	X	X	X	
2	Giorgio Serino (UNINA)	Univ. Napoli Federico II	X	X	X	X
3	Virginio Quaglini (POLIMI)	Politecnico di Milano	X	X	X	X
4	Gloria Terenzi (UNIFI)	Univ. di Firenze				X
5	Alberto Pavese (UNIPV)	Univ. di Pavia		X	X	
6	Stefano Silvestri (UNIBO)	Univ. di Bologna				X
7	Stefano Sorace (UNIUD)	Univ. di Udine				X
8	Fabio Mazza (UNICAL)	Univ. della Calabria			X	X
9	Antonello De Luca (UNINA)	Univ. Napoli Federico II	X	X	X	
10	Ottavia Corbi (UNINA)	Univ. Napoli Federico II				X
11	Andrea Dall'Asta (UNICAM)	Univ. di Camerino	X	X	X	
12	Luciano Rosati (UNINA)	Univ. Napoli Federico II	X	X	X	X
13	Elena Mele (UNINA)	Univ. Napoli Federico II			X	X

WP15.1: DISPOSITIVI ANTISISMICI (Cap. 11.9)

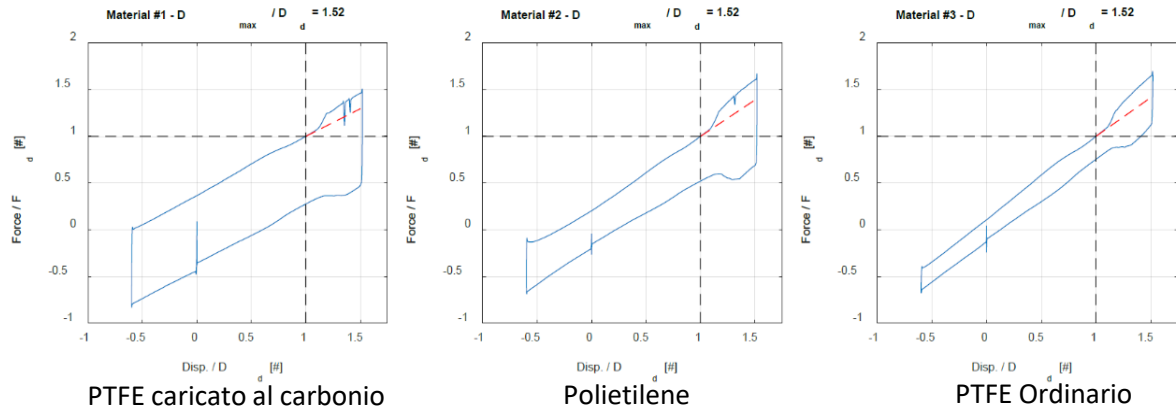
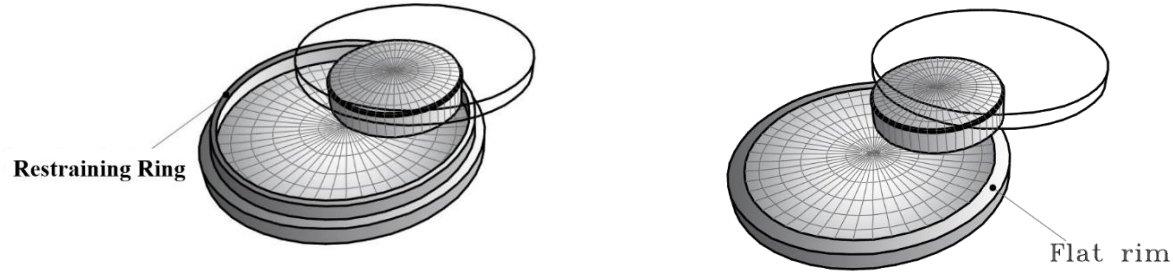
1.1. Avanzamento tecnologico dei dispositivi antisismici

1.2. Omogeneizzazione con gli ultimi aggiornamenti delle Norme Europee

UR: UNIBAS

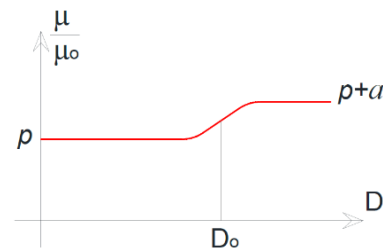
WP15.1: Extra corsa per Isolatori a scorrimento (Cap. 11.9.8)

FASE 1 - Sperimentazione di DCCSS con extra corsa



FASE 2 – Definizione Legge costitutiva

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



FASE 3 - Modellazione di DCCSS con extra corsa e con fine corsa

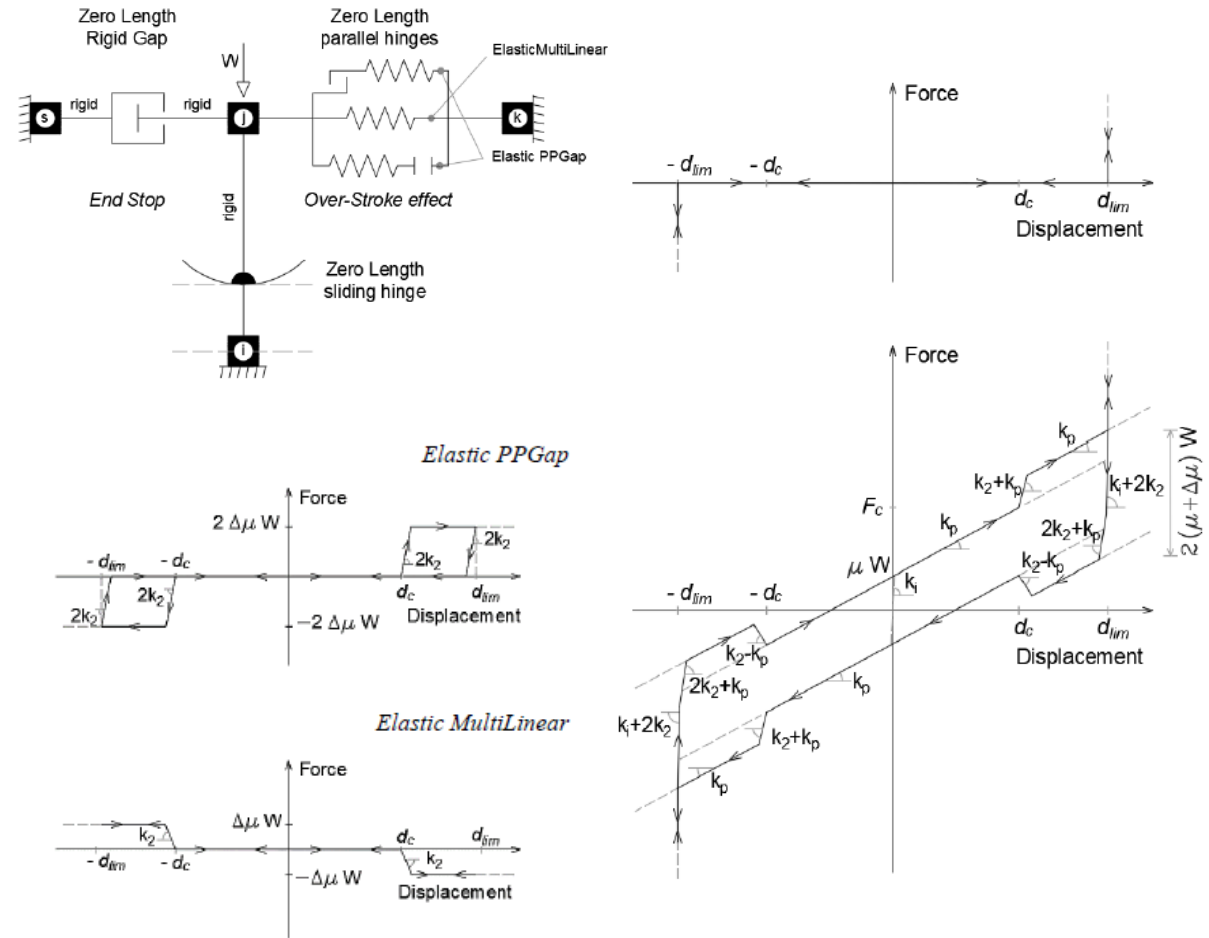
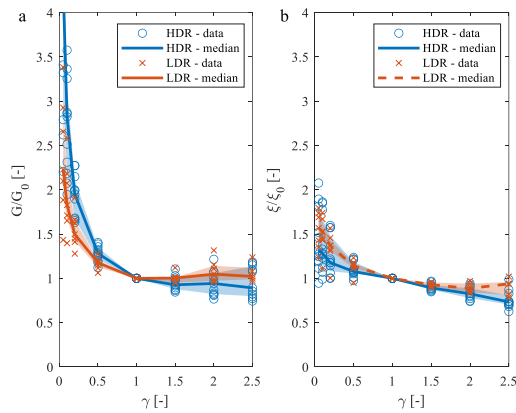


Figura 2.5. Modellazione attrito in regime di extra-corsa

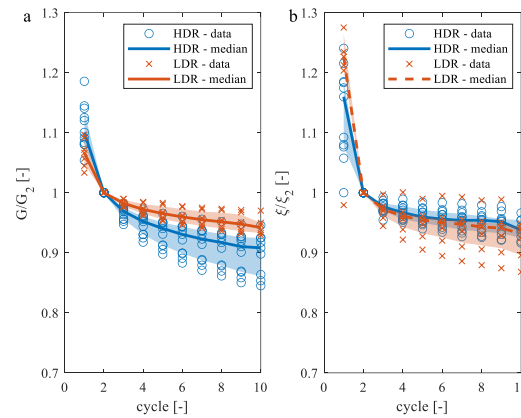
WP15.1: Isolatori elastomerici (Cap. 11.9.6)

Nell'ambito della primo anno di attività è stata affrontata principalmente la questione e della **variabilità delle proprietà meccaniche degli isolatori elastomerici**, derivanti dalla variazione delle proprietà delle mescole. È stata condotta pertanto un'elaborazione statistica di un numero significativo di prove sugli elastomeri e sono stati forniti dei coefficienti di variazione da applicare alle proprietà lineari nominali (G e ξ) degli isolatori.

Variazione con la deformazione

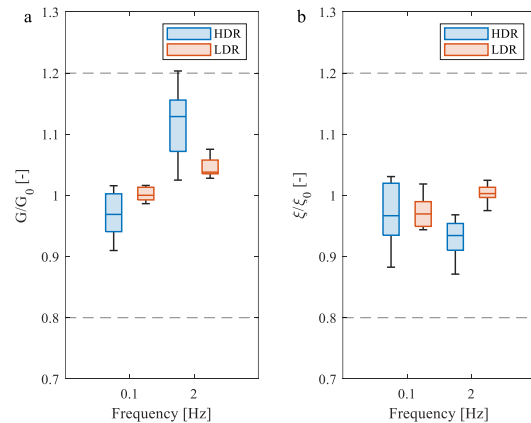


Variazione con il numero di cicli

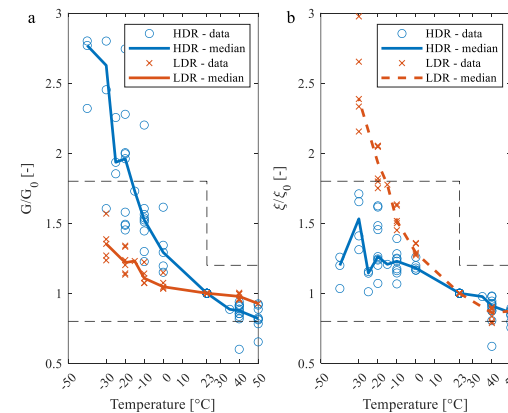


Variazione con la fornitura

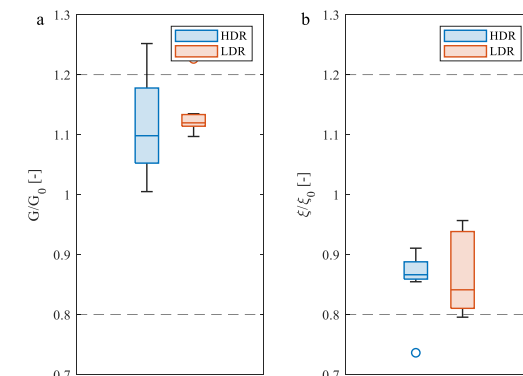
Variazione con la frequenza



Variazione con la temperatura

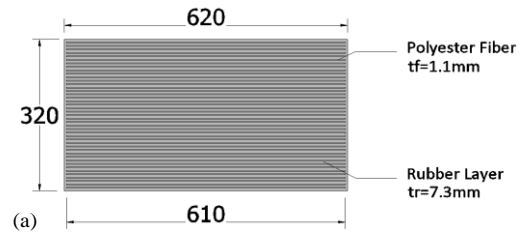


Variazione con l'invecchiamento

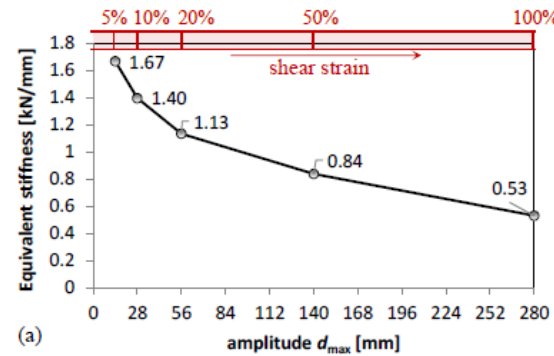


UNINA-SE – Task 15.1.1 Avanzamento tecnologico dei dispositivi antisismici

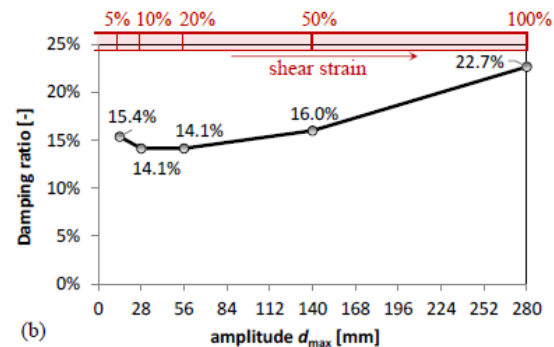
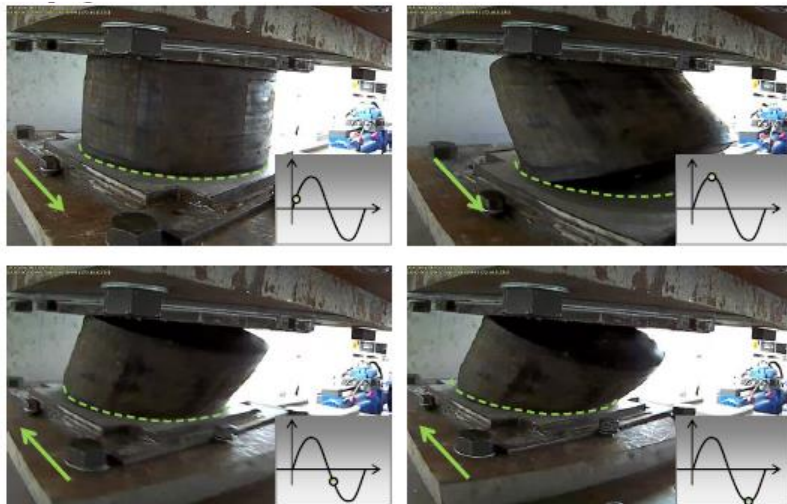
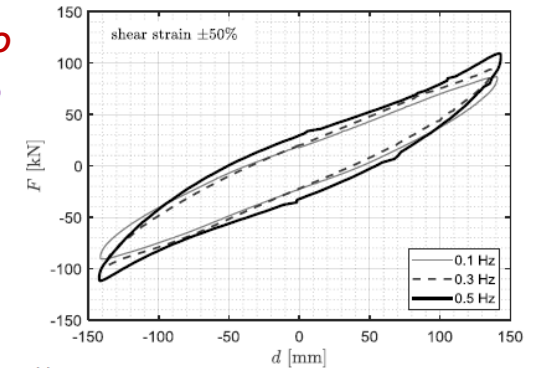
Indagine sperimentale su isolatori elastomerici fibro-rinforzati in scala reale, testate in configurazione non vincolata



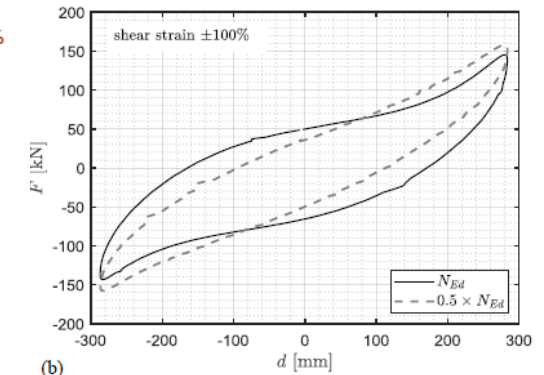
PROVE DINAMICHE:
DIPENDENZA DALLA DEFORMAZIONE A TAGLIO



DIPENDENZA DALLA FREQUENZA



DIPENDENZA DAL CARICO ASSIALE



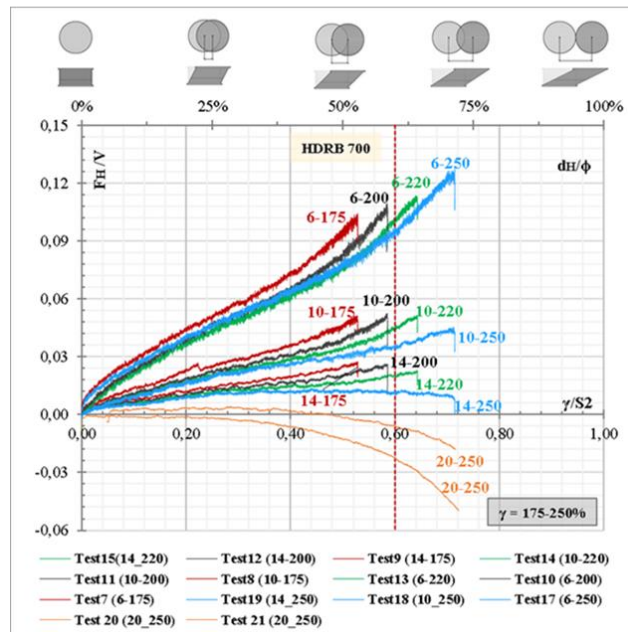
UR: UNINA-DE WP15.1: Isolatori elastomerici (Cap. 11.9.6)

Analisi di dati sperimentali su dispositivi elastomerici (HDRB) in scala reale e comparazione con risultanze disponibili in letteratura, finalizzate alla ridefinizione del carico critico, anche in relazione ai codici normativi nazionali/internazionali

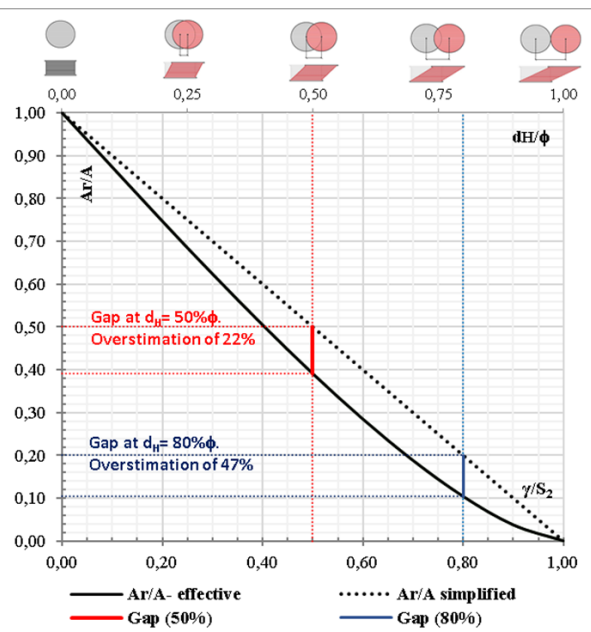
Studio di problematiche legate all'interazione tra carico verticale e portanza orizzontale, mediante elaborazione di dati sperimentali, per valutare gli effetti di deformazioni orizzontali e tensioni di lavoro crescenti sul carico critico, V_{crit} .

Impiego di parametri adimensionali nella definizione di domini di stabilità e individuazione di specifiche progettuali per dispositivi elastomerici soggetti a grandi spostamenti ed elevate tensioni verticali.

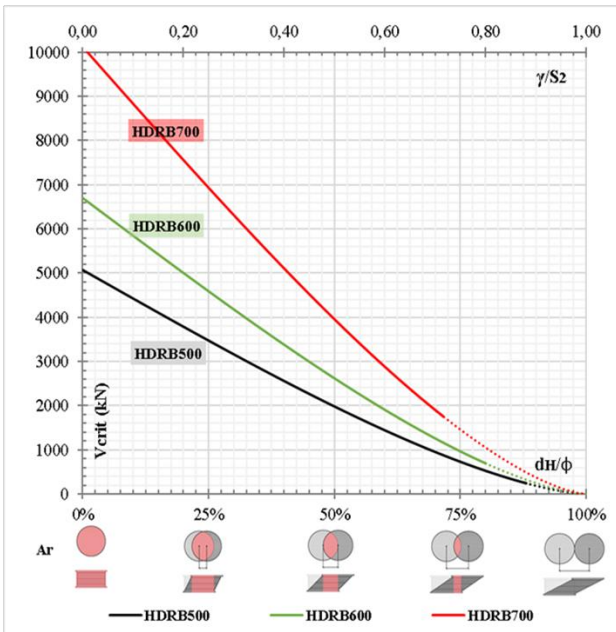
Static Shear s Tests for HDRB 700- in $(F_H/V-\gamma/S_2)$ plane



Reduced area in the dimensionless plan ($Ar/A - dH/\phi$)



Trend of Critical Load in the plan ($V_{crit} - dH/\phi$)



Modellazione e calcolo dei parametri di progetto di dispositivi (isolatori e dissipatori) con comportamento isteretico *rate-independent* complesso.

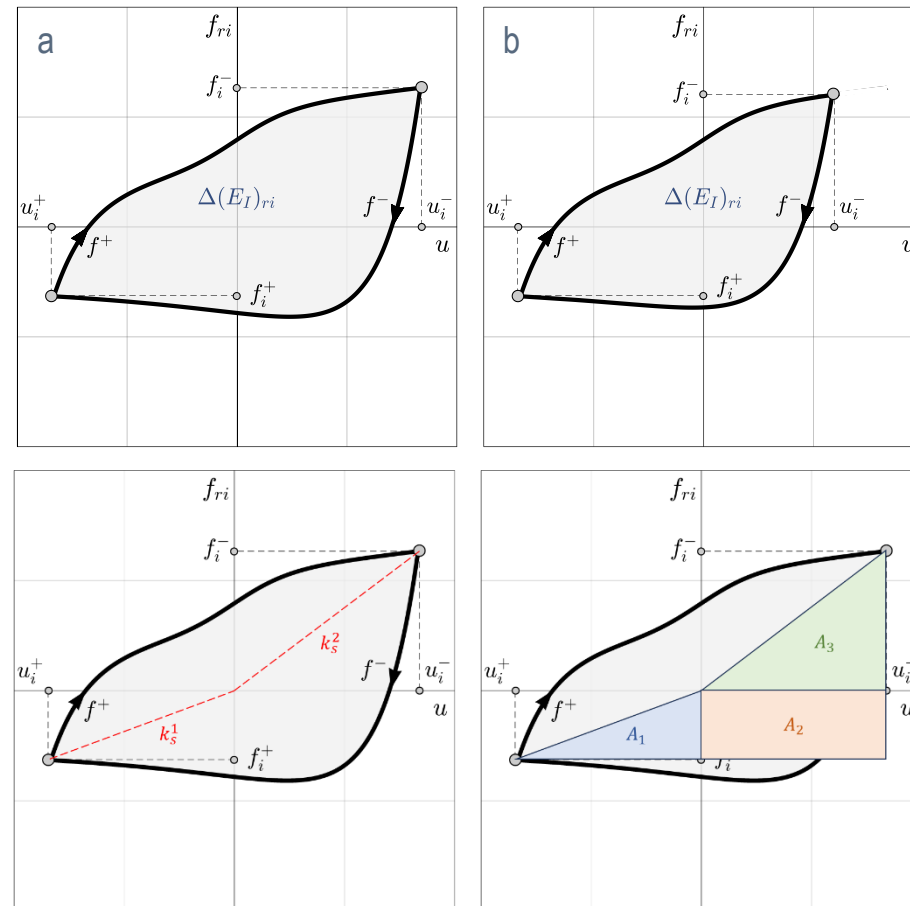
- Simulazione e calcolo dell'area $\Delta(E_I)_{ri}$ di cicli di isteresi complessi (Figure a e b) mediante la formulazione analitica del modello di isteresi Vaiana-Rosati.

- Calcolo della rigidezza secante equivalente (Figura c):

$$k_s = \frac{k_s^1 + k_s^2}{2}.$$

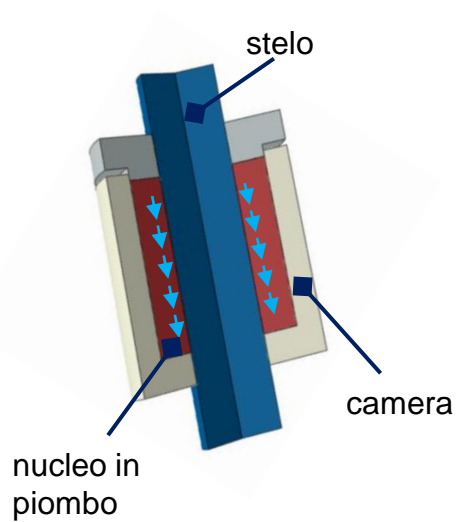
- Calcolo fattore di smorzamento viscoso equivalente (Figura d):

$$\zeta_{eq} = \frac{1}{\pi} \frac{\Delta(E_I)_{ri}}{A_1 + A_2 + A_3}.$$

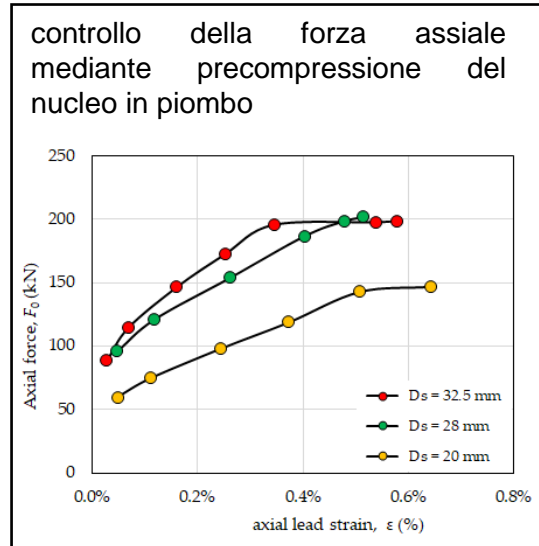
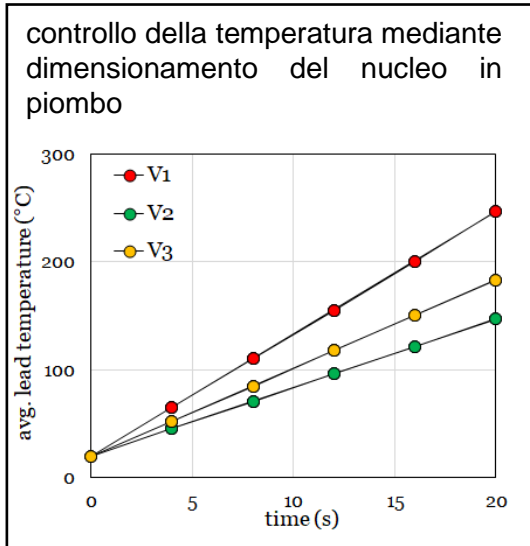
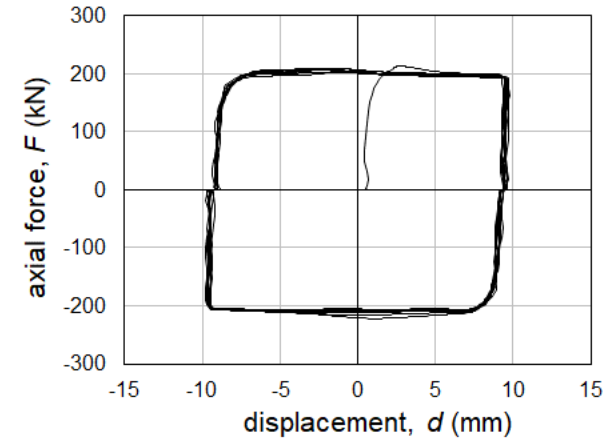


UR: POLIMI

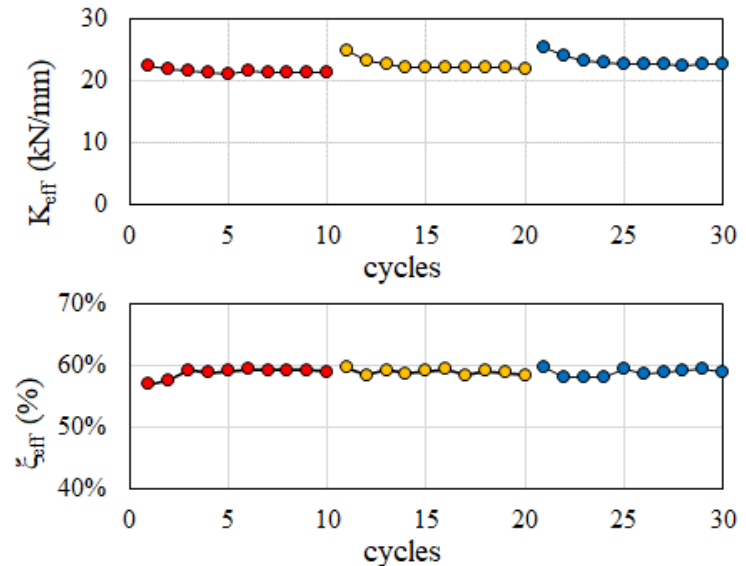
WP15.1 - Sviluppo e caratterizzazione sperimentale di dispositivi isteretici ad attrito (Cap 11.9.5)



$$\xi_{eff} > 55\%$$



stabilità della risposta su cicli ripetuti

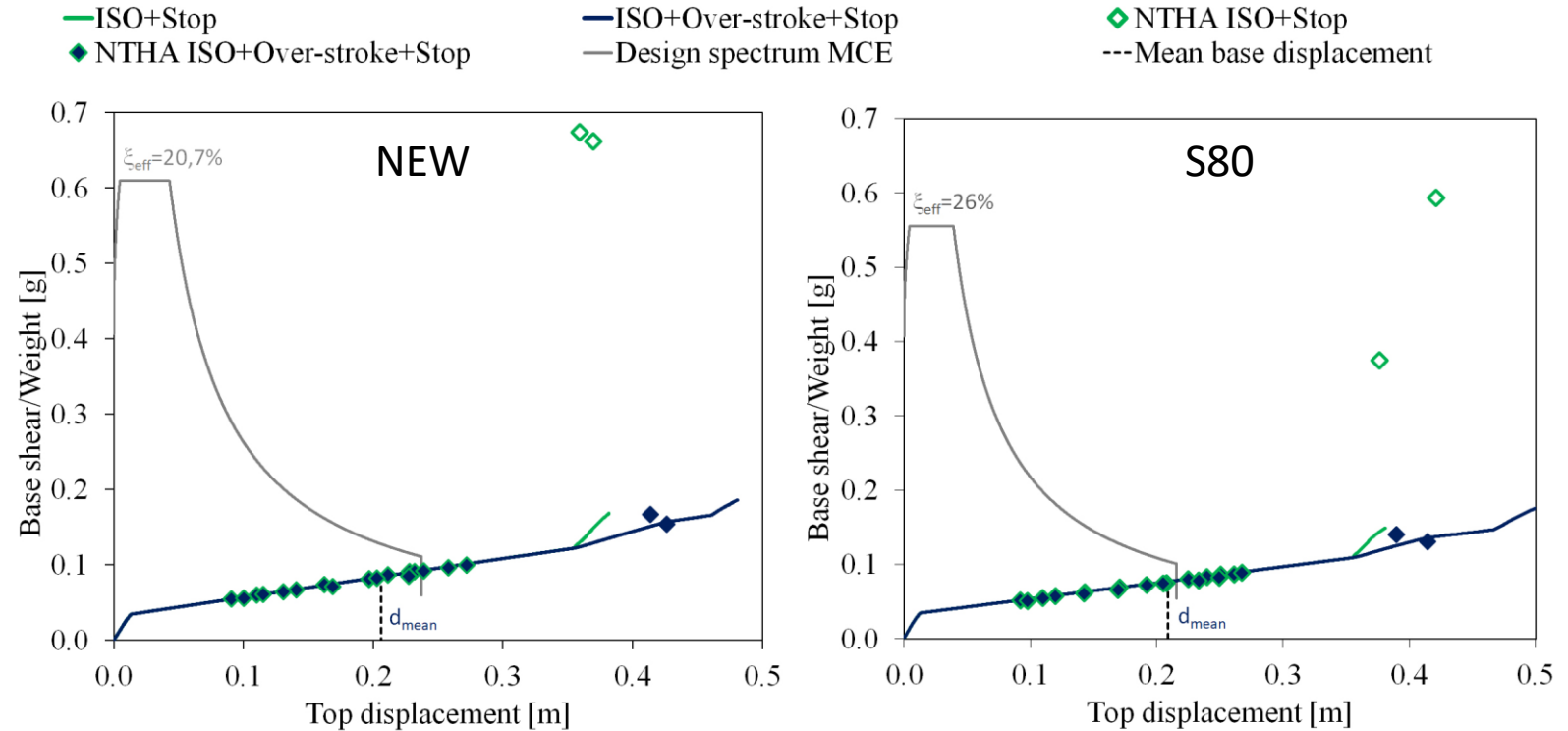
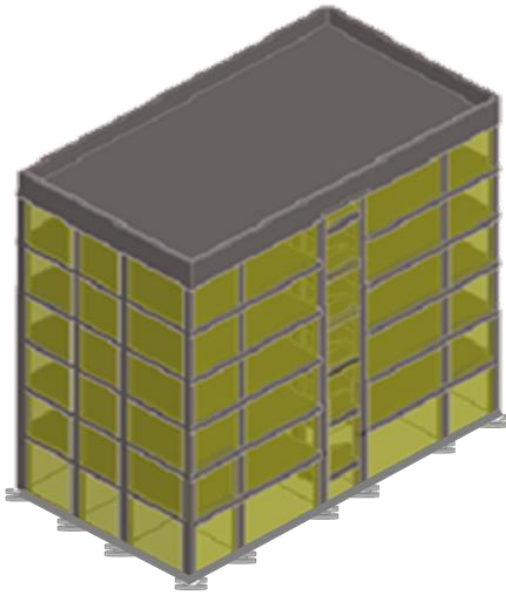


WP15.2: EDIFICI e PONTI con isolamento e/o dissipazione di energia (Cap. 7.10)

2.1. Isolamento sismico alla base

2.2. Dissipazione di energia

Caso studio di edificio in c.a. a 6 piani di nuova costruzione (New) ed esistente (S80) adeguato con isolatori DCCSS sito a L'Aquila



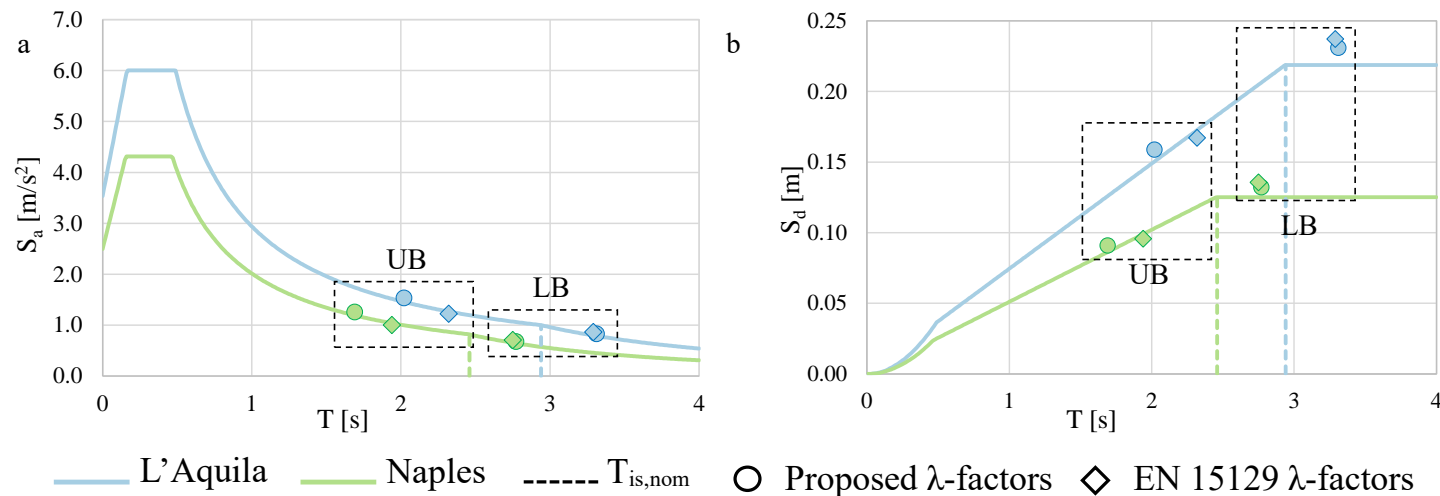
- Confronto tra i risultati delle analisi statiche non lineari e dinamiche non lineari

UR: UNICAM

WP15.2: Applicazione ad edifici e ponti (Cap. 7.10.6)

È stata quindi fatta una **proposta in termini di fattori di variazione da applicare alle proprietà nominali lineari (G e ξ) degli isolatori** per ottenere le proprietà estreme (estremo superiore e inferiore). La finalità è fornire parametri aggiornati e da applicare direttamente nelle analisi lineari che siano rappresentativi, a differenza di quelli forniti dagli Eurocodici, della produzione attuale e facilitino la diffusione delle **analisi Upper e Lower bound** nella progettazione delle strutture (ponti ed edifici) isolate alla base.

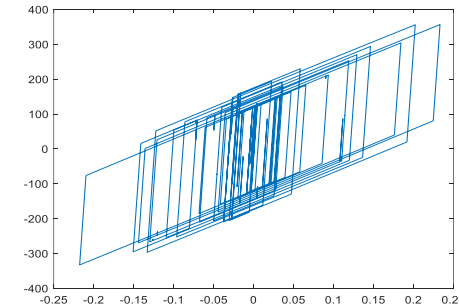
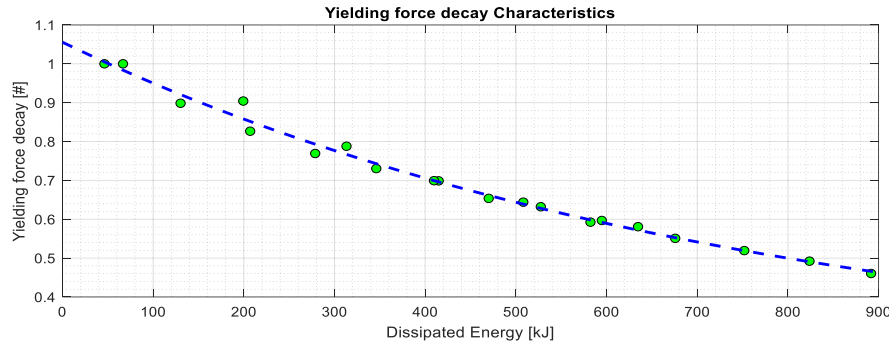
Infatti le prime applicazioni mostrano che le variazioni sono contenute per quasi tutti gli aspetti (compreso l'aging e l'effetto primo ciclo che in passato venivano considerati aspetti limitativi dell'uso di tali isolatori) tranne che per la temperatura (soprattutto le basse temperature). **Tuttavia, la loro combinazione comporta effetti che non possono essere trascurati, sia lato spostamento degli isolatori (limitati solo se il periodo di isolamento ricade nel tratto di spostamento costante dello spettro) sia lato taglio trasferito alla sovrastruttura/sotto-struttura.**



UR: UNIPV

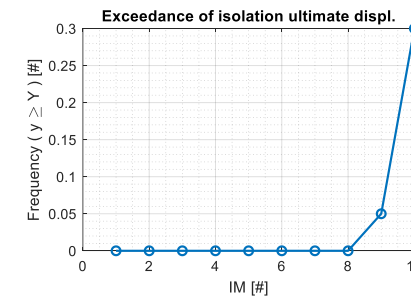
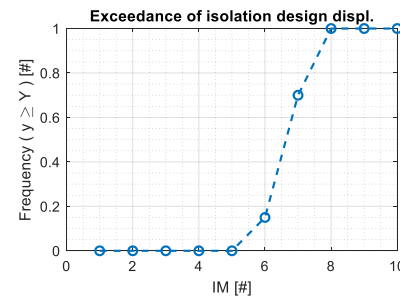
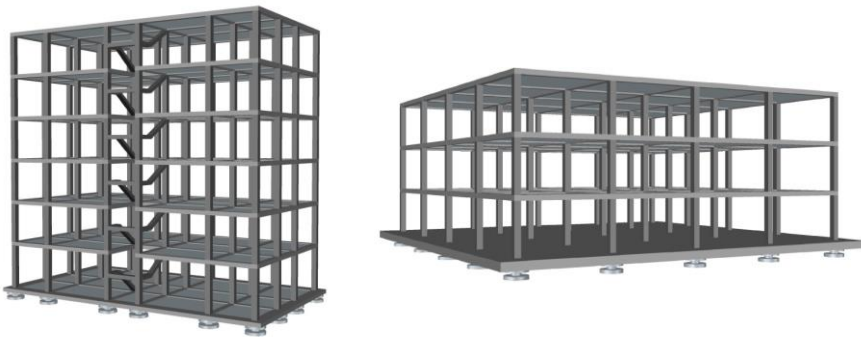
WP15.1 : Isolatori a scorrimento - (Cap. 11.9.8)

- Modellazione avanzata dei dispositivi di isolamento impiegati nelle analisi, per mezzo di calibrazioni sperimentali, utilizzando dati restituiti da prove di laboratorio eseguite su dispositivi a scala reale.



WP15.2 : Isolatori a scorrimento - Verifica (Cap. 7.10.6)

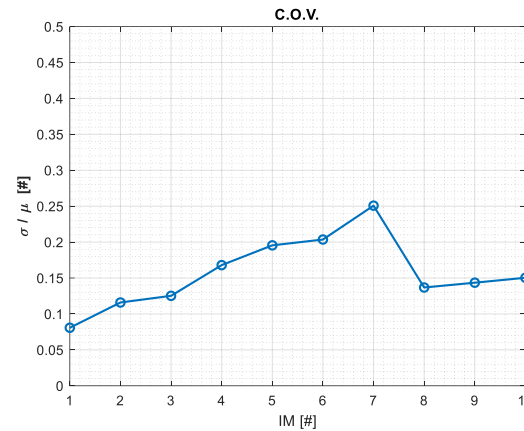
- Valutazione della vulnerabilità sismica di edifici caso studio, isolati alla base mediante dispositivi a pendolo, elastomerici con e senza nucleo dissipativo in piombo



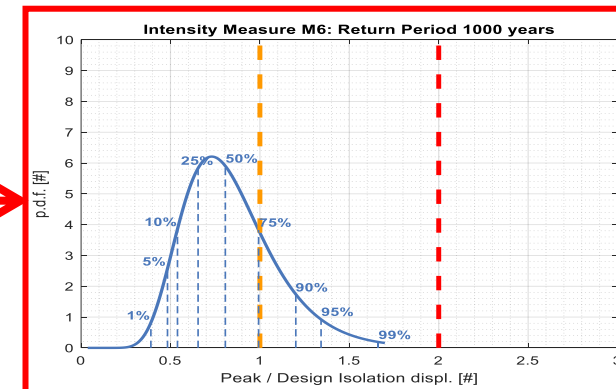
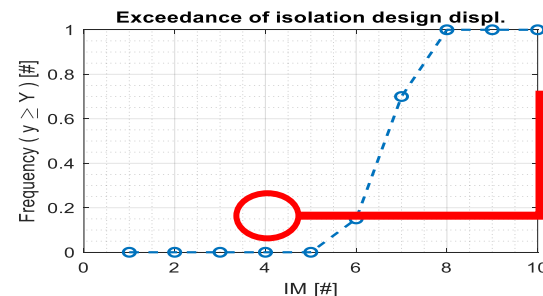
UR: UNIPV

WP15.2 : Isolatori a scorrimento - Verifica (Cap. 7.10.6)

- Valutazione del *Reliability Factor* associato alla massima domanda di spostamento del sistema di isolamento;

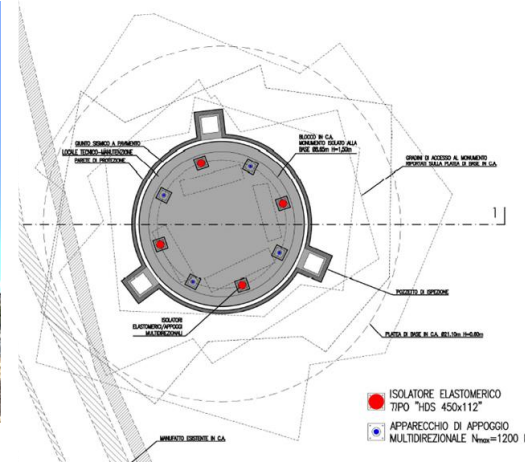


- Valutazione dell'appropriatezza della definizione della probabilità di superamento nella vita di riferimento, e conseguentemente del periodo di ritorno, per una corretta e cautelativa valutazione dell'azione sismica e della capacità di spostamento di progetto degli isolatori;



UNINA-SE – Task 15.2.1 Applicazione dell'Isolamento Sismico agli Edifici e Ponti

Il Monumento allo Scugnizzo in ricordo delle Quattro Giornate di Napoli

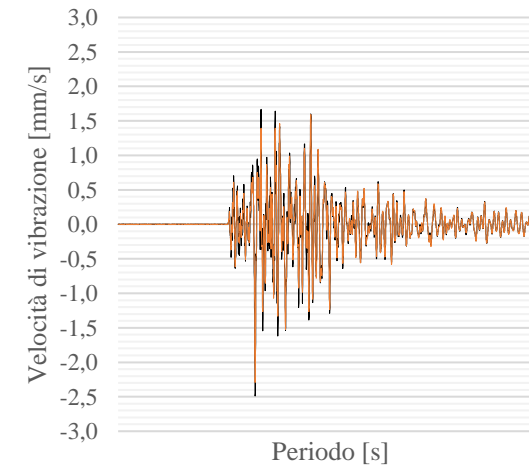
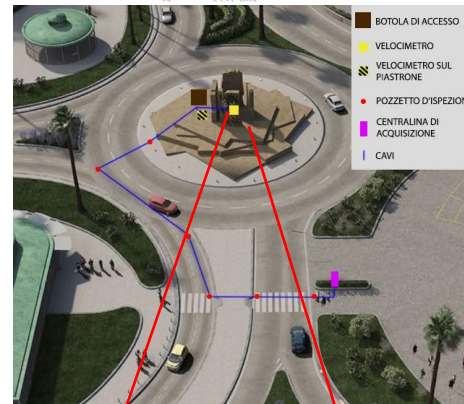


Isolatore multi-direzionale



Isolatore elastomerico

Velocimetri installati tra le stele e sulla piastra di fondazione



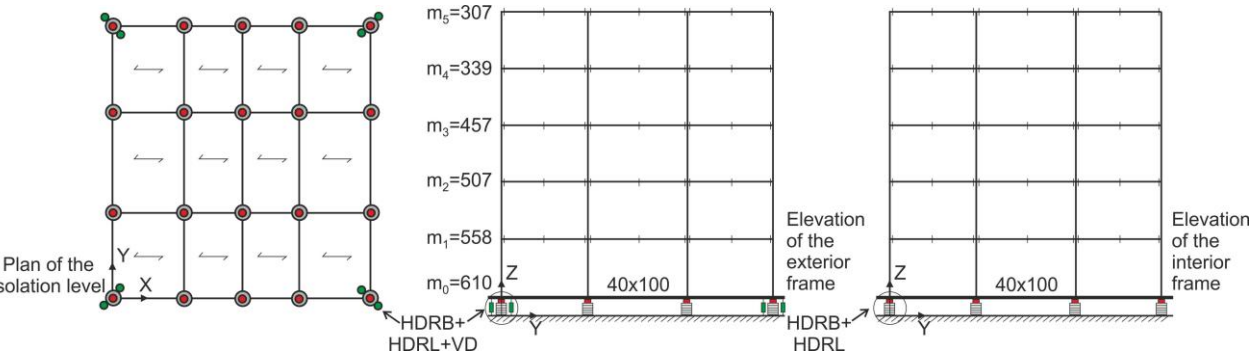
— V1-0336-X — V1-0335-X

Storie temporali di velocità, in una delle direzioni orizzontali, in corrispondenza del basamento isolato e della piastra di fondazione, durante l'evento sismico registrato il 27/09/23 - 03:35:27

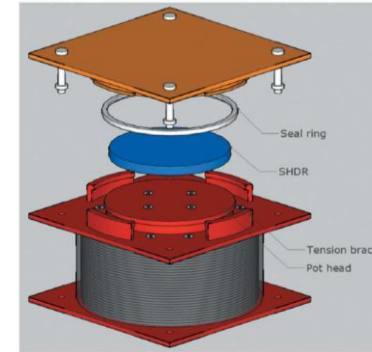
UR: UNICAL

WP15.2 – Applicazioni ad edifici e infrastrutture (Cap. 7.10.5)

Geometria di un padiglione ospedaliero del campus di Avellino dotato di isolamento sismico, nelle direzioni orizzontale e verticale (HDRB+HDRL), ed eventuale dissipazione viscosa verticale alla base (VD)



Combinazione in serie di un isolatore elastomerico (HDRB) e di uno strato elastomerico (HDRL) vincolato orizzontalmente e reagente a compressione



Pourmasoud et al., 2020.

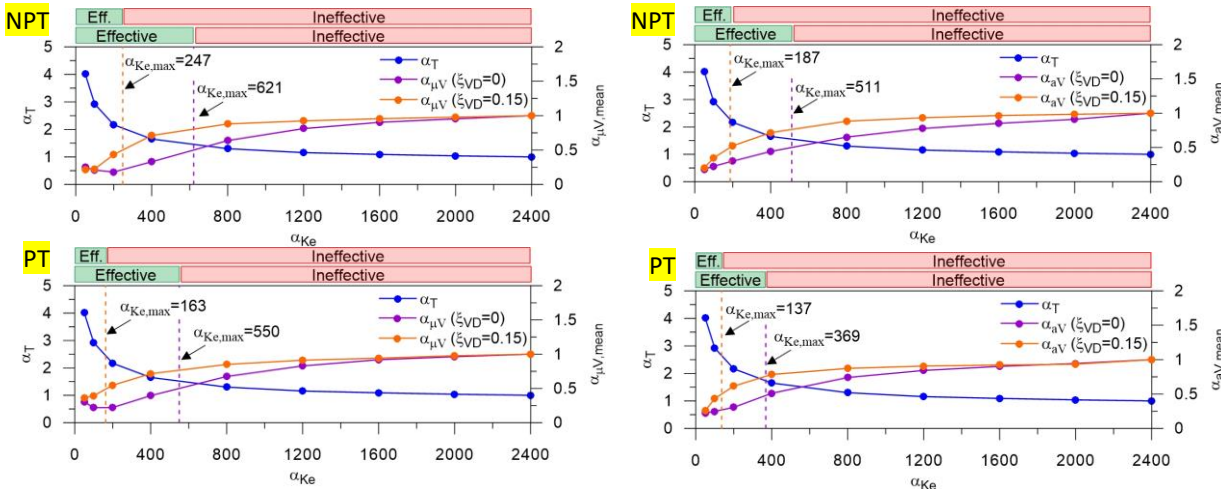
Rapporto di rigidità efficace:

$$\alpha_{Ke} = K_{eV} / K_{eH} = 50-2400$$

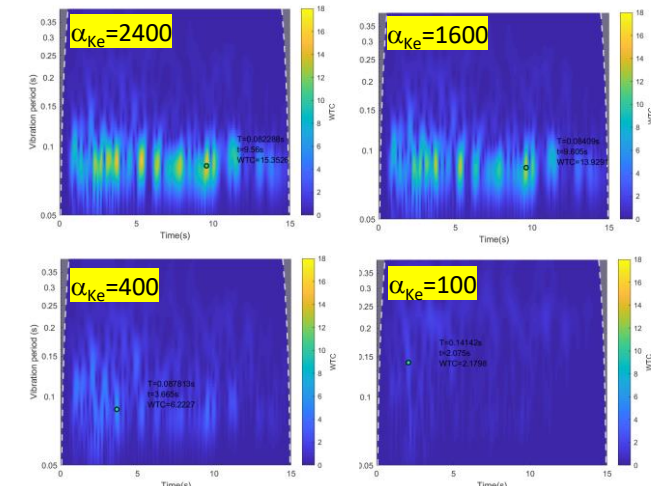
Grado di isolamento verticale $\alpha_T = (T_{BIHV,IV} / T_{BIH,IV})$ per strutture soggette a terremoti “near-fault” senza (NPT) e con (PT) carattere impulsivo in direzione verticale

Duttilità sez. mezzeria travi ultimo piano

Accelerazione vert. sez. mezzeria travi ultimo piano



Analisi "wavelet" per tener conto del fenomeno di "moving resonance" verticale indotto da plasticizzazione della sovrastruttura



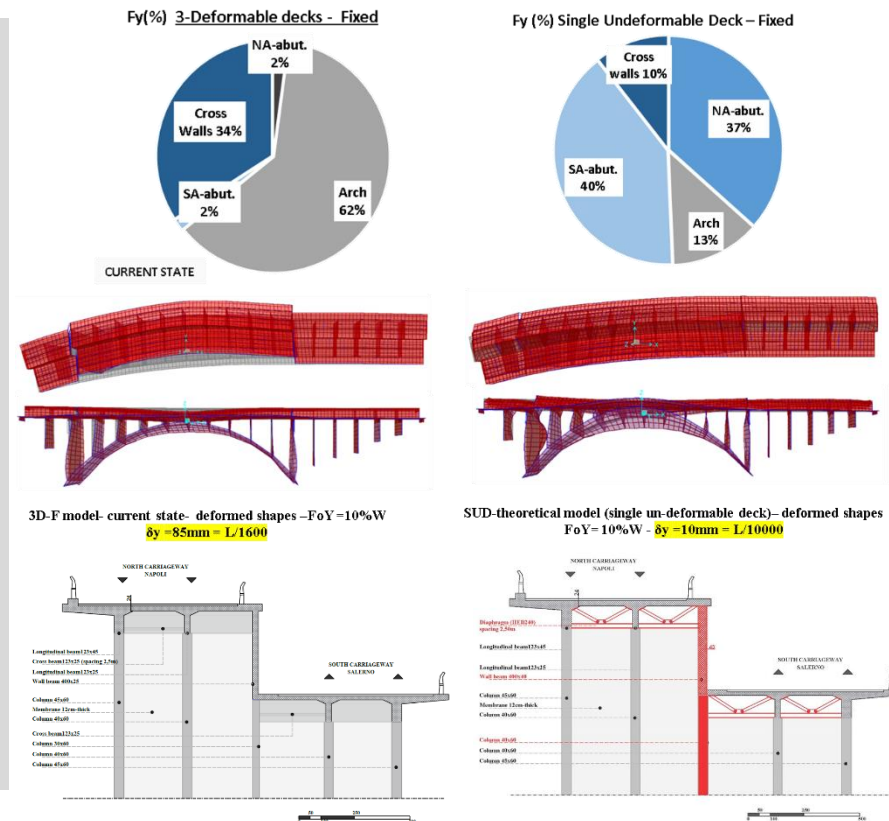
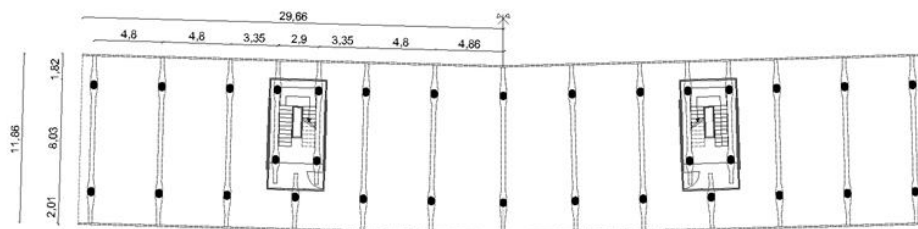
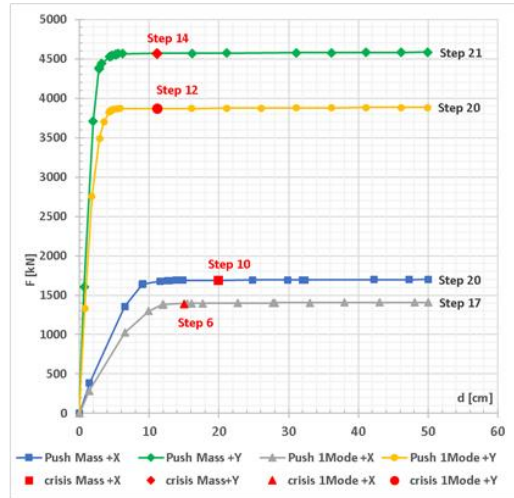
Duzce (PT) earthquake

UR: UNINA-DE

WP15.2: Applicazione ad edifici e ponti (Cap. 7.10.6)

Vulnerabilità sismica di edifici in c.a., risalenti agli anni '60, progettati per resistere a soli carichi verticali (in zona a bassa sismicità), aventi piano pilotis e caratterizzati da telai resistenti in una sola direzione.

Valutazioni sulle potenzialità dell'isolamento sismico nell'adeguamento di ponti esistenti, anche attraverso il confronto con tecniche tradizionali di consolidamento (con riferimento alla tipologia ad arco del tipo Maillart).



UR: UNINA-RO

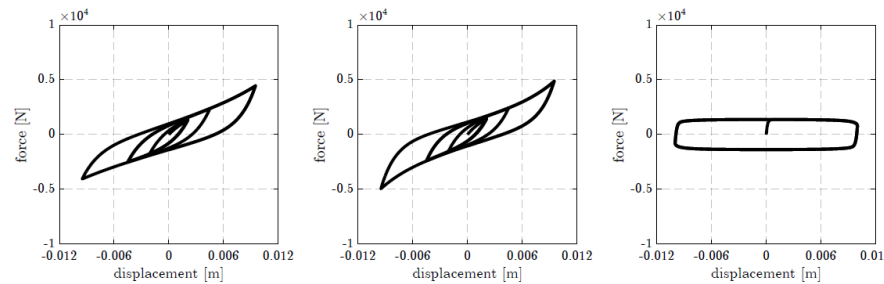
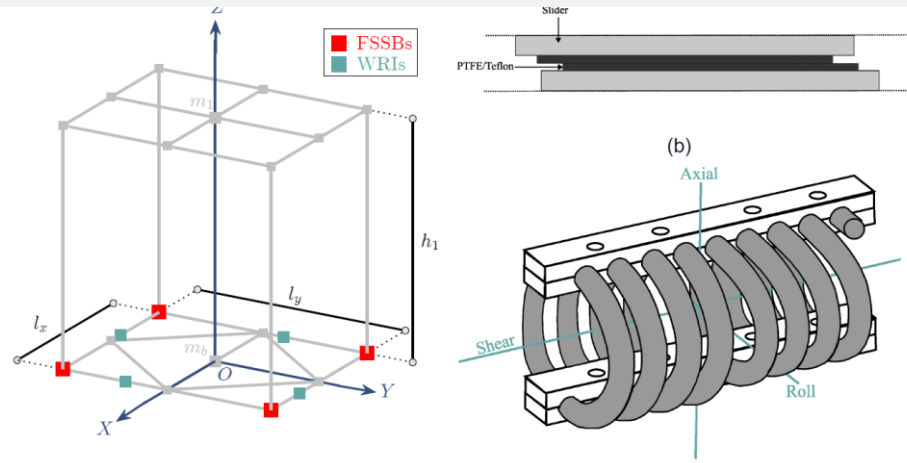
Task 15.1: Dispositivi ausiliari (Cap. 11.9.2)

Modellazione e calcolo dei parametri di progetto di dispositivi (isolatori e dissipatori) con comportamento isteretico *rate-independent* complesso.

Task 15.2: Applicazione sperimentale

Studiare il comportamento dinamico non lineare di strutture leggere isolate mediante isolatori a scorrimento a superficie piana (Flat Surface Sliding Bearings) e isolatori a cavo metallico (Wire Rope Isolators).

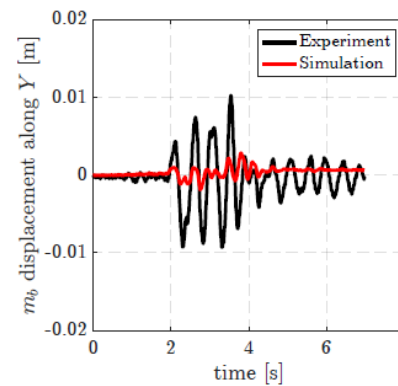
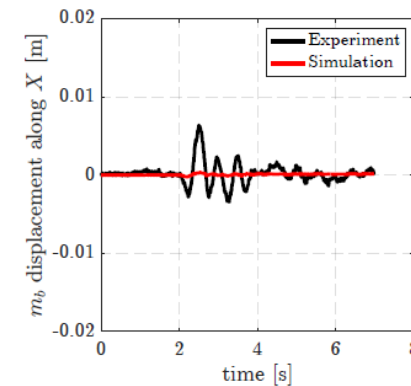
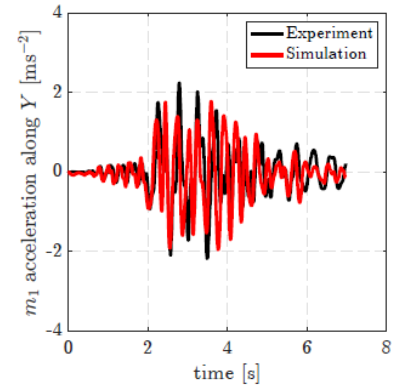
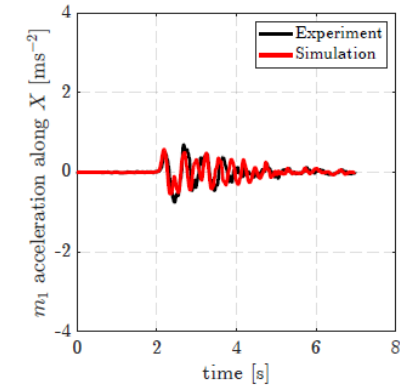
La risposta sperimentale è relativa alla medesima struttura isolata con isolatori fibro-rinforzati in gomma riciclata.



WRIs - Roll

WRIs - Shear

FSSBs



UR: POLIMI

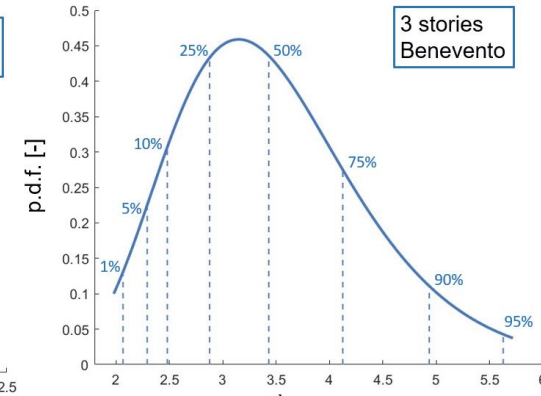
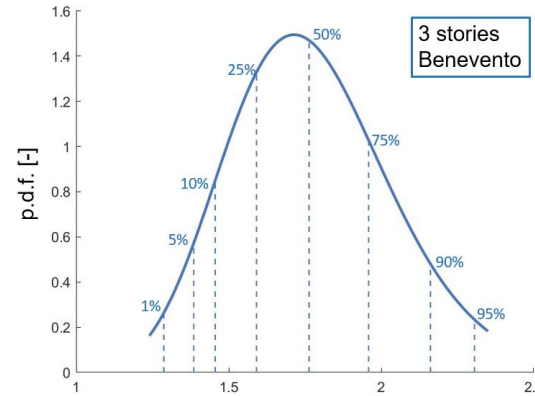
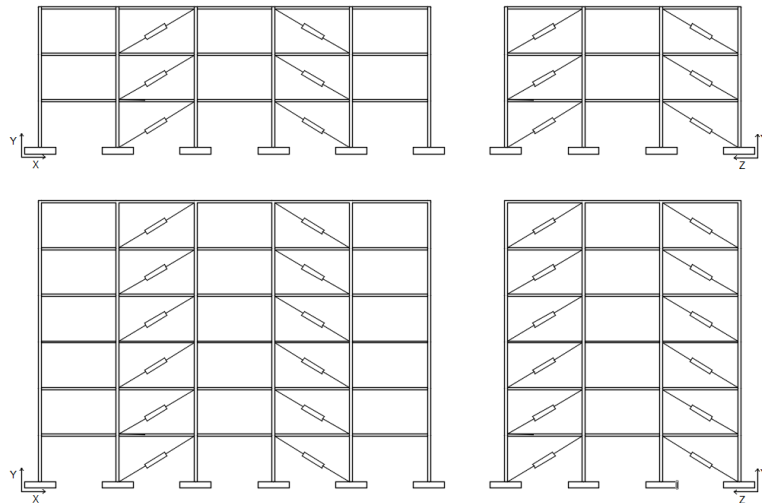
WP15.2 - Affidabilità dei dispositivi isteretici tipo BRB (Cap 11.9.5)

incremento di domanda di spostamento di dispositivi isteretici progettati per SLV ($T_R = 475$ anni) per effetto di terremoti con

- $T_R = 975$ anni (β_1)
- $T_R = 1950$ anni (β_2)

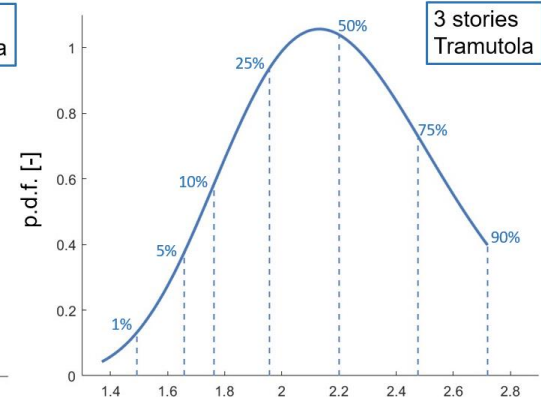
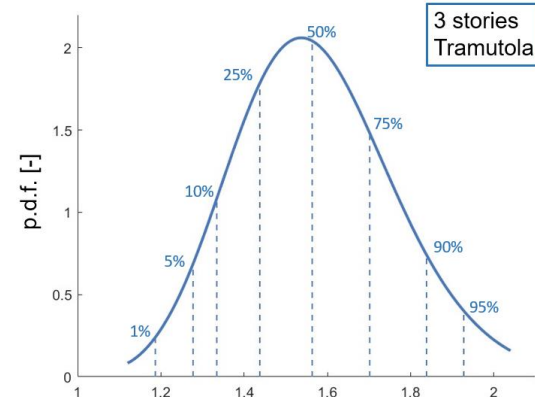
edificio	Sito	β_1	β_2
3 piani	Benevento	2.31	5.63
	Tramutola	1.93	2.72
6 piani	Benevento	1.96	3.39
	Tramutola	1.56	3.50

(95% frattile)



$$\beta_1 = \frac{d_{bd,975years}}{d_{bd,475years}}$$

$$\beta_2 = \frac{d_{bd,1950years}}{d_{bd,475years}}$$



$$\beta_1 = \frac{d_{bd,975years}}{d_{bd,475years}}$$

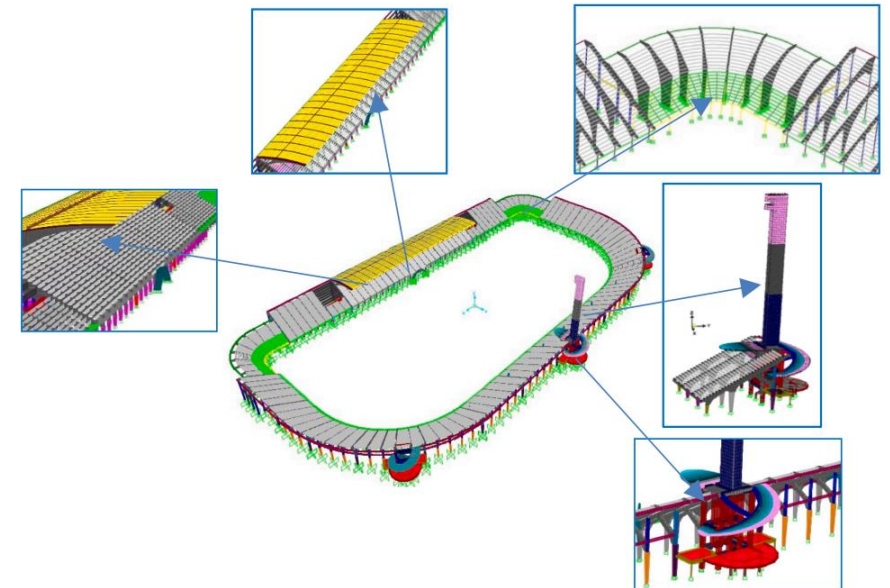
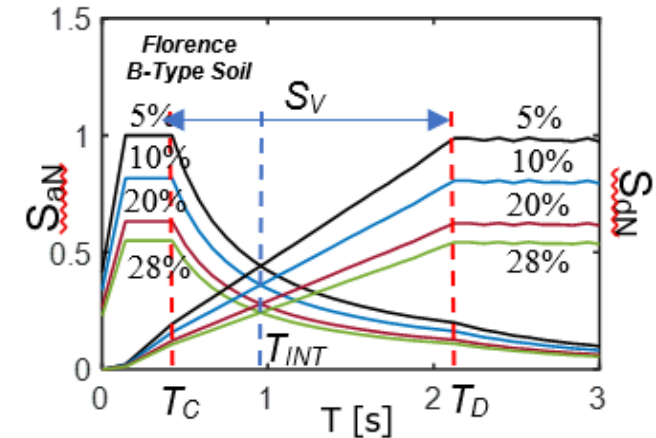
$$\beta_2 = \frac{d_{bd,1950years}}{d_{bd,475years}}$$

UR: UNIFI

WP15.2 – Applicazioni ad edifici e infrastrutture (Cap. C7.10.4)

- Proposta di una classificazione dei dispositivi basata sul loro *modello reologico*, e non dalla dipendenza o meno dalla velocità
- Definizione di una **metodologia progettuale non iterativa** di tipo **energetico** per il progetto dei *DS*.
- Progetto dei dispositivi *DP* per il controllo di spostamenti assoluti e relativi, anche al fine della mitigazione del martellamento strutturale

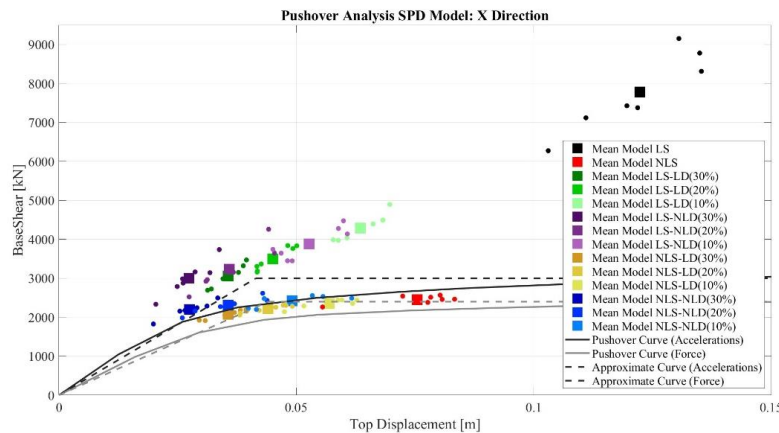
Adeguamento sismico dello Stadio Artemio Franchi di Firenze



- Formula di progetto degli smorzatori viscosi
- Adattamento della DFSP a strutture a pilastri isostatici con schema statico pendolare (mediante Generalized Translational Oscillator and Generalized Rotational Oscillator, *Palermo et al. 2022*)
- Diverse applicazioni della DFSP

$$c_{NL} = \bar{\xi}_{visc} \cdot \frac{2\pi}{T_1} \cdot \frac{W}{g} \cdot \left(\frac{N+1}{n}\right) \cdot \frac{1}{\cos^2 \theta} \cdot \left(0.8 \cdot \frac{S_e(T_1, \bar{\eta}_{\xi})}{2\pi/T_1} \cdot \frac{2}{N+1} \cdot \cos \theta\right)^{1-\alpha}$$

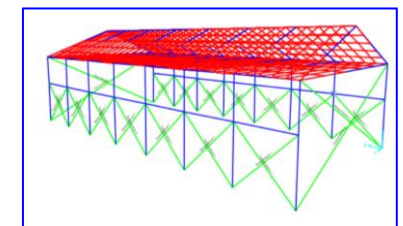
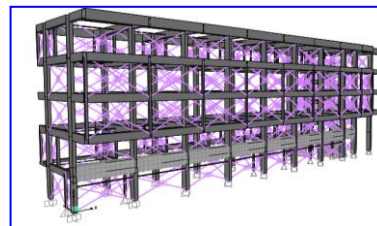
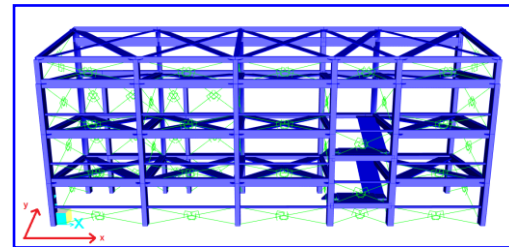
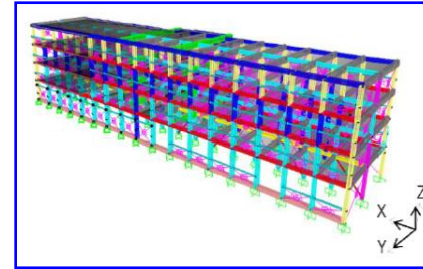
	Interstorey viscous dampers	Dissipative links connected to external stiff towers
6-storey new frame building	<p>SPD placement</p>	<p>MPD tower</p>
11-storey existing frame building	<p>SPD placement</p>	<p>MPD tower</p>
2-storey industrial pendular building	<p>SPD placement</p>	<p>MPD tower</p>



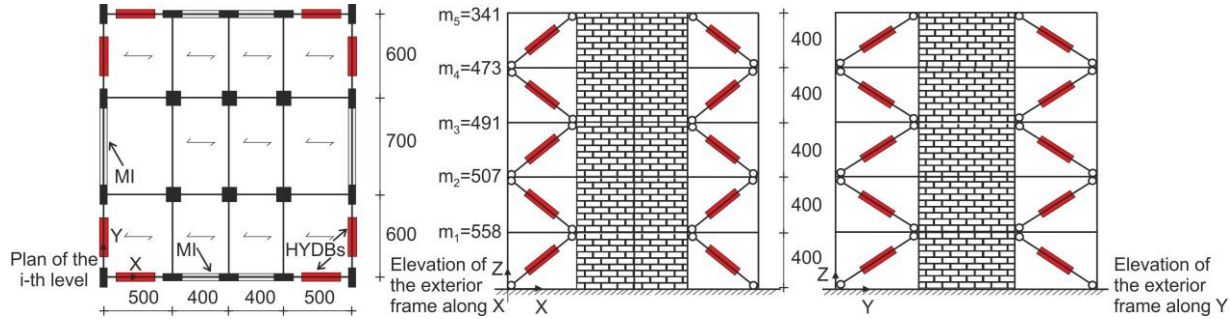
UR: UNIUD

WP15.2 – Applicazioni ad edifici e infrastrutture (Cap. C7.10.6)

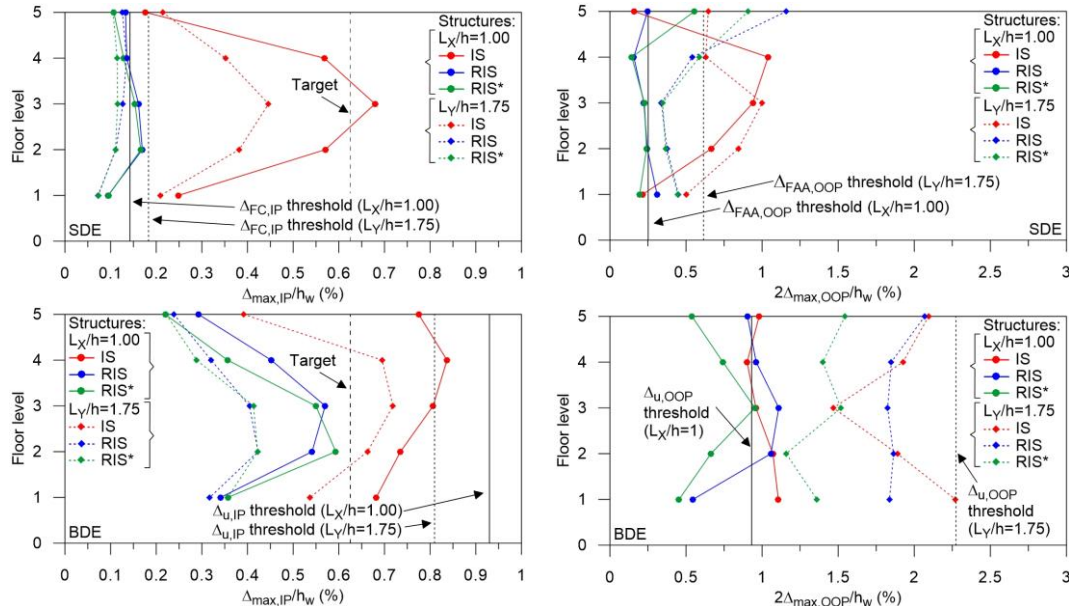
1. analisi per ulteriori livelli dell'azione sismica, in aggiunta a quelli previsti al paragrafo §3.2.1 delle NTC 2018, di edifici con struttura intelaiata e tramezzature/tamponature murarie collaboranti, ai fini della possibile individuazione di livelli intermedi di prestazione sismica
2. Revisione di metodi di progetto di controventi dissipativi dotati di smorzatori fluido-viscosi pressurizzati, ai fini di una più stringente valutazione degli incrementi di prestazione conseguibili per gli elementi non strutturali degli edifici, in aggiunta a quelli relativi agli elementi strutturali, al fine di fornire contributi ai paragrafi §7.10.6 delle NTC 2018 e §C7.10.6 della Circolare n. 7 del 2019



Geometria di un padiglione ospedaliero del campus di Avellino adeguato sismicamente mediante controventi dissipativi isteretici

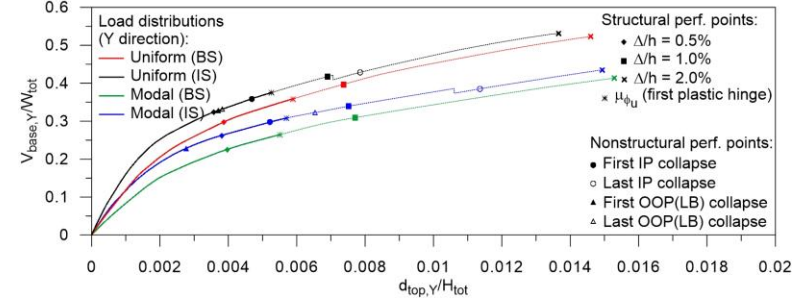
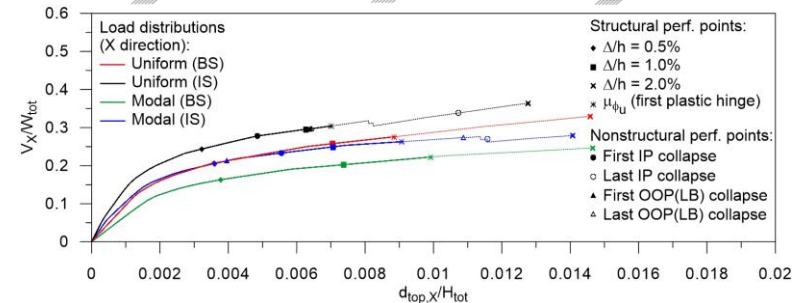
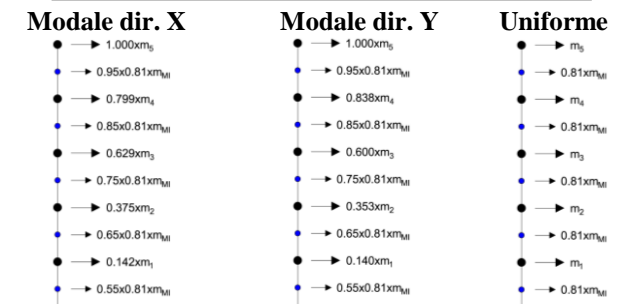


Analisi dinamica non lineare per sismi spettro-compatibili (SDE e BDE): risposta IP ed OOP della tamponatura per le strutture originaria (IS) e adeguata (RIS)



Analisi statica non lineare della struttura originaria nuda (BS) e tamponata (IS), considerando per quest'ultima la risposta non lineare nel piano (IP) e fuori dal piano (OOP) della tamponatura

Distribuzioni di carico orizzontale in elevazione



UR: UNINA-CO

WP15.2: Applicazione ad edifici e ponti (Cap. 7.10.5)

Dispositivi visco-elastici

- nuove formulazioni dei metodi di progetto
- analisi numeriche su varie tipologie strutturali
- analisi di sensitività
- indagini addizionali sulla influenza della componente ricentrante

Nel caso di strutture la cui capacità antisismica fa affidamento sulla duttilità, come quelle progettate secondo le attuali NTC, è utile inserire dispositivi a comportamento fluido-viscoso, come dimostrato dai risultati numerici e sperimentali disponibili, restando comunque di notevole importanza l'effetto ricentrante collaterale.

Ai fini dell' intervento normativo può essere significativo ed utile una indicazione della intensità ottimale dell' apporto dissipativo addizionale, da sommare a quello naturale del materiale strutturale.

Dispositivi fluido-viscosi

- riformulazione dei metodi di progetto NTEM (Norma Target Energy Method) per dispositivi fluido-viscosi
- valutazione della intensità ottimale dell'apporto dissipativo
- formule di progetto
- analisi numeriche su varie tipologie strutturali



Il progetto si basa su approcci che partono da valutazioni di bounds significativi della risposta plastica, del tipo

$$F(u_p, \dot{u}_p) = \frac{u_p^4(t)}{\int_0^t \dot{u}_p^2(\tau) d\tau} \leq \frac{4}{\omega^4} \int_0^t s_o^2(\tau) d\tau$$

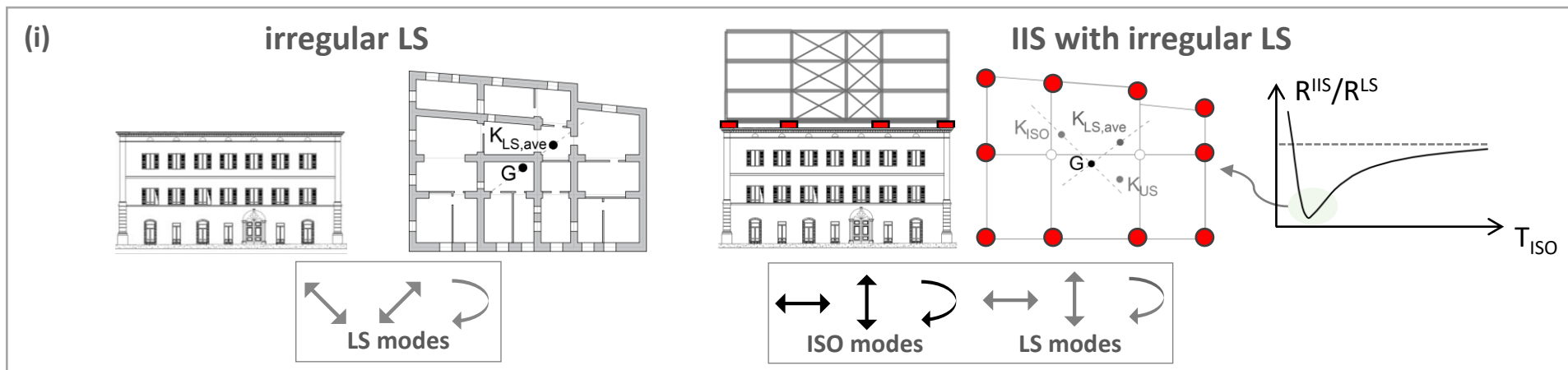
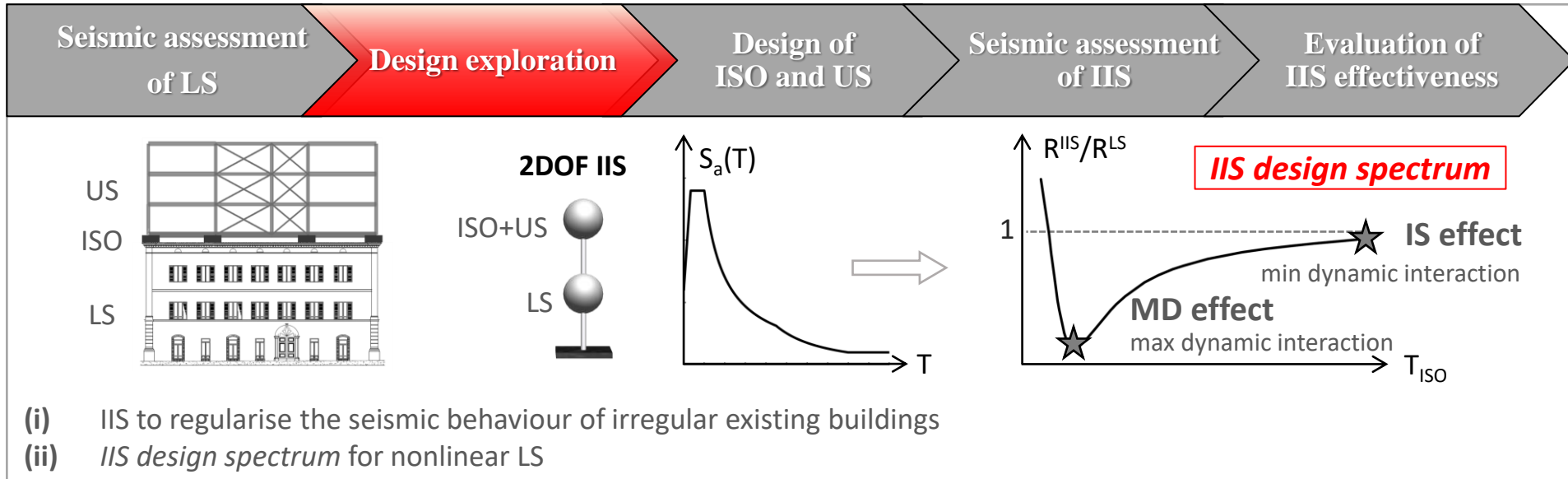
in cui, per time-history in velocità limitate, si verifica la correlazione tra il contenimento del bound a secondo membro e dello spostamento plastico.

UR: UNINA-ME

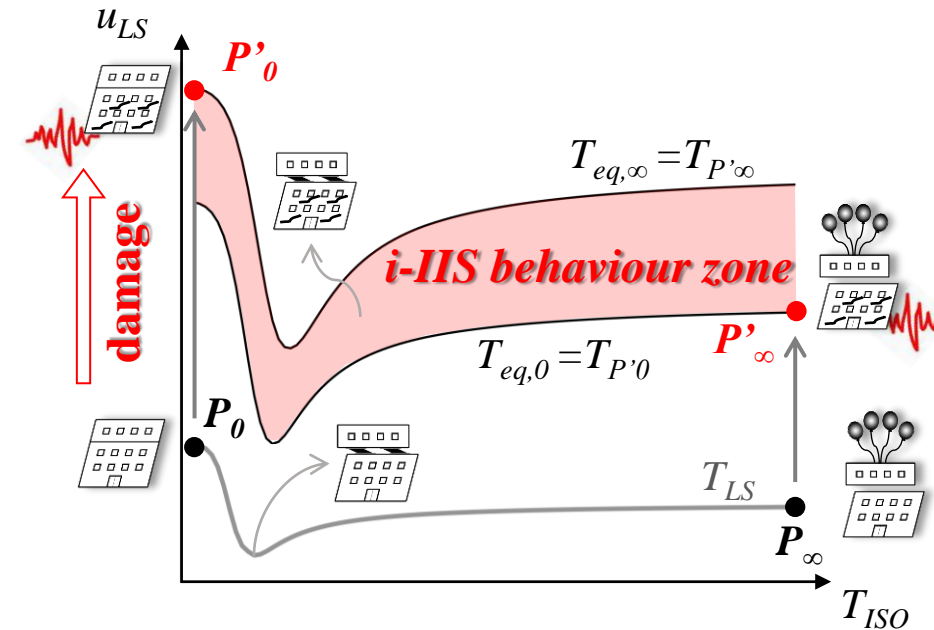
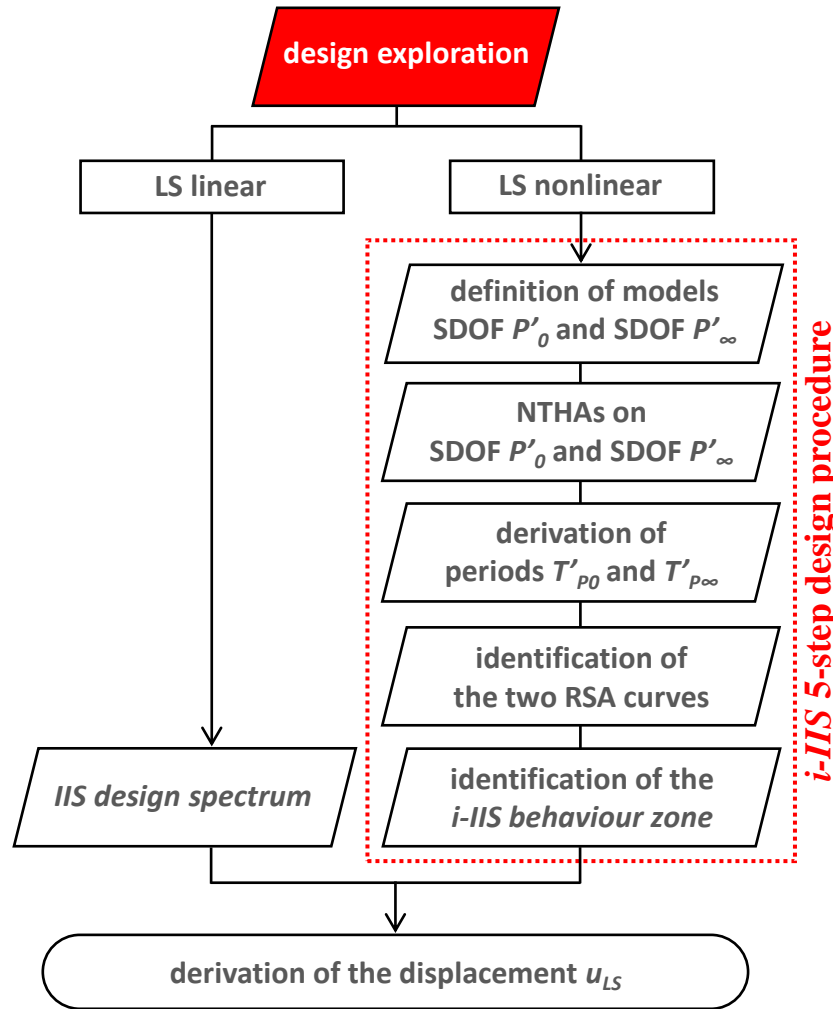
Task 15.2: Applicazione ad edifici (cap. 7.10.5)

INTERMEDIATE ISOLATION SYSTEM (IIS) FOR RETROFITTING EXISTING BUILDINGS

proposed design procedure



(ii) IIS design spectrum for nonlinear LS



the nonlinear displacement of the existing building can be predicted by carrying out nonlin THA on the two SDOF models of P'_0 and P'_∞

PROSPETTIVE DI SVILUPPO

- Necessità di consentire l'utilizzo di sistemi e dispositivi di costo più contenuto rispetto agli attuali e non contemplati dalle norme attraverso la verifica teorica e sperimentale della possibilità di conseguire livelli di sicurezza non inferiori a quelli attuali
- Necessità di definire regole più precise per la manutenzione e gestione dei sistemi di isolamento e dissipazione, in modo da ridurre le incertezze legate all'invecchiamento
- Necessità di formazione dei tecnici interessati ad applicare le strategie di isolamento e di dissipazione di energia, sia alle costruzioni nuove che a quelle esistenti, e di fornitura di assistenza qualificata nell'individuazione delle soluzioni più efficaci nei casi specifici
- Monitoraggio esteso delle costruzioni dotate di sistemi di protezione sismica basati sull'isolamento e/o dissipazione di energia al fine non solo di dimostrare l'efficacia delle soluzioni adottate ma anche di individuare i casi di errata applicazione di tali tecnologie