

# Giornata di Studio:

## Rischio sismico e Prevenzione: scuole, ospedali ed altre strutture

18 maggio 2026

Aula Magna del Campus di Matera, università degli Studi della Basilicata  
Via Lanera, n. 20 – 75100 Matera

### Effetti della componente verticale su strutture isolate



**Prof. Ing. Felice Carlo PONZO**



*Università degli Studi della Basilicata – Potenza*

*Responsabile Scientifico Laboratorio Prove Materiali e Strutture - UNIBAS*

*Membro della Commissione Sismica-GLIS di ANTEL*

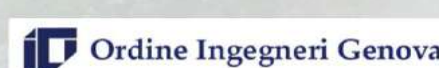
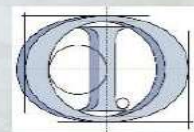
[felice.ponzo@unibas.it](mailto:felice.ponzo@unibas.it), <https://ponzo.unibas.it>

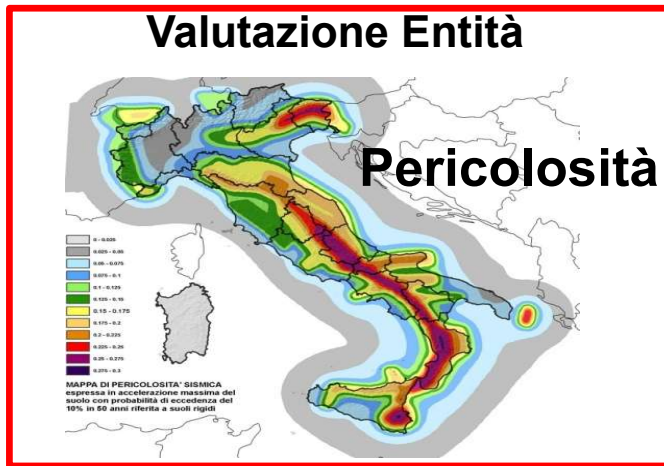


### Con il Patrocinio di:



LARES ITALIA



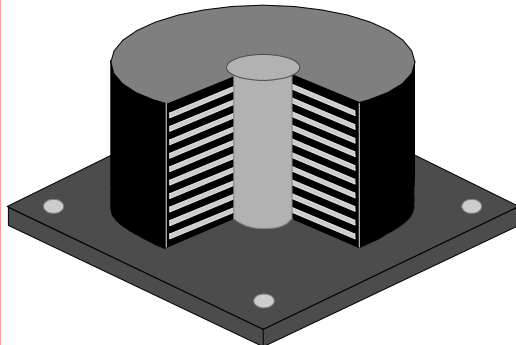


Strategie basate sull'incremento della **RESISTENZA e DUTTILITÀ**



**DOMANDA** < **CAPACITA'**

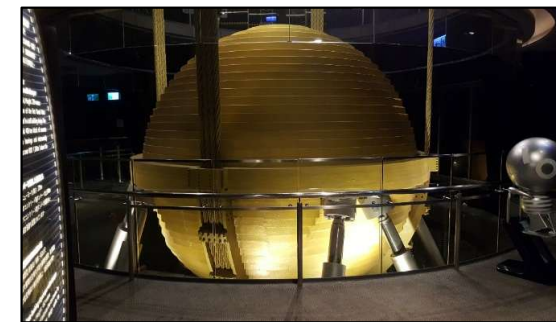
Isolamento sismico



Dissipazione di energia



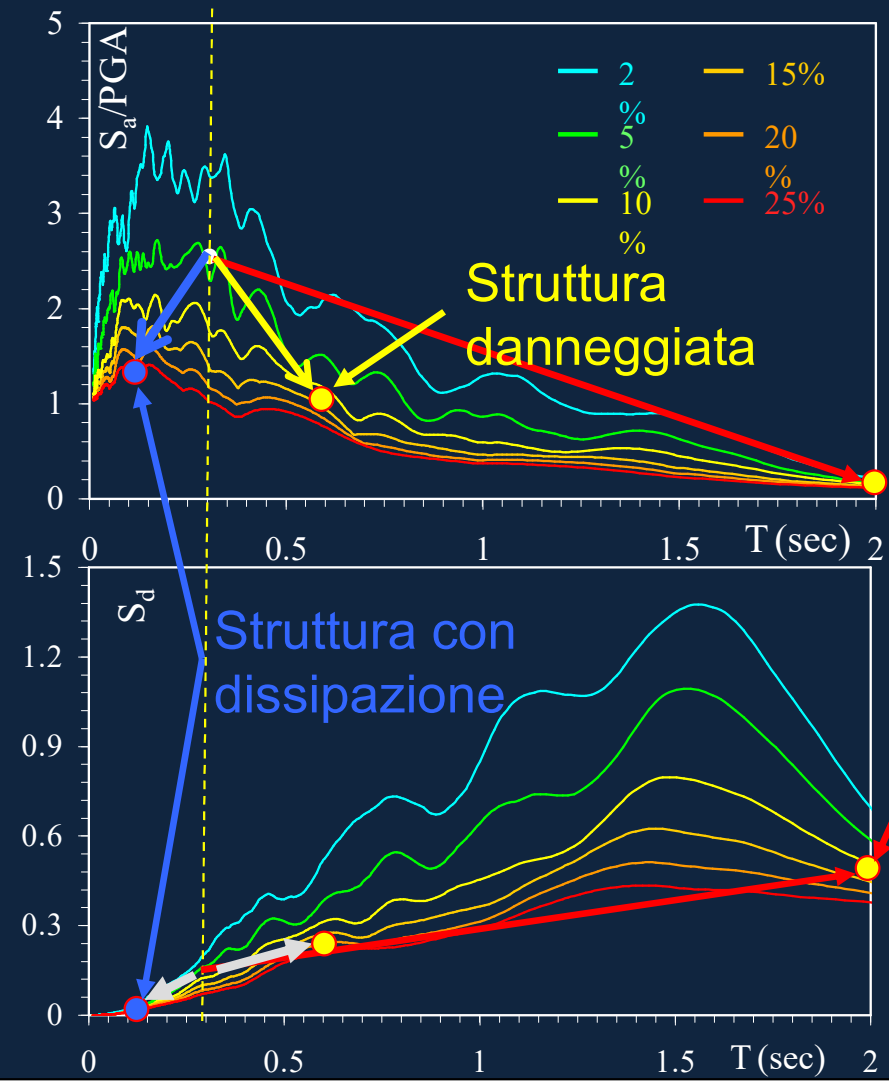
Masse accordate



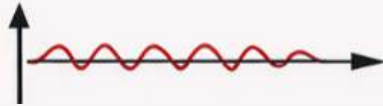
Strategie basate sulla riduzione della domanda

Struttura  
elastica (*sismi  
moderati*)  
 $T_0 = N/12$   
 $\xi = 5\%$

Struttura danneggiata  
(*sismi violenti*)  
 $T = (1.5 \div 2) T_0$   
 $\xi = (15 \div 20) \%$



## Struttura isolata alla base



Minima deformazione della struttura



Isolatori sismici

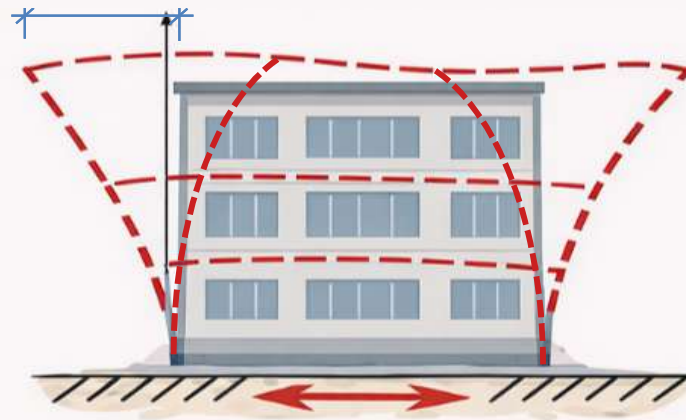
Spostamento piano isolamento

Input sismico: accelerazione vs tempo

## Struttura non protetta



Grande deformazione della struttura



Moto del terreno

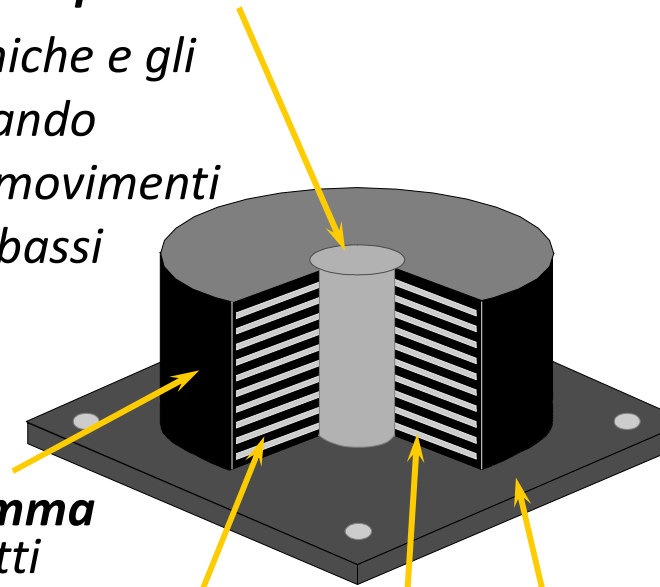


Input sismico: accelerazione vs tempo

## ISOLATORI ELASTOMERICI

### Eventuale Nucleo dissipativo

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

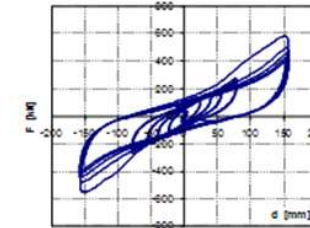


**Rivestimento in gomma**  
a protezione dei piatti di acciaio

**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

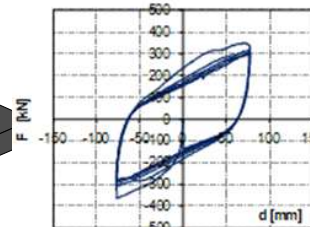


**LDRB:** Low Damp. Rubber Bearing  
**HDRB1:** High Damp. Rubber Bearing  
**HDRB2:** High Damp. Rubber Bearing

→  $\xi_E < 6\%$

→  $6\% < \xi_E < 15\%$

→  $\xi_E > 15\%$



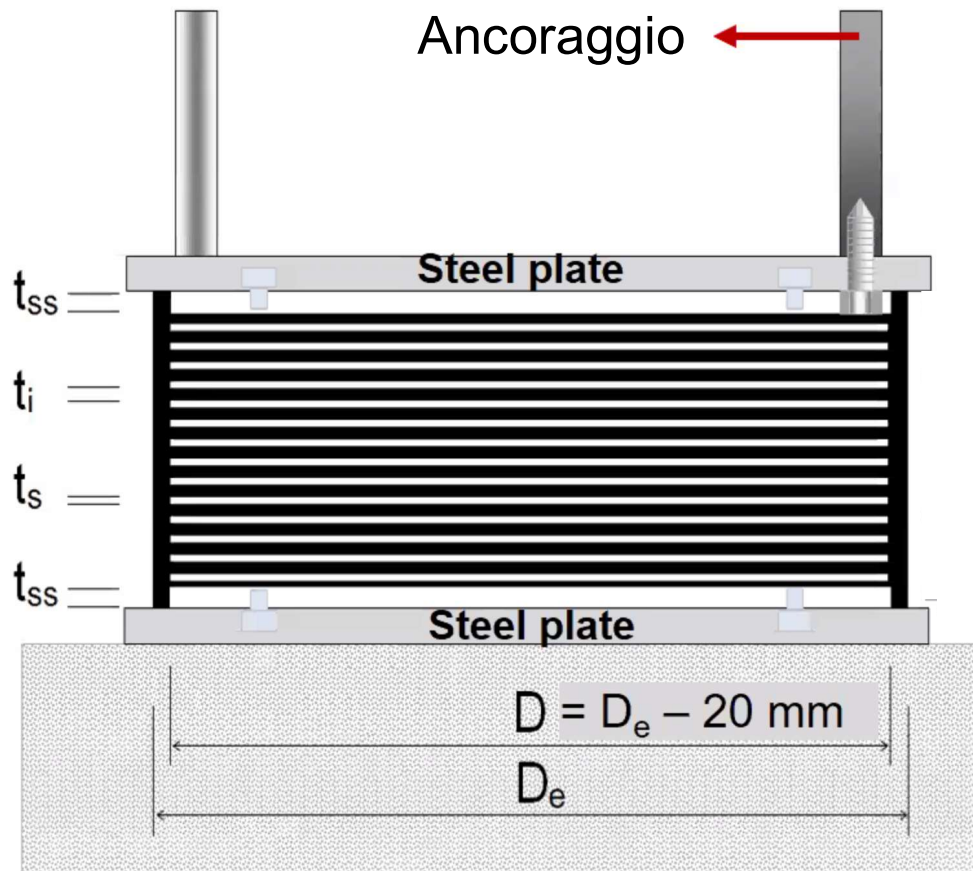
**LRB:** Lead Rubber Bearing  
**PPRB:** Polymer Plugged Rubber Bearings

→  $15\% < \xi_E < 30\%$

→  $\xi_E > 15\%$



## ISOLATORI ELASTOMERICI



Piastra d'acciaio	$t_{ss} = 20 \div 30 \text{ mm}$
Gomma:	$t_i = 4 \div 20 \text{ mm}$
	$t_e = n_g \cdot t_i$
Lamine d'acciaio	$t_s = 2 \div 4 \text{ mm}$

$$A = \pi D_e^2 / 4$$

$$A' = \pi D^2 / 4$$

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

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

$$K_e = G_{din} A / t_e \quad K_v / K_e \approx 1000$$

$$K_v = E_c A' / t_e$$

$$E_c = \left( 1 / (6G_{din} S_1^2) + 4 / (3E_b) \right)^{-1}$$

$E_b$ : modulo di compressibilità volumetrica gomma  
(Circa 2000MPa)

$$0,35 < G_{din} < 1,50 \text{ MPa}$$

$$L = \pi \cdot D \cdot t_i$$

Fattore di Forma  
Primario

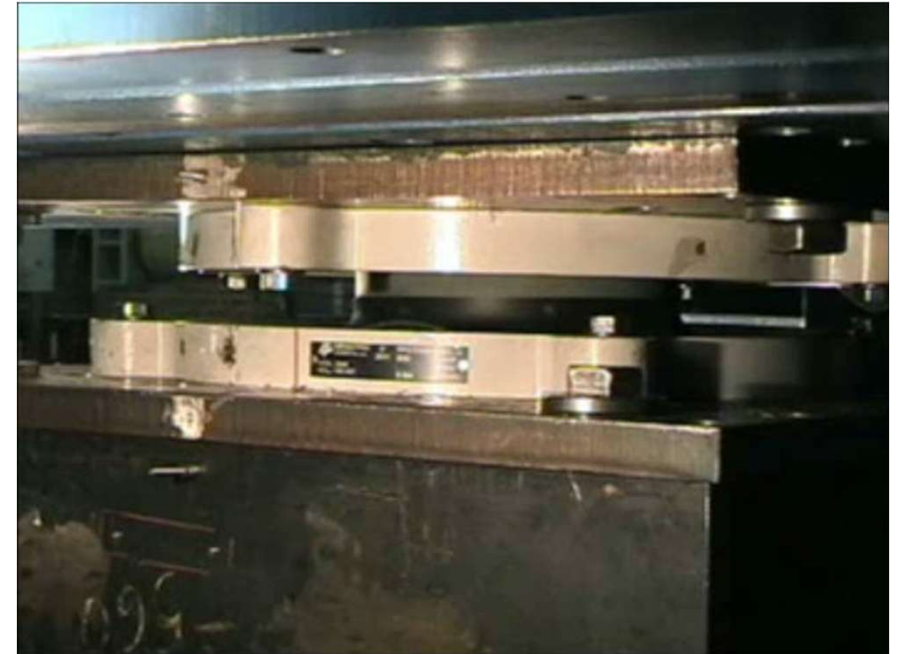
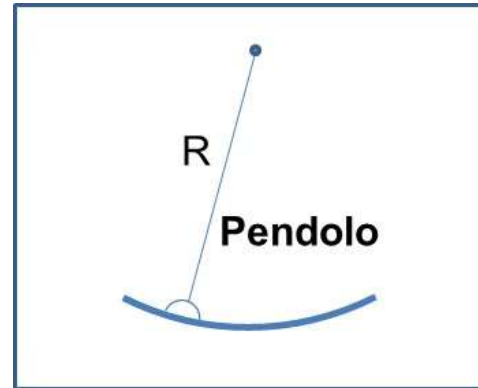
Fattore di Forma  
secondario

Si consiglia che **S1** ed **S2** siano **non** inferiori a **12** e a **3** rispettivamente per limitare la deformabilità verticale degli isolatori e il rischio che non sia soddisfatta la verifica all'instabilità

## ISOLATORI ATTRITIVI A SUPERFICI DI SCORRIMENTO CURVE

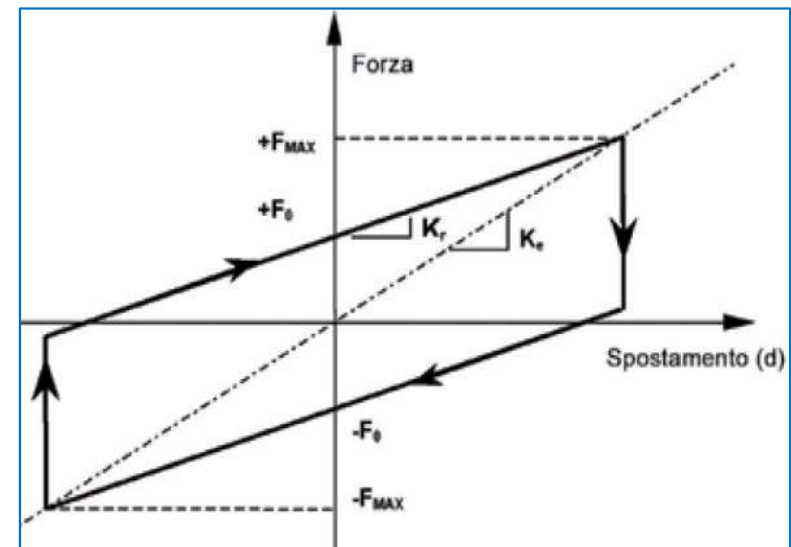
### REQUISITI FUNZIONALI

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



$$F_{max} = \mu \cdot N_{SD} + \frac{N_{SD} \cdot d_{bd}}{R} \quad K_{eff} = \frac{N}{R} + \mu \frac{N}{d_0}$$

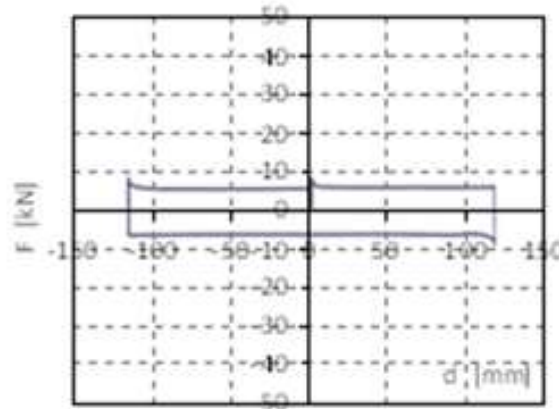
$$\xi_{eff} = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{1}{\frac{d_{bd}}{\mu \cdot R} + 1} \quad T_{eff} = 2\pi \sqrt{\frac{R \cdot d_0}{g(d_0 + \mu R)}}$$



## ISOLATORI ATTRITIVI A SUPERFICI DI SCORRIMENTO PIANE



Isolatore a scorrimento Acciaio – PTFE



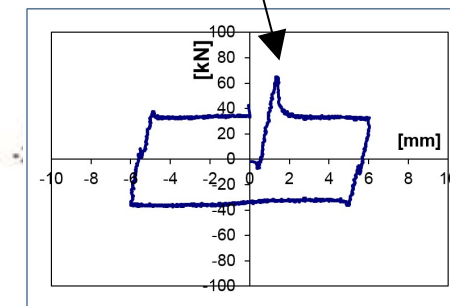
### REQUISITI FUNZIONALI

- 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



Dispositivo a scorrimento Acciaio – PTFE : Prova di qualificazione.

### Forza d'attrito di primo distacco



# INSITU TESTING

GEOMETRIC AND CONSTRUCTION DETAIL SURVEY

MATERIAL CHARACTERIZATION

MONITORING AND DIAGNOSIS

DYNAMIC IDENTIFICATION

DAMAGE DETECTION

SNAP-BACK TESTING



## SNAP-BACK TESTING

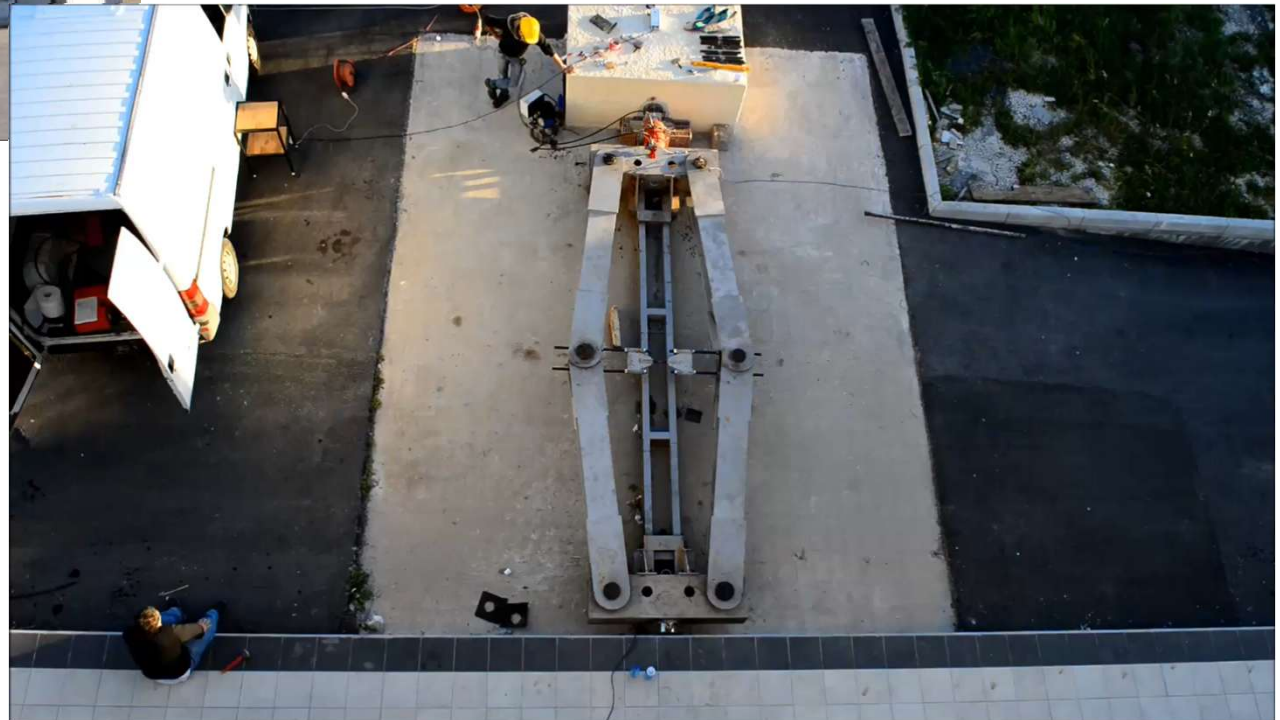


Snap-back testing of a base isolated building - Italy, Augusta, 2013



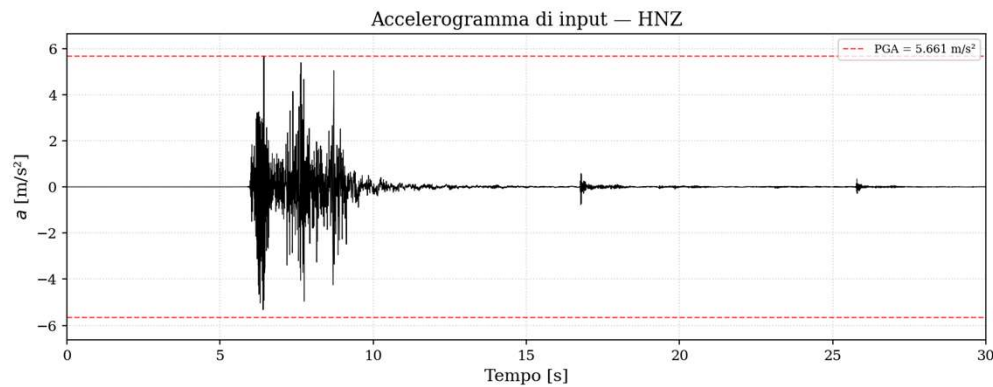
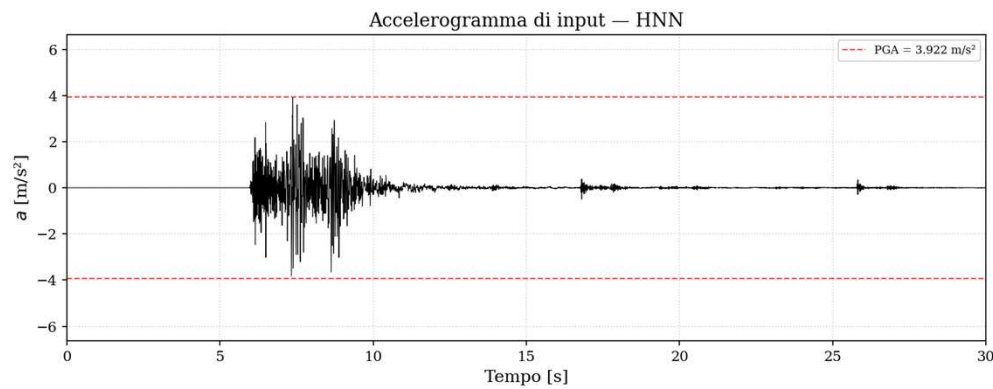
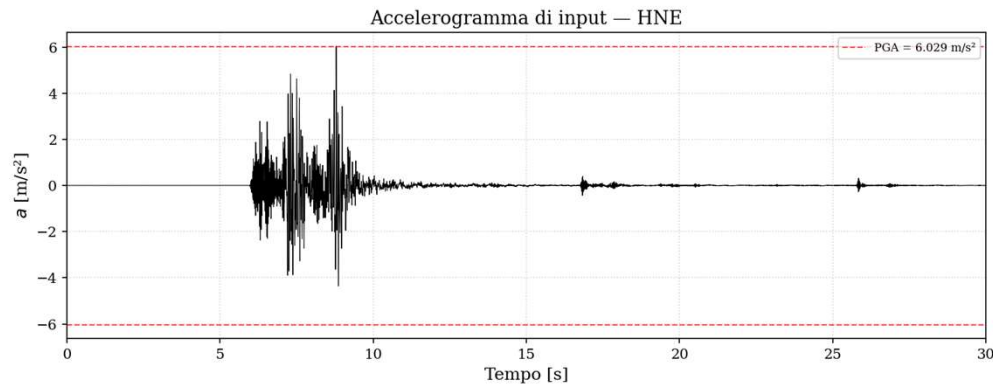
## Base isolated R/C Building School building in Augusta (SR)

### Snap back tests (2013)

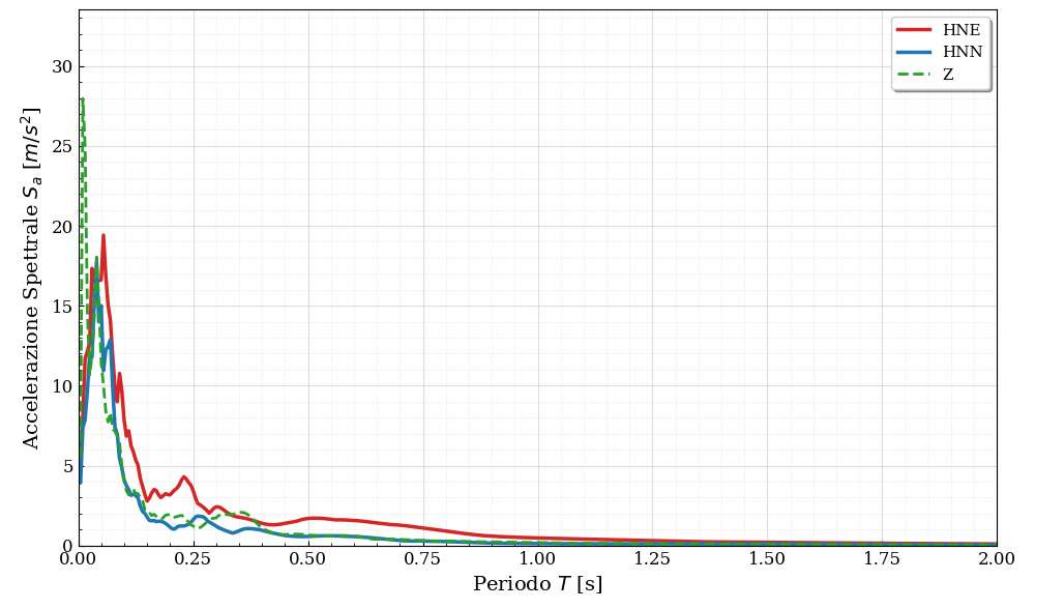
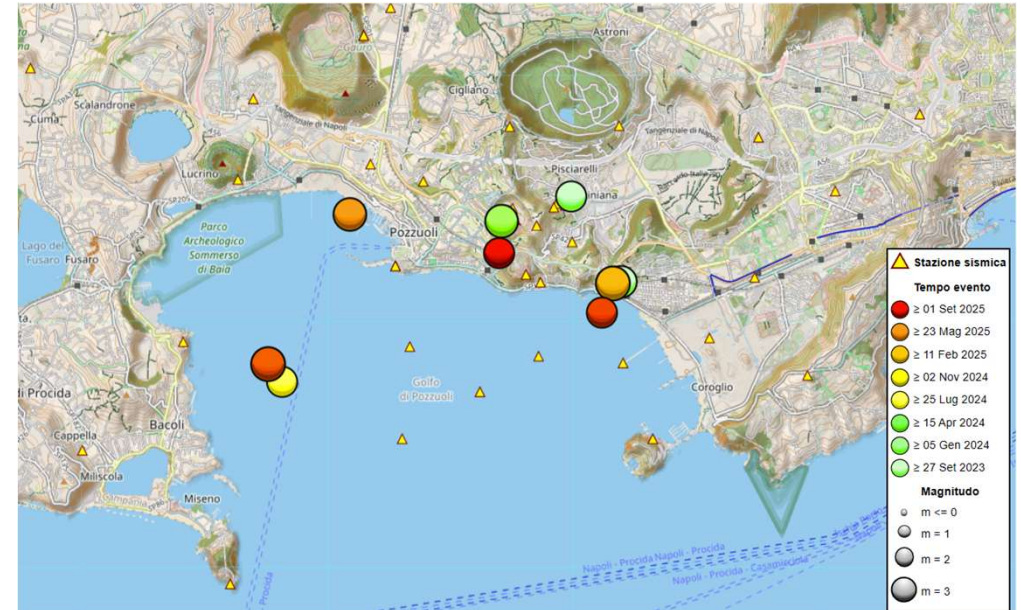


- Athanasίου A., Oliveto G., Ponzio F.C. (2017). [Baseline correction of digital accelerograms from field testing of a seismically isolated building](https://doi.org/10.1193/022817EQS040M). Earthquake Spectra. Doi [http://doi.org/10.1193/022817EQS040M](https://doi.org/10.1193/022817EQS040M)
- Athanasίου 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](https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2020.106178). SOIL DYNAMICS AND EARTHQUAKE ENGINEERING, vol. 135, ISSN: 0267-7261, doi: 10.1016/j.soildyn.2020.106178.

## Registrazione della stazione COLB - Bagnoli - 13 Marzo 2025

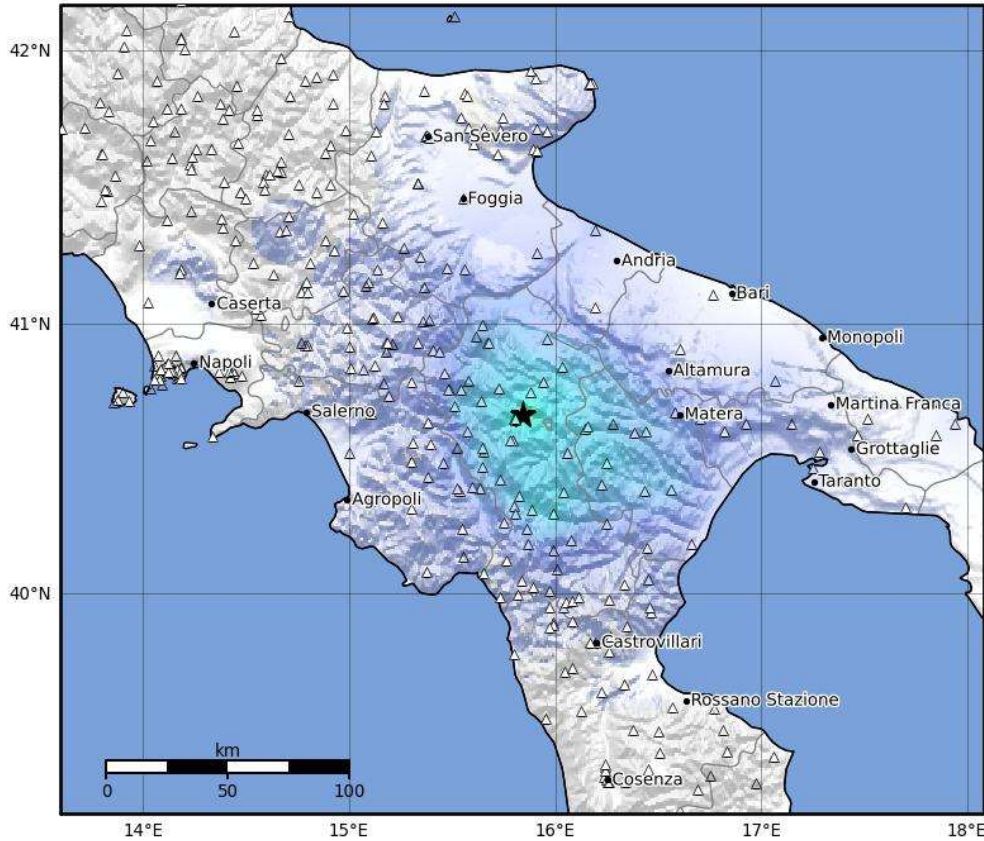


## Eventi sismici con $M_D \geq 4.0$ a partire dal 22/09/2023

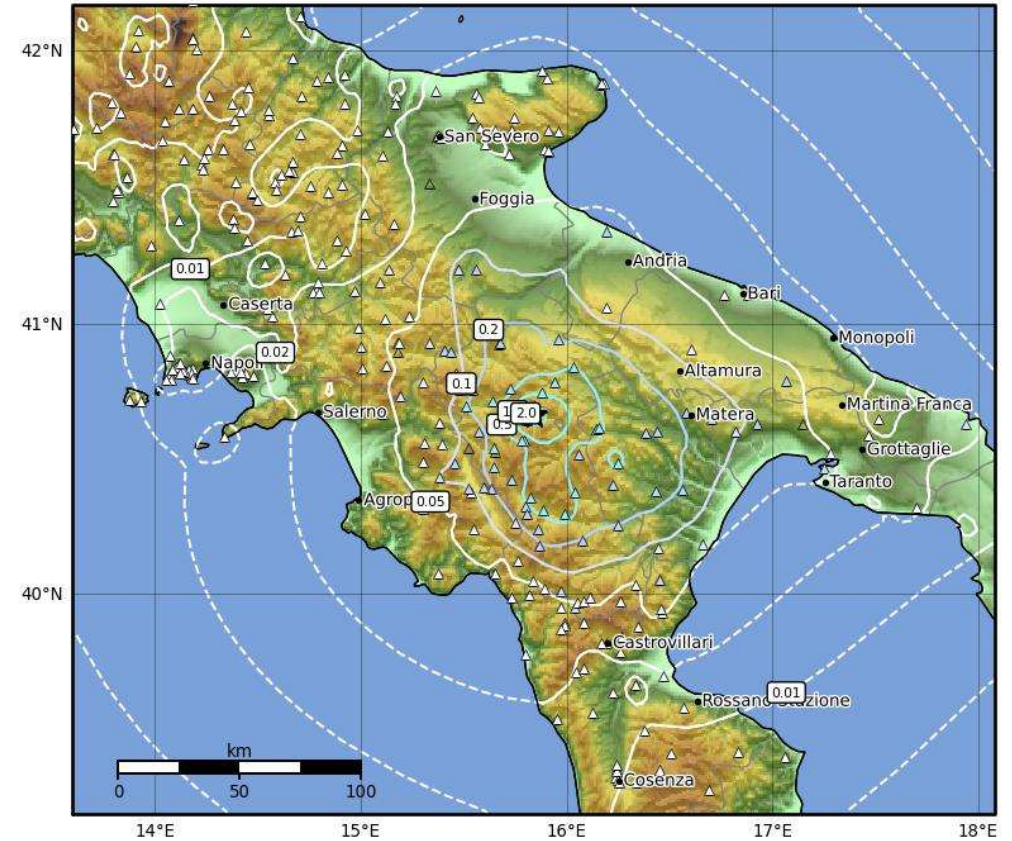


## Mainshock - 18 marzo 2025 - Mw = 4.2 Potenza

Macroseismic Intensity Map INGV  
ShakeMap: 4 km NE Potenza (PZ)  
Mar 18, 2025 09:01:25 UTC M4.2 N40.66 E15.84 Depth: 13.1km ID:41973812



Peak Ground Acceleration Map INGV  
ShakeMap: 4 km NE Potenza (PZ)  
Mar 18, 2025 09:01:25 UTC M4.2 N40.66 E15.84 Depth: 13.1km ID:41973812



SHAKING	Not felt	Weak	Light	Moderate	Strong	Very strong	Severe	Violent	Extreme
DAMAGE	None	None	None	Very light	Light	Moderate	Moderate/heavy	Heavy	Very heavy
PGA(%g)	<0.0555	0.232	1.21	3.38	7.46	14.5	26.1	44.4	>72.3
PGV(cm/s)	<0.0178	0.0939	0.686	2.08	5.06	10.9	21.6	40.3	>71.7
INTENSITY	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X+

Scale based on Oliveti Faenza Michelini (2022)  
△ Seismic Instrument ○ Reported Intensity

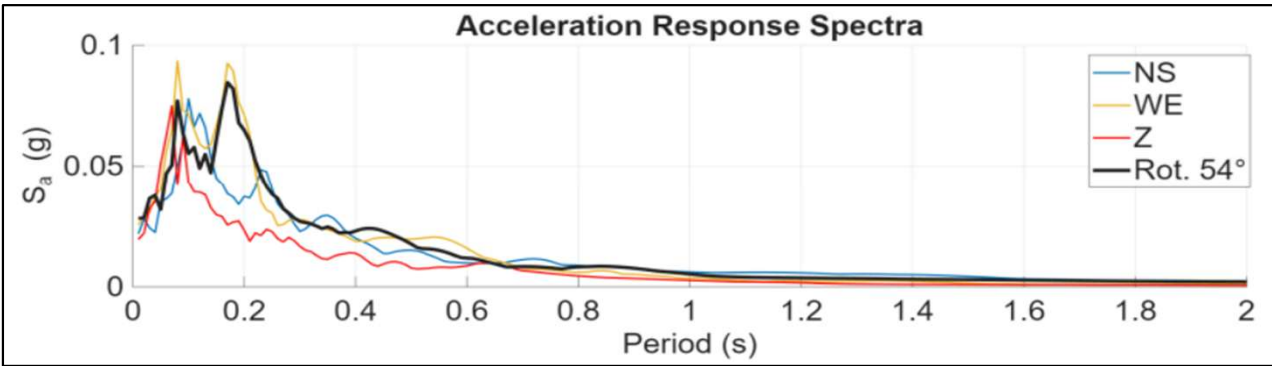
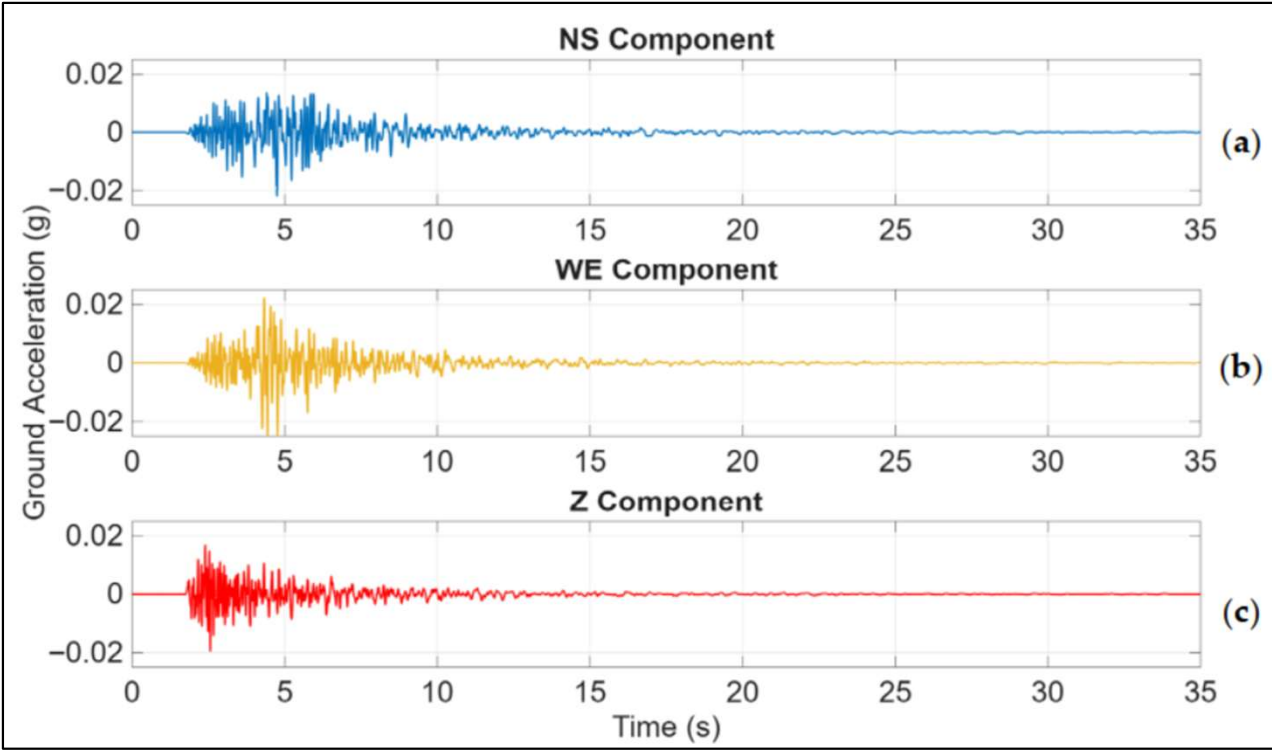
Version 13: Processed 2025-05-19T09:39:28Z  
★ Epicenter

PGA (%g)	0.1	0.2	0.5	1	2	5	10	20	50	100
----------	-----	-----	-----	---	---	---	----	----	----	-----

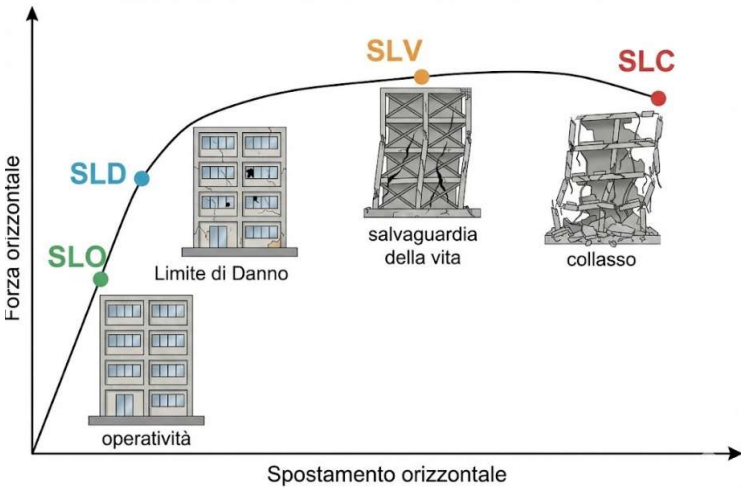
Scale based on Oliveti Faenza Michelini (2022)  
△ Seismic Instrument ○ Reported Intensity

Version 13: Processed 2025-05-19T09:39:28Z  
★ Epicenter

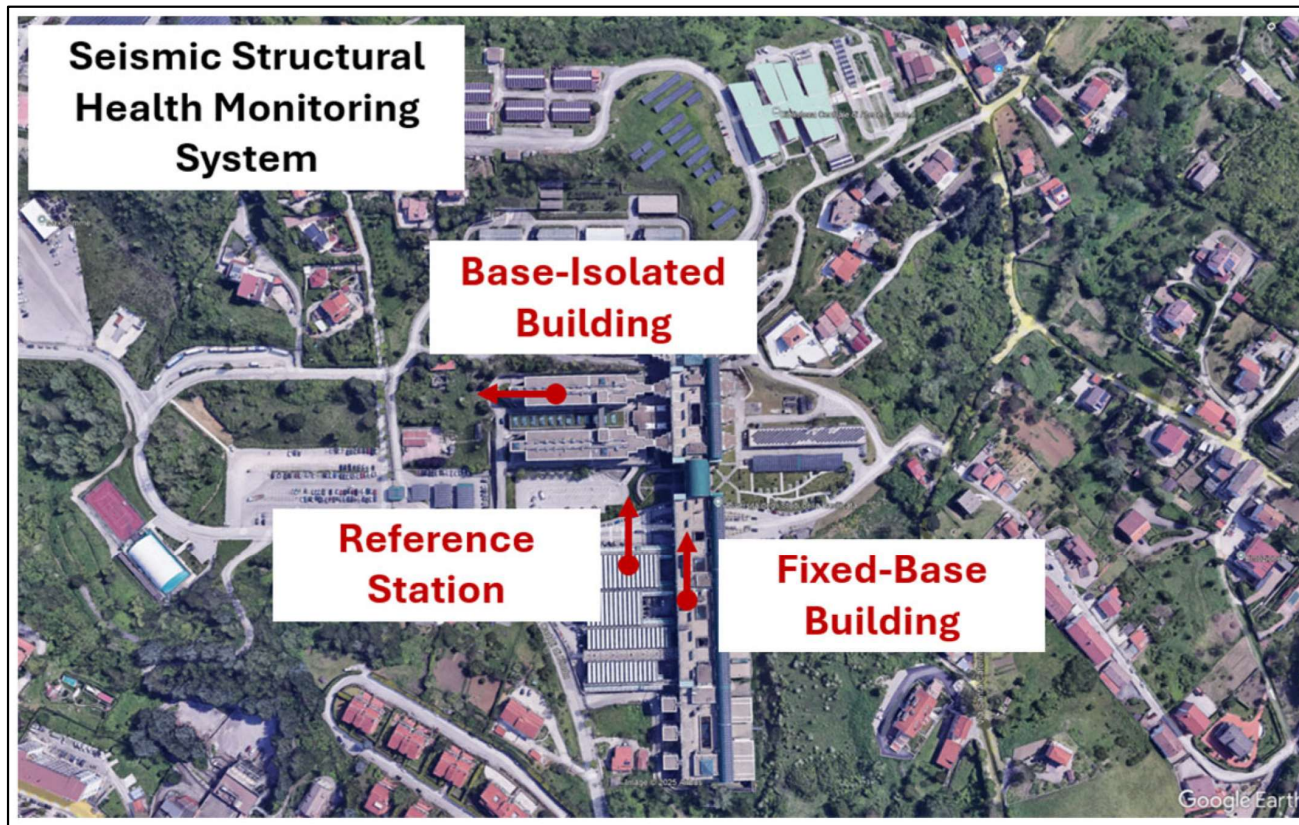
# Mainshock - 18 marzo 2025 - Mw = 4.2 Potenza



SEISMIC HAZARD PARAMETERS				
LIMIT STATE	Ts	a <sub>g</sub> /g	F <sub>0</sub>	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



## Struttura isolata con soli isolatori elastomerici



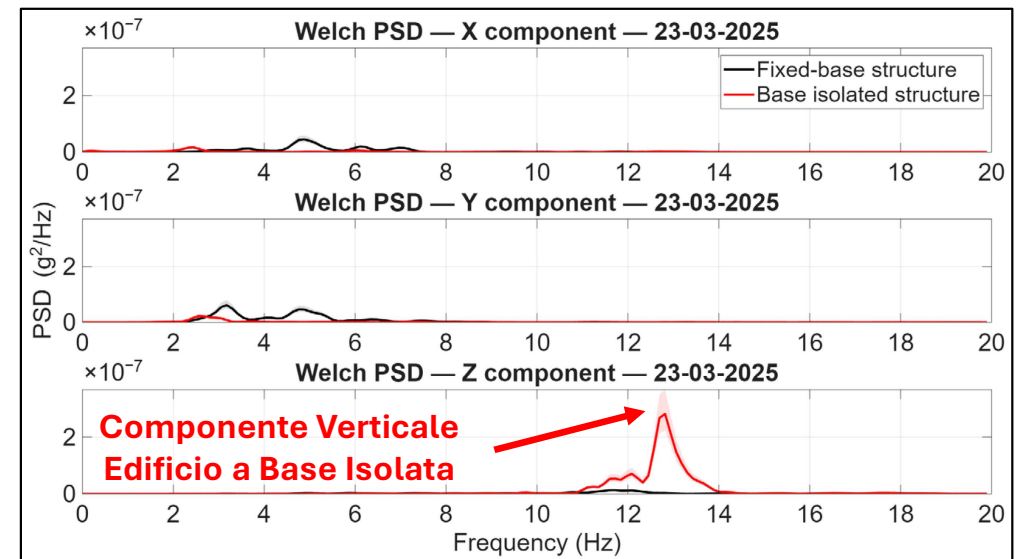
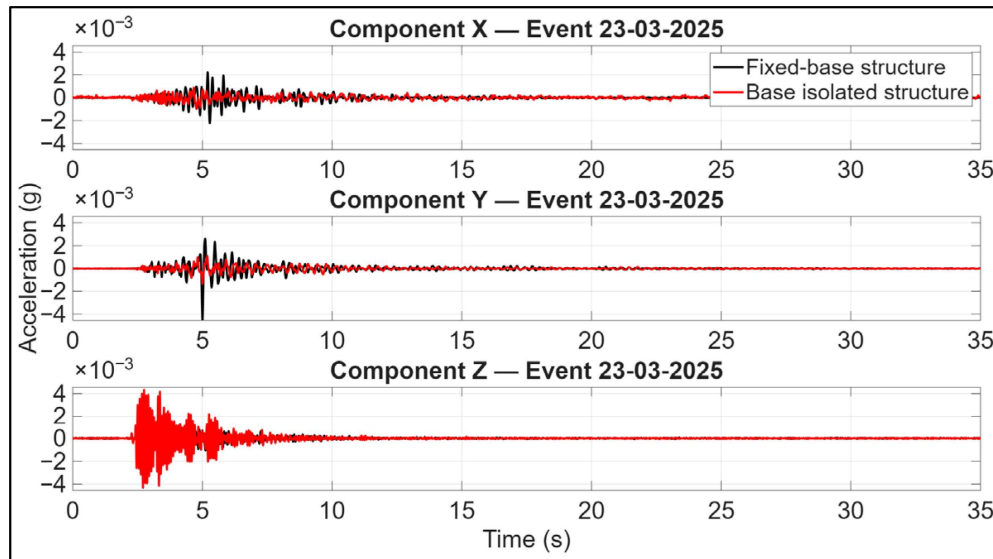
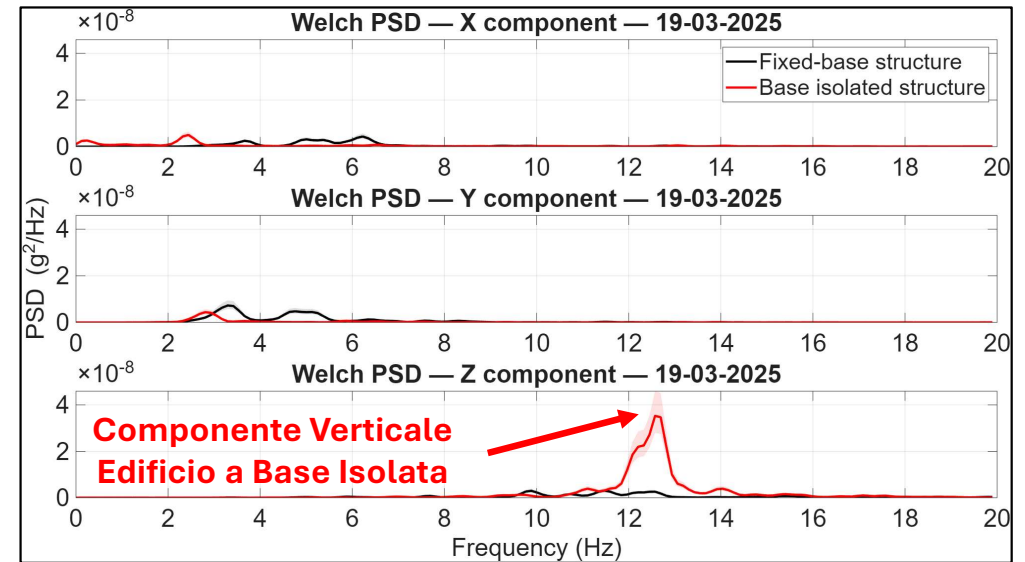
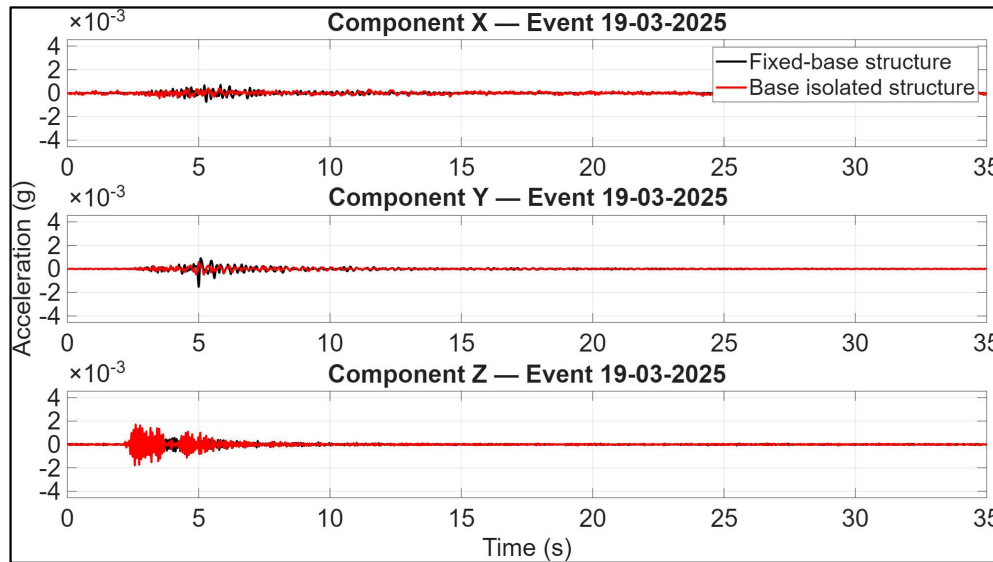
## Stazione accelerometrica triassiale tipo force balance

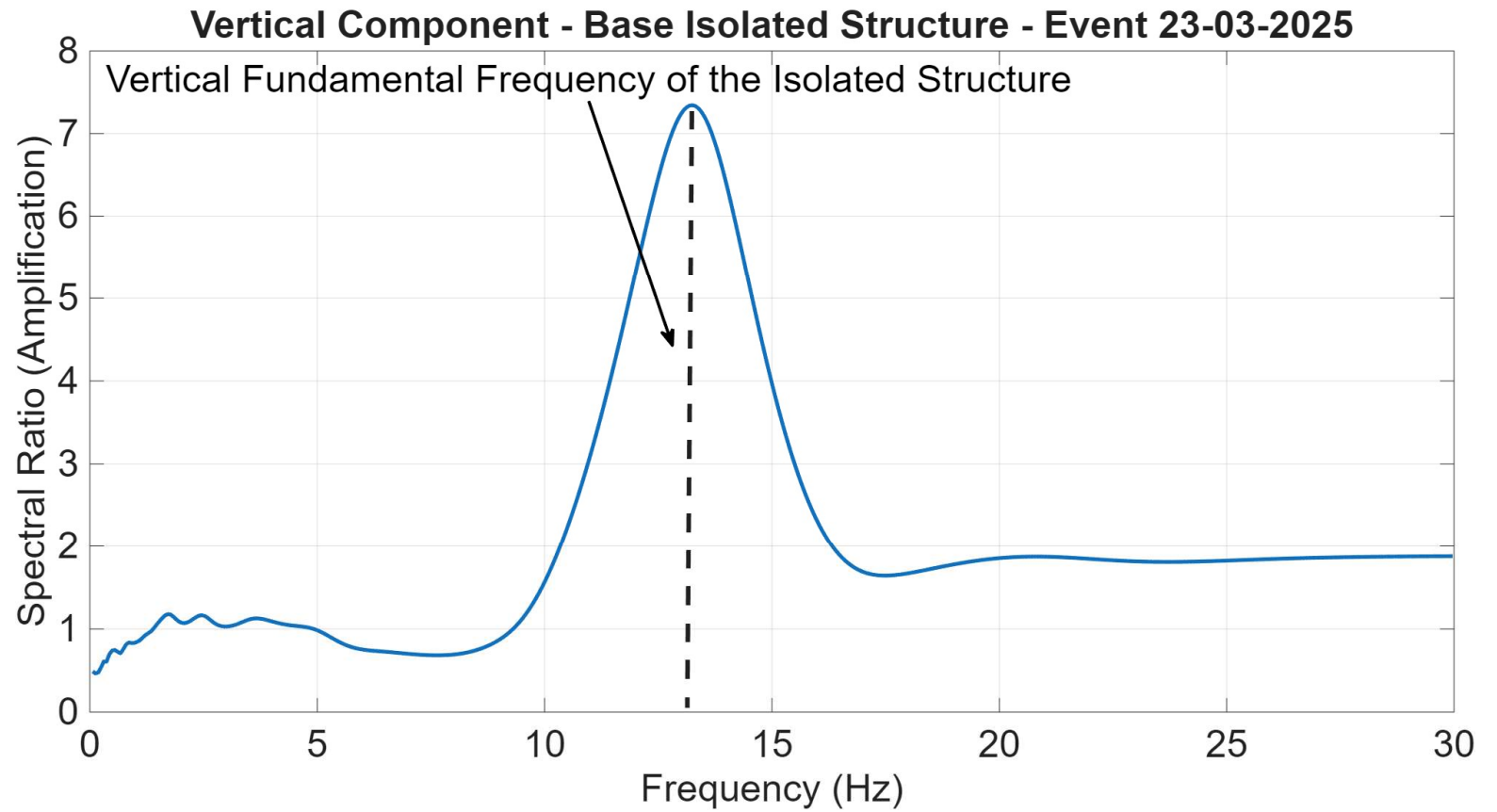
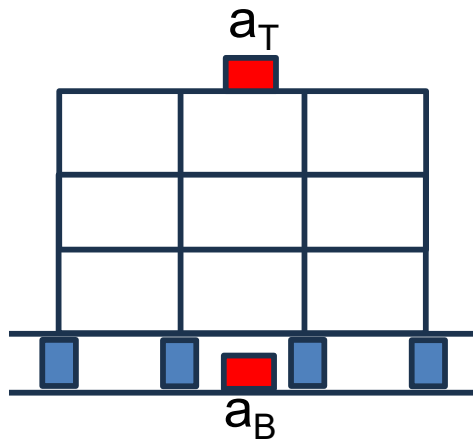


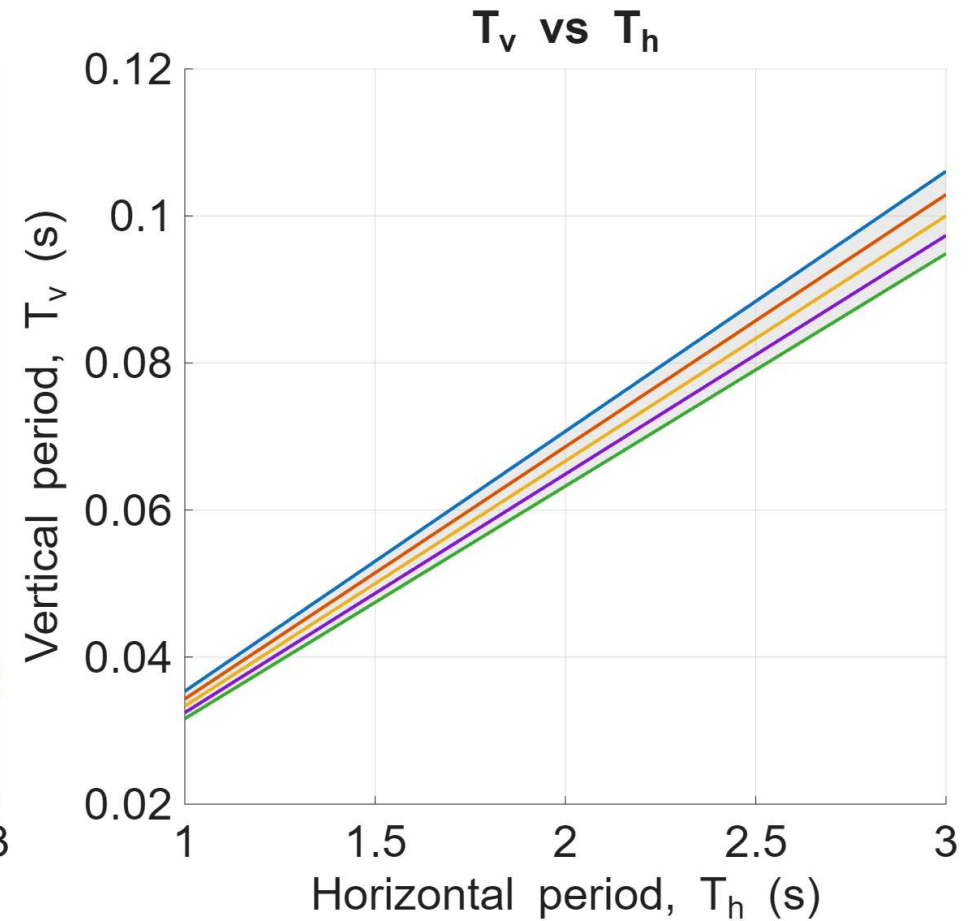
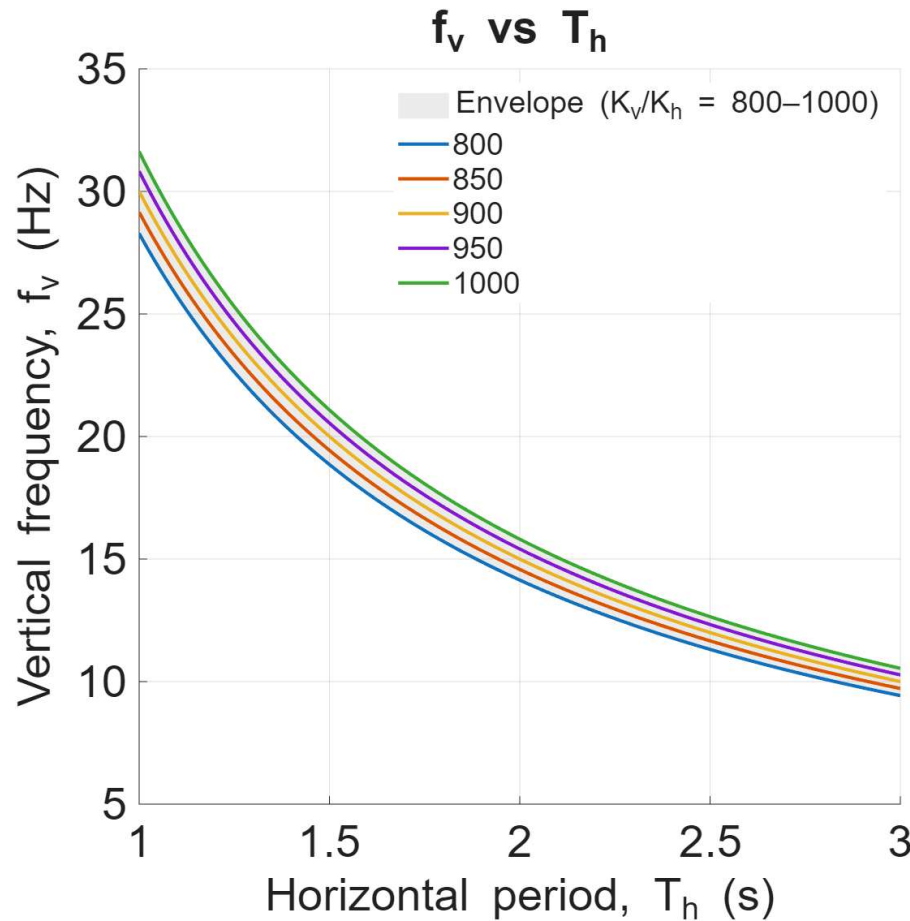
## Aftershocks

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

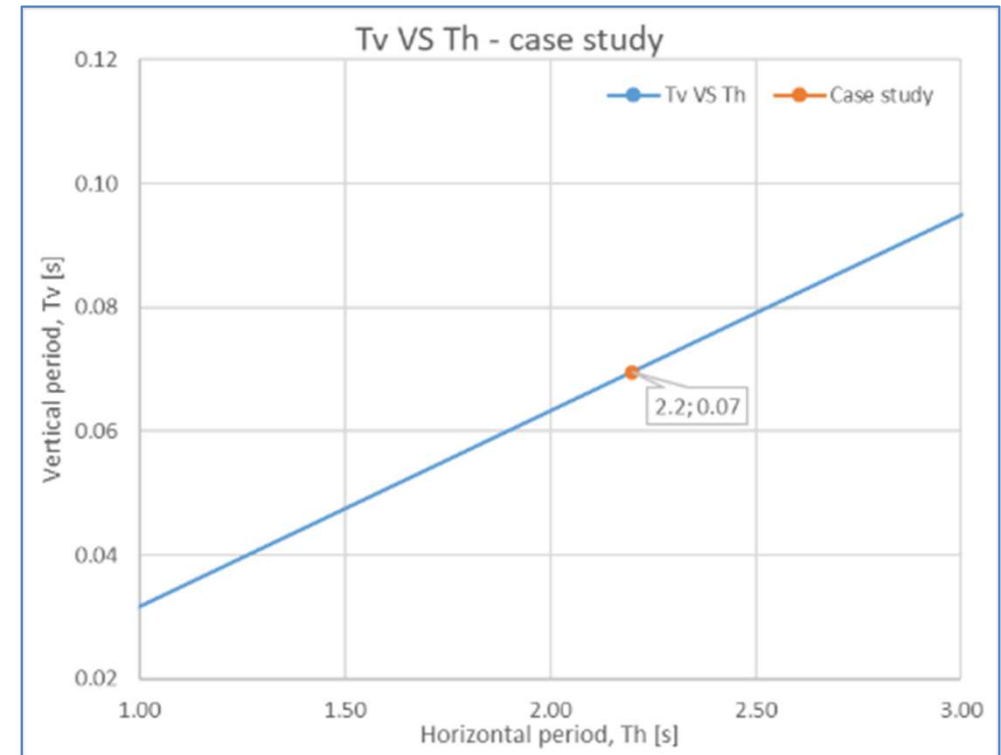
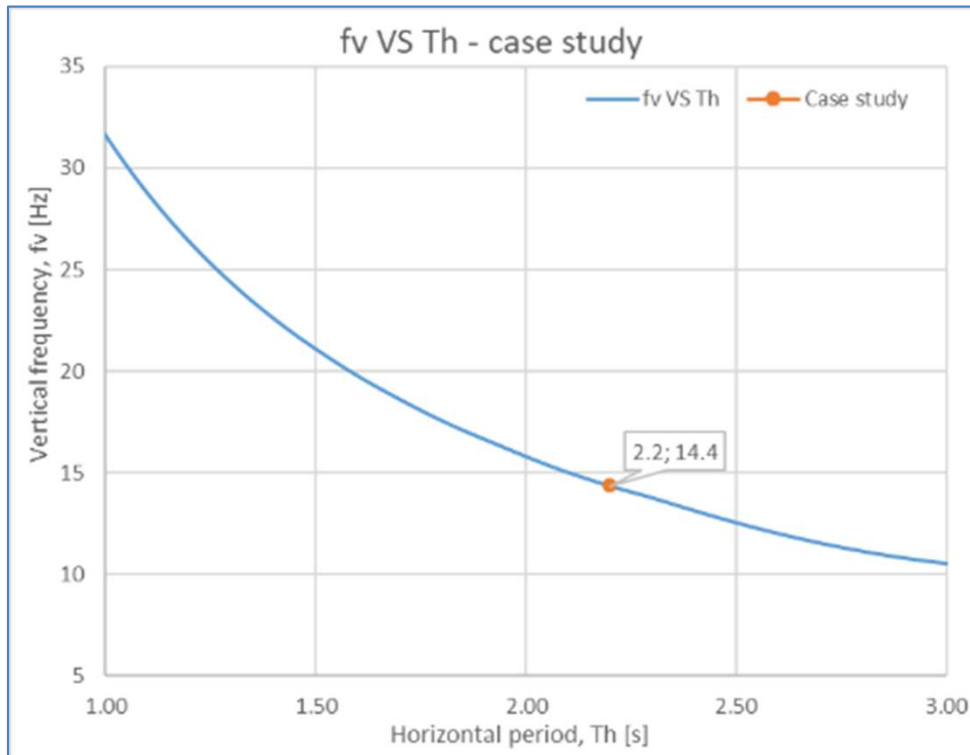
## Registrazioni accelerometrica degli aftershocks del 19 e 23 marzo 2025







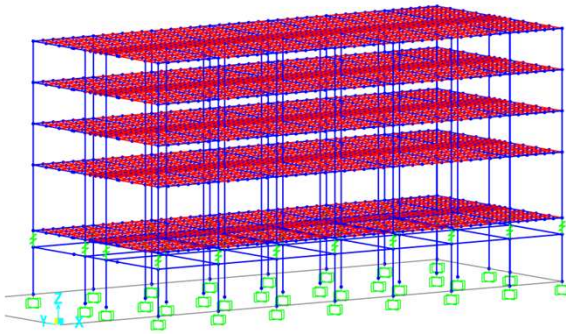
Abaco semplificato per la stima speditiva della frequenza fondamentale di oscillazione verticale del sistema isolato, a partire dal periodo fondamentale di oscillazione orizzontale e dal rapporto tra rigidezza verticale e rigidezza orizzontale dei dispositivi di isolamento



Applicazione della formula del periodo per un sistema a un grado di libertà, assumendo un rapporto tra rigidità verticale e orizzontale pari a 1000. La figura è valida nell'ipotesi che la massa partecipante resti invariata nelle direzioni orizzontale e verticale, approssimazione accettabile in prima istanza per edifici isolati alla base. È inoltre indicato il punto corrispondente al periodo del caso studio riportato nella relazione di calcolo strutturale

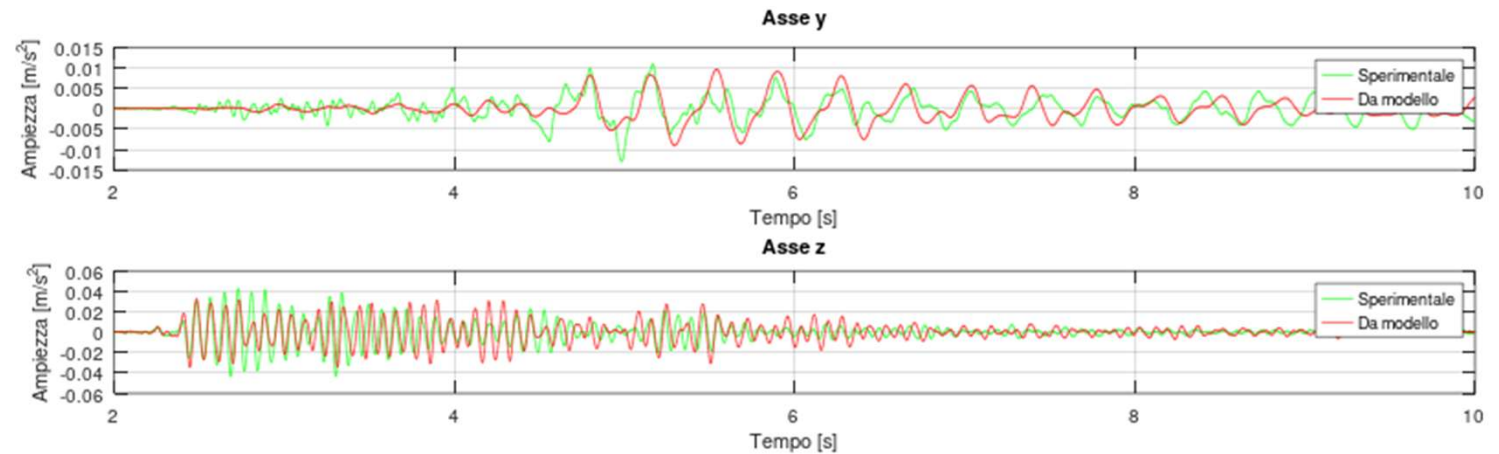
## Analisi parametriche modello di edificio isolato e confronto con risultati sperimentali relativi al terremoto del 23.03.2025

**Modello numerico  
calibrato Edificio  
Isolato**

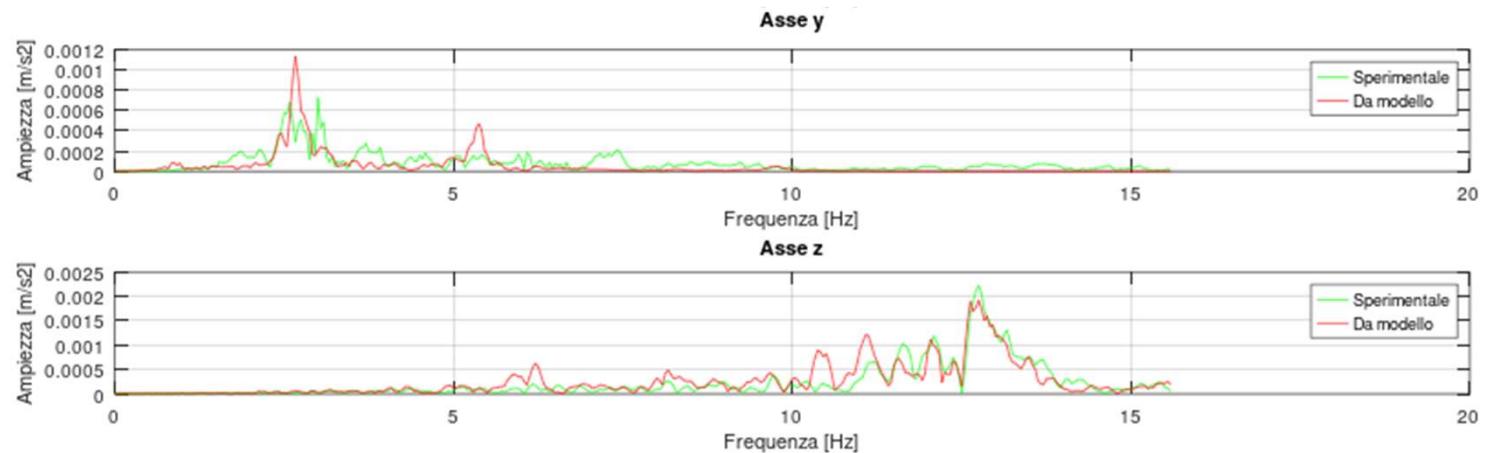


$\xi=0,15$  a 0.5 Hz

### Accelerazioni nel tempo

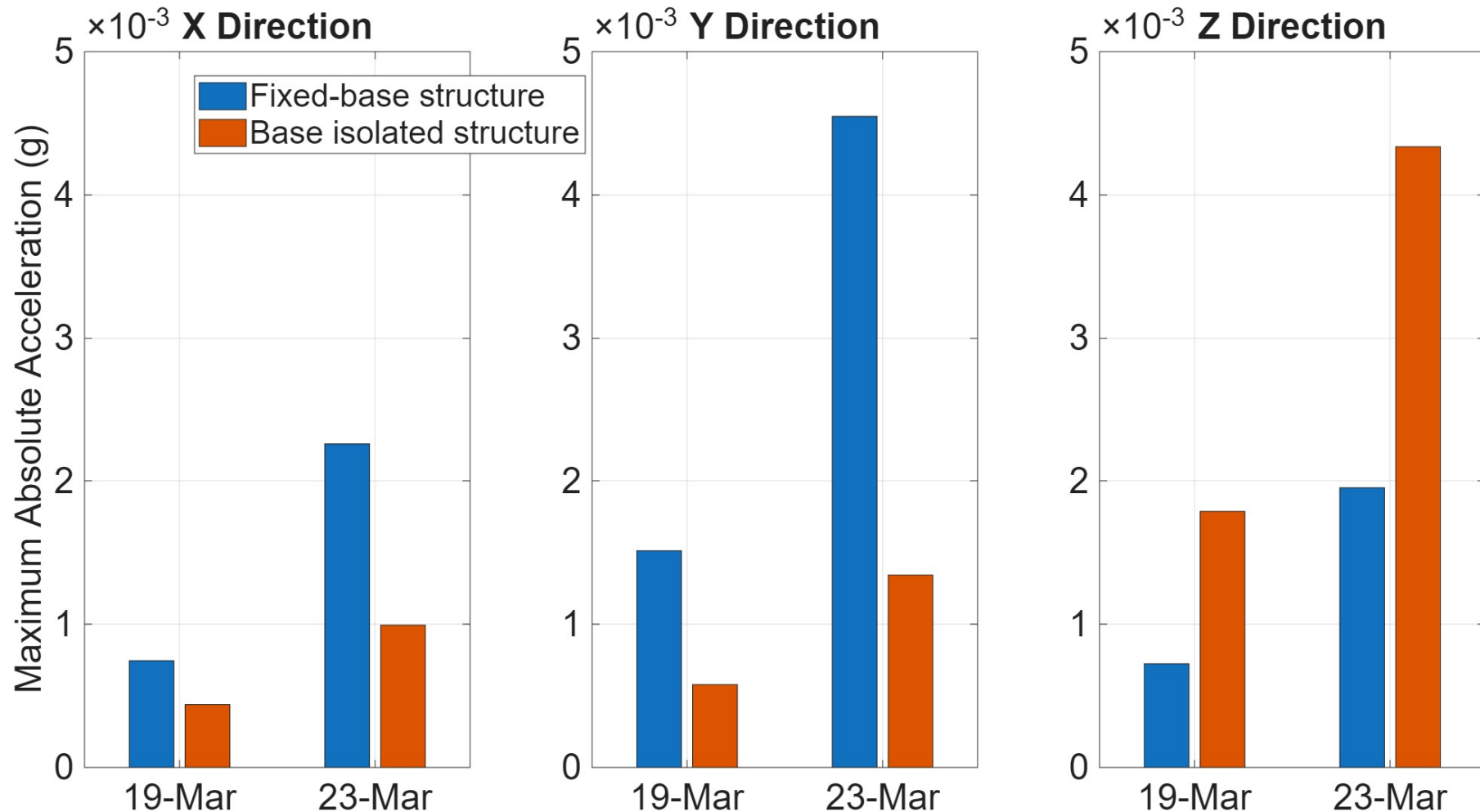


### Spettri in frequenza

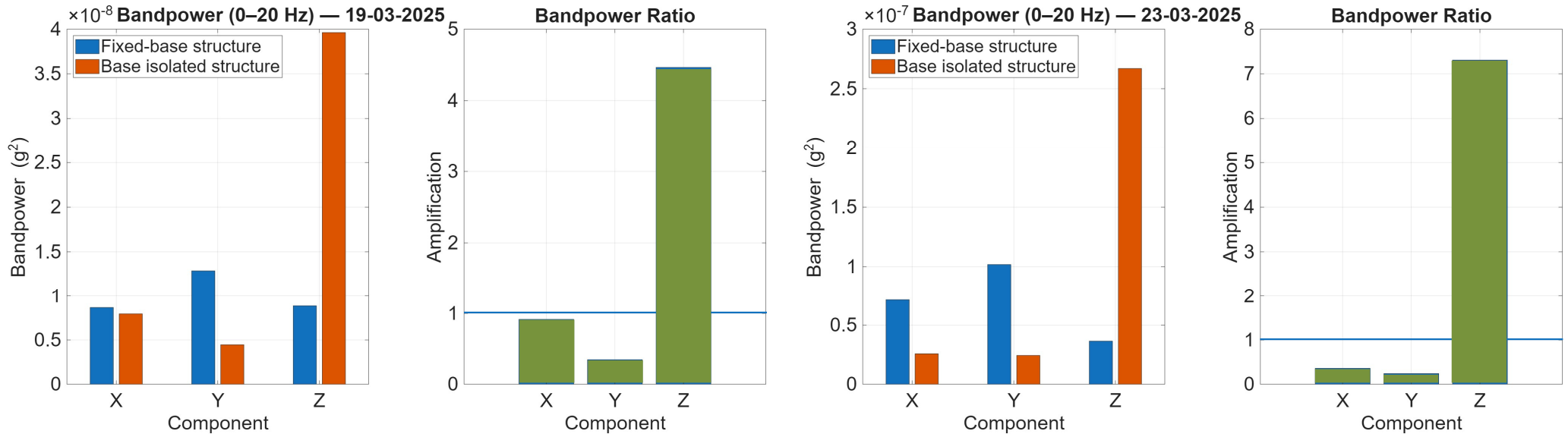


## Modello numerico calibrato Edificio Isolato

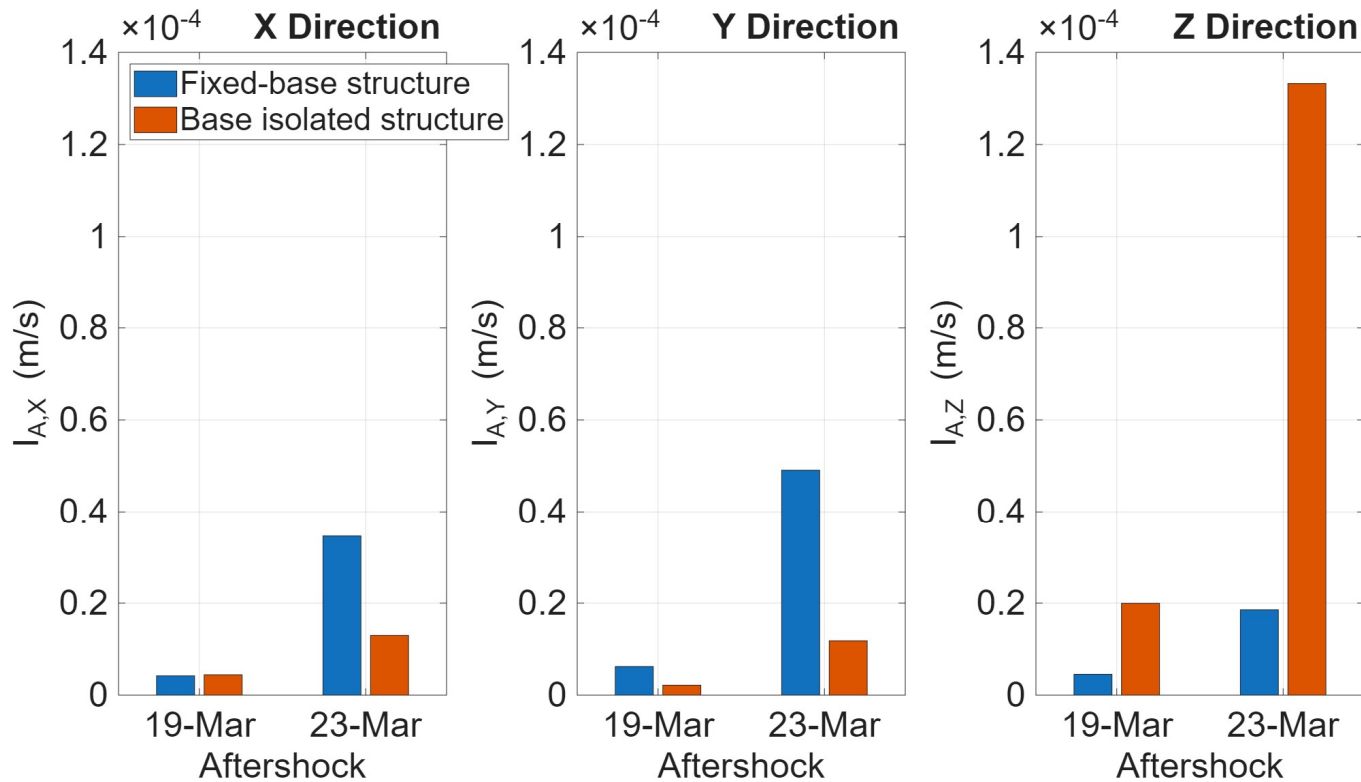
### - Analisi parametriche e confronto tra edificio isolato e a base fissa -



Accelerazione assoluta massima registrata in testa alla struttura isolata alla base e alla struttura a base fissa durante le repliche del 19 e del 23 Marzo 2025.



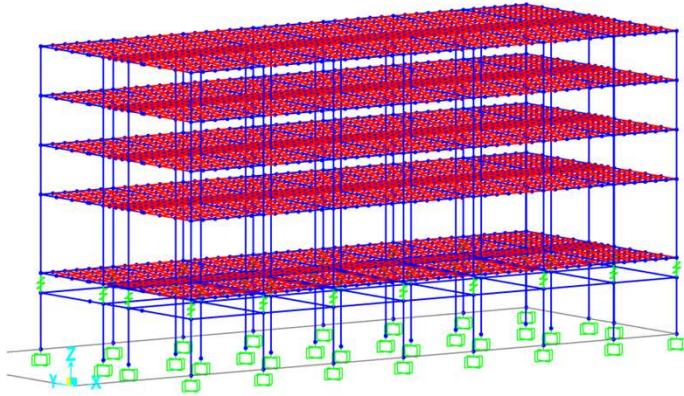
**Potenza di banda** della risposta accelerometrica in sommità per le repliche del 19 e 23 marzo 2025, calcolata integrando la PSD di Welch nell'intervallo 0–20 Hz per le componenti X trasversale, Y longitudinale e Z verticale, sia nell'edificio a base fissa sia in quello isolato alla base. A destra è riportato il rapporto tra le potenze di banda dell'edificio isolato e di quello a base fissa, evidenziando attenuazioni o amplificazioni dell'energia vibratoria nelle diverse componenti.



**Intensità di Arias** della risposta accelerometrica in sommità degli edifici gemelli a base fissa e isolati alla base, durante le repliche del 19 e 23 marzo 2025. I risultati, riferiti alle componenti X trasversale, Y longitudinale e Z verticale, forniscono una misura energetica complessiva della severità dello scuotimento, evidenziando nella configurazione isolata una riduzione della domanda orizzontale e un'amplificazione della risposta verticale.

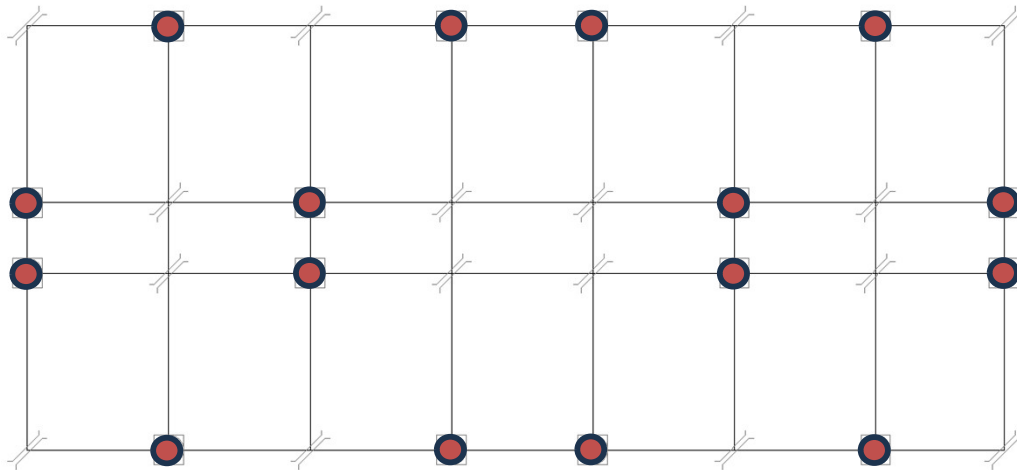
Event	Method / Metric	X (BI/FB)	Y (BI/FB)	Z (BI/FB)
19-Mar-2025	Bandpower ratio (0-20 Hz)	0.90	0.35	4.50
23-Mar-2025	Bandpower ratio (0-20 Hz)	0.35	0.25	7.30
19-Mar-2025	Arias intensity ratio	1.00	0.33	5.00
23-Mar-2025	Arias intensity ratio	0.35	0.24	7.00
<b>Mean (all rows)</b>	<b>Mean BI/FB</b>	<b>0.65</b>	<b>0.29</b>	<b>5.95</b>

## Modello numerico calibrato Edificio Isolato – analisi parametriche

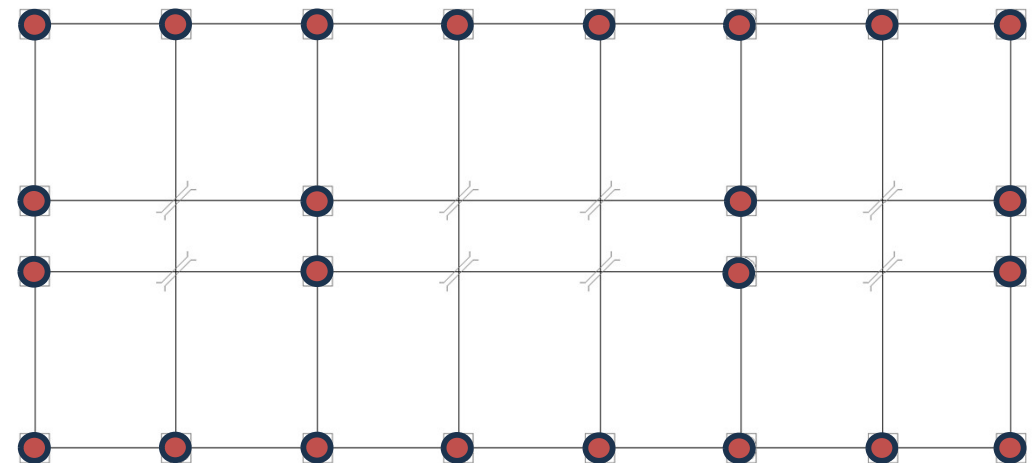



Modello	Tipologia	Q.tà	Rigidezza grigliato
32 isol	Isolatore equival.	32	normale
16 isol	Isolatore equival.	16	normale
	Slitta	16	
16 isol GIR	Isolatore equival.	16	rigido
	Slitta	16	
24 isol	Isolatore equival.	24	normale
	Slitta	8	
24 isol GIR	Isolatore equival.	24	rigido
	Slitta	8	
BF	-	-	normale

Schema di isolatori e slitte modello **16 Isol.**

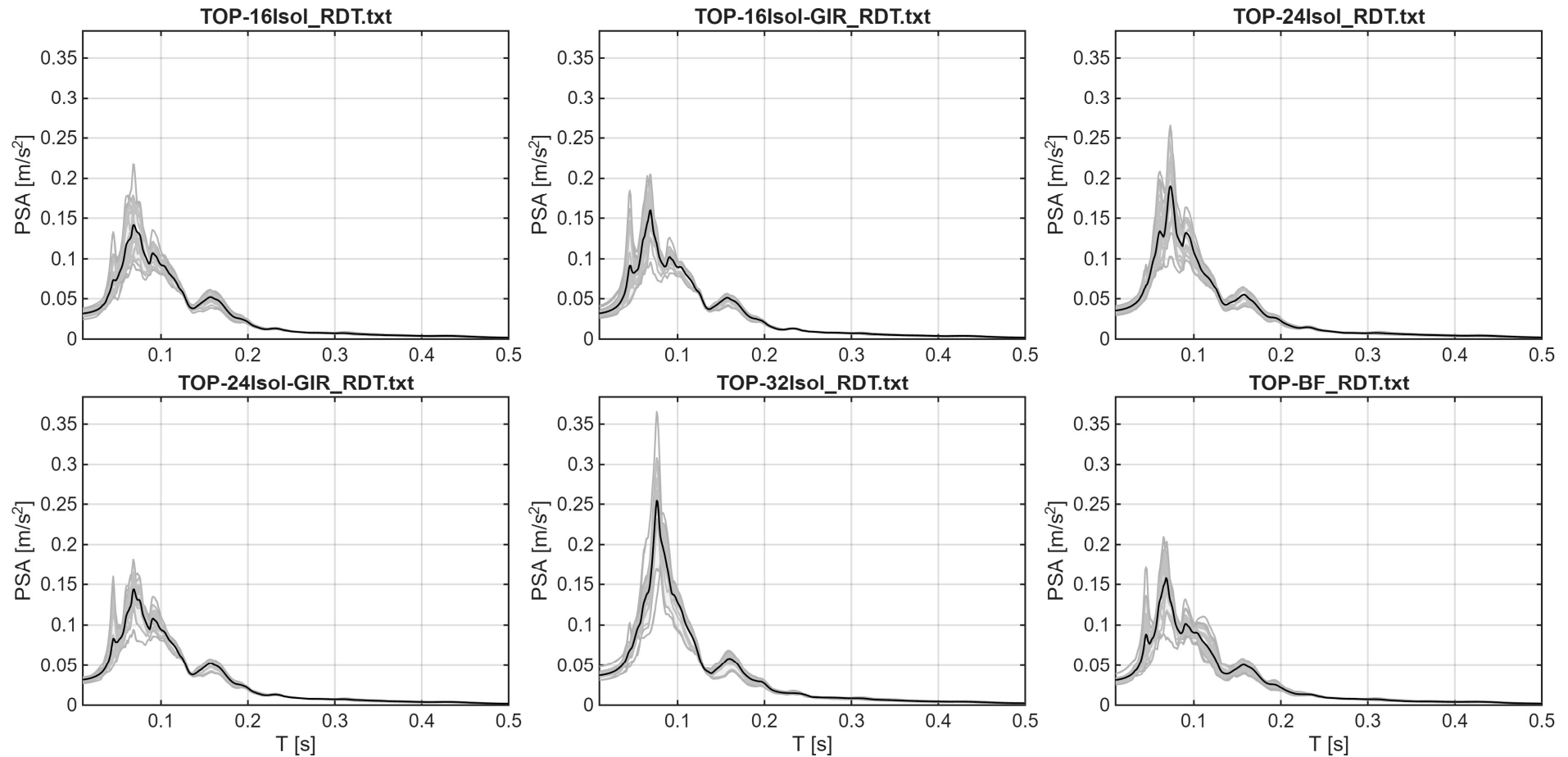


Schema di isolatori e slitte modello **24 Isol.**

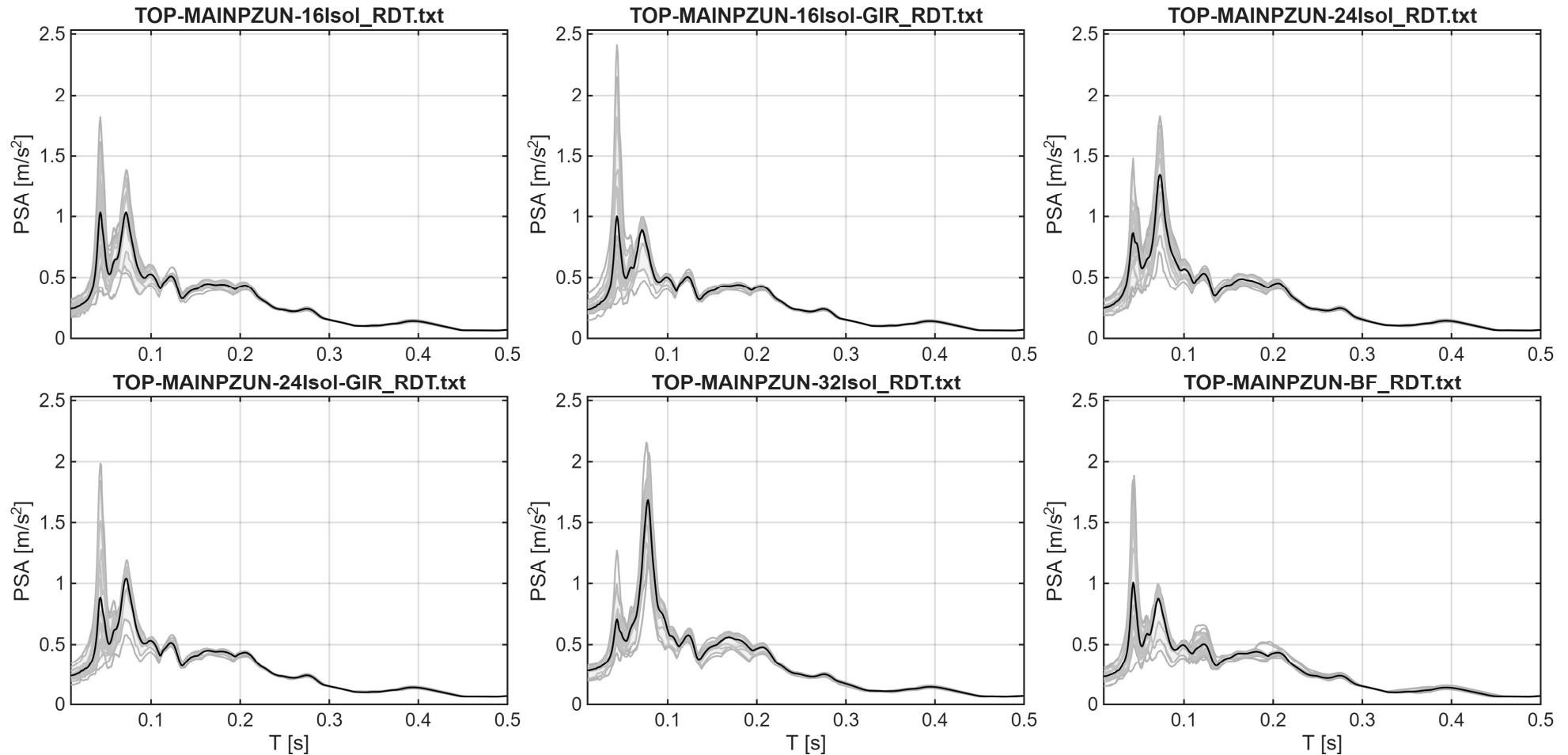


 Isolatore elastomerico

 Slitta

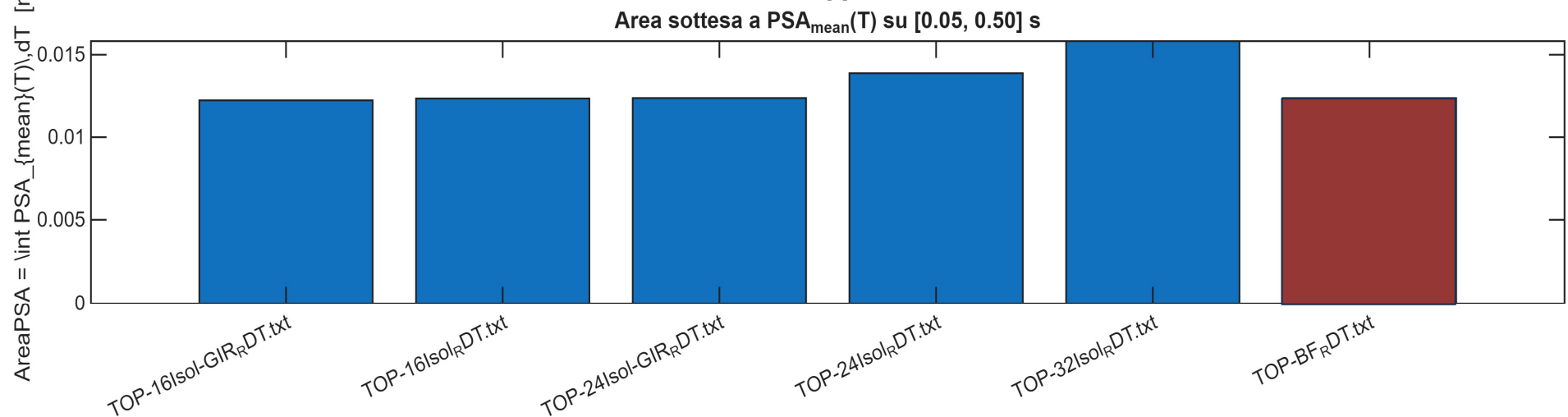
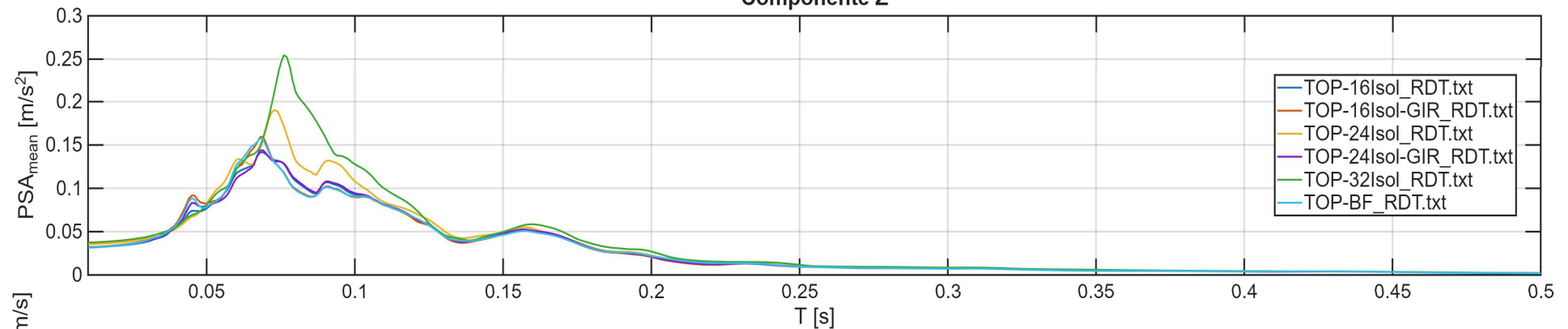


***Spettri di risposta in pseudo-accelerazione in direzione verticale (componente Z) in sommità per le sei configurazioni strutturali. In ciascun pannello sono riportati gli spettri dei singoli punti di misura (curve grigie) e lo spettro medio (curva nera), evidenziando la variabilità della risposta e le differenze tra le diverse soluzioni di isolamento nel range di periodi 0–0.5 s - evento 23 marzo 2025, Potenza (PZ)***



Spettri di risposta in pseudo-accelerazione in direzione verticale (componente Z) in sommità per le sei configurazioni strutturali. In ciascun pannello sono riportati gli spettri dei singoli punti di misura (curve grigie) e lo spettro medio (curva nera), evidenziando la variabilità della risposta e le differenze tra le diverse soluzioni di isolamento nel range di periodi 0–0.5 s - evento **18 marzo 2025**, Potenza (PZ)

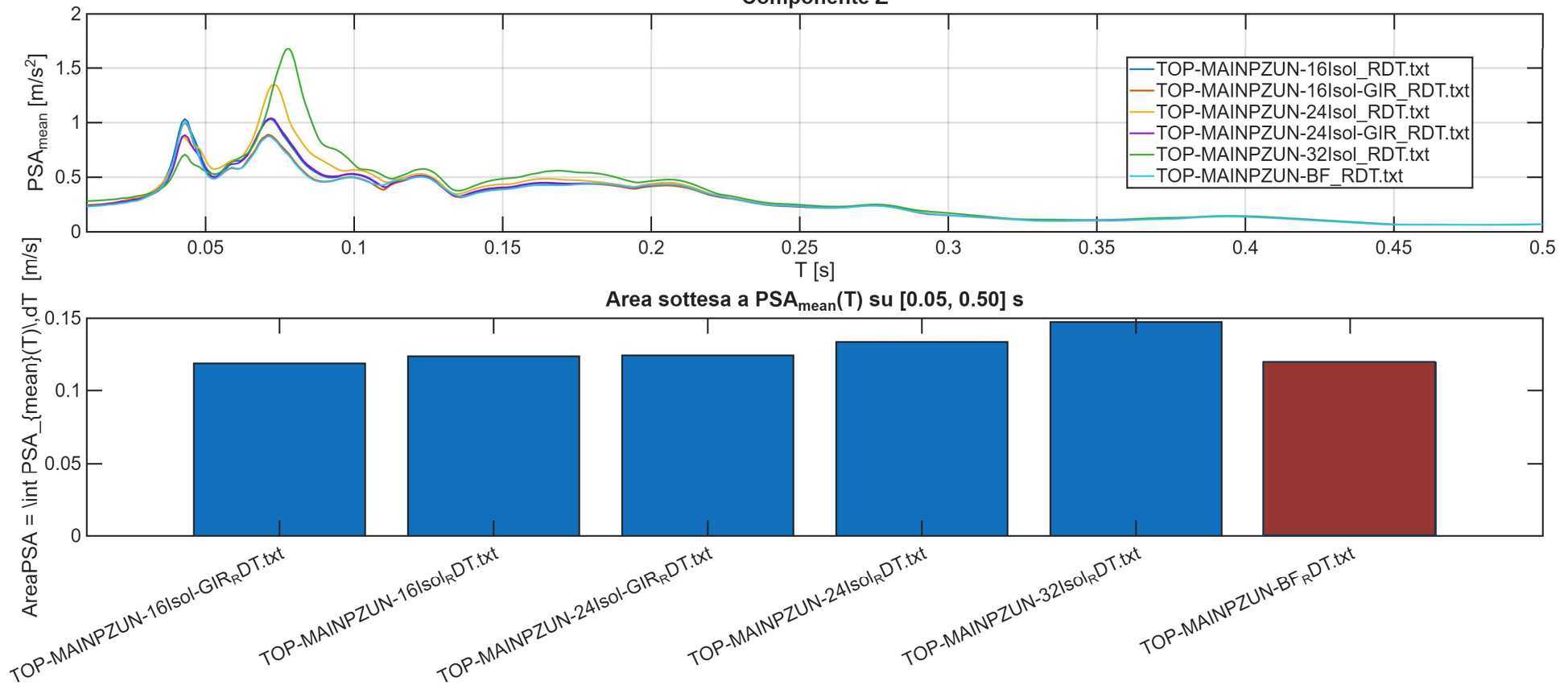
Spettri medi (Pseudo)  $\xi=15\%$   
Componente Z



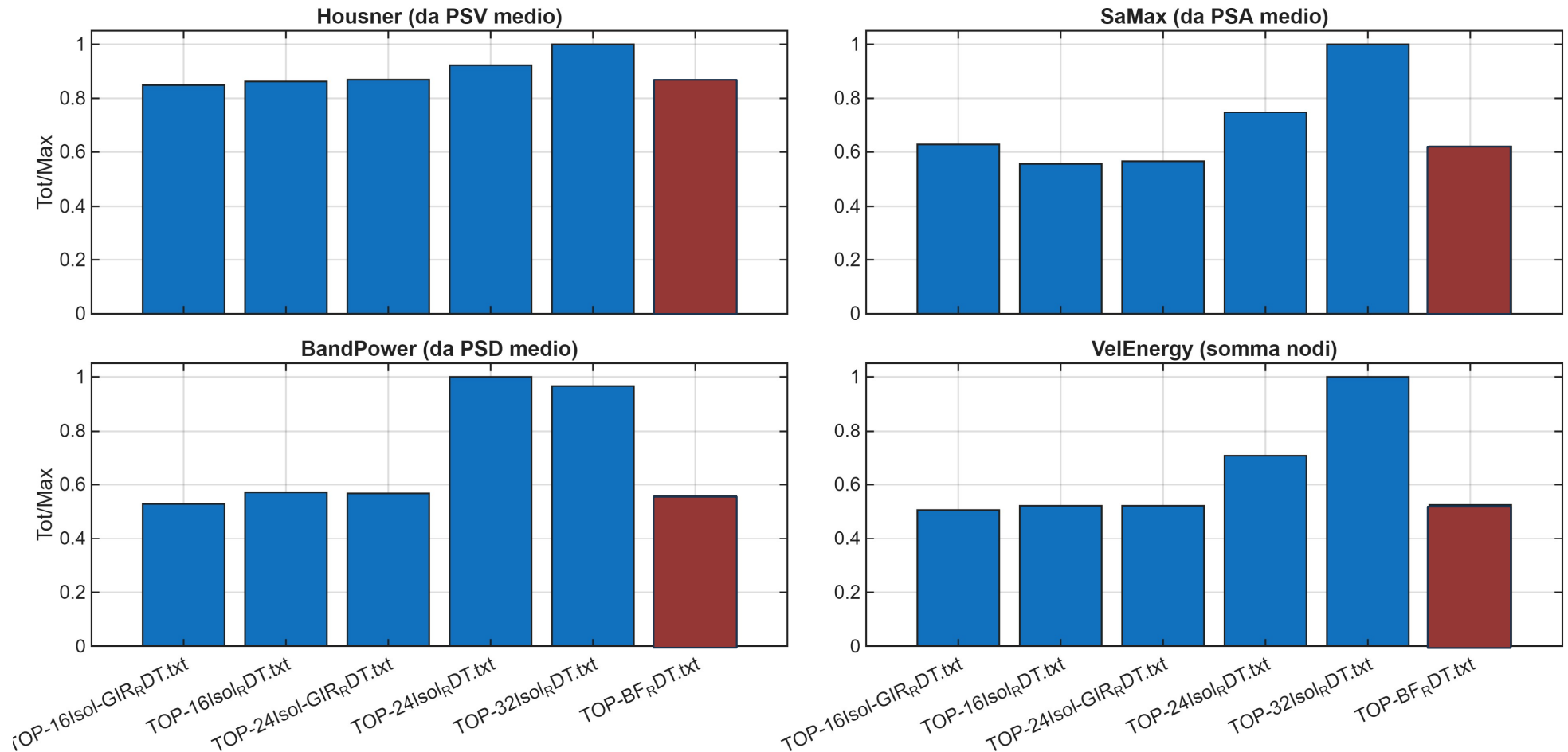
Spettri medi di pseudo-accelerazione in direzione verticale (componente Z) per le sei configurazioni strutturali, calcolati sulla risposta in sommità (media dei nodi di testa delle 32 pilastrate, solai inclusi) con smorzamento equivalente pari a 15%. In basso è riportata l'area sottesa allo spettro  $PSA_{mean}(T)$  nell'intervallo di periodi 0.05–0.50 s, utilizzata come indicatore sintetico della domanda spettrale verticale - evento **23 marzo 2025**, Potenza (PZ)

Spettri medi + area sottesa (stesso confronto)

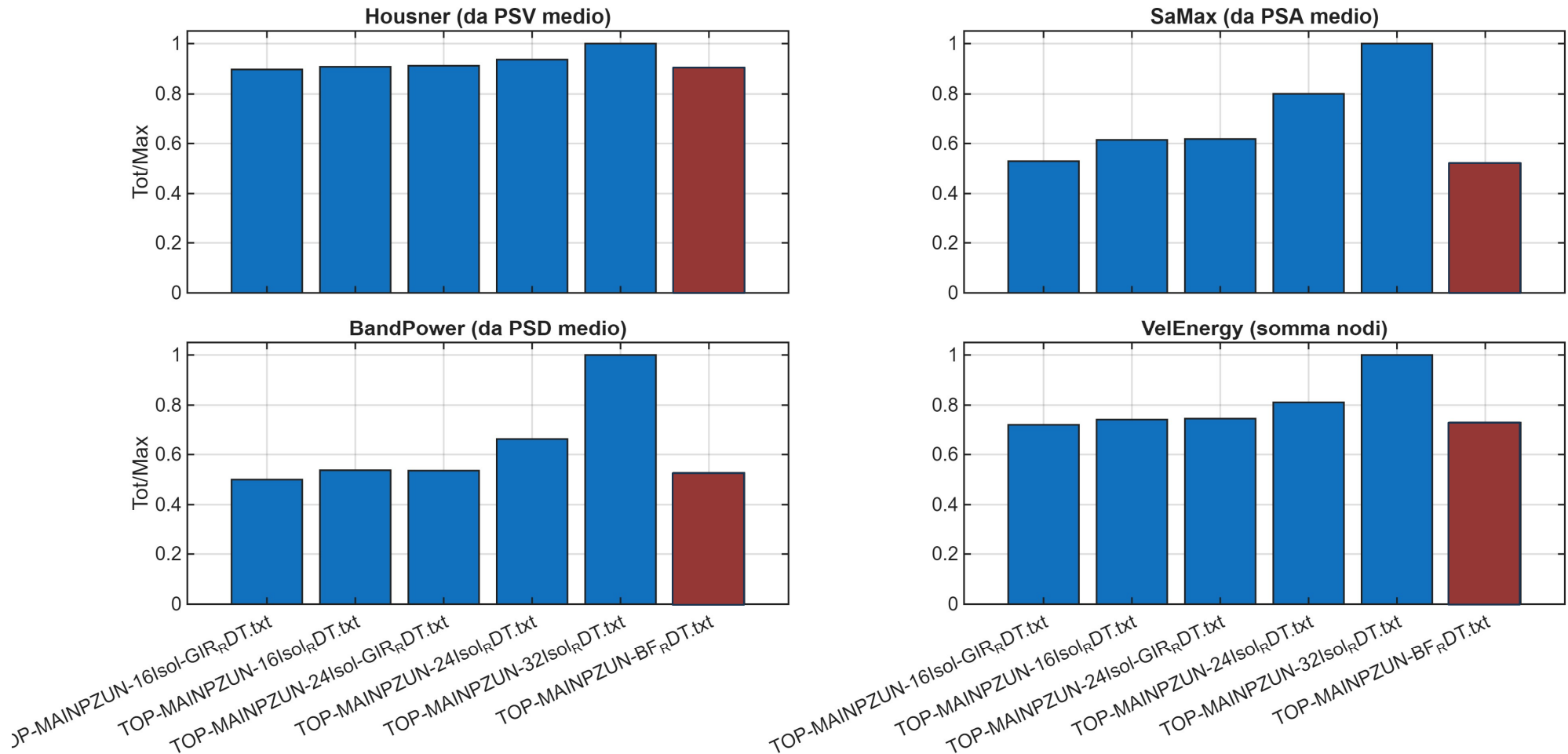
## Spettri medi (Pseudo) $\xi=15\%$ Componente Z



Spettri medi di pseudo-accelerazione in direzione verticale (componente Z) per le sei configurazioni strutturali, calcolati sulla risposta in sommità (media dei nodi di testa delle 32 pilastrate, solai inclusi) con smorzamento equivalente pari a 15%. In basso è riportata l'area sottesa allo spettro  $PSA_{mean}(T)$  nell'intervallo di periodi 0.05–0.50 s, utilizzata come indicatore sintetico della domanda spettrale verticale - evento **18 marzo 2025**, Potenza (PZ)

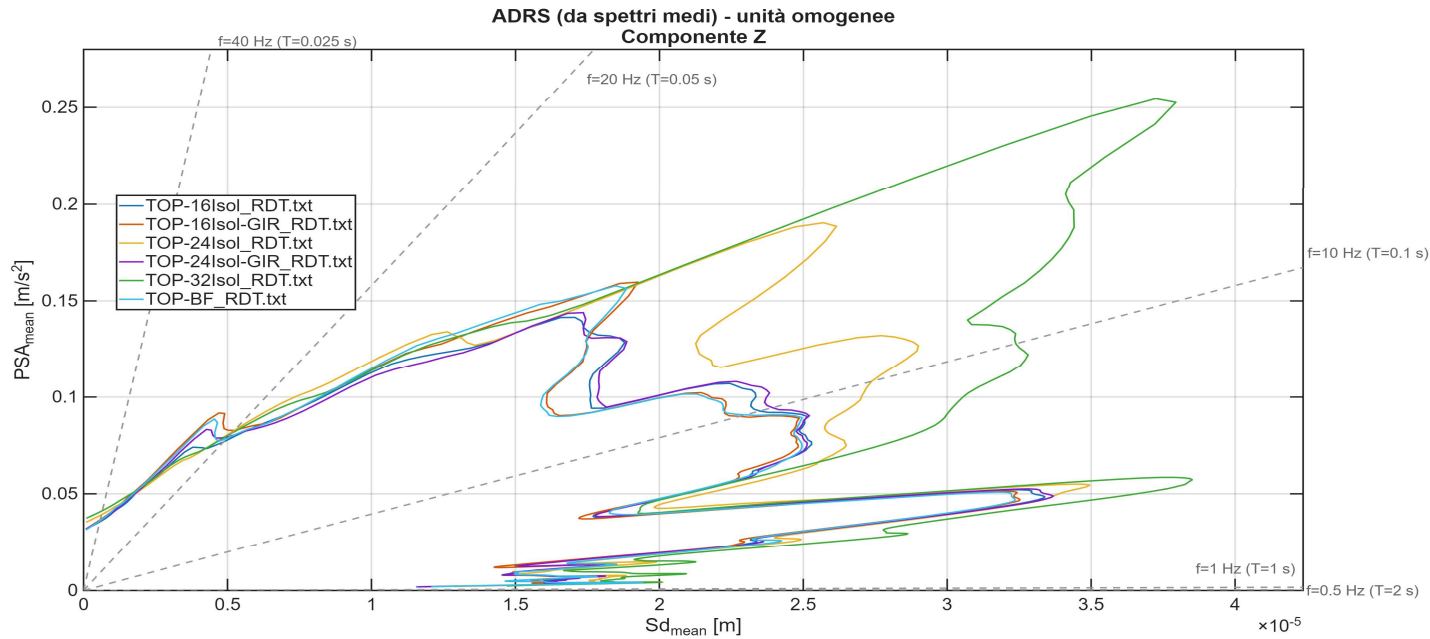


Confronto normalizzato (Tot/Max) tra le sei configurazioni strutturali per la risposta verticale in sommità (media dei nodi di testa delle 32 pilastrate, solai inclusi): intensità di Housner (da PSV medio), SaMax (da PSA medio), potenza di banda 0–20 Hz (da PSD medio) ed energia cinetica (da velocità, somma dei nodi) - evento **23 marzo 2025**, Potenza (PZ)

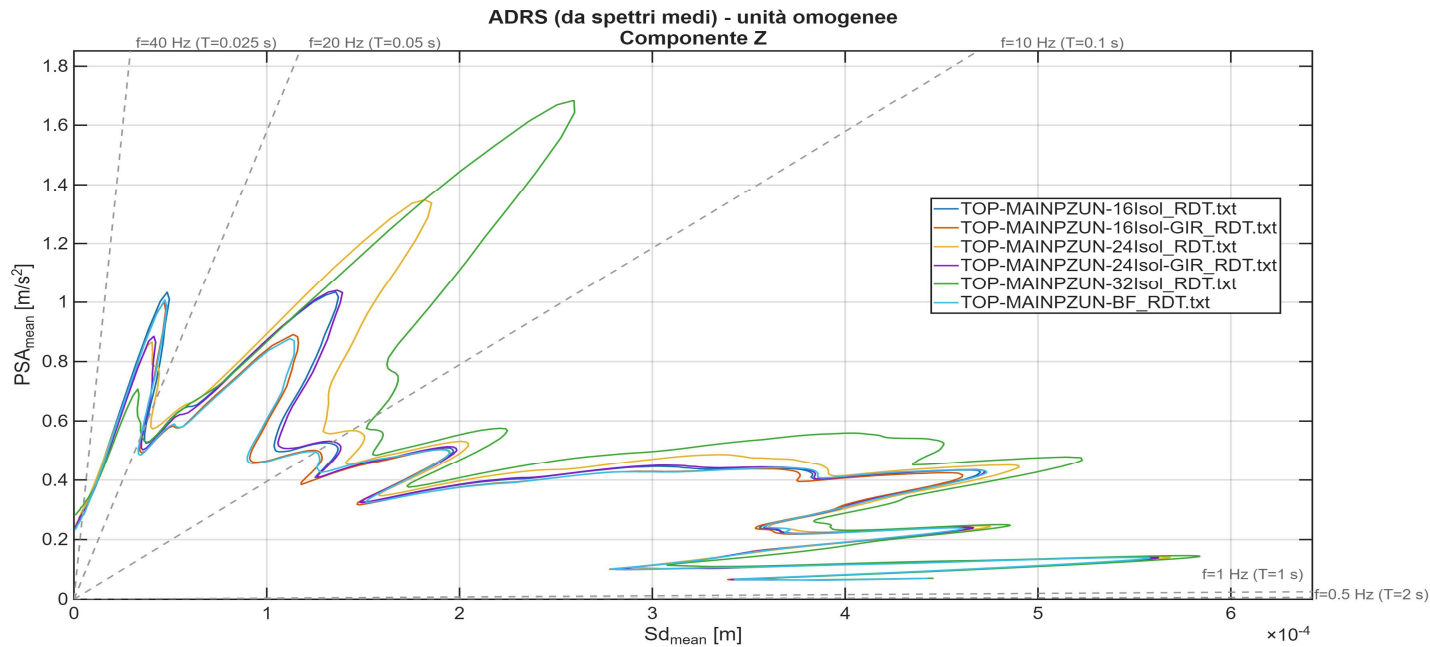


Confronto normalizzato (Tot/Max) tra le sei configurazioni strutturali per la risposta verticale in sommità (media dei nodi di testa delle 32 pilastrate, solai inclusi): intensità di Housner (da PSV medio), SaMax (da PSA medio), potenza di banda 0–20 Hz (da PSD medio) ed energia cinetica (da velocità, somma dei nodi) - evento **18 marzo 2025**, Potenza (PZ)

## Evento 23 marzo 2025, Potenza (PZ)



## Evento 18 marzo 2025, Potenza (PZ)



Confronto tra le curve ADRS in direzione verticale (componente Z) per le sei configurazioni strutturali, ottenute a partire dagli spettri medi in unità omogenee. Le traiettorie sono rappresentate nel piano  $S_{d\text{mean}}-PSA_{\text{mean}}$  e includono le rette a frequenza costante come riferimento per l'interpretazione della domanda spettrale e della risposta equivalente.

## CONCLUSIONI

- L'isolamento elastomerico completo in particolari condizioni può amplificare la risposta verticale, soprattutto nel range 10–20 Hz, pur non determinando condizioni critiche per la sicurezza;
- L'inserimento di appoggi verticalmente rigidi e scorrevoli riduce significativamente l'amplificazione verticale: già 8 slitte su 32 dispositivi, pari al 25%, producono una mitigazione apprezzabile;
- La configurazione “**16 Isol GIR**”, con 50% di slitte e irrigidimento del grigliato superiore, fornisce la risposta più prossima a quella della struttura a base fissa nel range 10–20 Hz.
- I dispositivi ad alta rigidezza verticale redistribuiscono la massa partecipante su più modi verticali, riducendo la concentrazione della risposta sul modo dominante e le accelerazioni di piano.

## CONCLUSIONI

- **Per la progettazione** in zona epicentrale è necessario considerare esplicitamente la componente verticale del sisma e adottare sistemi misti isolatori-slitte, con almeno il 25% di appoggi verticali a scorrimento.
- La rigidezza del grigliato di contro-fondazione e dei solai deve essere progettata per limitare moti relativi e possibili amplificazioni; in particolare, la frequenza membranale dei solai dovrebbe superare di almeno il 50% quella verticale globale del sistema isolato.
- In presenza di amplificazioni locali del sito, le frequenze principali della struttura devono essere distanziate di almeno il 25% dai picchi di amplificazione per evitare risonanze terreno-struttura, sia verticali sia orizzontali.

# GRAZIE PER LA CORTESE ATTENZIONE



**Prof. Ing. Felice Carlo PONZO**

*Università degli Studi della Basilicata – Potenza*

*Responsabile Scientifico Laboratorio Prove Materiali e Strutture - UNIBAS*

*Membro della Commissione Sismica-GLIS di ANTEL*

*[felice.ponzo@unibas.it](mailto:felice.ponzo@unibas.it), <https://ponzo.unibas.it>*



## Con il Patrocinio di:



LARES ITALIA

