

» | « ISAAC





SISTEMI DI CONTROLLO ATTIVO PER LA PROTEZIONE SISMICA DEGLI EDIFICI

Active Mass Damper: cosa sono, come funzionano e come applicarli all'interno di una progettazione

Ing. Barbara Zulian – Structural Engineering

25 settembre 2025

Contenuti

» 01

Stato dell'arte in Italia

» 02

Dispositivi di protezione sismica

» 03

Test sperimentali in scala reale

» 04

Componenti e principio di funzionamento dei sistemi AMD di ISAAC

» 05

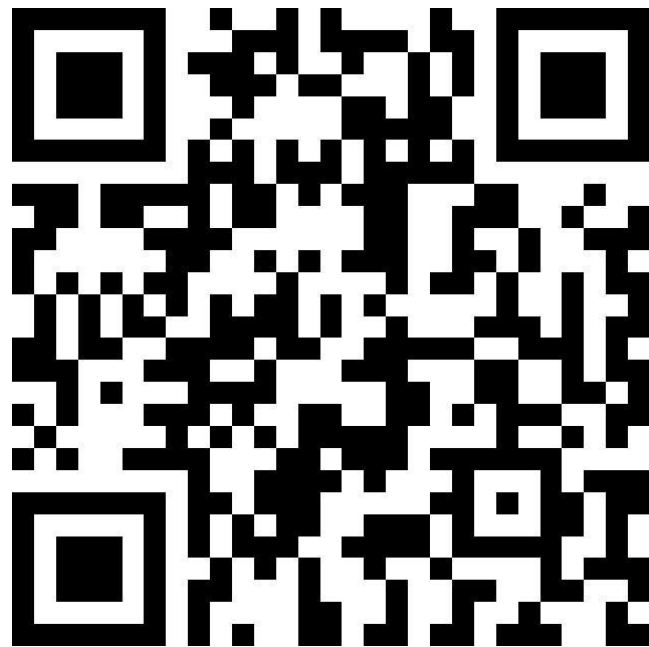
Progettazione e modellazione FEM con esempio di calcolo

» 06

Applicazioni reali

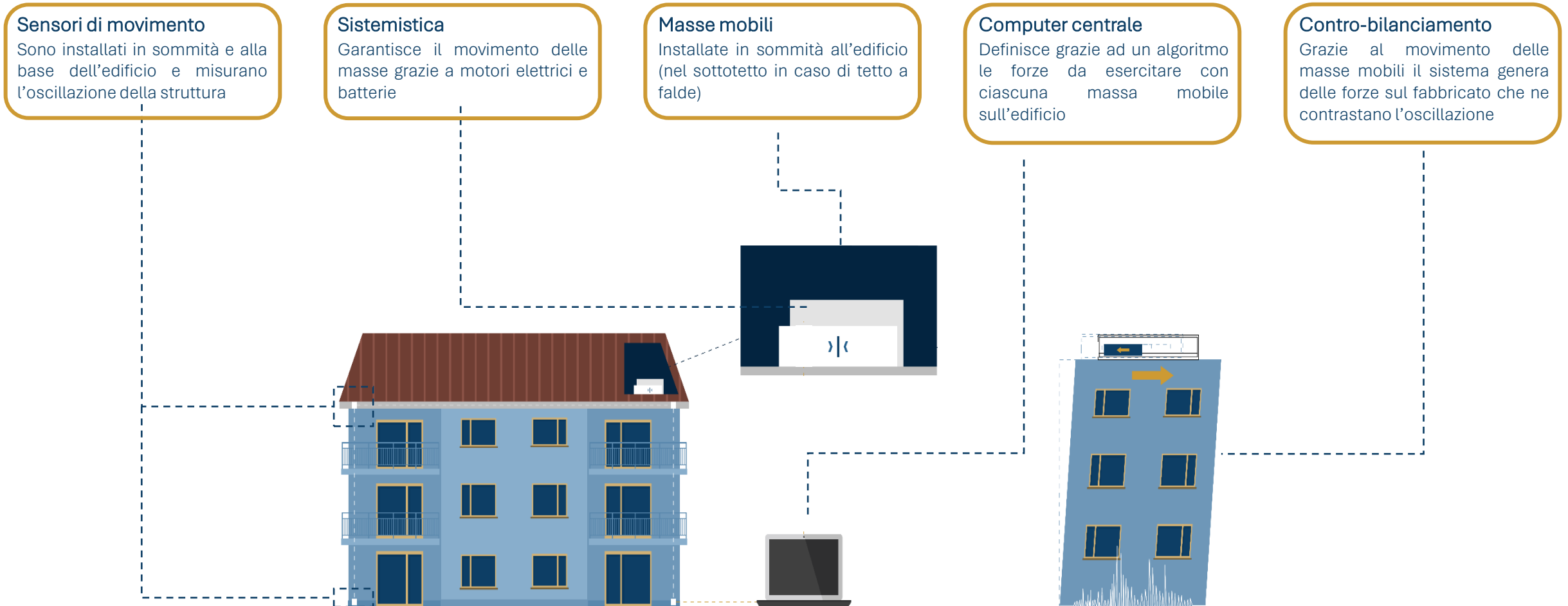


Dacci un tuo feedback!





Principio di funzionamento degli AMD



1.

Stato dell'arte in Italia

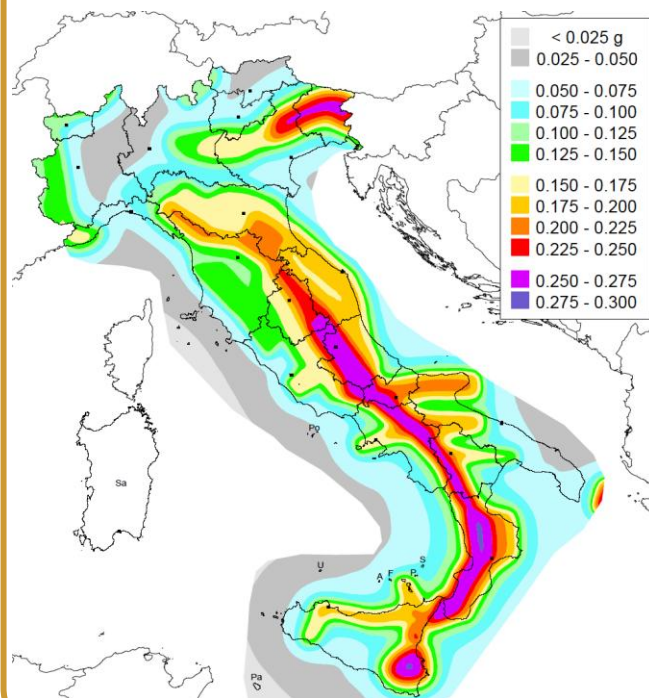


Stato dell'arte in Italia

► Qual è l'obiettivo della protezione sismica?

Ridurre il RISCHIO SISMICO

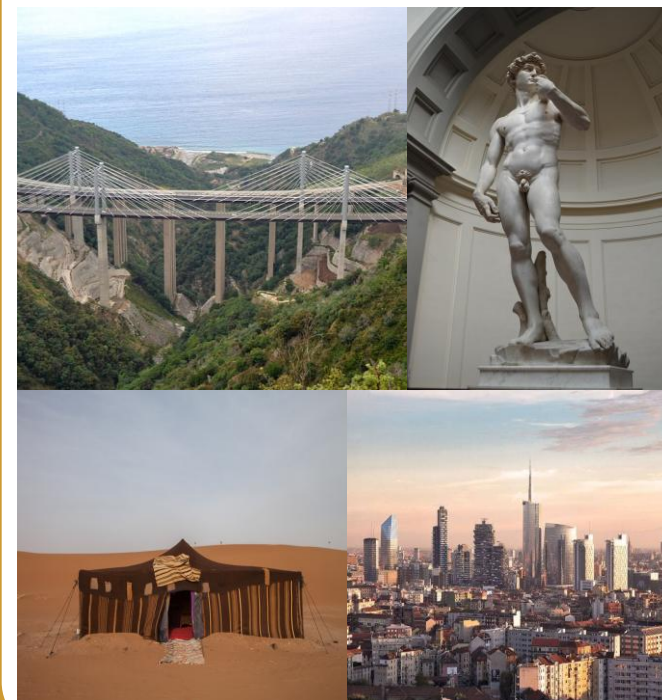
PERICOLOSITÀ



VULNERABILITÀ

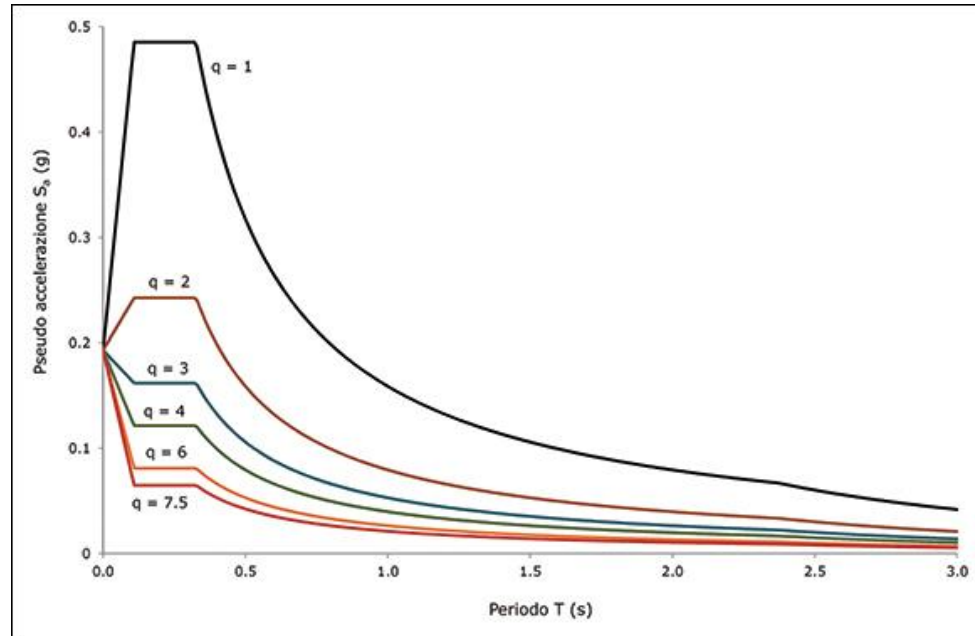


ESPOSIZIONE



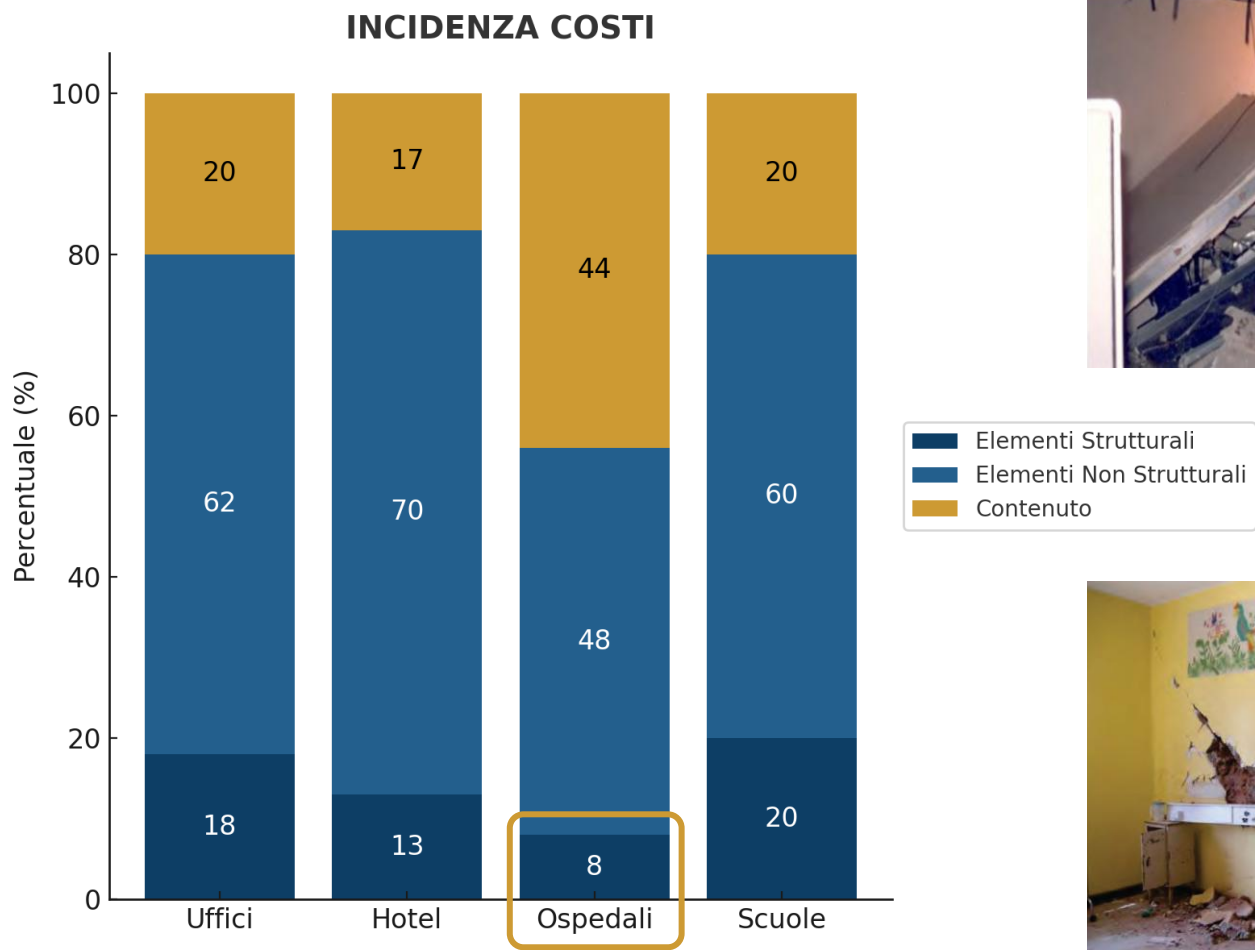
Stato dell'arte in Italia

► Il fattore di struttura



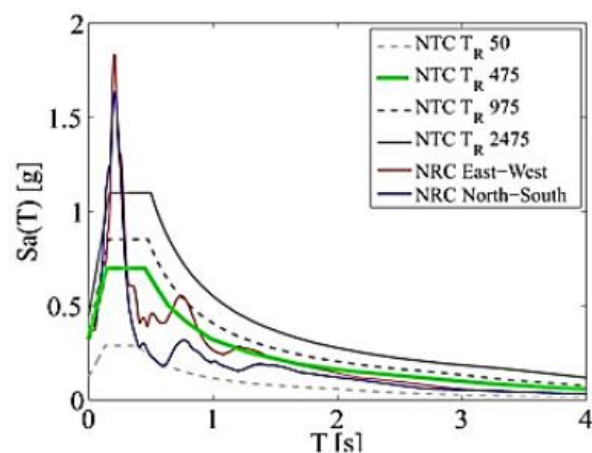
Stato dell'arte in Italia

Incidenza costi



Stato dell'arte in Italia

➤ Spettri normativi vs spettri reali



Norcia 30.10.2016 – M=6,5

$$S_{a_{REALE}} / S_{a_{SLV}} = 1,8 / 0,6 = 3 \text{ volte}$$

$$S_{a_{REALE}} / S_{a_{SLV - q=4}} = 1,8 / (0,6 \times 4) = \\ = 12 \text{ volte}$$



◀ Terremoto dell'Aquila del 2009: M=6,3

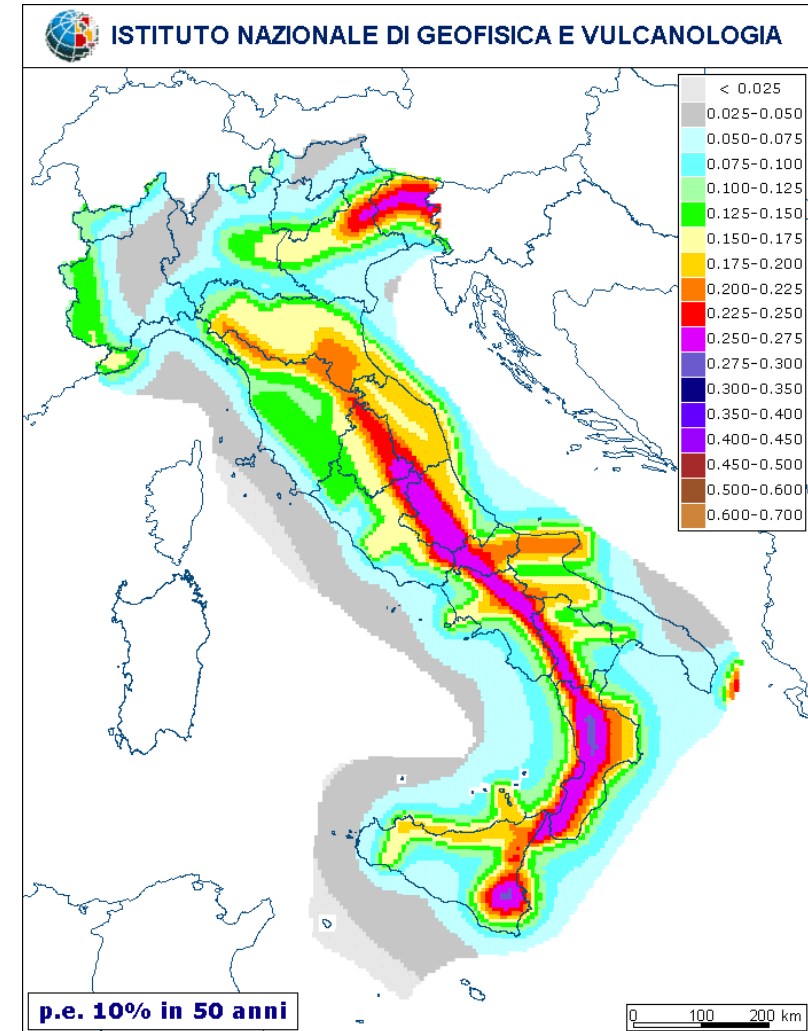


◀ Terremoto Centro Italia del 2016: M=6,0

Stato dell'arte in Italia

» Frequenza terremoti recenti

- Umbria-Marche (1997, Mw = 6)
- Molise (2002, Mw = 5.8)
- Abruzzo (2009, Mw = 6.3)
- Emilia (2012, Mw = 5.9)
- Accumoli-Amatrice (2016, Mw = 6)
- Norcia (2017, Mw = 6.5)



2.

Dispositivi di protezione sismica

Sistemi tradizionali – Sistemi di dissipazione supplementare dell'energia – Sistemi Active Mass Damper



Tecnologie per la protezione sismica

► Sistemi tradizionali

I metodi di protezione sismica tradizionale generalmente prevedono interventi tali da migliorare le prestazioni di resistenza, rigidità o duttilità degli elementi esistenti.

VANTAGGI

- Varietà di soluzioni
- Efficacia
- Bassi costi diretti

SVANTAGGI

- Ridotta scalabilità
- Invasività
- Alti costi indiretti



Jacketing



FRP



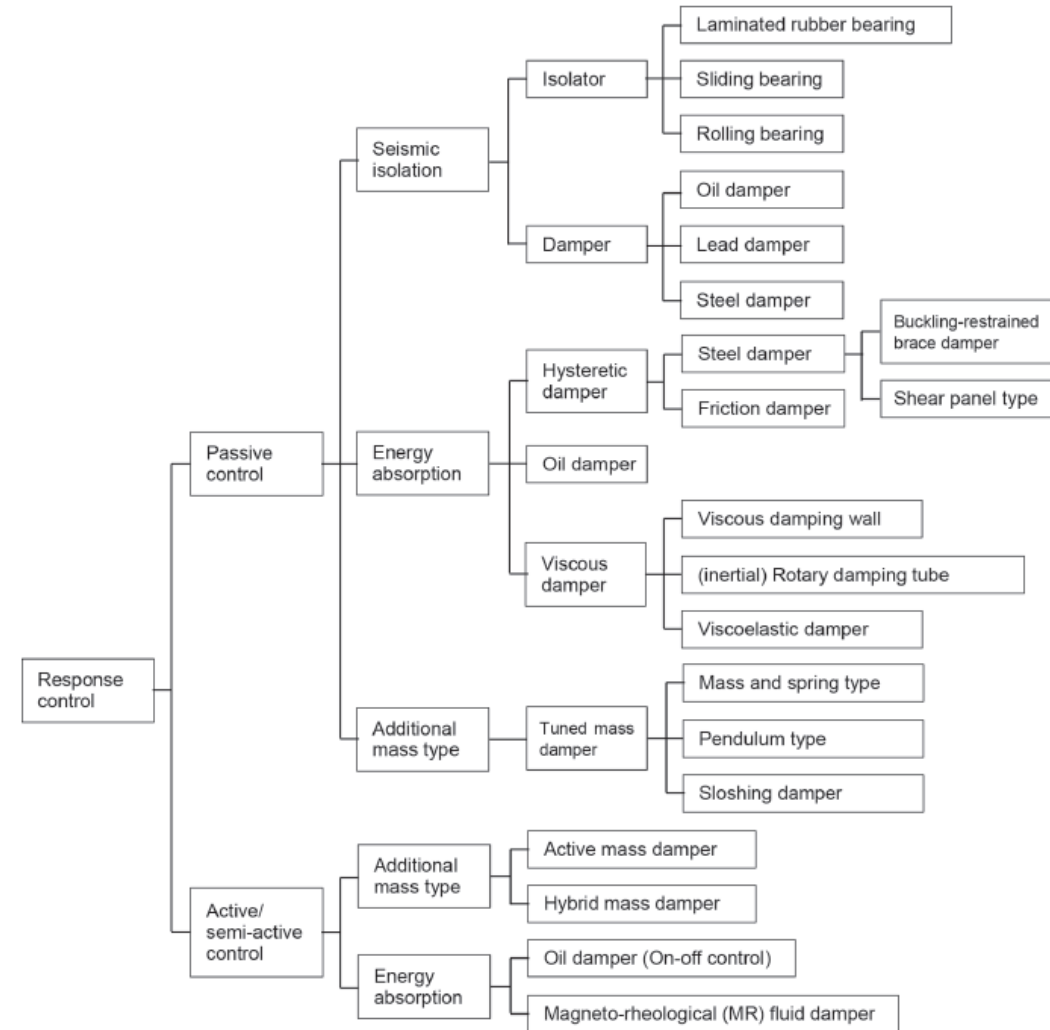
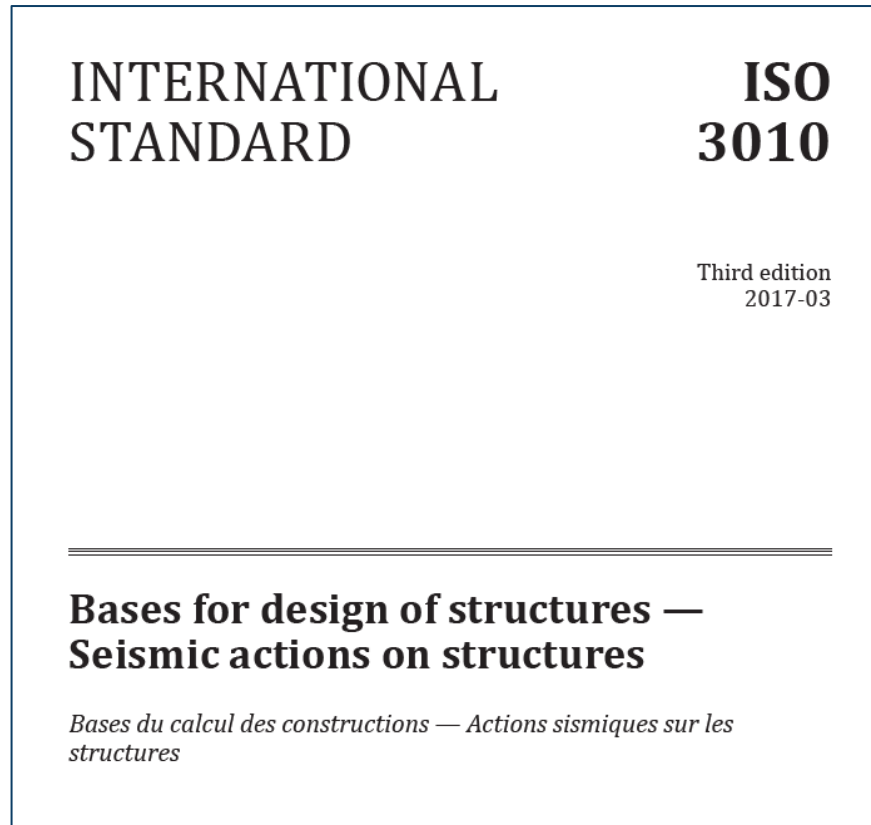
Exoskeleton



Reinforced wall

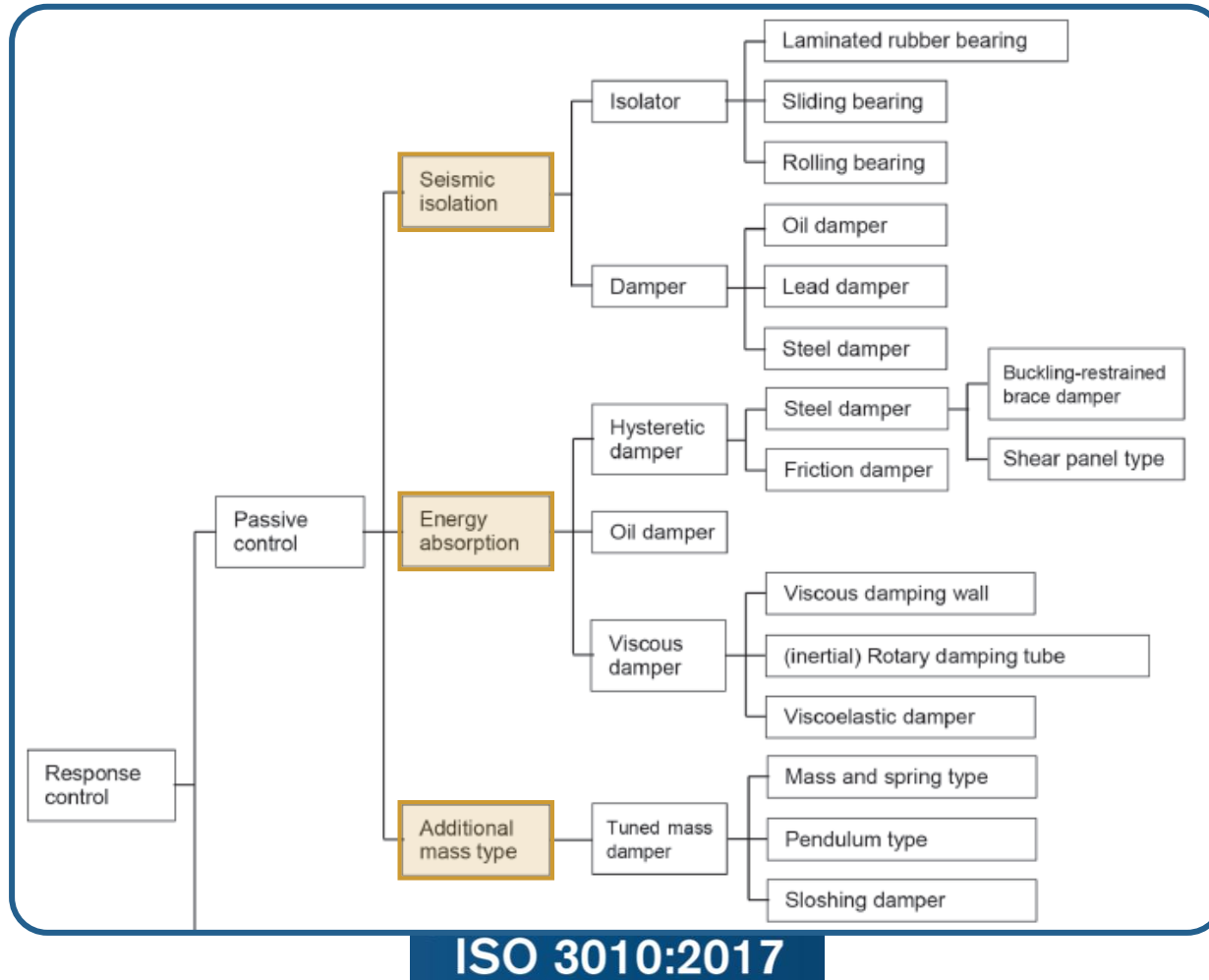
Tecnologie per la protezione sismica

► Sistemi di dissipazione dell'energia



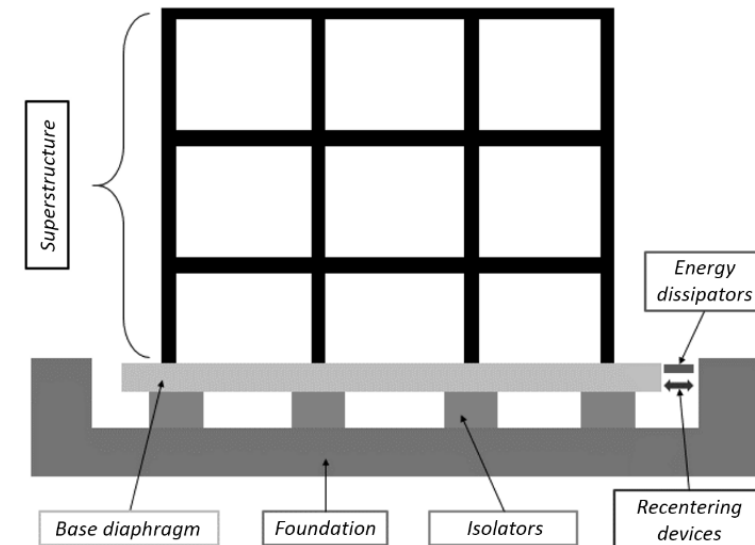
Tecnologie per la protezione sismica

► Sistemi passivi



I **sistemi a controllo passivo** mitigano la risposta sismica della struttura dissipando l'energia attraverso dissipatori viscosi, metallici o ad attrito, in generale che **non necessitano di un'alimentazione esterna**.

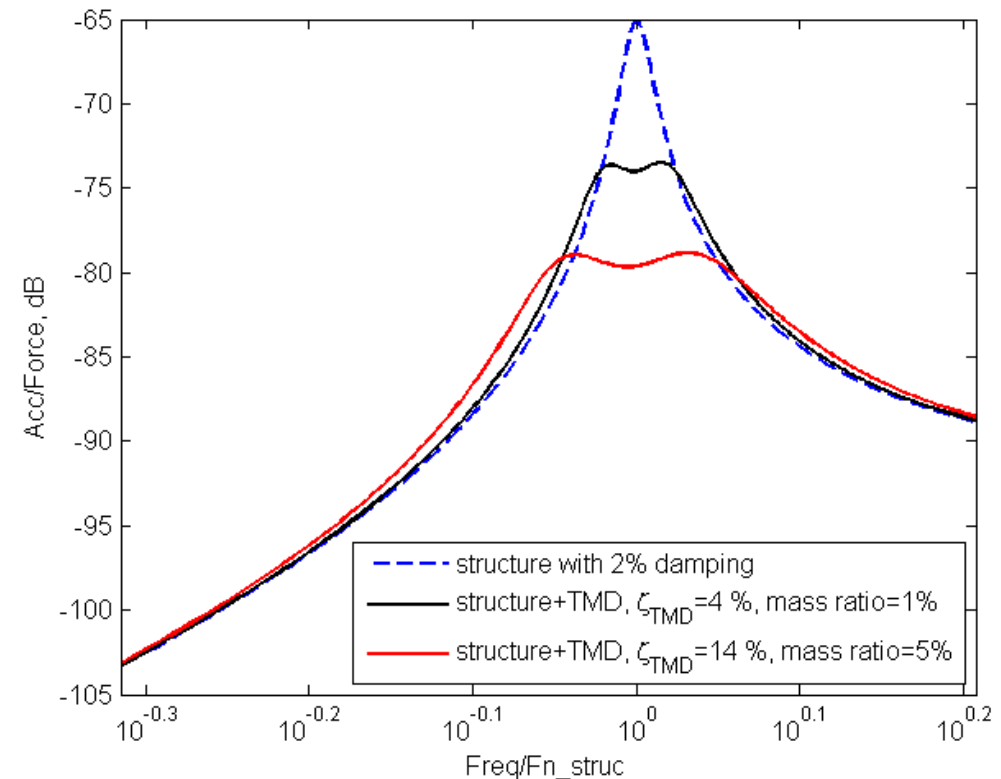
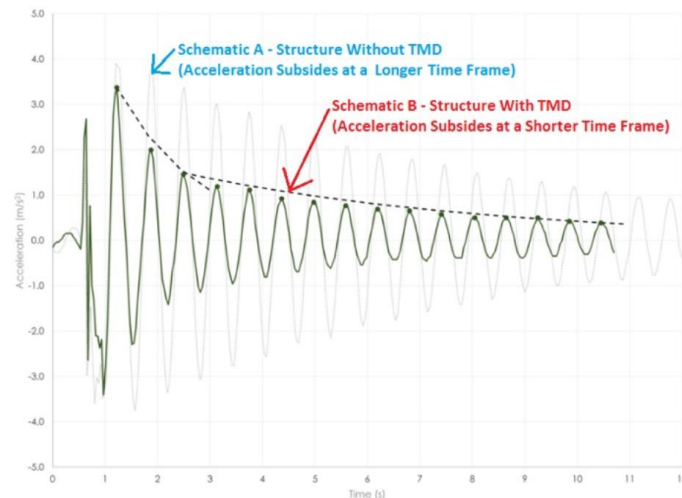
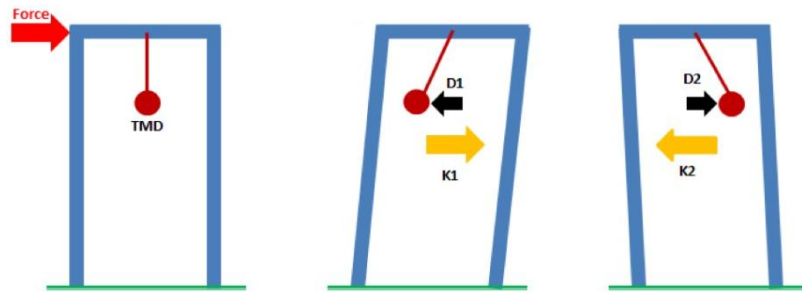
Questi dispositivi vengono installati all'interno del sistema strutturale, in posizioni strategiche. La loro efficacia si basa sulle proprietà fisiche del materiale e sulla capacità di assorbire energia attraverso la deformazione o lo scorrimento.



Tecnologie per la protezione sismica

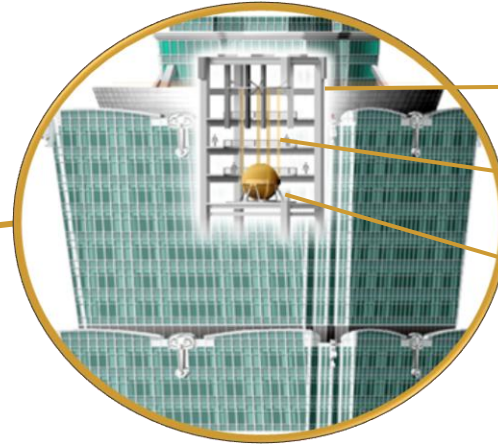
► Sistemi Tuned Mass Damper

Il Tuned Mass Damper (smorzatore a massa accordata, TMD) è un dispositivo passivo composto da massa-molla-smorzatore in grado di smorzare le vibrazioni della struttura mediante deamplificazione del picco di risposta della sua frequenza propria.



Tecnologie per la protezione sismica

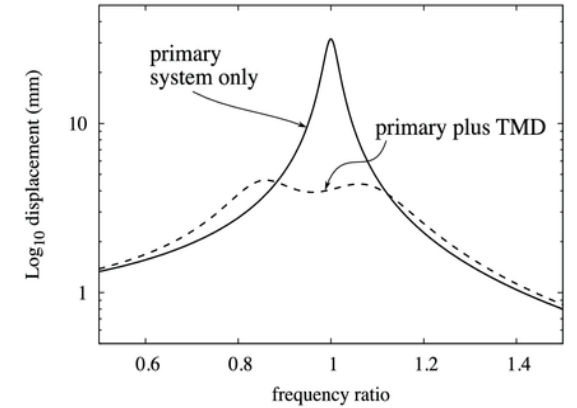
► Taipei 101



Telaio di supporto

Cavi di sospensione

Smorzatori idraulici



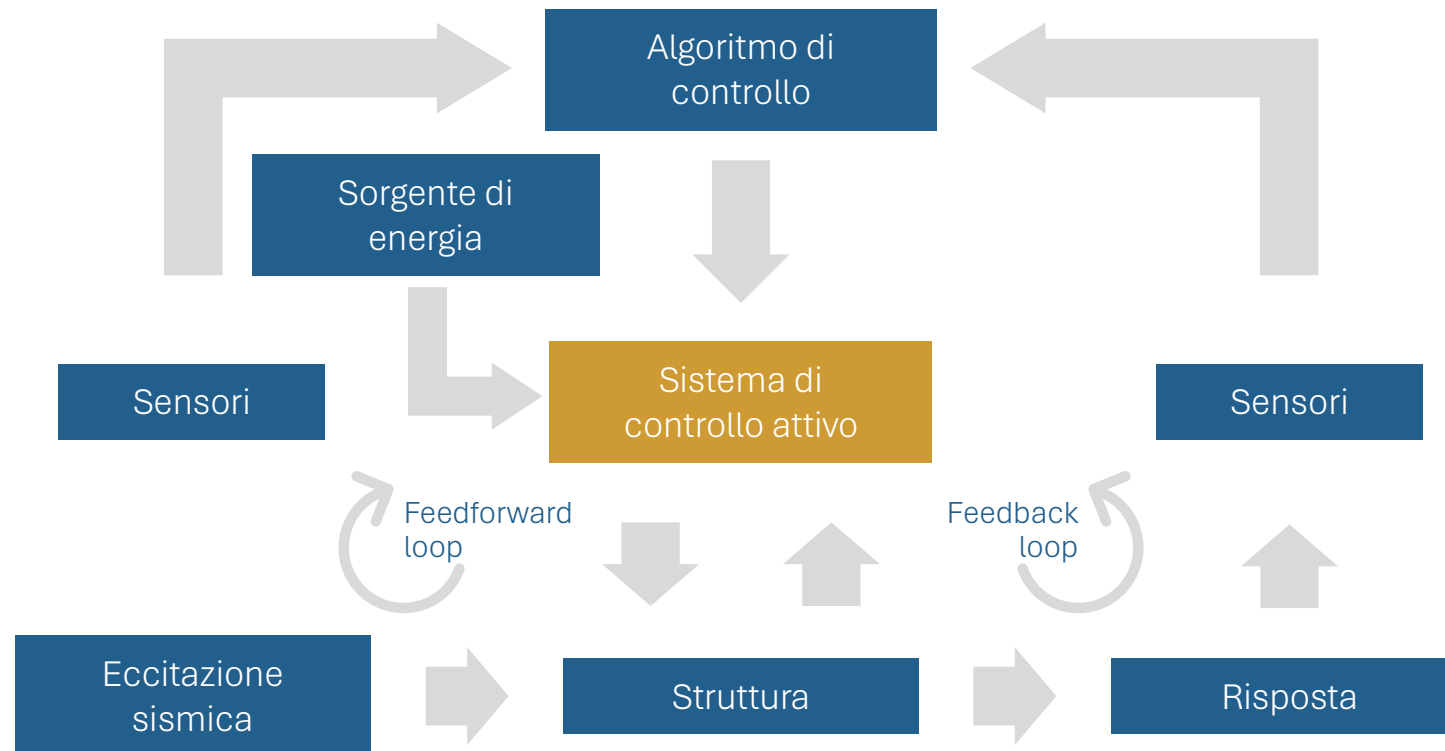
Peso totale 660 t
Diametro 5.5 m
5 piani di ingombro



Tecnologie per la protezione sismica

› Sistemi a controllo attivo

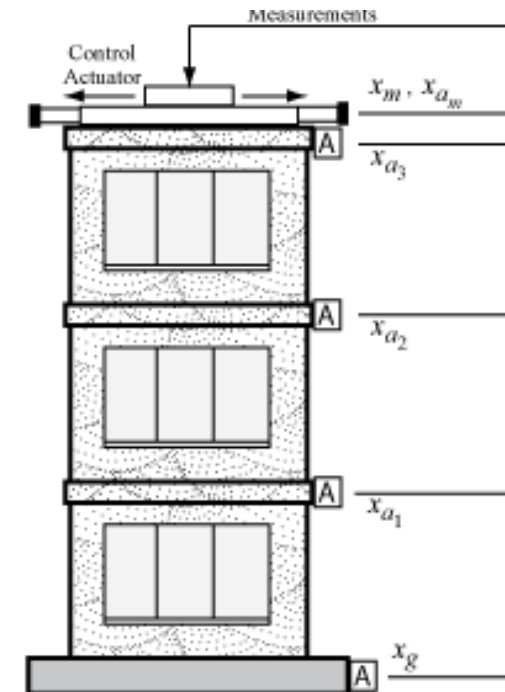
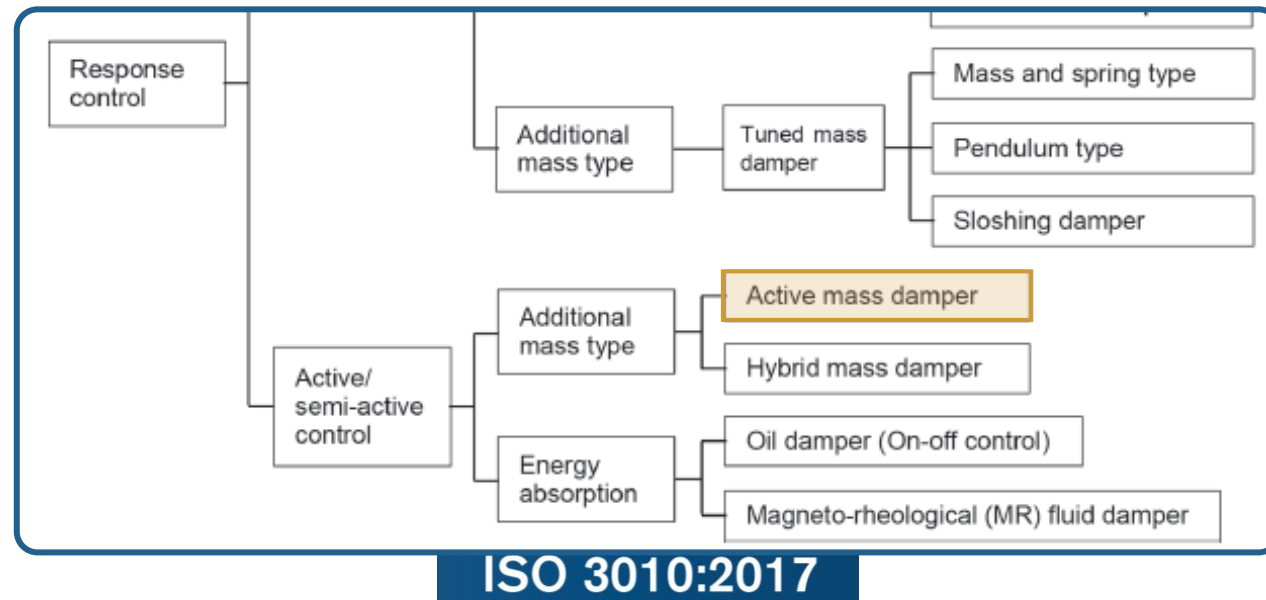
I **sistemi semi-attivi o attivi** generano forze di controllo erogate da sistemi meccanici che modificano, attraverso attuatori pilotati da un preciso algoritmo di controllo implementato in un computer centrale, le loro proprietà di massa, rigidezza o smorzamento, adattandosi in tempo reale alla sollecitazione esterna. Tali sistemi **richiedono una sorgente di energia esterna**.



Tecnologie per la protezione sismica

► Sistemi Active Mass Damper

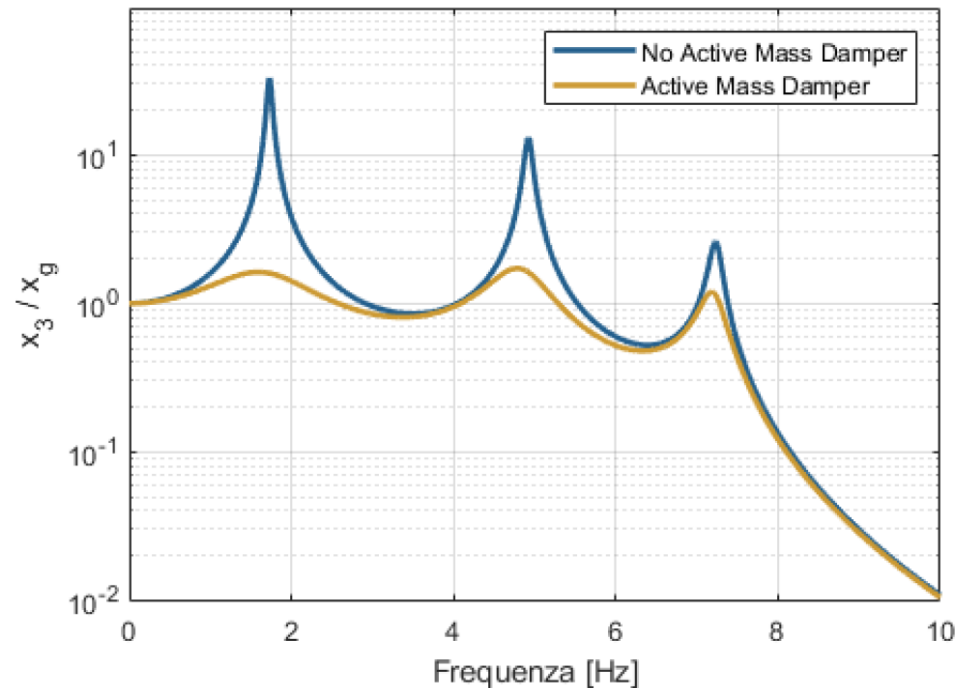
I sistemi Active Mass Damper (smorzatore a massa attiva, AMD) controllano la risposta della struttura movimentando masse mobili attive, installate generalmente in copertura dell'edificio, attraverso un attuatore idraulico o elettrico. L'algoritmo di controllo del computer processa i dati accelerometrici acquisiti in tempo reale da un sistema di monitoraggio accessorio.



Tecnologie per la protezione sismica

► Sistemi Active Mass Damper

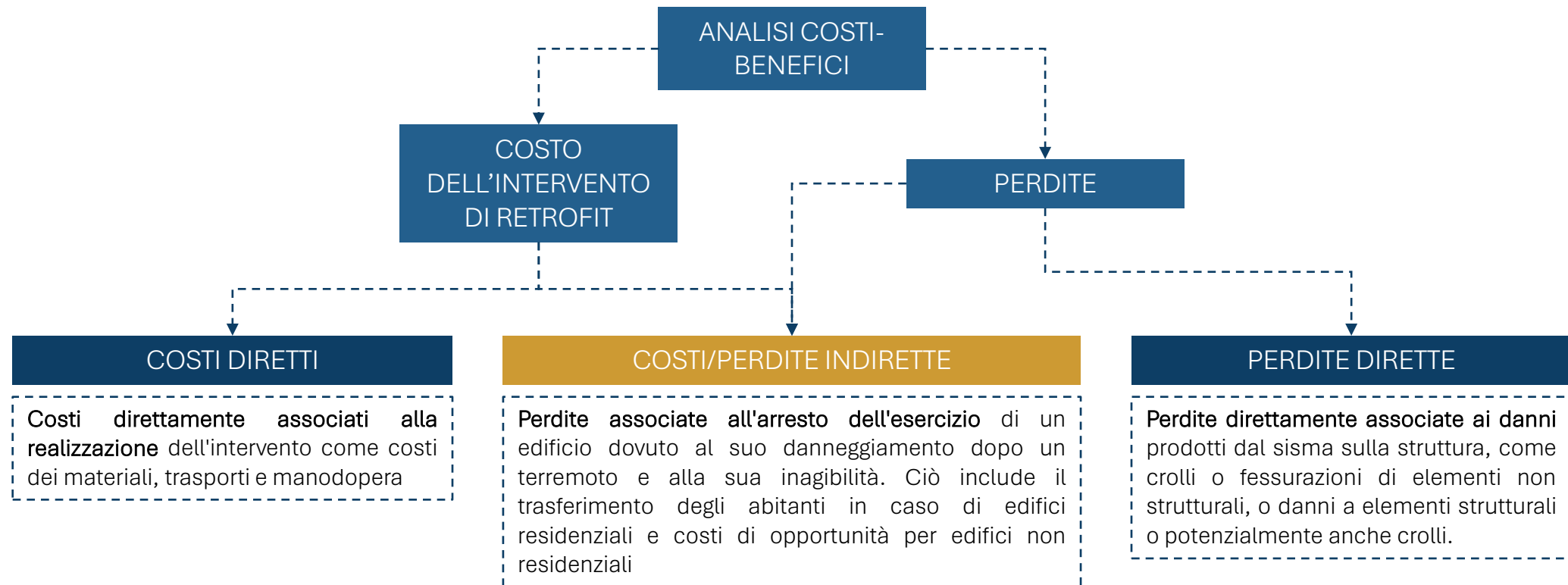
I sistemi AMD producono un effetto di **smorzamento aggiunto alla struttura**, non solo sulla prima frequenza propria come i sistemi TMD, ma su un range di frequenze più ampio, rendendoli così più efficienti. Inoltre, grazie al contributo degli attuatori che accelerano le masse mobili fino a 9g, l'entità di queste risulta molto più contenuta permettendone un'elevata integrabilità anche sul costruito.



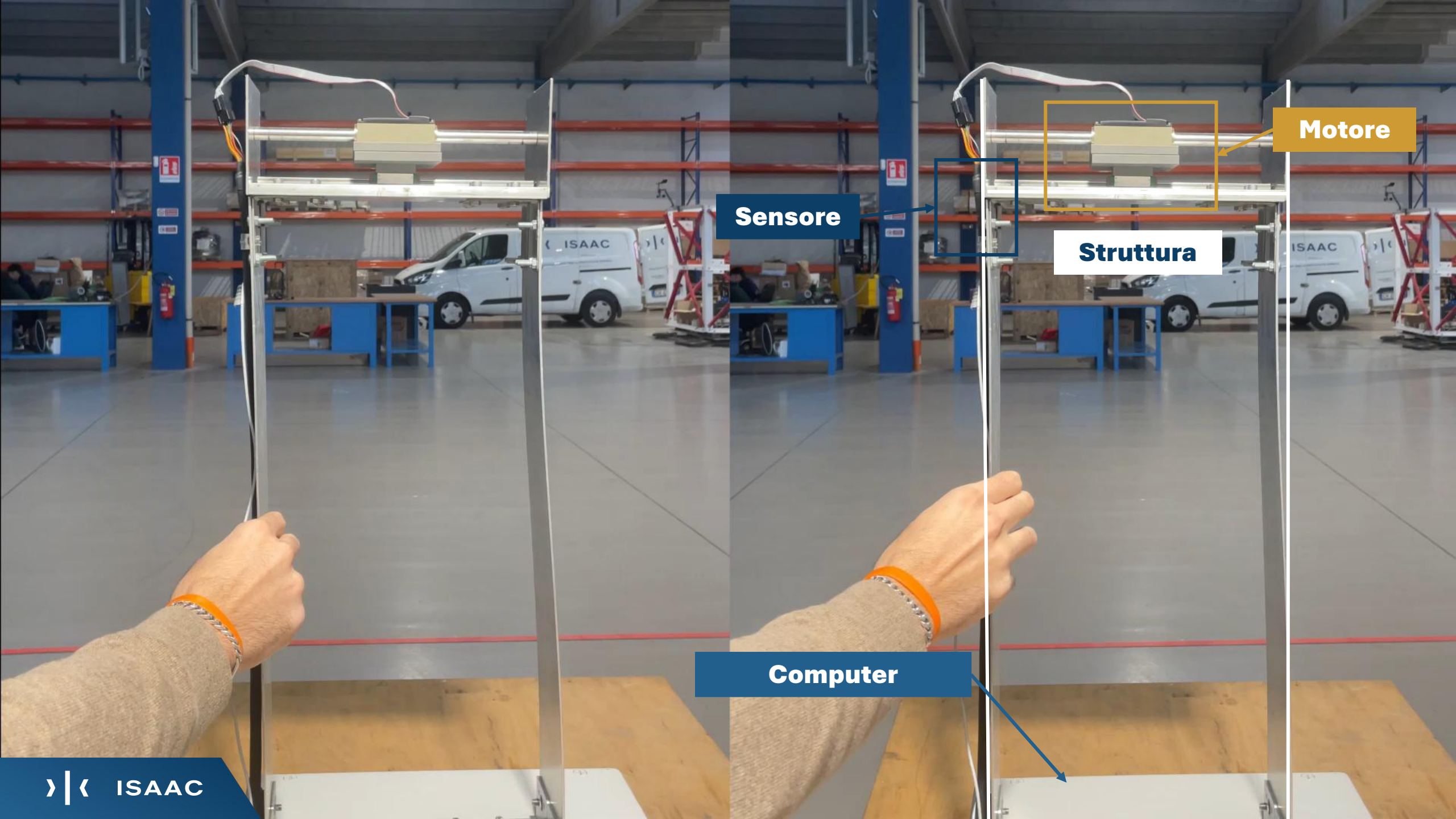
Tecnologie per la protezione sismica

» Sistemi Active Mass Damper

Il conseguimento del miglioramento sismico installando sistemi AMD **agendo solo dall'esterno** dell'edificio consente di **azzerare i costi e le perdite indirette** nel bilancio costi-benefici dell'intervento.



Paper di riferimento: «Choices and Criteria for Seismic Strengthening» Prof. G. M. CALVI



Motore

Sensore

Struttura

Computer

Chi è ISAAC



**Innoviamo per proteggere
edifici, persone e valori**

3.

Test sperimentali in scala reale

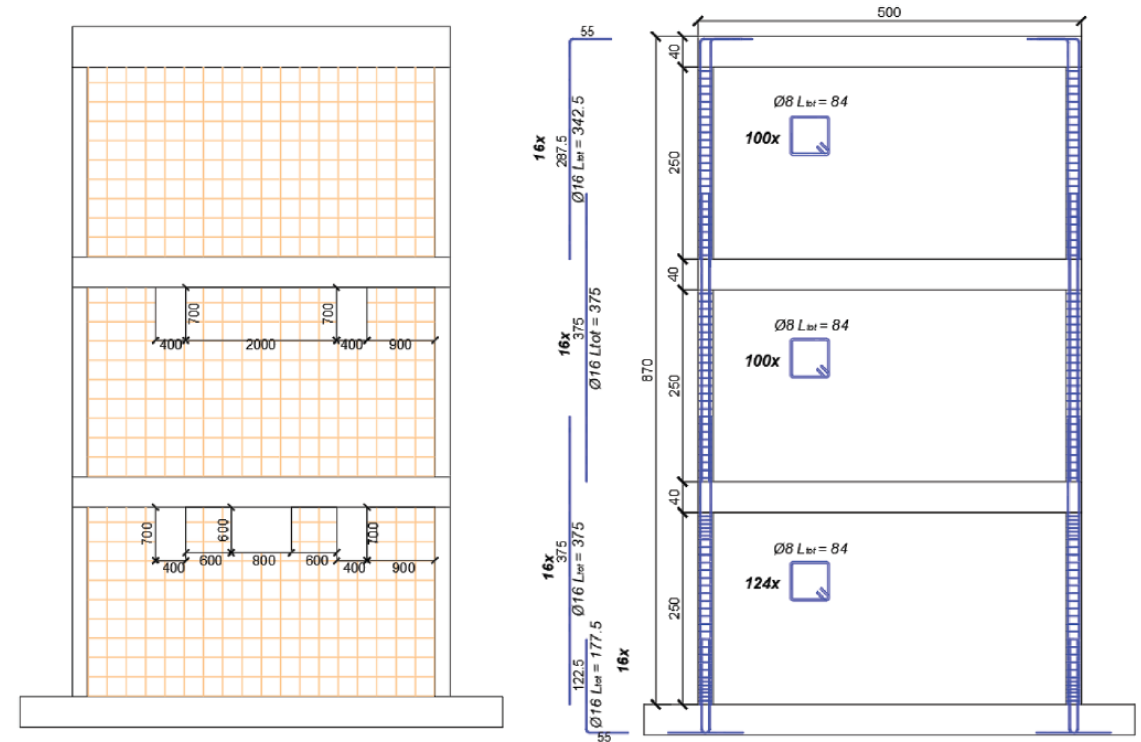
Edificio in c.a. – Campanile in muratura



I test sperimentali in EUCENTRE

► Test sperimentali su edificio in c.a. (2021)

Analisi comparativa per due edifici in scala reale disposti sulla medesima tavola vibrante, di cui uno dotato del sistema AMD.



Test su edifici in cemento armato

PGA
RIFERIMENTO 100 %

0.32 g

INTENSITÀ
EFFETTIVA

137 %

ACCELERAZIONE
DI PICCO AL SUOLO
MISURATA

0.44 g



I-PRO 1

NON INSTALLATO



I-PRO 1

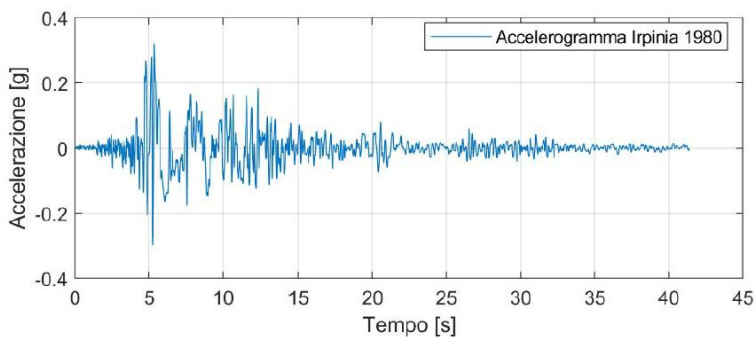
INSTALLATO



I test sperimentali in EUCENTRE

Test sperimentali su edificio in c.a. (2021)

Le storie di scuotimento ed i loro effetti sui provini



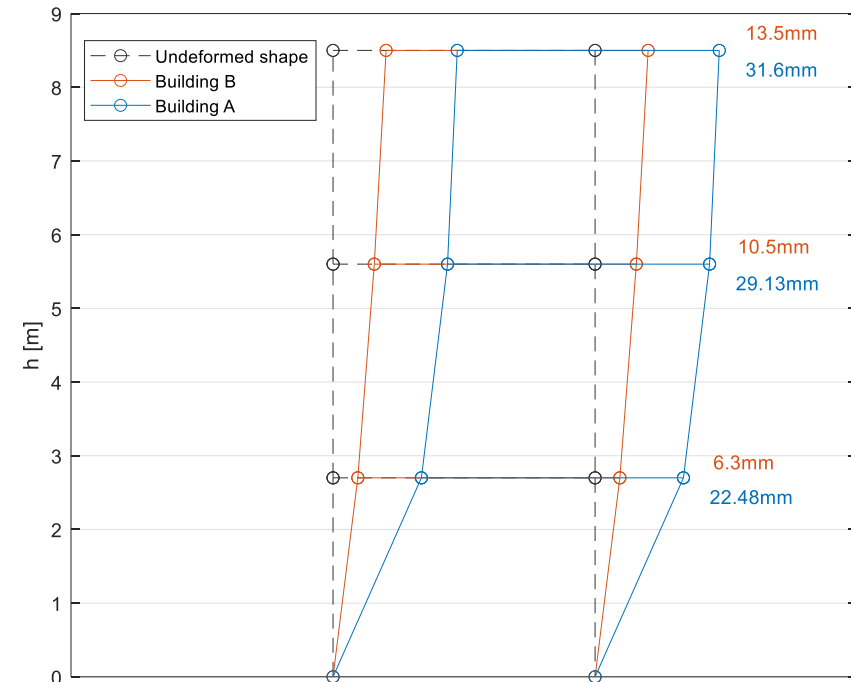
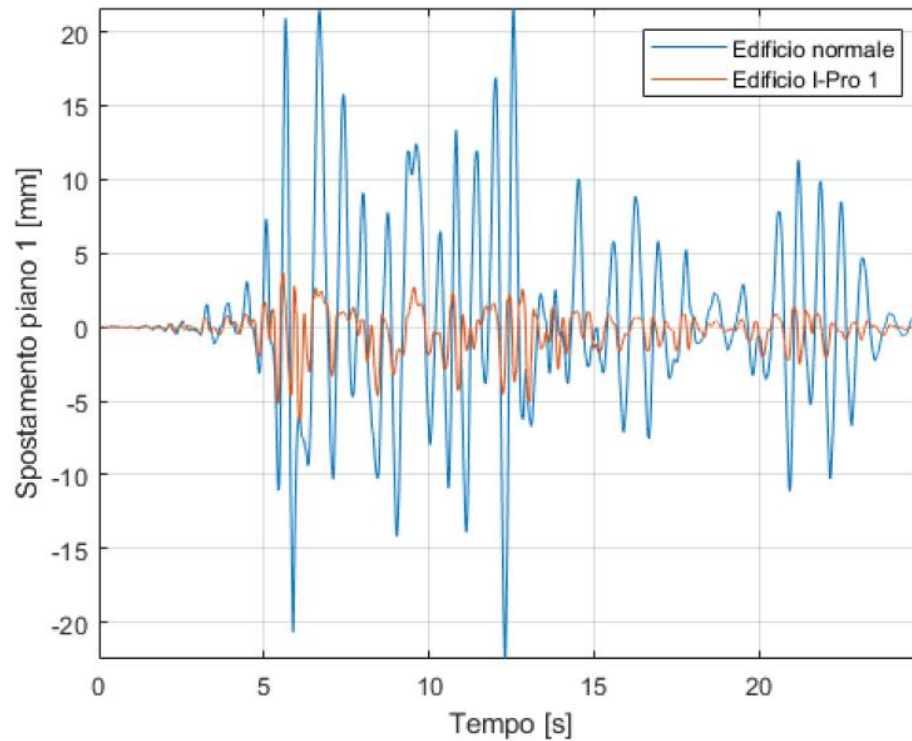
Day	Phase	CMP – ID test	Perc. of reference
1	1	1	10.0%
		2	17.5%
		3	25.0%
		4	32.5%
		5	40.0%
	2	6	45.0%
		7	50.0%
2	3	8	60.0%
		9	61.7%
		10	63.3%
		11	65.0%
		12	66.7%
		13	68.3%
		14	70.0%
3	4	15	10.0%
		16	30.0%
		17	50.0%
		18	70.0%
		19	137.0%



I test sperimentali in EUCENTRE

► Test sperimentali su edificio in c.a. (2021)

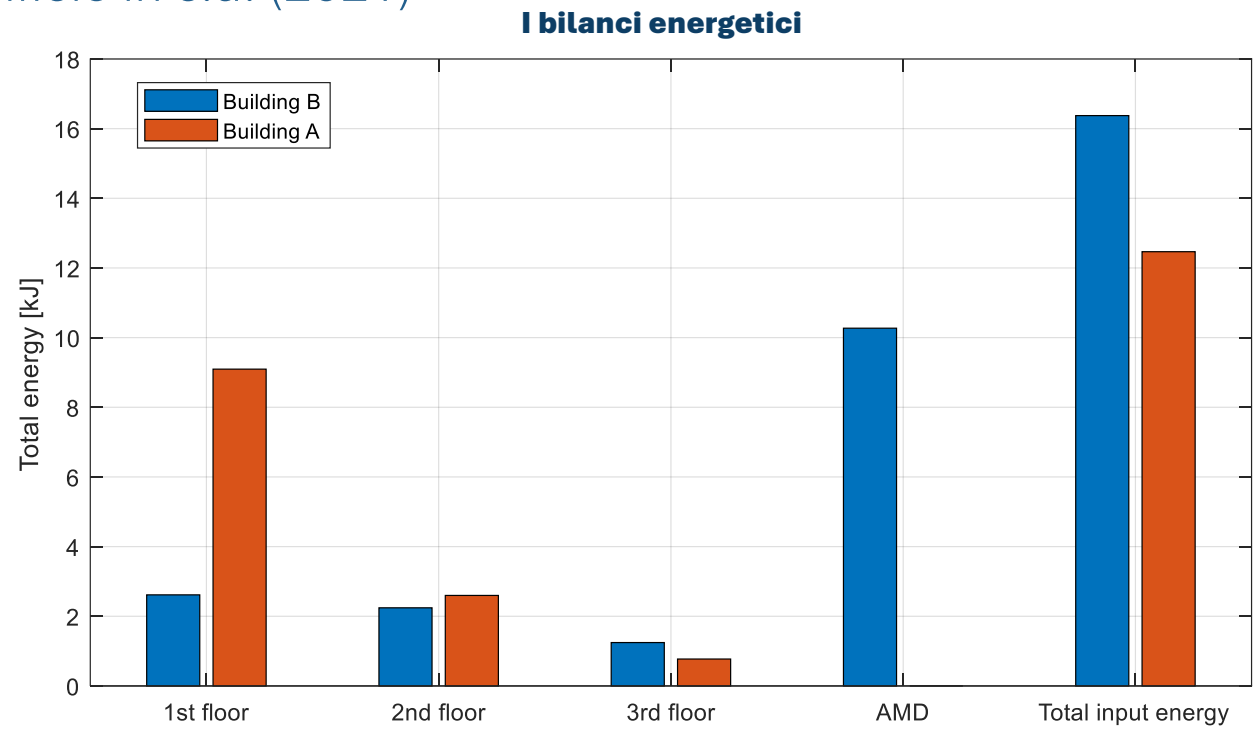
Riduzione degli spostamenti della struttura protetta con il sistema AMD



Riduzione drift massimo = -70%

I test sperimentali in EUCENTRE

» Test sperimentali su edificio in c.a. (2021)

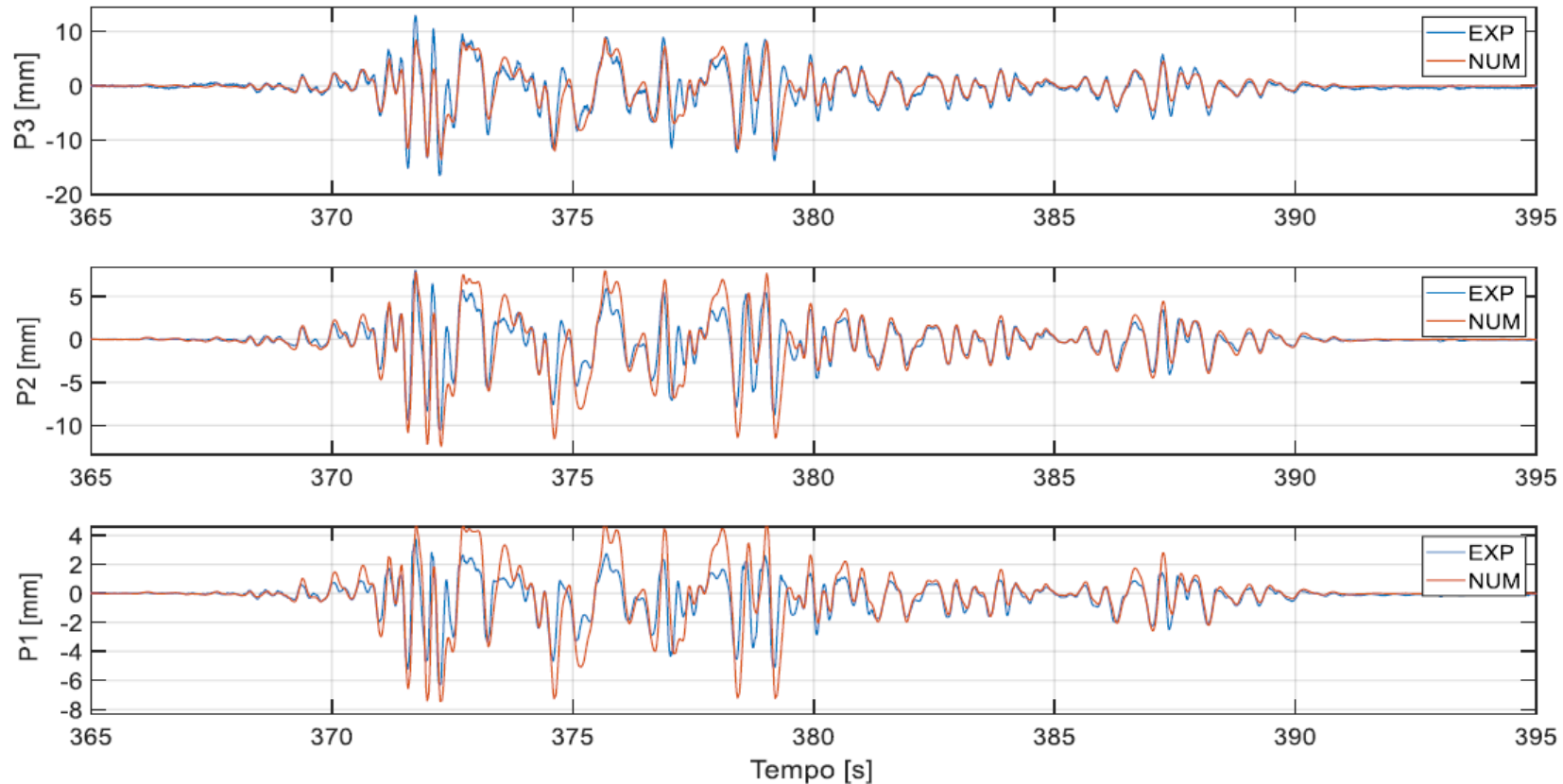


	Building A	Building B	
Energia assorbita dalla struttura [kJ]	12.6	6.1	→ Riduzione energia assorbita dalla struttura = -50%
Energia assorbita dall'AMD [kJ]	-	10.2	
Energia in input [kJ]	12.6	16.3	

I test sperimentali in EUCENTRE

► Test sperimentali su edificio in c.a. (2021)

Storie temporali degli spostamenti dei 3 piani dell'edificio equipaggiato con l'AMD: confronto numerico e sperimentale



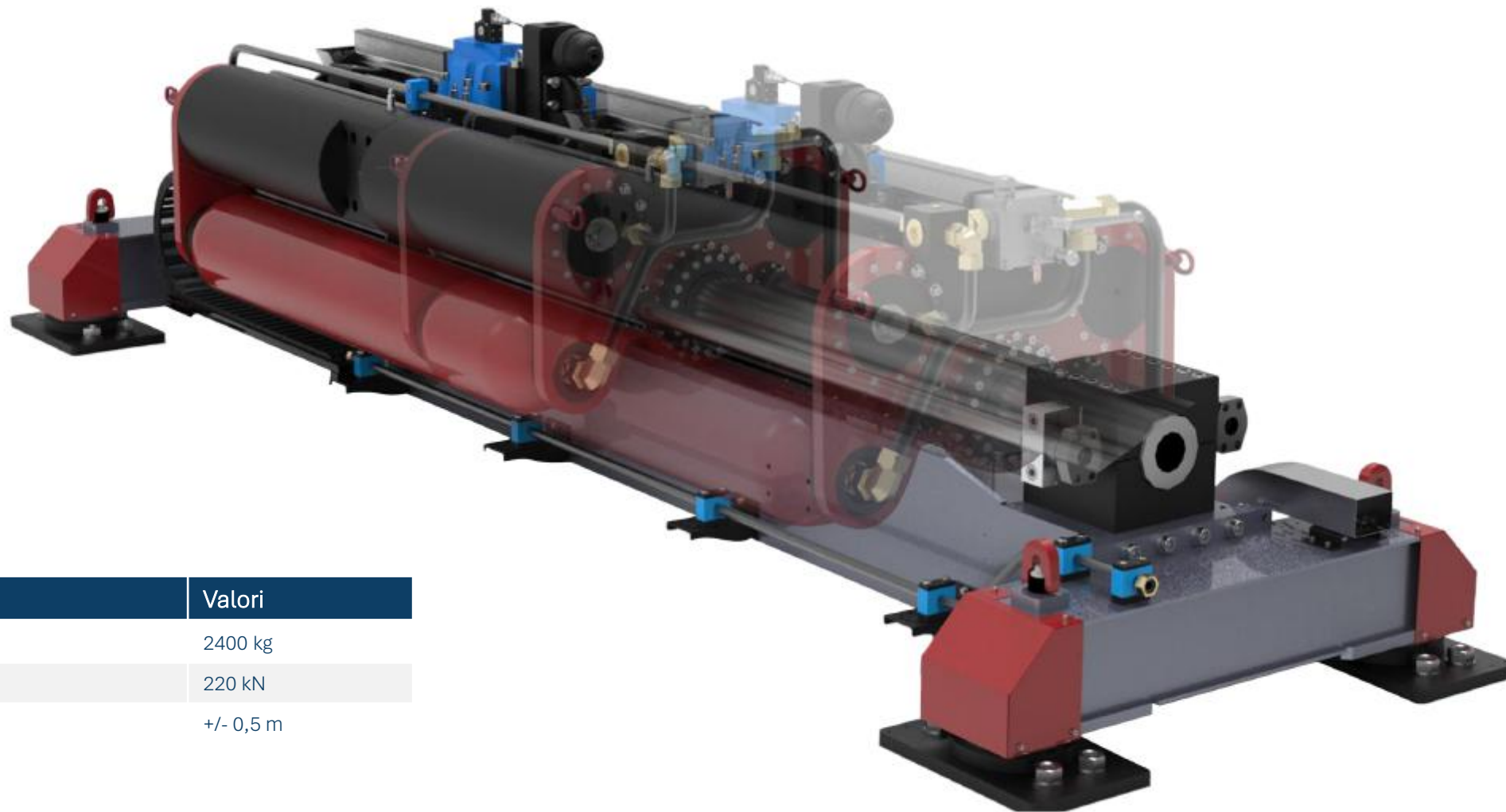
Test su edifici in cemento armato



Caratteristiche	Valori
Massa mobile	2400 kg
Forza massima erogata	220 kN
Corsa massima	+/- 0,5 m

I test sperimentali in EUCENTRE

► I-PRO 1



Caratteristiche

Valori

Massa mobile

2400 kg

Forza massima erogata

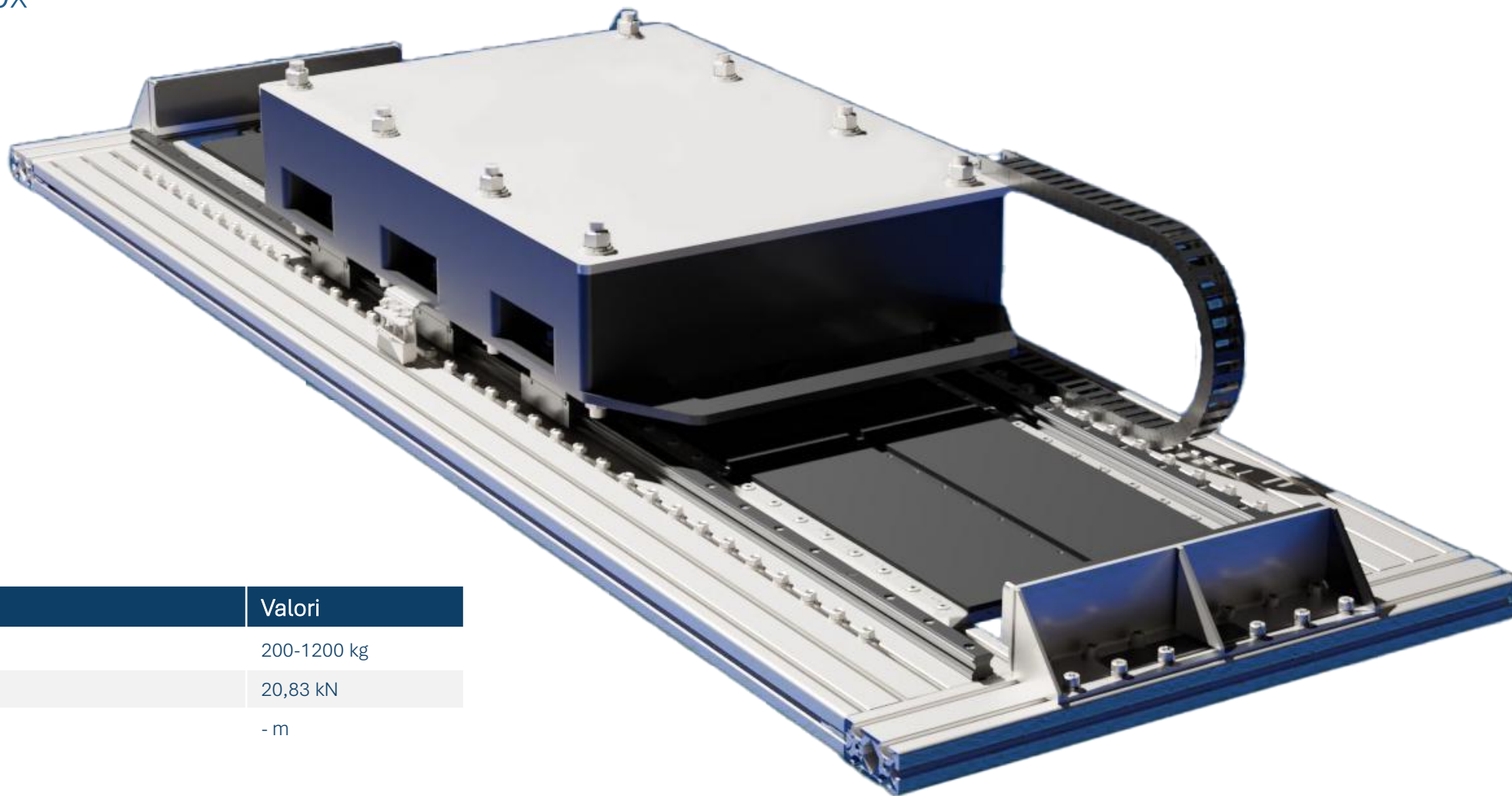
220 kN

Corsa massima

+/- 0,5 m

I test sperimentali in EUCENTRE

➤ Electro-Pro 20x



Caratteristiche

Valori

Massa mobile

200-1200 kg

Forza massima erogata

20,83 kN

Corsa massima

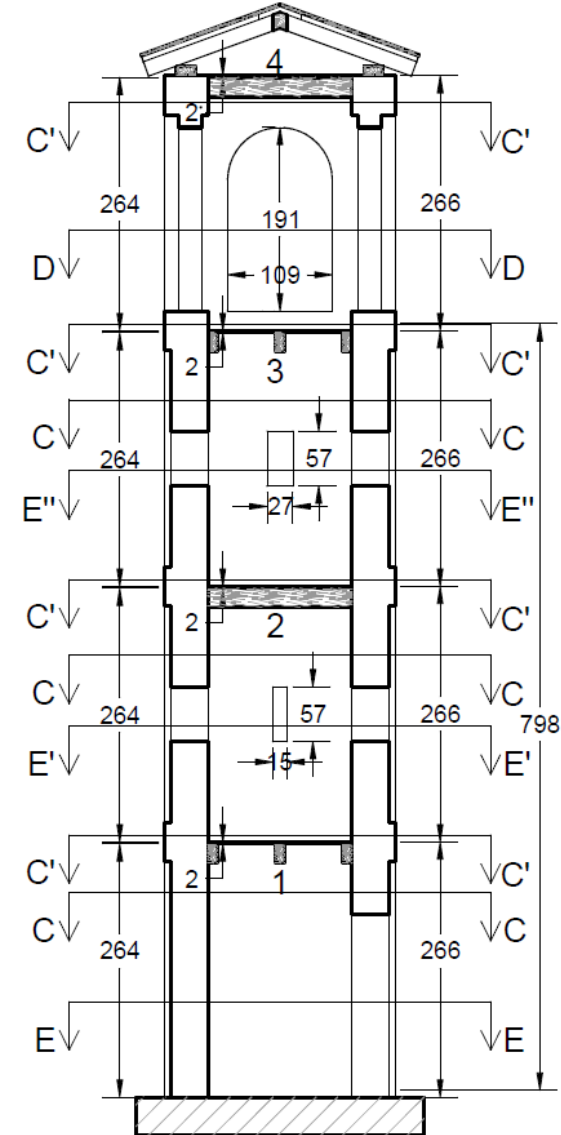
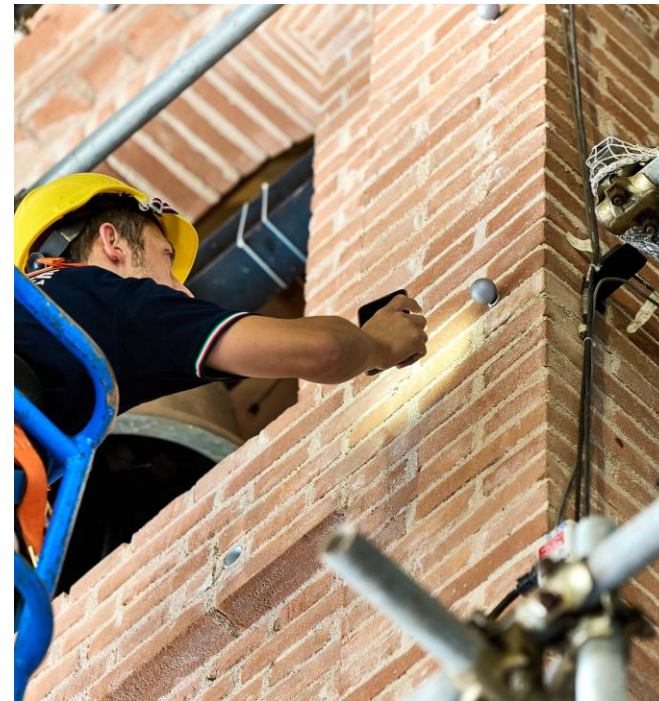
- m

I test sperimentali in EUCENTRE

► Test sperimentali su campanile in muratura (2024)

Test: installazione del nostro sistema su un **campanile in muratura** in **scala reale** costruito sulla tavola vibrante di **Eucentre**.

Questo progetto ha dimostrato come l'uso di sistemi antisismici innovativi può migliorare significativamente la risposta sismica di strutture storiche, senza doverne compromettere l'integrità architettonica.



I test sperimentali in EUCENTRE

► Test sperimentali su campanile in muratura (2024)

Per verificare l'efficacia dei sistemi Active Mass Damper su strutture in muratura, ISAAC ha condotto test su un campanile ricostruito in scala reale di 12 metri di altezza, installato su una tavola vibrante presso i laboratori EUCENTRE. Il campanile è stato equipaggiato con un attuatore inerziale e sensori accelerometrici in sommità.

Dettagli del Test:

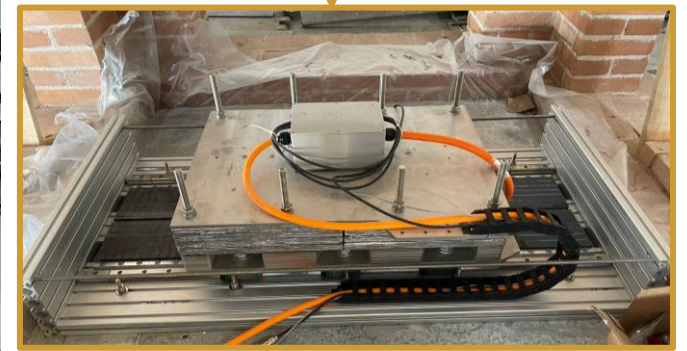
- **Rinforzo Strutturale:** L'ultimo solaio del campanile è stato rinforzato non invasivamente usando malta fibro-rinforzata;
- **Simulazione Sismica:** È stato utilizzato il sisma dell'Emilia del 2012, scalato a diverse intensità per testare la risposta della struttura sotto vari livelli di stress sismico.

Obiettivo dei Test:

- **Dimostrazione di Retrofit:** Questi test mirano a dimostrare come le strutture esistenti, come i campanili, possano essere efficacemente retrofittate combinando soluzioni tradizionali di consolidamento strutturale con le avanzate tecnologie di controllo della risposta sismica sviluppate da ISAAC.



Test in collaborazione con:



Test patrocinato da:

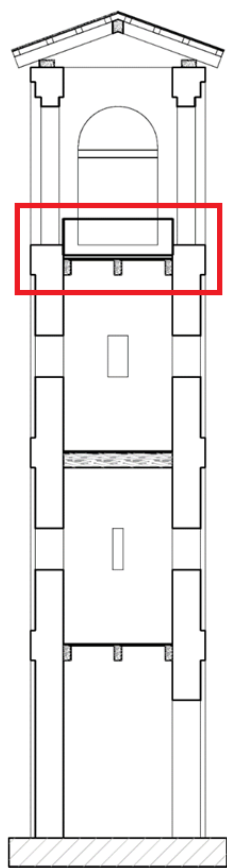


Ufficio Nazionale
per i beni culturali ecclesiastici
e l'edilizia di culto

I test sperimentali in EUCENTRE

► Test sperimentali su campanile in muratura (2024)

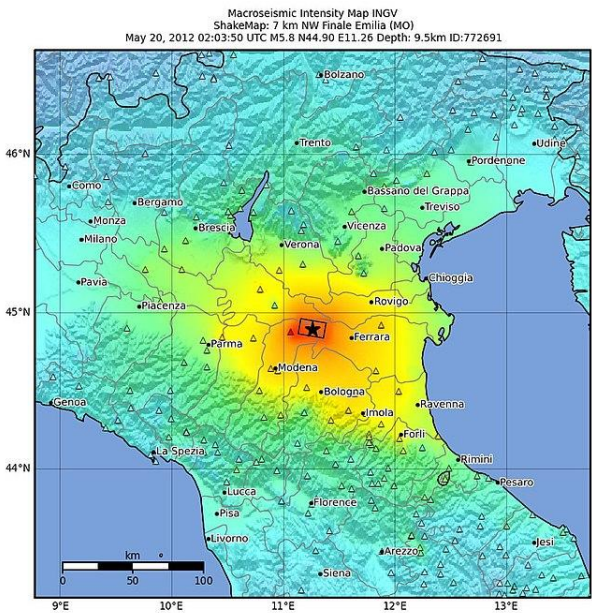
Getto di ancoraggio della macchina



I test sperimentali in EUCENTRE

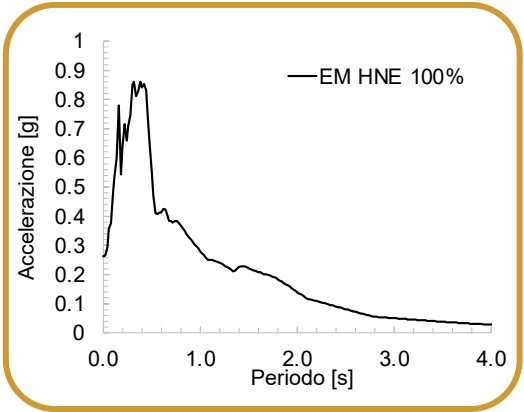
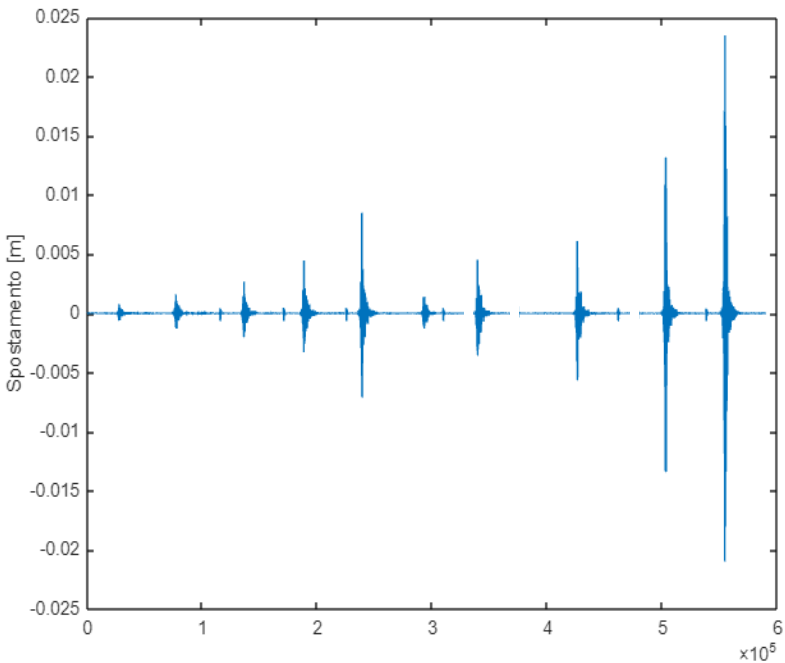
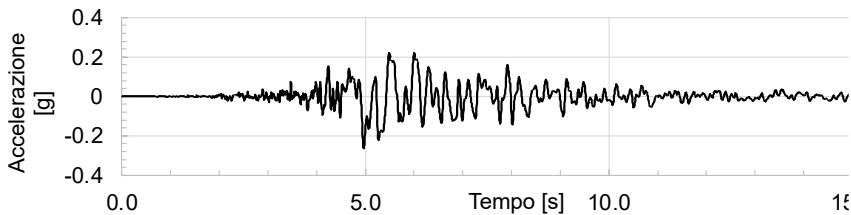
Test sperimentali su campanile in muratura (2024)

Accelerogramma di riferimento



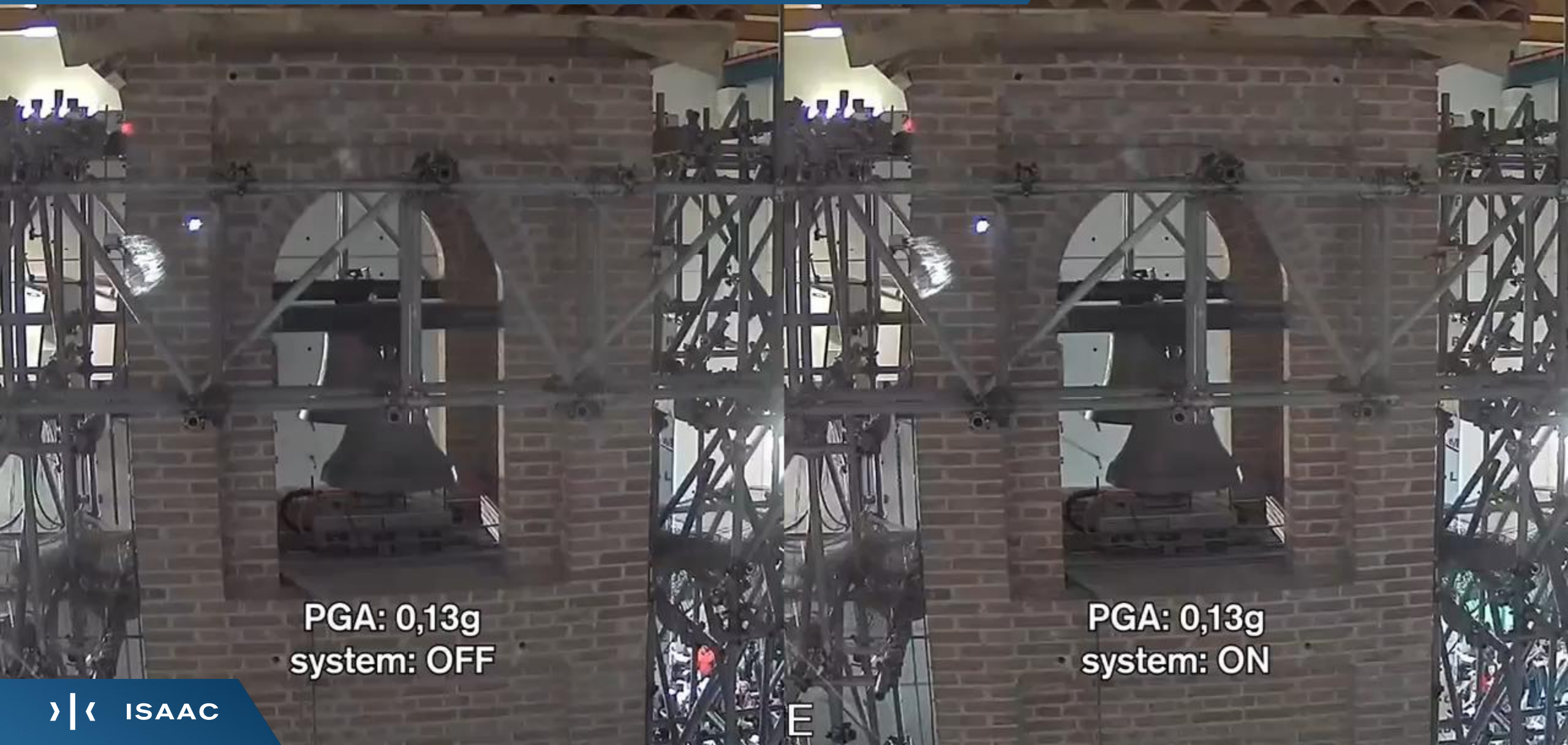
SHAKING	Not felt	Weak	Light	Moderate	Strong	Very strong	Severe	Violent	Extreme
DAMAGE	None	None	None	Very light	Light	Moderate	Moderate/heavy	Heavy	Very heavy
PGA(%g)	<0.0556	0.0556	0.1112	0.1667	0.2222	0.2778	0.3333	0.3889	>0.4444
PGV(cm/s)	<0.0178	0.0178	0.0356	0.0533	0.0711	0.0889	0.1067	0.1244	>0.1422
INTENSITY	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X

Scale based on Faenza and Michelini (2010, 2011)
Version 1: Processed 2021-11-15T17:23:30Z
★ Epicenter □ Rupture
△ Seismic instrument ○ Reported intensity





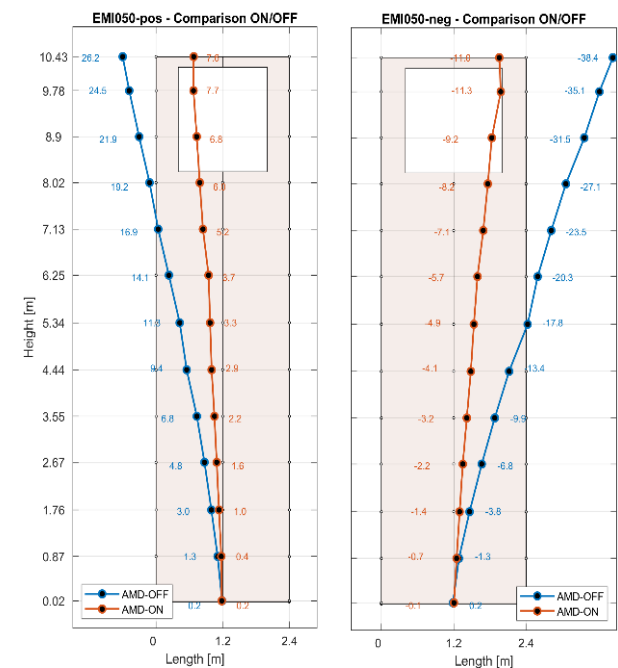
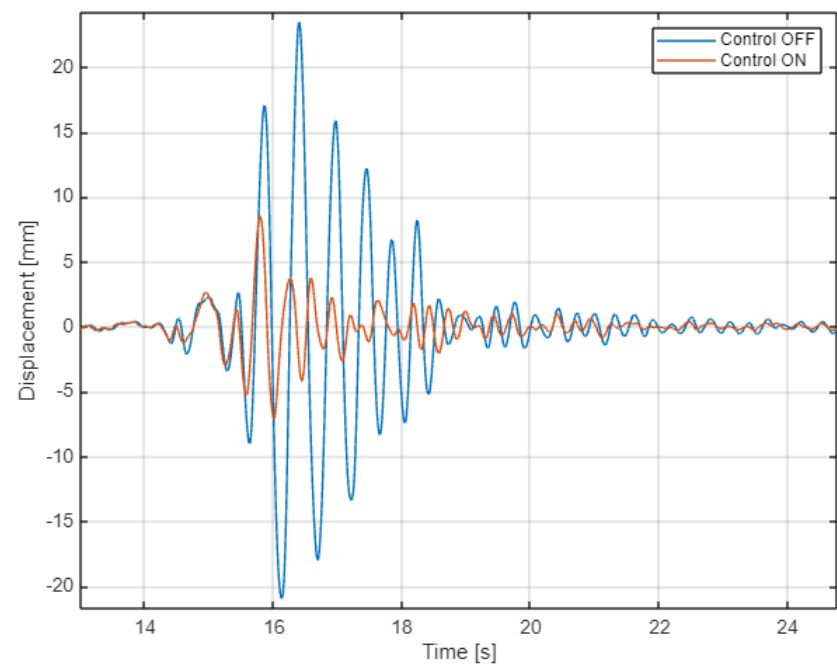
Test su campane in muratura



I test sperimentali in EUCENTRE

» Test sperimentali su campanile in muratura (2024)

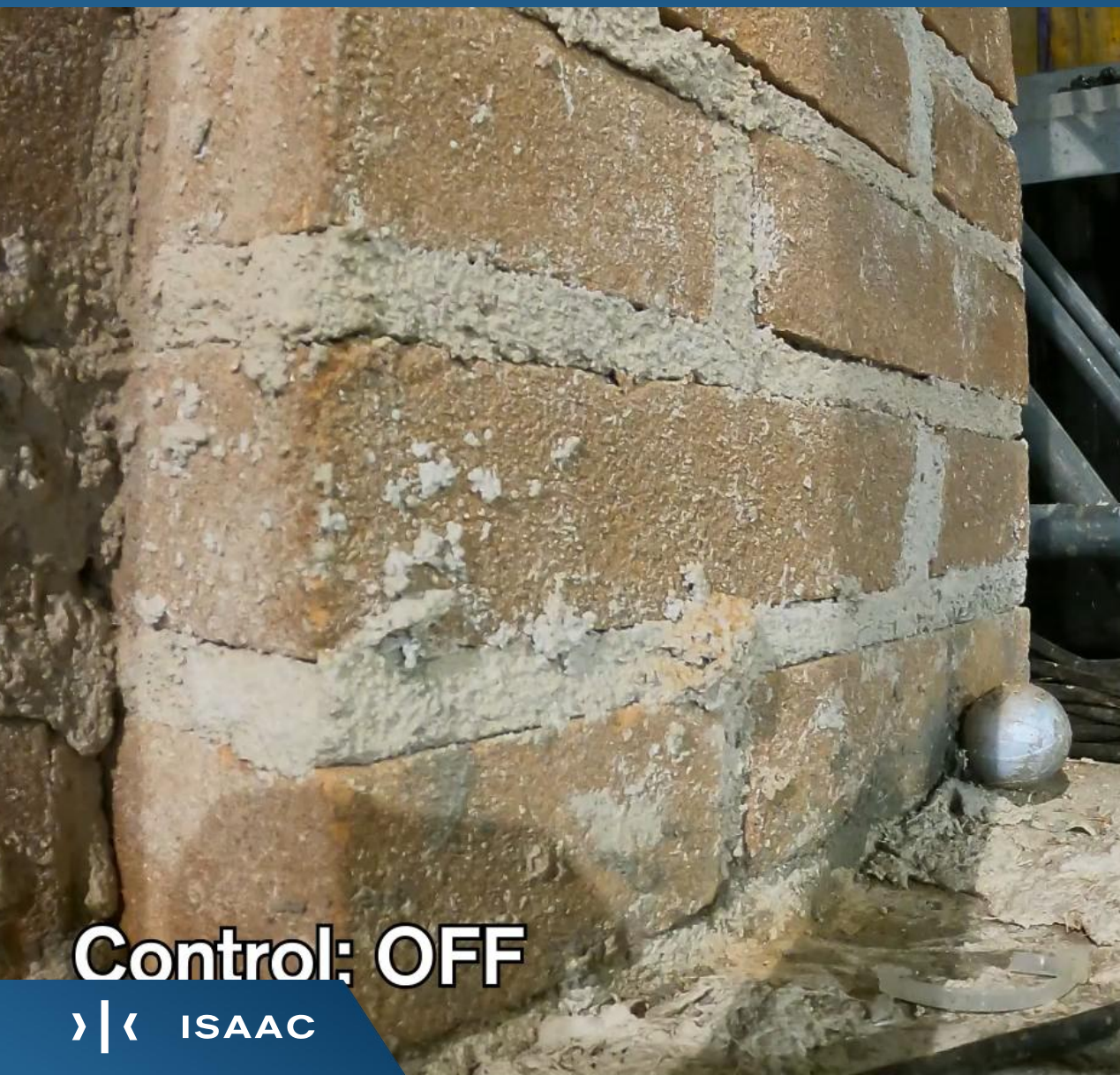
Riduzione degli spostamenti



PGA 0.13 g	Valori
Spostamento relativo struttura «Sistema OFF»	23.46 mm
Spostamento relativo struttura «Sistema ON»	8.40 mm
Riduzione degli spostamenti relativi raggiunta	-64%

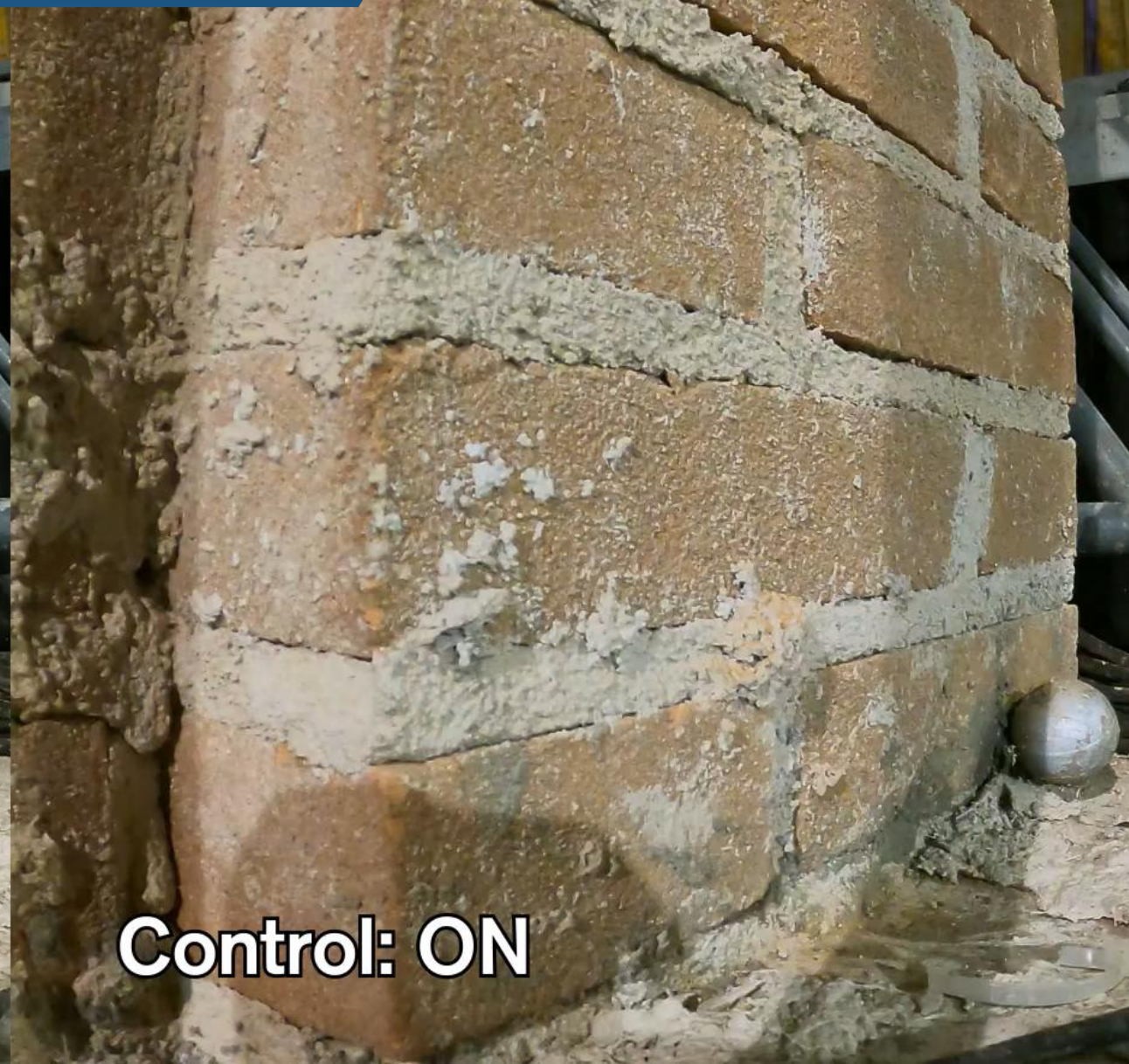
Test su campanile in muratura

ISAAC



Control: OFF

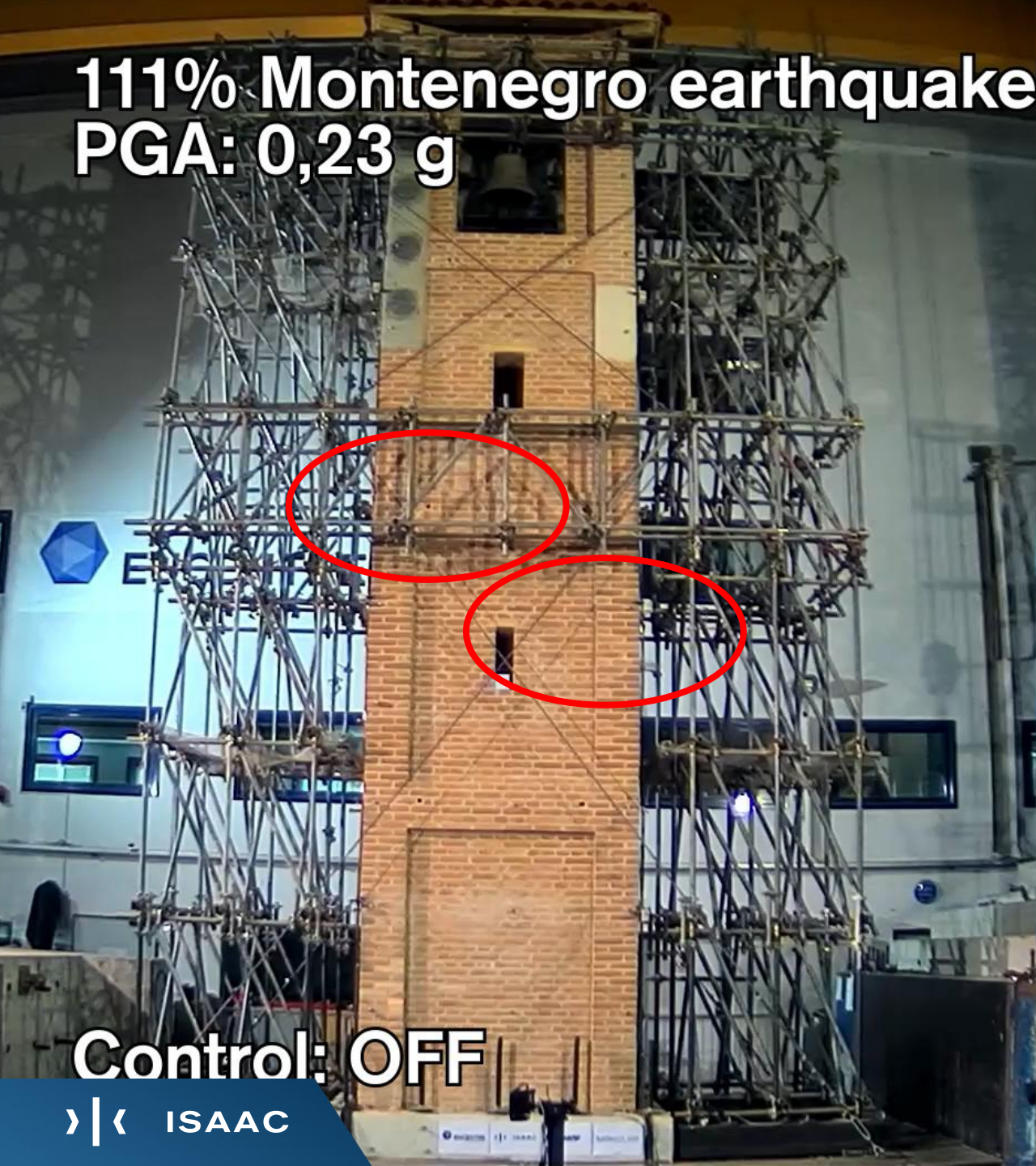
ISAAC



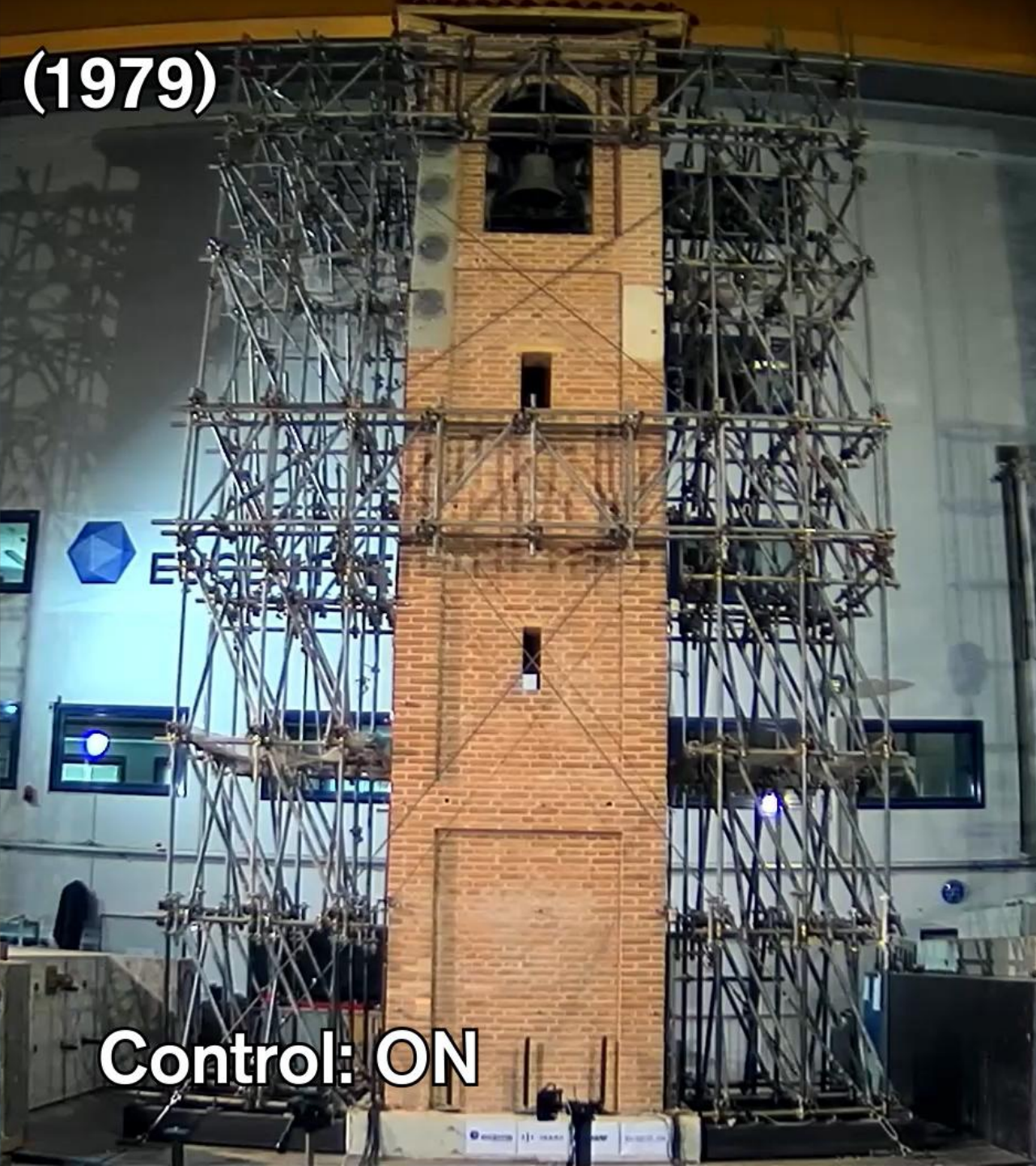
Control: ON

111% Montenegro earthquake (1979)

PGA: 0,23 g



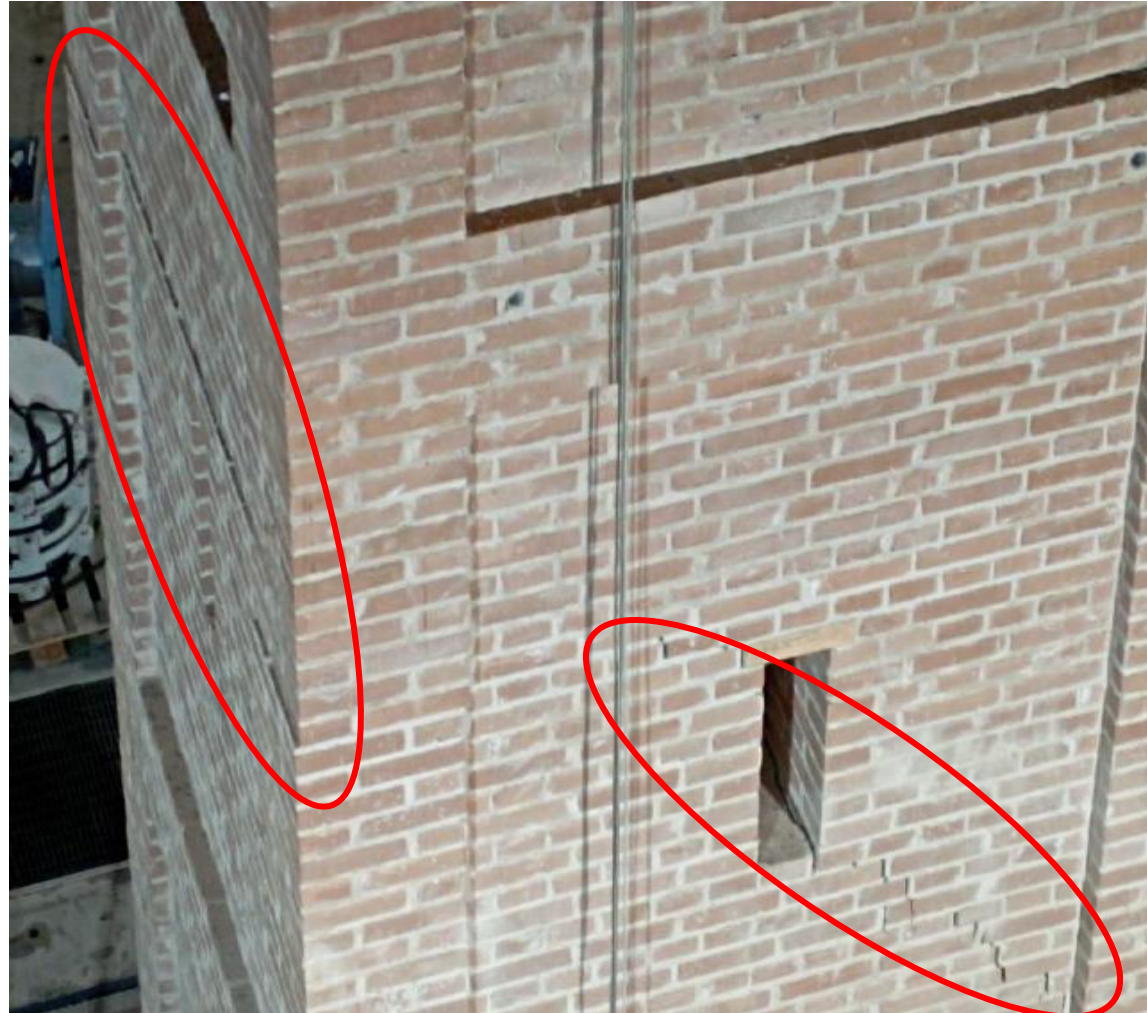
Control: OFF



Control: ON

I test sperimentali in EUCENTRE

➤ Test sperimentali su campane in muratura (2024)



4.

Componenti e principio di funzionamento dei sistemi AMD di ISAAC

—
Lo smorzamento supplementare
Cinematica AMD



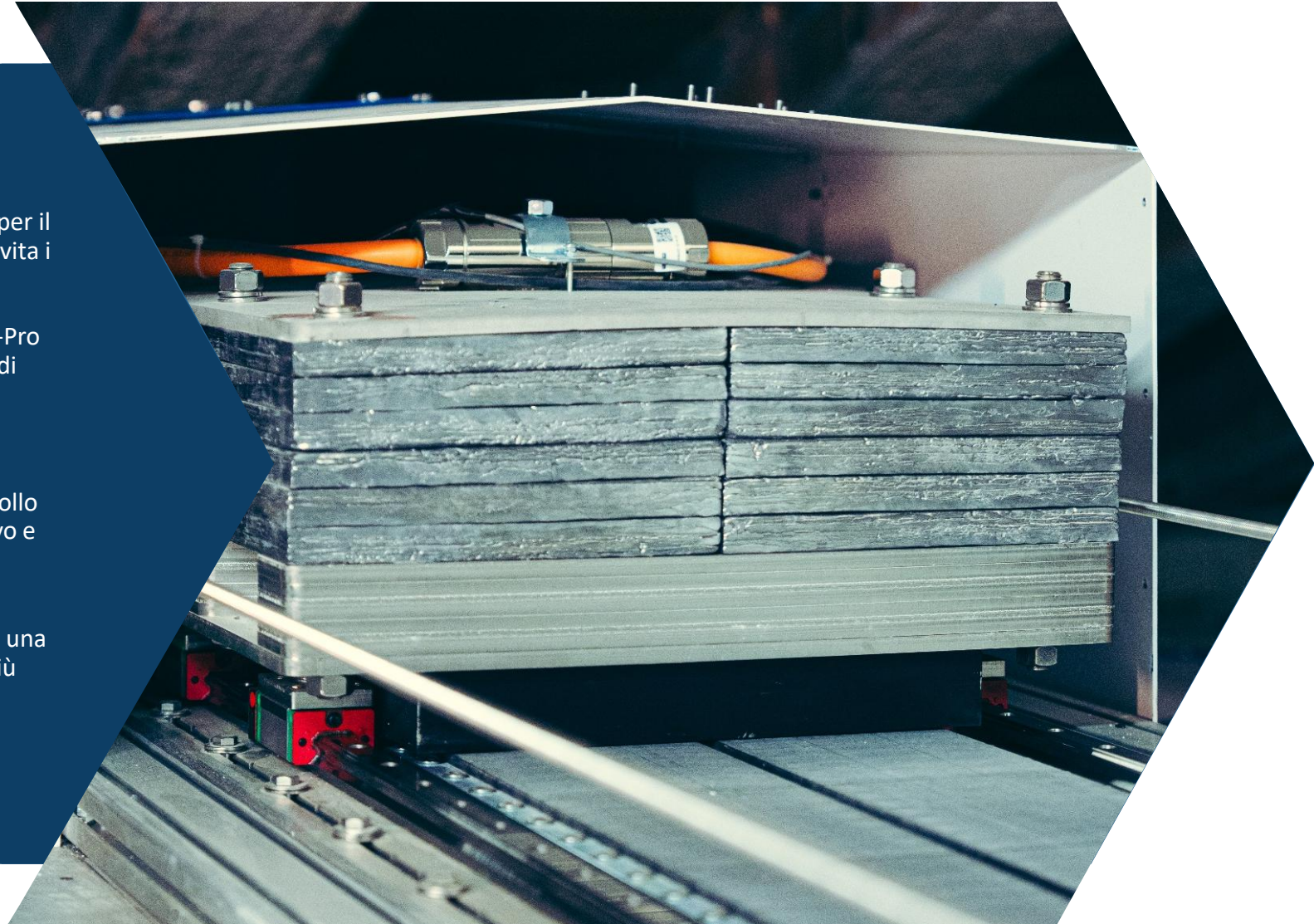
Protezione sismica

» Electro-Pro

Electro-Pro è il sistema attivo elettrico di nuova generazione per il controllo della risposta sismica che protegge la struttura ed evita i danni generati dai terremoti di media intensità. Questi infatti rappresentano la principale causa di danni agli elementi non strutturali e delle inagibilità temporanee dell'edificio. Electro-Pro è costituito da macchine completamente elettriche e dotate di motori lineari a magneti permanenti.

Il posizionamento dei singoli moduli può essere progettato in modo da applicare il sistema nella configurazione ideale per proteggere l'edificio dai sismi. È anche utilizzabile per il controllo di vibrazioni della struttura, per aumentare il comfort abitativo e alleviare la mental anxiety.

Electro-Pro è modulare in dimensioni e peso, in base alla struttura e alla sua dinamica. Qualora la struttura richiedesse una riduzione delle vibrazioni maggiore, è possibile assemblare più unità fino a raggiungere le performance desiderate.



Sistemi a controllo attivo di tipo AMD

► L'asse inerziale

- L'asse inerziale comprende la massa mobile, la slitta di scorrimento, l'attuatore elettrico ed il controllo in posizione
- L'attuatore è il componente che genera la trazione nei confronti della massa mobile, la quale, accelerando, trasferisce la forza inerziale di controllo alla sottostante slitta di scorrimento vincolata alla struttura
- Il controllo in posizione consente di controllare con precisione il movimento della massa mobile determinato dall'algoritmo di controllo



Sistemi a controllo attivo di tipo AMD

► Il quadro elettrico remoto - QERMT

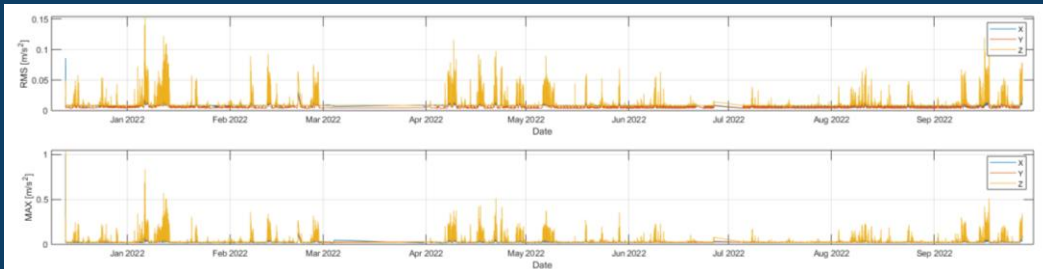
- E' costituito da batterie tampone LiPo indipendenti che garantiscono autonomia elettrica al sistema anche durante black-out
- E' dimensionato in modo da garantire funzionalità in assenza di rete elettrica così da mantenere il sistema attivo a protezione nei confronti degli sciami sismici successivi al *main shock*



Sistemi a controllo attivo di tipo AMD

► I sensori

- Forniscono la misura cinematica di feedback necessaria al controllo
- Misurano ed acquisiscono dati in continuo, consentendo anche il servizio di monitoraggio dinamico registrando l'attività sismica
- Il posizionamento è in prossimità dei punti di installazione degli assi inerziali e dei punti omologhi in corrispondenza del suolo



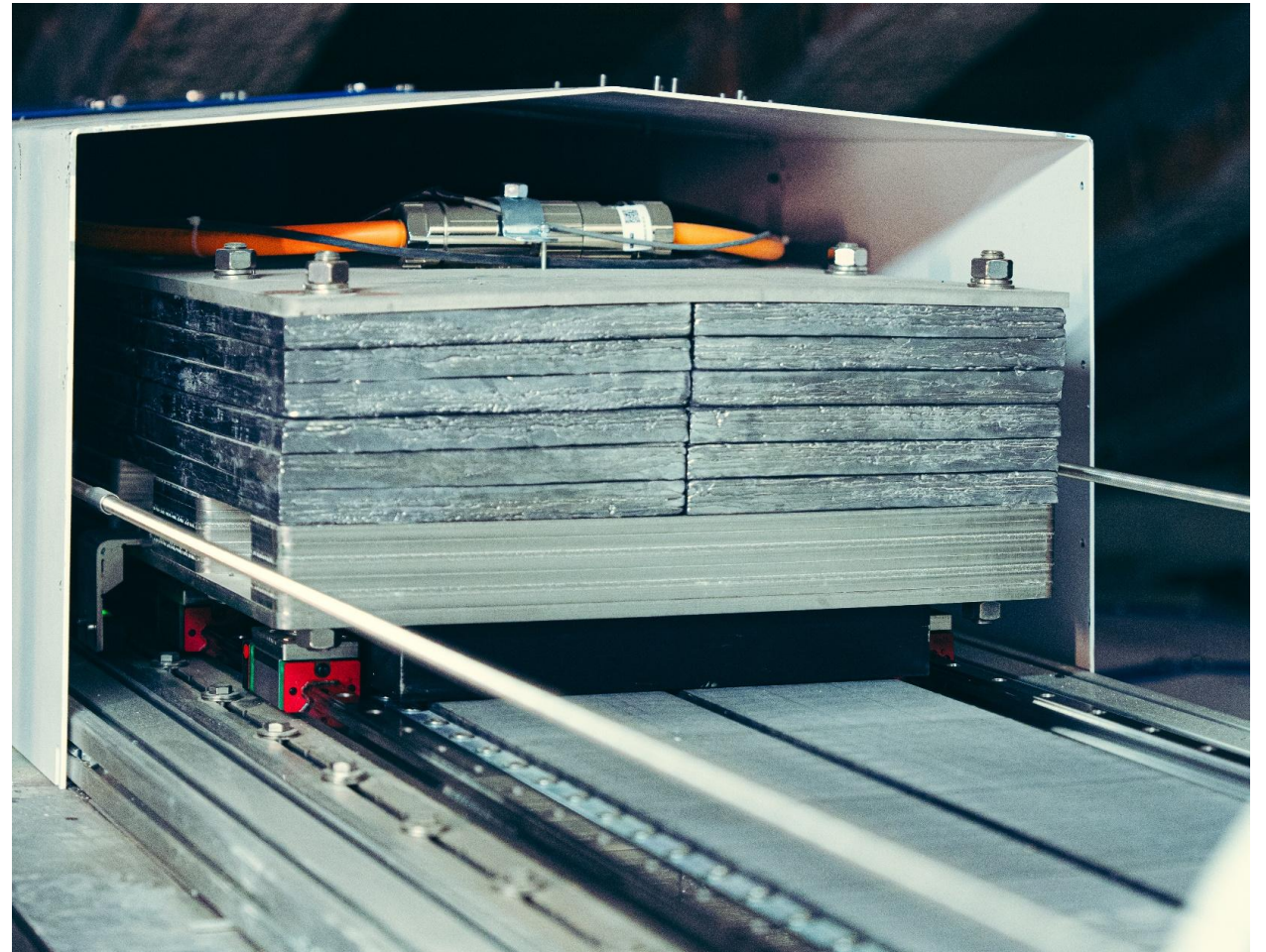
► Il quadro elettrico centrale - QECNT

-

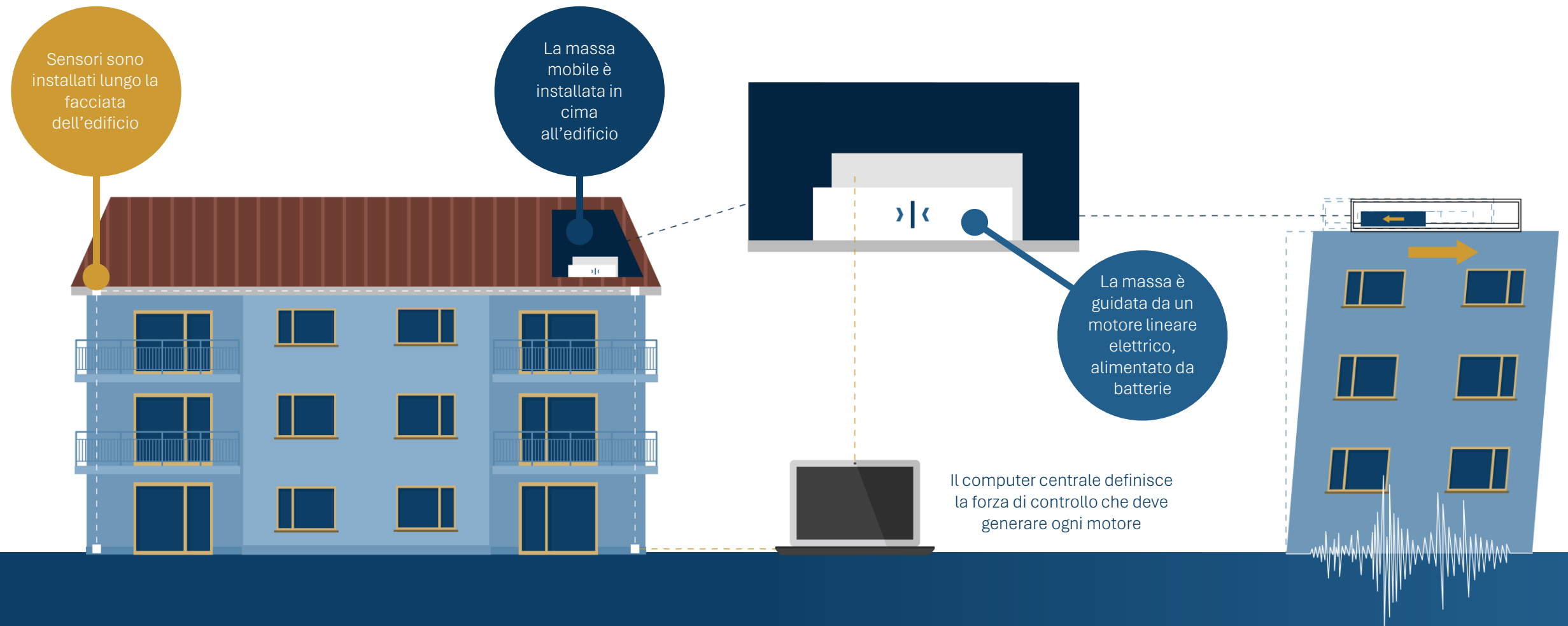
Sistemi a controllo attivo di tipo AMD

► Tecnologia ISAAC: Electro-Pro 20x e Electro-Pro 45x

Asse inerziale	
Dimensioni	B = 0.80 m, H = 0.50 m, L da definire
Peso (massa mobile)	da definire
QERTM - Quadro elettrico remoto	
Dimensioni	B = 0.50 m, L = 1.10 m, H = 0.80 m
Peso	150 kg
QECNT – Quadro elettrico centrale	
Dimensioni	B = 0.60 m, L = 0.80 m, H = 1.60 m
Peso	350 kg
BATT – Quadro batterie	
Dimensioni	B = 0.40 m, L = 0.60 m, H = 0.90 m
Peso	100 kg
SISTEMA	
Forza massima di picco	20.8 kN o 45 kN
Accelerazione max	8 g
Velocità max	4.9 m/s
Autonomia batterie	24h (in assenza di rete elettrica)



Come funziona



I **motori elettrici** vengono installati in cima alla struttura, mentre i **sensori** vengono posizionati in diversi punti della struttura. I sensori registrano le oscillazioni causate da eventi naturali, consentendo un **monitoraggio continuo**. Il segnale viene poi letto e processato dal computer centrale che, grazie ad appositi algoritmi, comunica ai motori elettrici quanto muovere le masse, generando così forze stabilizzanti.

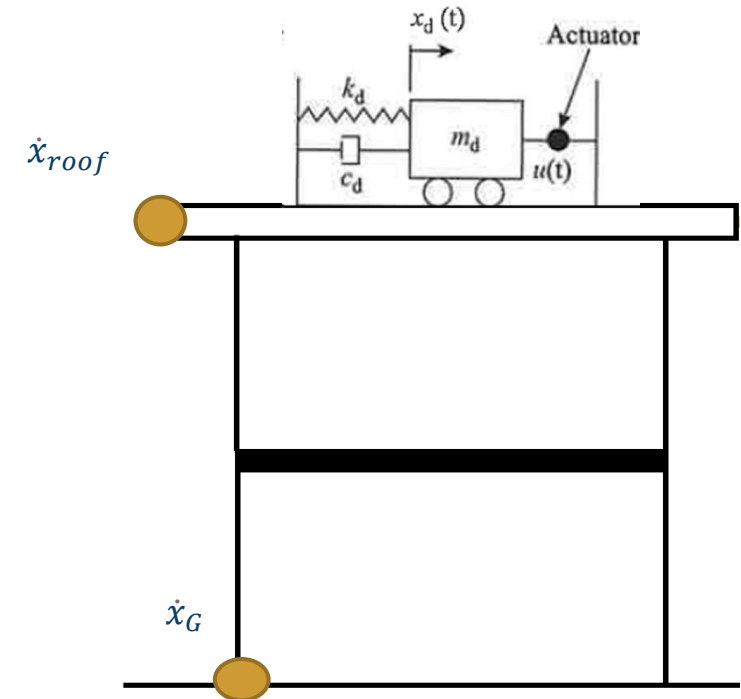
Sistemi a controllo attivo di tipo AMD

► L'algoritmo di controllo

Il sistema di controllo è del tipo *Sky-Hook*: la massa mobile dell'asse inerziale viene movimentata dall'attuatore in modo tale da erogare una forza inerziale di controllo proporzionale alla differenza di velocità registrata dal sistema di monitoraggio alla quota di installazione del dispositivo ed alla base dell'edificio, ed una costante di *Gain*.

- Non dipende dalle caratteristiche della struttura
- Risponde solamente in ragione della velocità che la struttura sperimenta
- Algoritmo di controllo semplice robusto
- Richiede il tuning del Gain

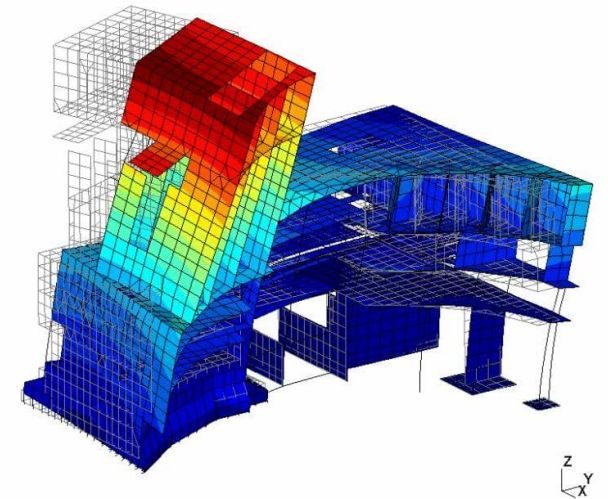
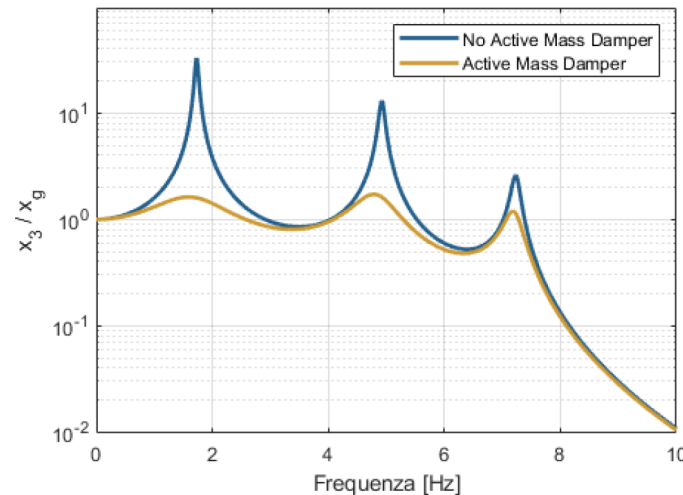
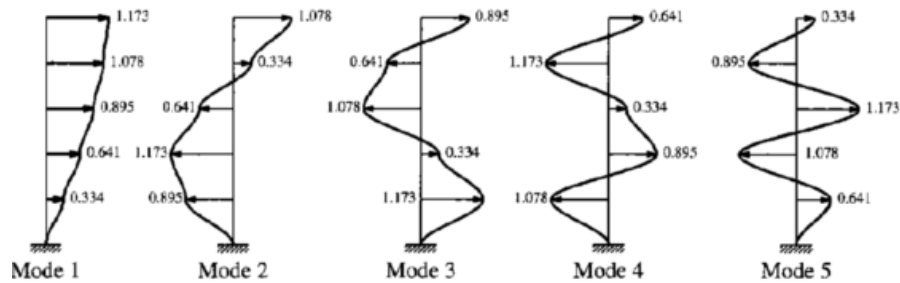
$$F_{control} = -G \cdot (\dot{x}_{roof} - \dot{x}_G)$$



Principi di funzionamento degli AMD

► Sistemi AMD – Lo smorzamento supplementare

I sistemi AMD producono un effetto di smorzamento aggiunto alla struttura, non solo sulla prima frequenza propria come i sistemi TMD, ma su un range di frequenze più ampio, rendendoli così più efficienti. Inoltre, grazie al contributo degli attuatori che accelerano le masse mobili fino a 9g, l'entità di queste risulta molto più contenuta permettendone un'elevata integrabilità anche sul costruito.

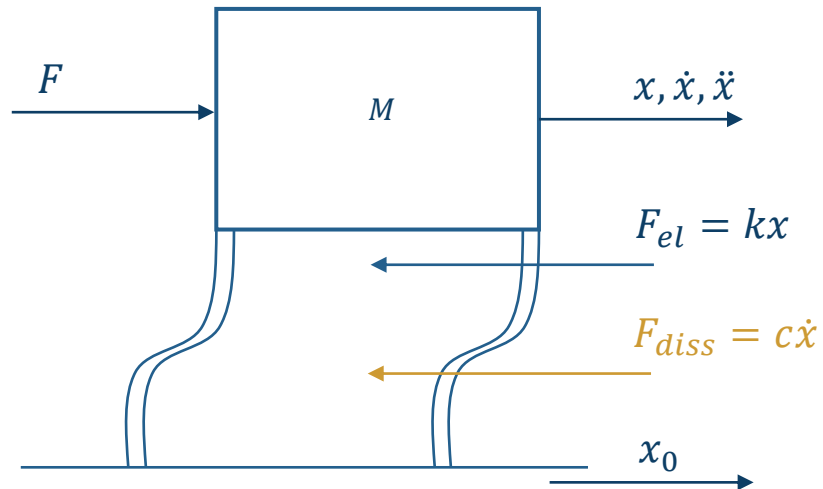


Principi di funzionamento degli AMD

► Sistemi AMD – Lo smorzamento supplementare

Il principio di funzionamento del sistema si basa sulla logica di controllo implementata all'interno del computer centrale. La scelta di una legge *Sky-Hook velocity feedback* permette di ottenere forze di controllo in grado di incrementare lo smorzamento strutturale.

Struttura smorzata con AMD che eroga la forza F



$$F_{AMD} = -G\dot{x}$$

Legge di controllo di tipo Sky-Hook

$$c\dot{x} + kx - F = -m(\ddot{x} + \ddot{x}_0)$$

Equilibrio dinamico

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = -m\ddot{x}_0 - G\dot{x}$$

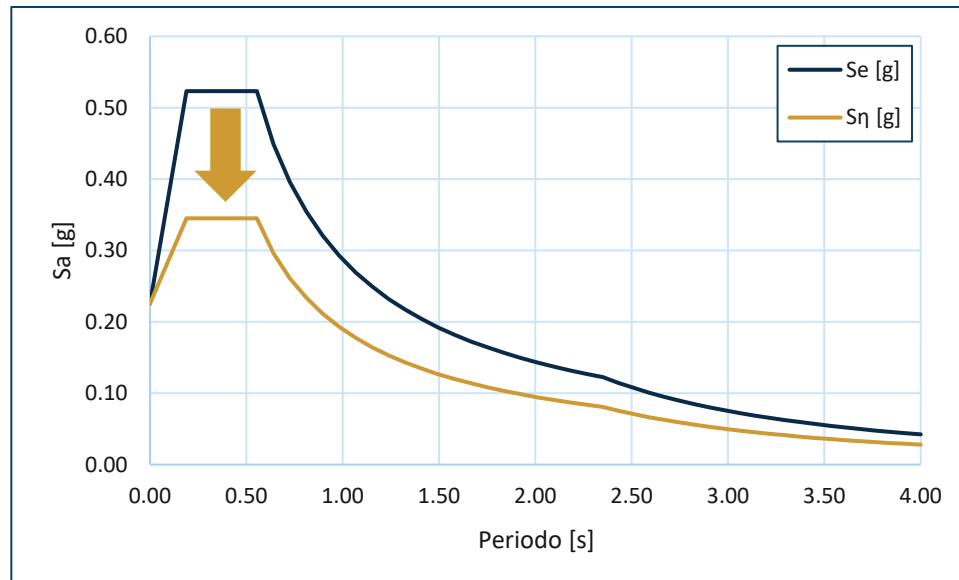
Equazione di moto

$$m\ddot{x} + (c + G)\dot{x} + kx = -m\ddot{x}_0$$

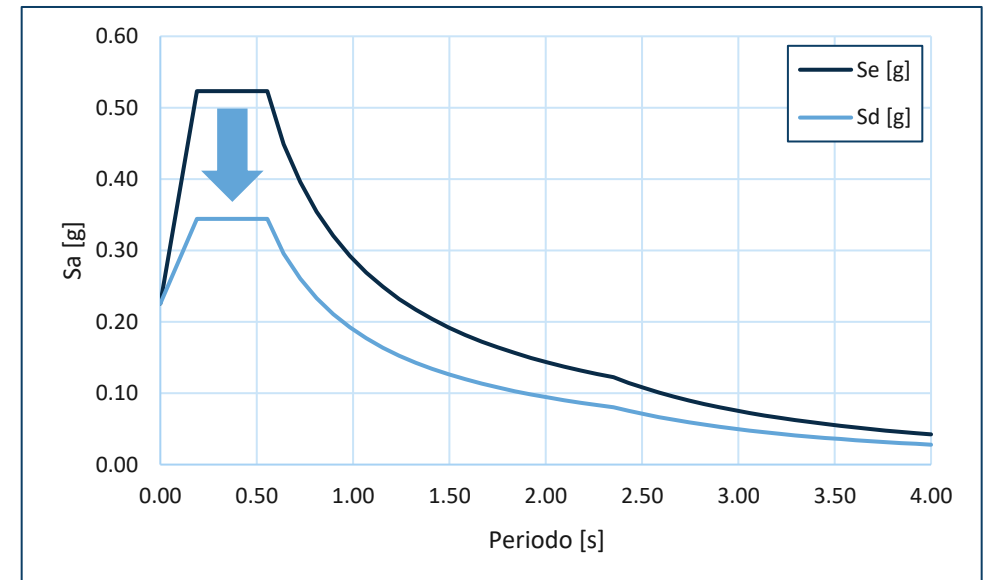
Incremento di smorzamento

Principi di funzionamento degli AMD

➤ Riduzione dello spettro elastico



Smorzamento



Fattore di comportamento

$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5 + 100\xi}} \rightarrow q = 1/\eta$$

Principi di funzionamento degli AMD

► Sistemi AMD – Lo smorzamento supplementare

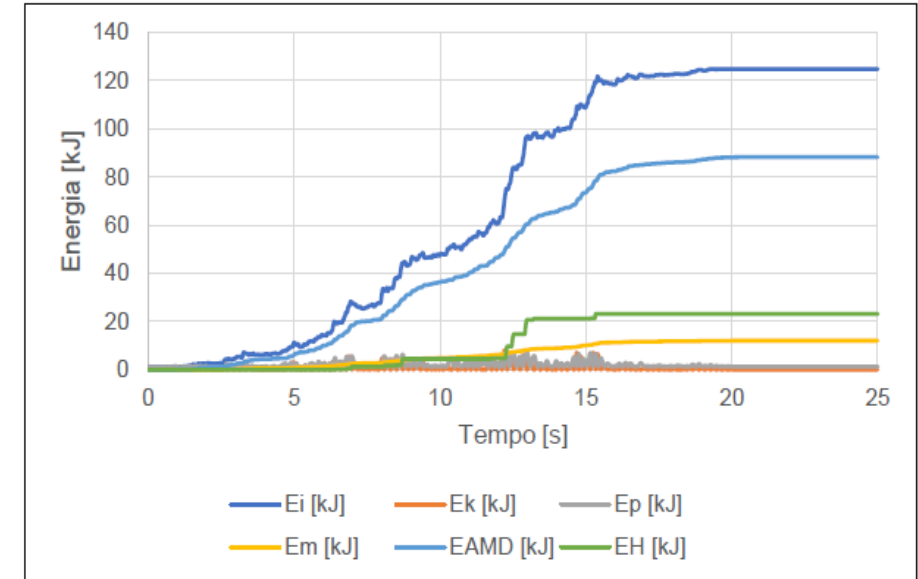
Bilancio energetico

$$E_I(t) = (E_K(t) + E_S(t)) + E_{\xi,m}(t) + E_{\xi,v}(t) + E_H(t)$$



Energia dissipata dagli AMD

- $E_I(t)$: energia di input
- $E_K(t)$: energia cinetica
- $E_S(t)$: energia potenziale elastica
- $E_{\xi,m}(t)$: energia di smorzamento globale
- $E_{\xi,v}(t)$: energia di smorzamento viscoso
- $E_H(t)$: energia di isteresi meccanica



Potenza dissipata: $W_{diss} = F \dot{x}$

Energia dissipata: $E_{diss} = \int_0^T F \dot{x} dt$

Principi di funzionamento degli AMD

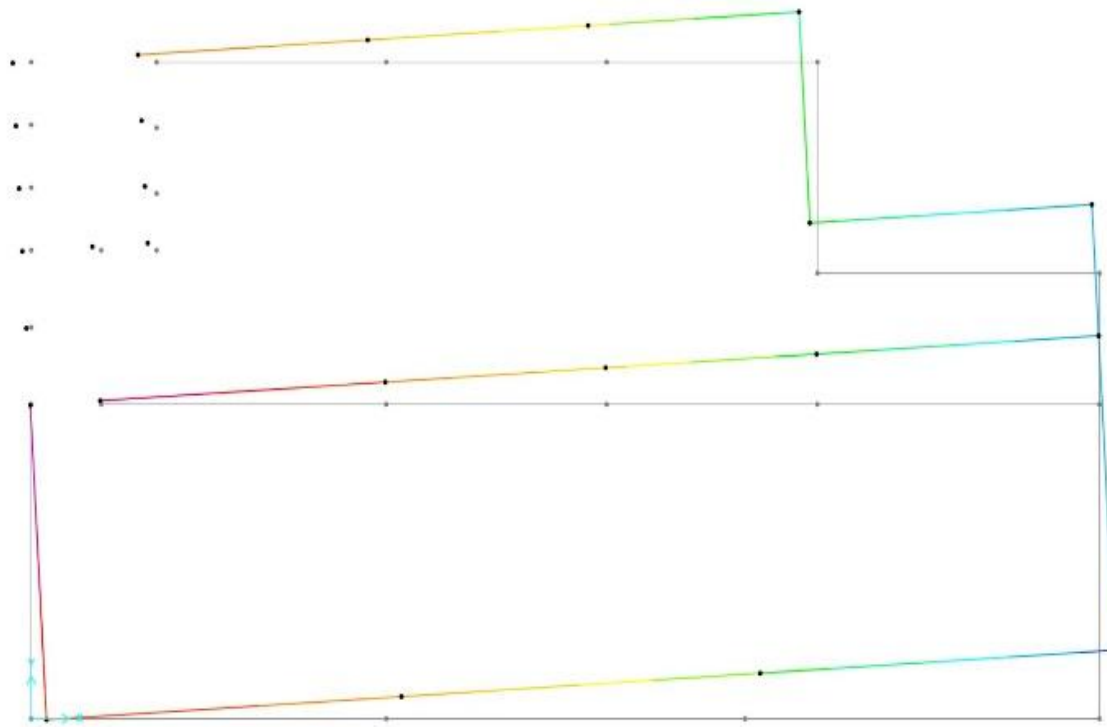
► Posizione degli assi inerziali



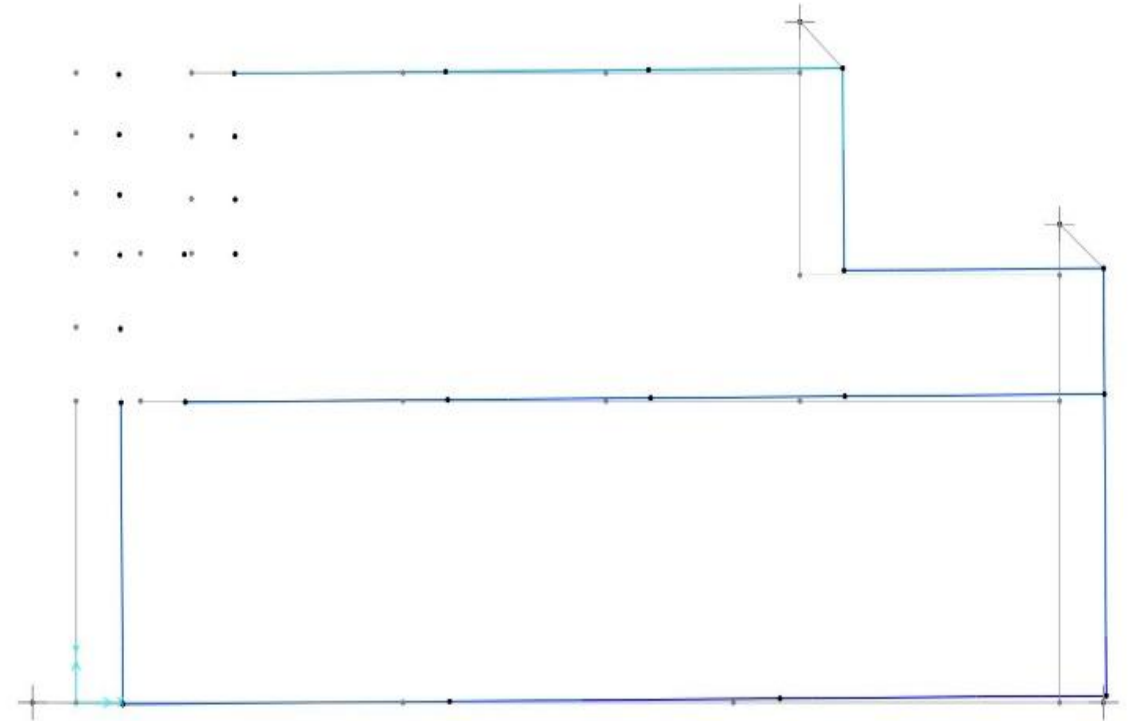
AMD e relativo quadro remoto

Principi di funzionamento degli AMD

► Posizione degli assi inerziali



STRUTTURA NC

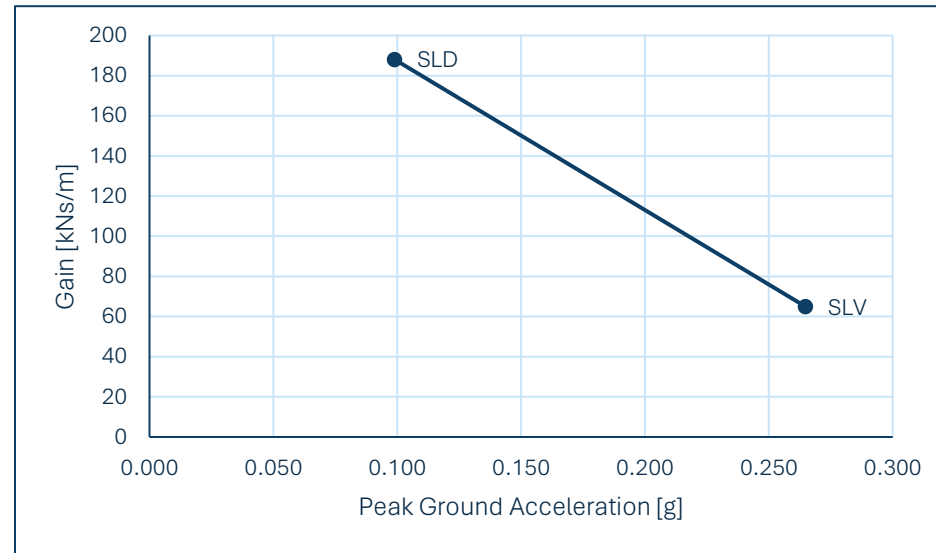


STRUTTURA C

Principi di funzionamento degli AMD

► Calibrazione del Gain

$$\begin{cases} F_c = -G\dot{x} \\ F_c < m_{AMD}v_{AMD,max}2\pi f_0 \end{cases} \longrightarrow G = \frac{m_{AMD}v_{AMD,max}2\pi f_0}{\dot{x}}$$

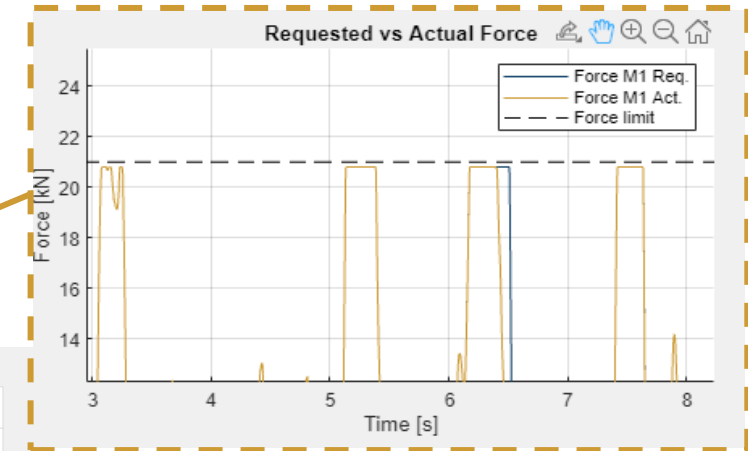
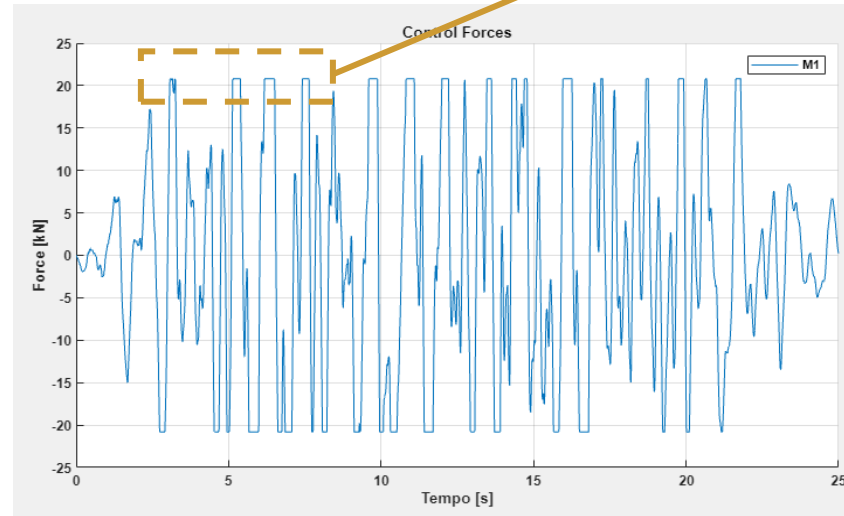
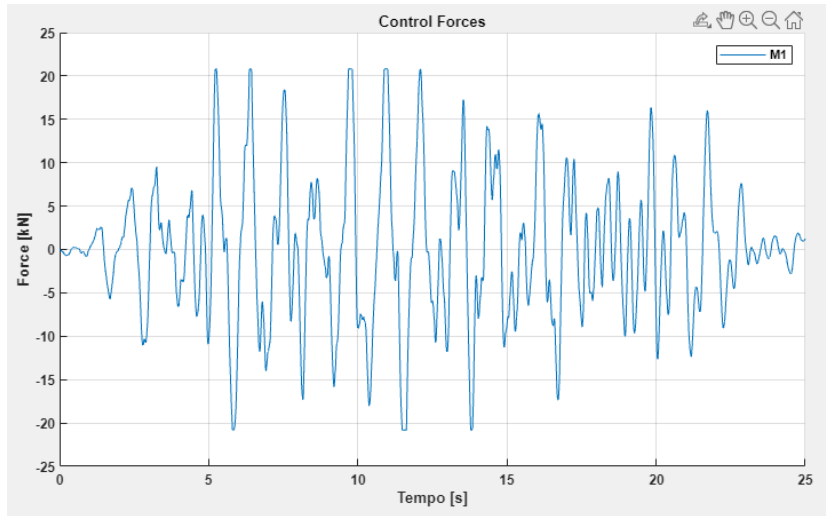


Principi di funzionamento degli AMD

► Ottimizzazione del valore di Gain

$$\begin{cases} F_c = -G\dot{x} \\ F_c < m_{AMD}v_{AMD,max}2\pi f_0 \end{cases}$$

$$G\dot{x} < m_{AMD}v_{AMD,max}2\pi f_0$$



Principi di funzionamento degli AMD

► Massa mobile e corsa

Si ipotizza tale scenario semplificato:

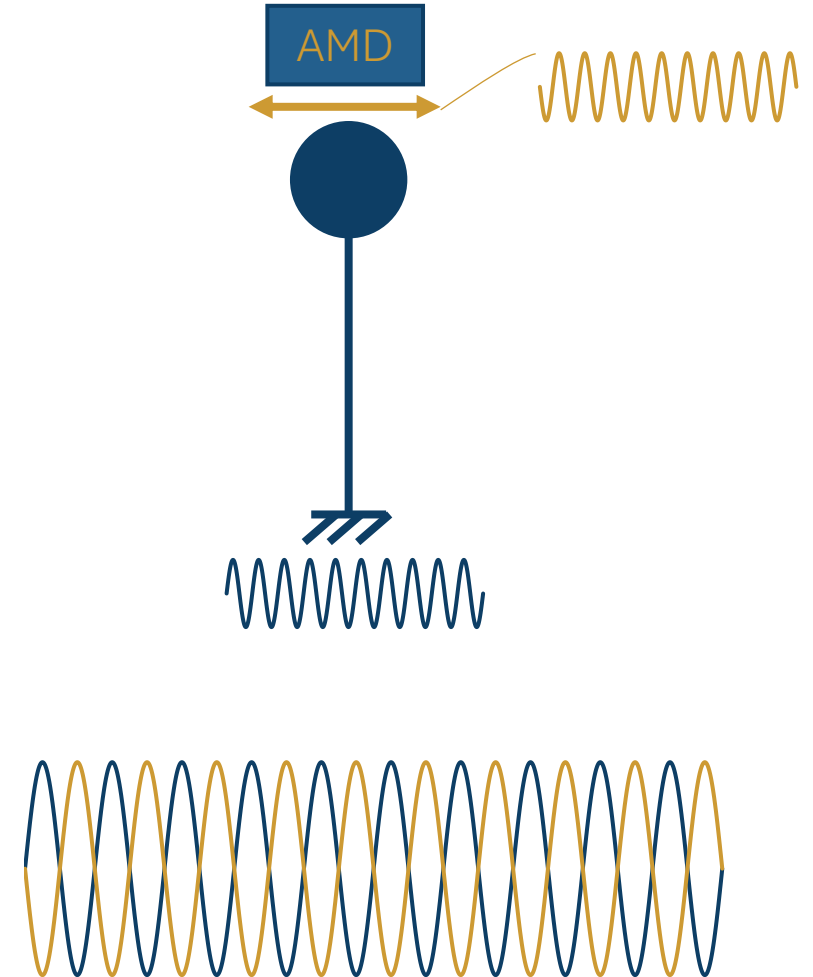
- Struttura modellata come SDOF
- Azione armonica alla base dello SDOF
- L'AMD risponde con una forza di controllo armonica

$$\begin{cases} |s_{AMD}| = A \sin(\omega t) \\ |v_{AMD}| = A \omega \cos(\omega t) \\ |a_{AMD}| = A \omega^2 \sin(\omega t) \end{cases}$$

$$a_{AMD}(t) = \frac{F_C(t)}{m_{AMD}}$$

$$v_{AMD}(t) = \frac{F_C(t)}{m_{AMD} \omega}$$

$$s_{AMD}(t) = \frac{F_C(t)}{m_{AMD} \omega^2}$$

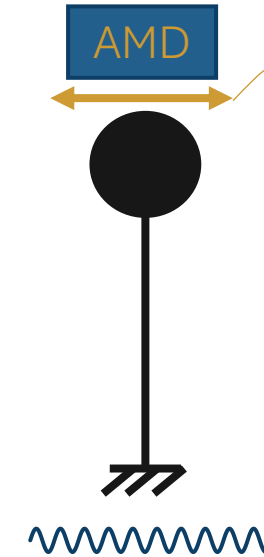


Principi di funzionamento degli AMD

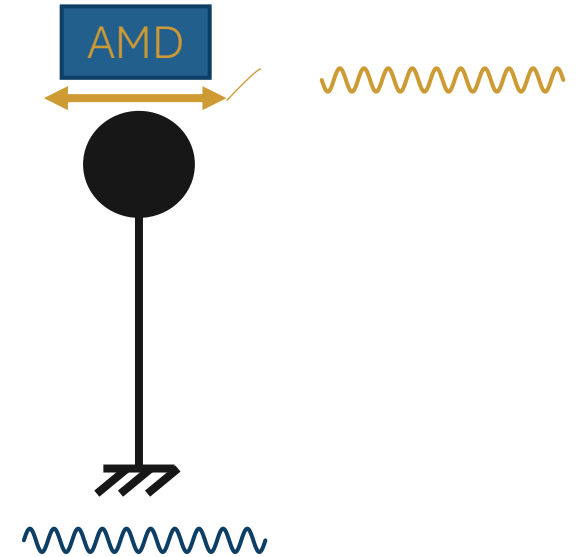
» Massa mobile e corsa

$$\begin{cases} |s_{AMD}| = A \sin(\omega t) \\ |v_{AMD}| = A \omega \cos(\omega t) \\ |a_{AMD}| = A \omega^2 \sin(\omega t) \end{cases}$$

$$\begin{aligned} a_{AMD}(t) &= \frac{F_C(t)}{m_{AMD}} \\ v_{AMD}(t) &= \frac{F_C(t)}{m_{AMD} \omega} \\ s_{AMD}(t) &= \frac{F_C(t)}{m_{AMD} \omega^2} \end{aligned}$$



T = 0.5 s - f = 2.0 Hz



T = 2 s - f = 0.5 Hz

Principi di funzionamento degli AMD

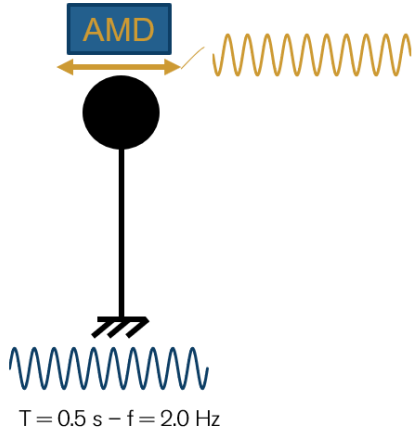
» Massa mobile e corsa

$$\begin{cases} |s_{AMD}| = A \sin(\omega t) \\ |v_{AMD}| = A \omega \cos(\omega t) \\ |a_{AMD}| = A \omega^2 \sin(\omega t) \end{cases}$$

$$a_{AMD}(t) = \frac{F_C(t)}{m_{AMD}}$$

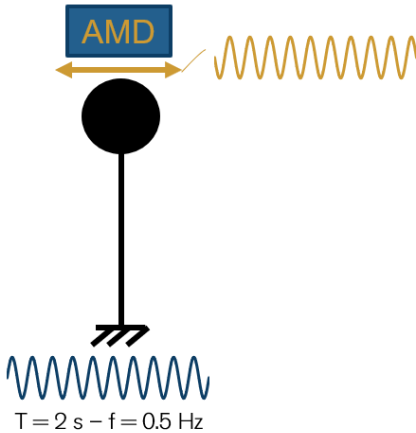
$$v_{AMD}(t) = \frac{F_C(t)}{m_{AMD} \omega}$$

$$s_{AMD}(t) = \frac{F_C(t)}{m_{AMD} \omega^2}$$



Limitazione in forza
 $F_C < F_{max}$

AMD - Struttura n°1			
$F_{max,AMD} = 20.00$	[kN]	Forza max AMD	
$M_{AMD} = 0.60$	[ton]	Massa AMD	
$f_{AMD} = 2.00$	[Hz]	Frequenza AMD	
$T_{AMD} = 0.50$	[s]	Periodo AMD	
$a_{AMD} = 33.33$	[m/s ²]	accelerazione AMD	
$a_{AMD} = 3.40$	[g]	accelerazione AMD	
$V_{AMD} = 2.65$	[m/s]	velocità AMD	
$s_{AMD}/2 = 0.21$	[m]	semi-corsa AMD	
$s_{AMD} = 0.42$	[m]	corsa AMD	



AMD - Struttura n°2			
$F_{max,AMD} = 20.00$	[kN]	Forza max AMD	
$M_{AMD} = 0.60$	[ton]	Massa AMD	
$f_{AMD} = 0.50$	[Hz]	Frequenza AMD	
$T_{AMD} = 2.00$	[s]	Periodo AMD	
$a_{AMD} = 33.33$	[m/s ²]	accelerazione AMD	
$a_{AMD} = 3.40$	[g]	accelerazione AMD	
$V_{AMD} = 10.61$	[m/s]	velocità AMD	
$s_{AMD}/2 = 3.38$	[m]	semi-corsa AMD	
$s_{AMD} = 6.75$	[m]	corsa AMD	

Principi di funzionamento degli AMD

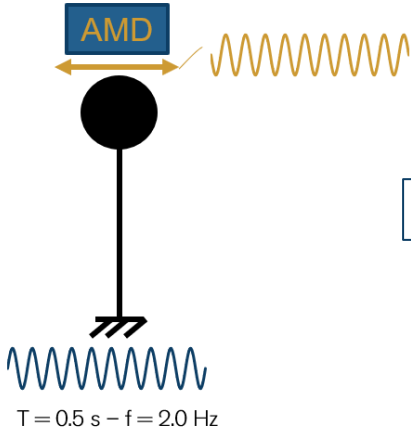
» Massa mobile e corsa

$$\begin{cases} |s_{AMD}| = A \sin(\omega t) \\ |v_{AMD}| = A \omega \cos(\omega t) \\ |a_{AMD}| = A \omega^2 \sin(\omega t) \end{cases}$$

$$a_{AMD}(t) = \frac{F_C(t)}{m_{AMD}}$$

$$v_{AMD}(t) = \frac{F_C(t)}{m_{AMD} \omega}$$

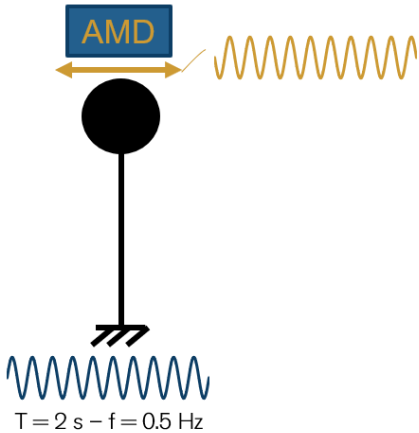
$$s_{AMD}(t) = \frac{F_C(t)}{m_{AMD} \omega^2}$$



Limitazione in velocità

$$F_C < m_{AMD} v_{AMD,max} 2\pi f_0$$

$$m_{AMD} \quad 600 \text{ kg} \rightarrow 2 \text{ ton}$$



AMD - Struttura n°1			
$V_{max,AMD} = 3.00$	[m/s]	velocità AMD	
$M_{AMD} = 0.60$	[ton]	Massa AMD	
$f_{AMD} = 2.00$	[Hz]	Frequenza AMD	
$T_{AMD} = 0.50$	[s]	Periodo AMD	
$F_{max,AMD} = 22.62$	[kN]	Forza max AMD	
$a_{AMD} = 37.70$	[m/s ²]	accelerazione AMD	
$a_{AMD} = 3.84$	[g]	accelerazione AMD	
$s_{AMD}/2 = 0.24$	[m]	semi-corsa AMD	
$s_{AMD} = 0.48$	[m]	corsa AMD	

AMD - Struttura n°2			
$V_{max,AMD} = 3.00$	[m/s]	velocità AMD	
$M_{AMD} = 0.60$	[ton]	Massa AMD	
$f_{AMD} = 0.50$	[Hz]	Frequenza AMD	
$T_{AMD} = 2.00$	[s]	Periodo AMD	
$F_{max,AMD} = 5.65 \sim 20$	[kN]	Forza max AMD	
$a_{AMD} = 9.42$	[m/s ²]	accelerazione AMD	
$a_{AMD} = 0.96$	[g]	accelerazione AMD	
$s_{AMD}/2 = 0.95$	[m]	semi-corsa AMD	
$s_{AMD} = 1.91$	[m]	corsa AMD	

Principi di funzionamento degli AMD

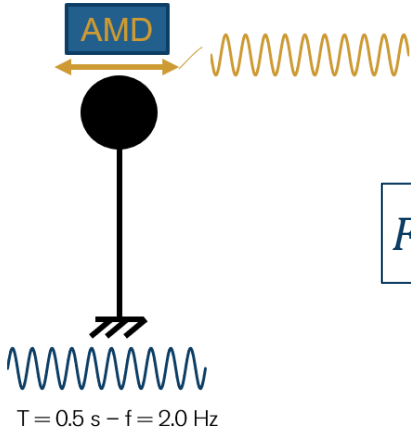
» Massa mobile e corsa

$$\begin{cases} |s_{AMD}| = A \sin(\omega t) \\ |v_{AMD}| = A \omega \cos(\omega t) \\ |a_{AMD}| = A \omega^2 \sin(\omega t) \end{cases}$$

$$a_{AMD}(t) = \frac{F_C(t)}{m_{AMD}}$$

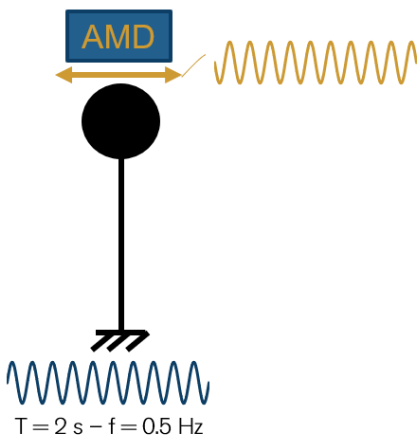
$$v_{AMD}(t) = \frac{F_C(t)}{m_{AMD} \omega}$$

$$s_{AMD}(t) = \frac{F_C(t)}{m_{AMD} \omega^2}$$



Limitazione in corsa

$$F_C < m_{AMD} \frac{s_{AMD,max}}{2} (2\pi f_0)^2$$



AMD - Struttura n°1			
$s_{max,AMD}/2 = 0.25$	[m]	semi-corsa AMD	
$M_{AMD} = 0.60$	[ton]	Massa AMD	
$f_{AMD} = 2.00$	[Hz]	Frequenza AMD	
$T_{AMD} = 0.50$	[s]	Periodo AMD	
$F_{max,AMD} = 23.69$	[kN]	Forza max AMD	
$a_{AMD} = 39.48$	[m/s ²]	accelerazione AMD	
$a_{AMD} = 4.02$	[g]	accelerazione AMD	
$v_{AMD} = 3.14$	[m/s]	velocità AMD	
$s_{AMD,max} = 0.50$	[m]	corsa AMD	

AMD - Struttura n°2			
$s_{max,AMD}/2 = 0.25$	[m]	semi-corsa AMD	
$M_{AMD} = 0.60$	[ton]	Massa AMD	
$f_{AMD} = 0.50$	[Hz]	Frequenza AMD	
$T_{AMD} = 2.00$	[s]	Periodo AMD	
$F_{max,AMD} = 1.48$	[kN]	Forza max AMD	
$a_{AMD} = 2.47$	[m/s ²]	accelerazione AMD	
$a_{AMD} = 0.25$	[g]	accelerazione AMD	
$v_{AMD} = 0.79$	[m/s]	velocità AMD	
$s_{AMD,max} = 0.50$	[m]	corsa AMD	

Principi di funzionamento degli AMD

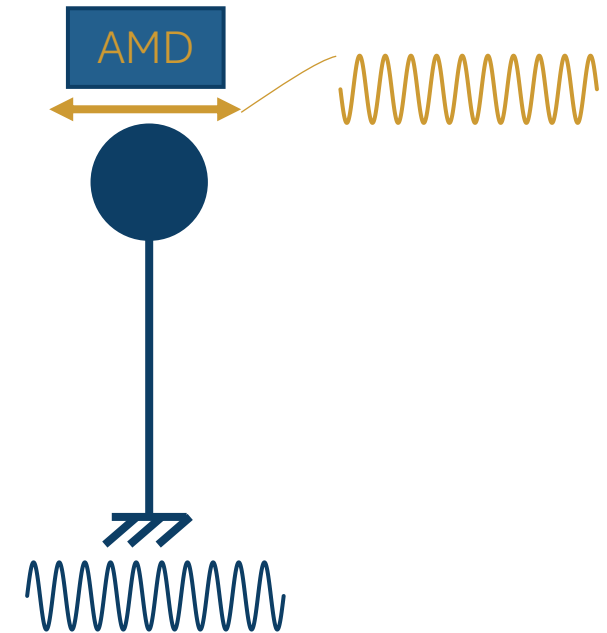
» Massa mobile e corsa

Nell'ipotesi di risposta monoarmonica è possibile scrivere le seguenti equazioni dimensionanti per l'AMD:

$$F_c < F_{max}$$

$$F_c < m_{AMD} v_{AMD,max} 2\pi f_0$$

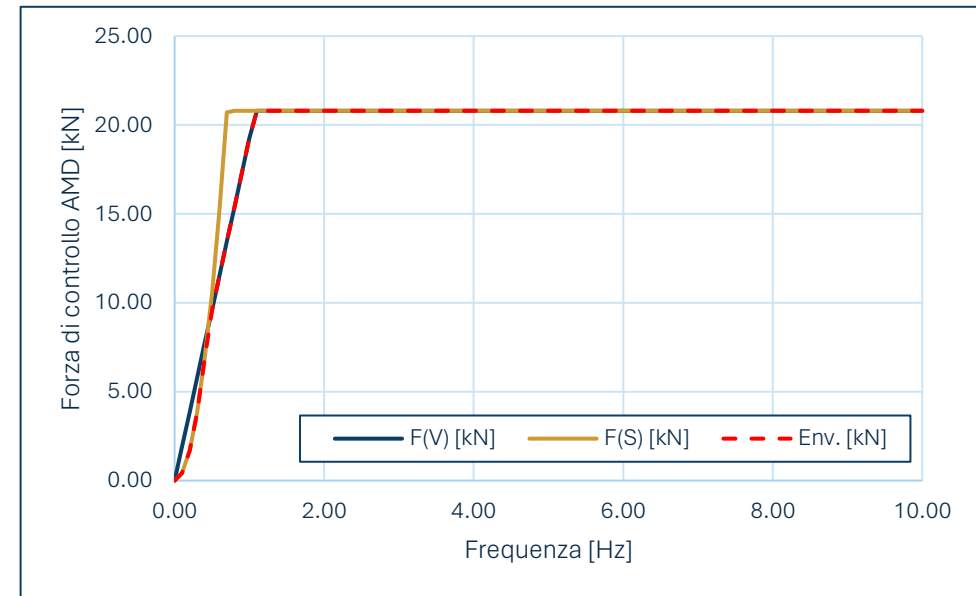
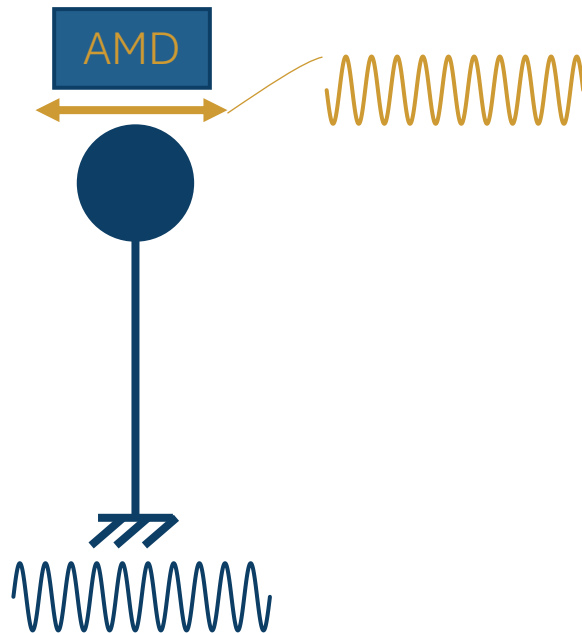
$$F_c < m_{AMD} \frac{s_{AMD,max}}{2} (2\pi f_0)^2$$



Principi di funzionamento degli AMD

» Massa mobile e corsa

Limite in forza, velocità e spostamento



Principi di funzionamento degli AMD

► Sistemi AMD – Lo smorzamento supplementare

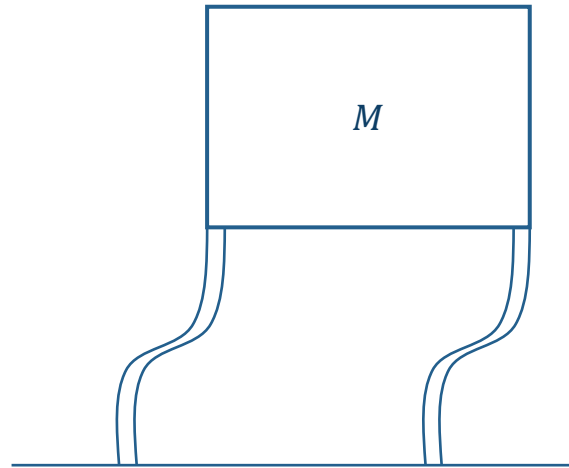
Cinematica AMD

$$\begin{cases} |s_{AMD}| = A \sin(\omega t) \\ |v_{AMD}| = A \omega \cos(\omega t) \\ |a_{AMD}| = A \omega^2 \sin(\omega t) \end{cases}$$

$$a_{AMD}(t) = \frac{F_C(t)}{m_{AMD}}$$

$$v_{AMD}(t) = \frac{F_C(t)}{m_{AMD} \omega}$$

$$s_{AMD}(t) = \frac{F_C(t)}{m_{AMD} \omega^2}$$



$$\omega_{STR} = 2\pi f$$

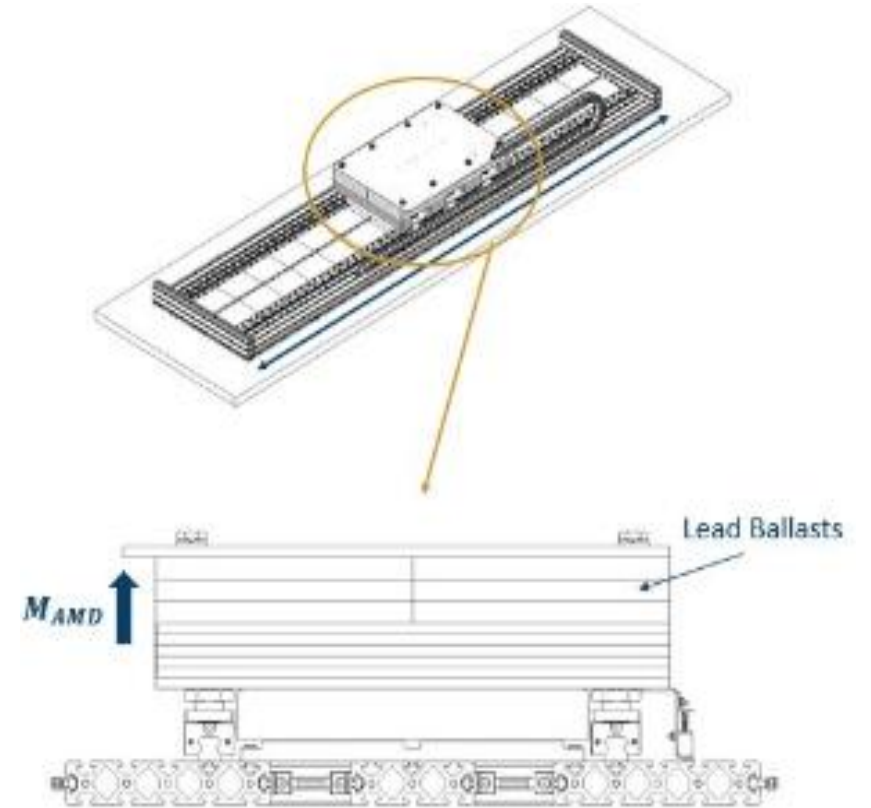
$$\omega_{AMD} = \omega_{STR}$$

STRUTTURA RIGIDA:

$$\omega \uparrow \Rightarrow v_{AMD} \downarrow s_{AMD} \downarrow$$

STRUTTURA FLESSIBILE:

$$\omega \downarrow \Rightarrow v_{AMD} \uparrow s_{AMD} \uparrow$$



Progettazione sistema e modellazione FEM

» Sistemi AMD – Parametri progettuali

Parametri progettuali del sistema AMD

- **n_{AMD} numero di macchine:** maggiore è il numero di macchine installate e maggiori saranno i livelli di performance ottenuti per la struttura sulla quale le macchine sono installate.
- **Posizione delle macchine:** anche la disposizione delle macchine è importante. Infatti, questa può variare a seconda del comportamento dinamico della struttura (per esempio possono aiutare a controllare modi torsionali).
- **G Gain:** maggiore è G e maggiore è la richiesta di forza e quindi l'accelerazione. Questo parametro è legato alle performance della macchina.
- **m_{AMD} massa mobile:** maggiore è la massa della «zavorra» che costituisce la massa mobile e minore sarà la corsa necessaria per generare l'accelerazione (forza) richiesta dall'algoritmo di controllo.
- **Corsa:** maggiore è il periodo fondamentale della struttura e maggiore sarà l'ampiezza del moto della massa mobile.



5.

Progettazione e modellazione FEM

Parametri progettuali – Dimensionamento
Modellazione FEM – Taratura parametri
Check attuatori



Progettazione sistema e modellazione FEM

» Sistemi AMD – Dimensionamento

Numero di AMD necessari

$$n_{AMD} = \frac{F_{AMD,req}}{F_{AMD,target}}$$

$$F_{AMD,req} = n_{AMD} G \dot{x}$$
$$F_{AMD,target} = 20.80 \text{ kN}$$

$$m\ddot{x} + (c + G)\dot{x} + kx = -m\ddot{x}_0$$

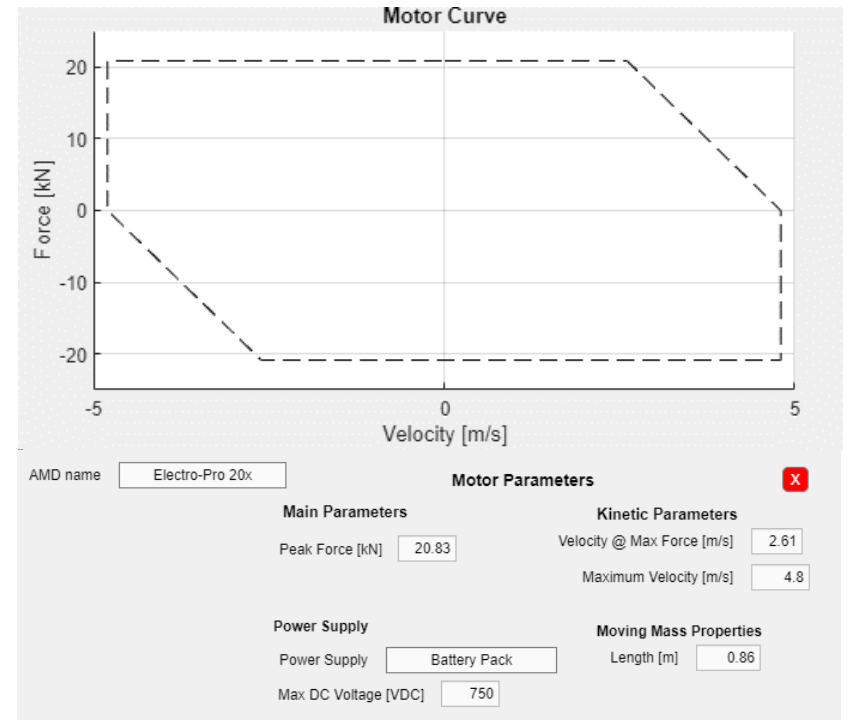
$$F_{AMD} = -G\dot{x} \quad \text{per il singolo AMD}$$

$$\ddot{x} + \left(\frac{c + n_{AMD}G}{m} \right) \dot{x} + \omega^2 x = -\ddot{x}_0$$

$$\xi_{TOT} = \frac{c + n_{AMD}G}{c_{crit}} = \frac{c + n_{AMD}G}{2m\omega}$$

$$\xi_{TOT} = \xi_{STR} + \xi_{AMD} \rightarrow \xi_{AMD} = \frac{n_{AMD}G}{2m\omega} \rightarrow n_{AMD} \cdot G = (\xi_{TOT} - \xi_{STR})2m\omega$$

$$n_{AMD} = \frac{F_{AMD,req}}{F_{AMD,target}}$$



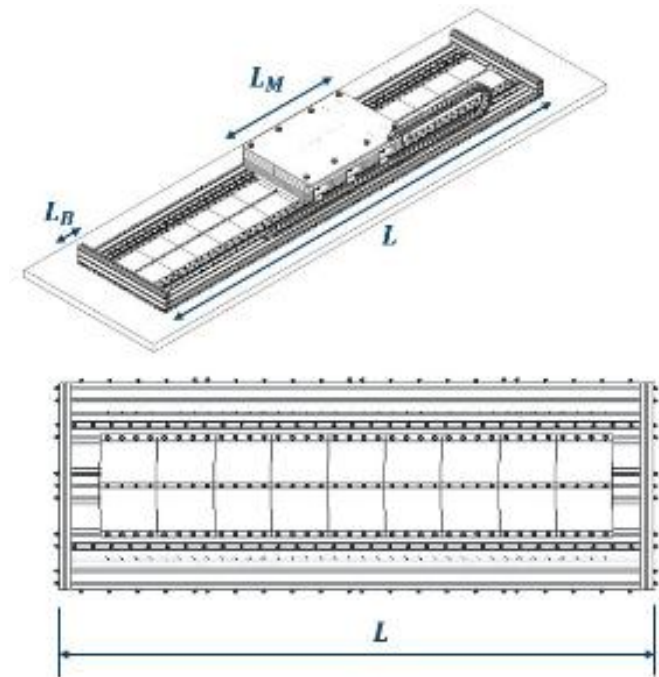
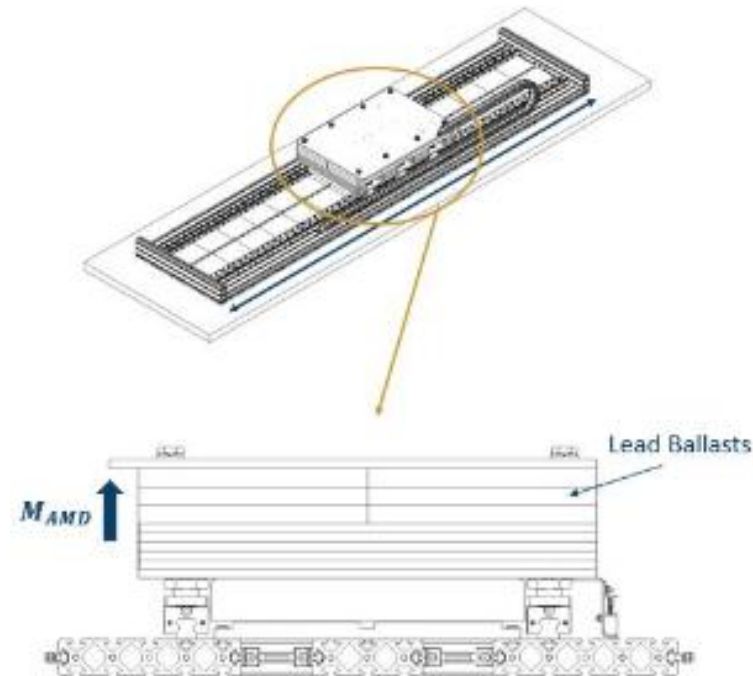
Progettazione sistema e modellazione FEM

► Sistemi AMD – Dimensionamento

Massa mobile e corsa AMD

$$m_{AMD} = \frac{F_{AMD,max}}{\omega_{STR} \cdot v_{AMD,max}}$$

$$s_{AMD} = \frac{2 \cdot v_{AMD,max}}{\omega_{STR}}$$



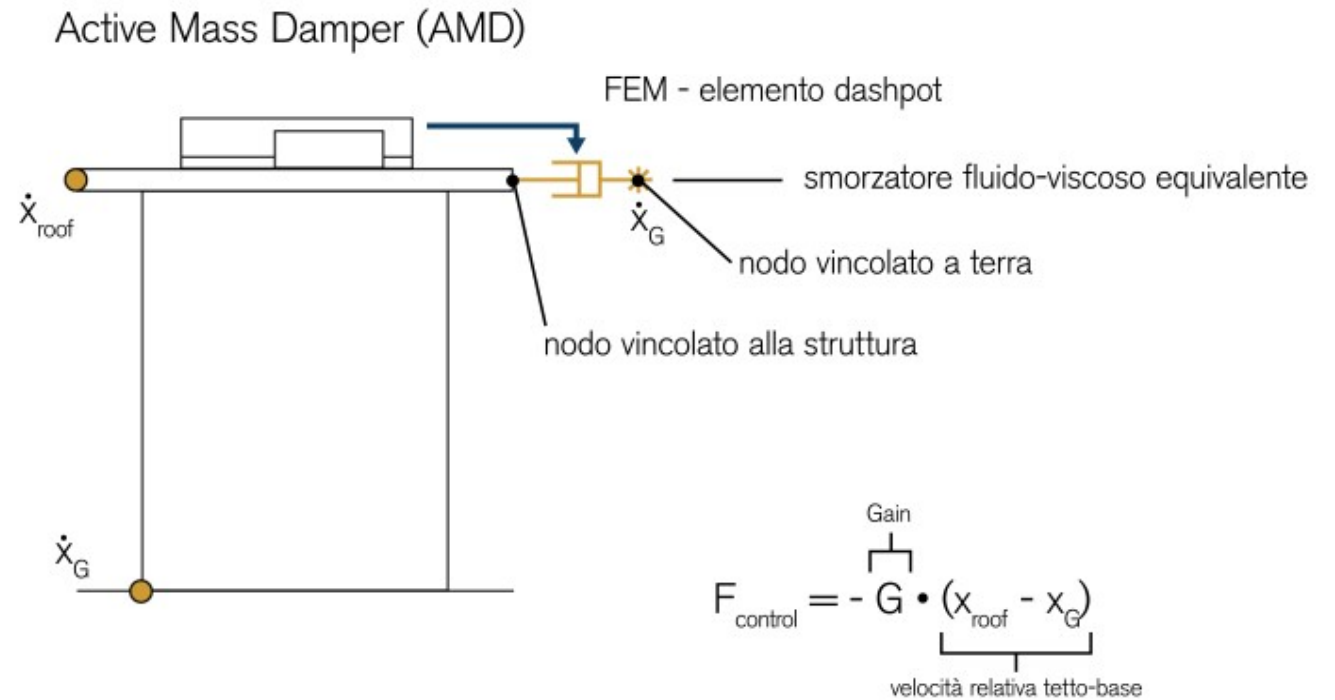
Progettazione sistema e modellazione FEM

► Sistemi AMD – Modellazione FEM

Le caratteristiche principali per tenere in conto, all'interno della modellazione numerica, di un sistema di tipo AMD sono:

- Analisi di tipo Time-History
- Analogia con un dissipatore viscoso passivo*
- Controllo delle performance dell'attuatore
- Taratura del parametro Gain

* All'interno del modello vado a simulare l'effetto della forza di controllo espressa dall'AMD e non il comportamento intrinseco dell'AMD stesso.



Progettazione sistema e modellazione FEM

› Sistemi AMD – Modellazione FEM

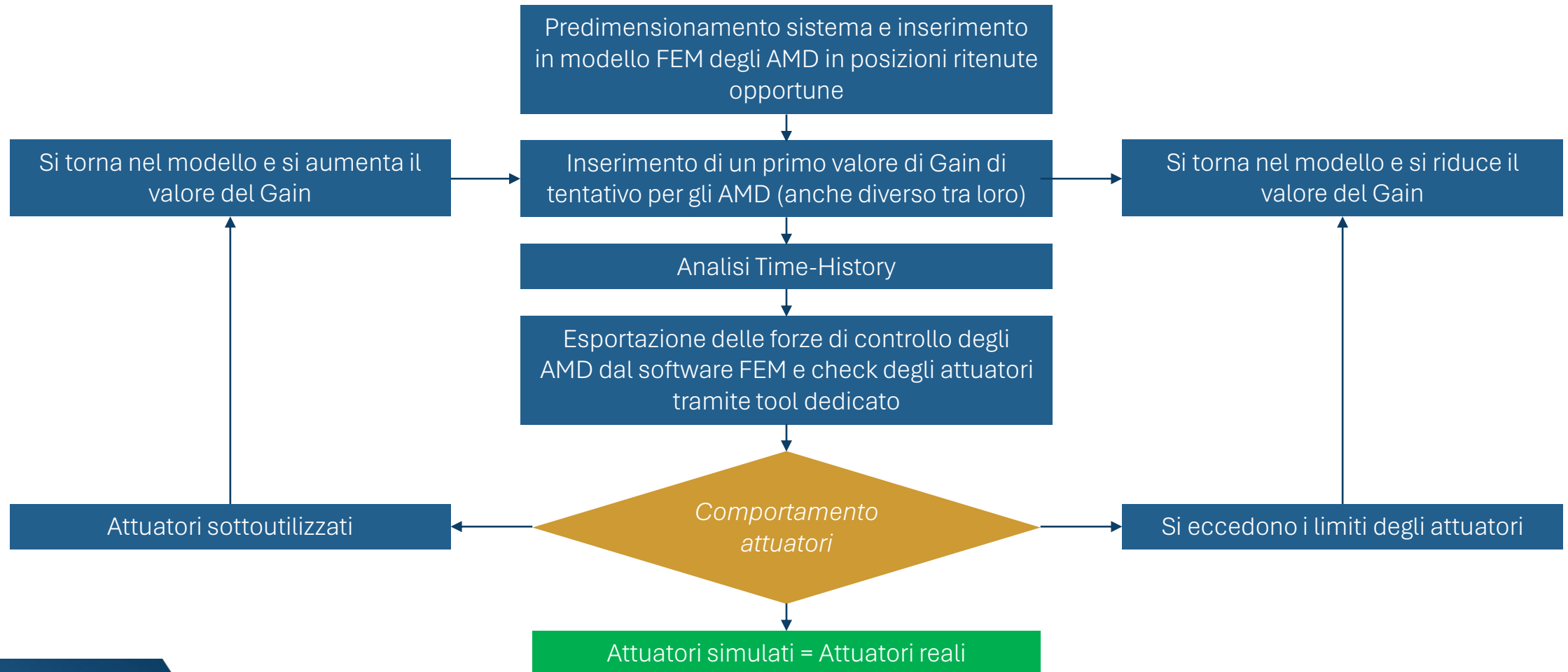
Software commerciali che consentono di sviluppare le analisi necessarie alla progettazione di sistemi AMD attraverso l'analogia con il dissipatore viscoso equivalente.



Progettazione sistema e modellazione FEM

► Sistemi AMD – Taratura del parametro Gain

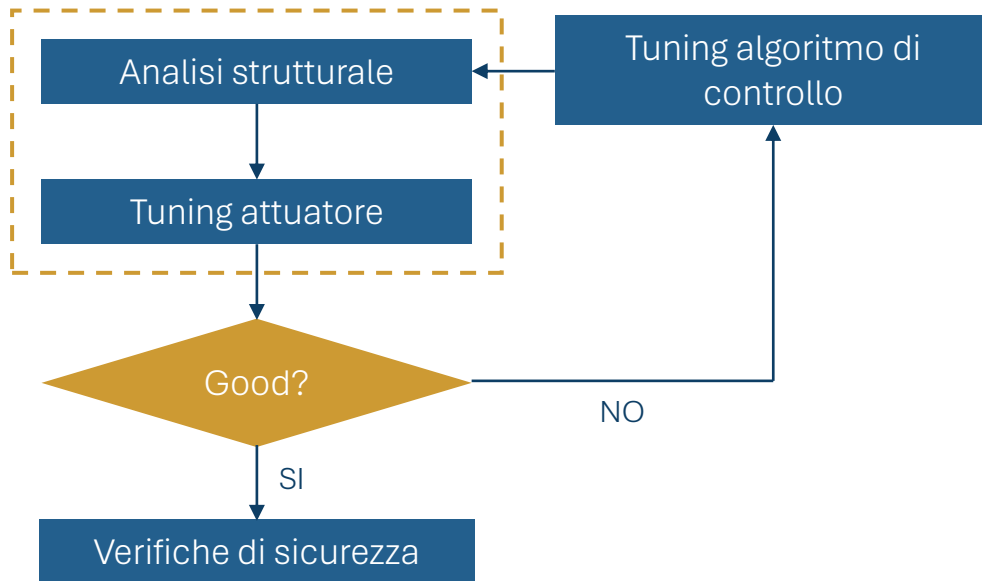
Sinottico procedurale



Progettazione sistema e modellazione FEM

► Sistemi AMD – Check Forces Tool

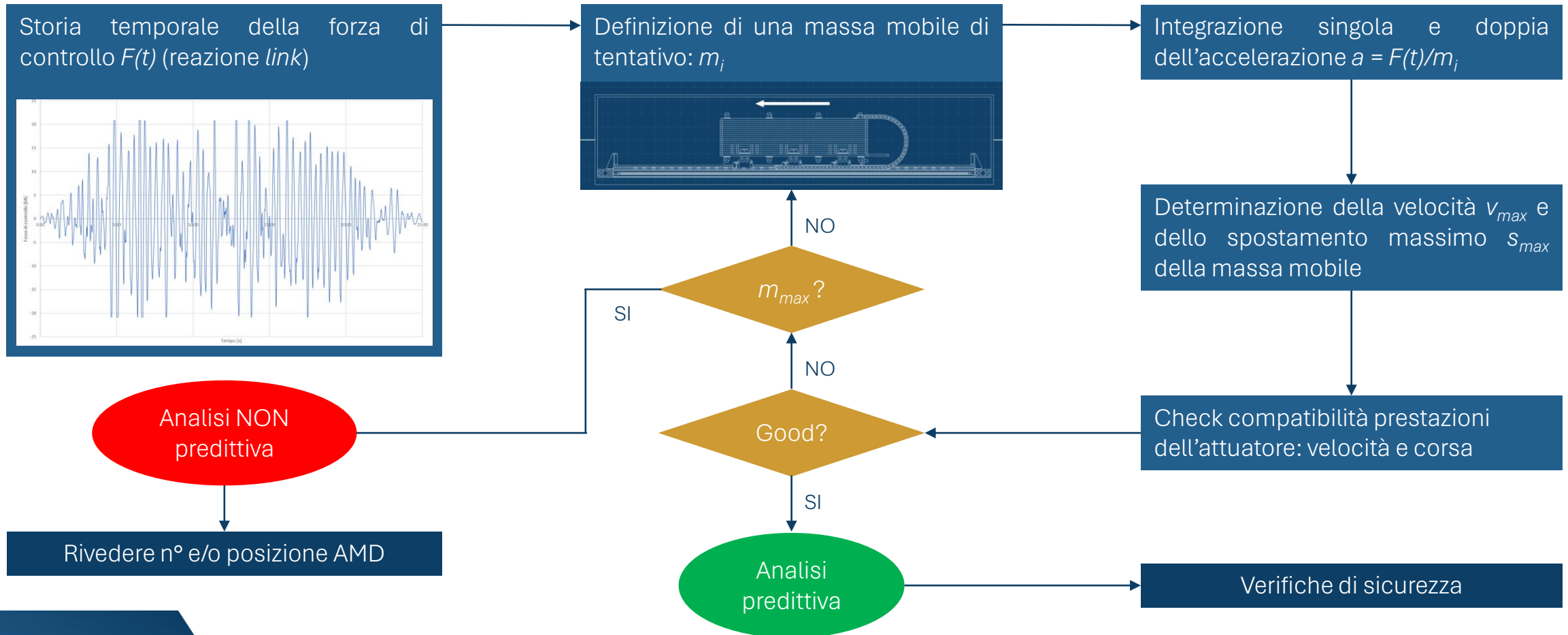
A valle dell'analisi strutturale, occorre dimensionare e verificare le prestazioni degli AMD, ed, eventualmente, ricalibrare il *Gain* o il numero di AMD previsti. Il controllo è eseguito attraverso il software gratuito **Check Forces Tool** sviluppato da **ISAAC**, a partire dalle storie temporali delle forze di controllo dei link modellati. Attraverso la loro integrazione, si determina l'entità delle masse mobili e le richieste di spostamento massimo e di velocità massima che le stesse devono poter sperimentare. Il confronto di tali grandezze con le capacità dell'attuatore e delle lunghezze disponibili consente di dimensionare il sistema progettato e di convalidare l'analisi.



Progettazione sistema e modellazione FEM

► Sistemi AMD – Check Forces Tool

Controllo delle performance dell'attuatore a valle dell'analisi numerica



5.1

Esempio di calcolo

Caso studio – Dimensionamento e
modellazione sistema AMD – Analisi THNL
Check attuatori – Confronti NC vs C

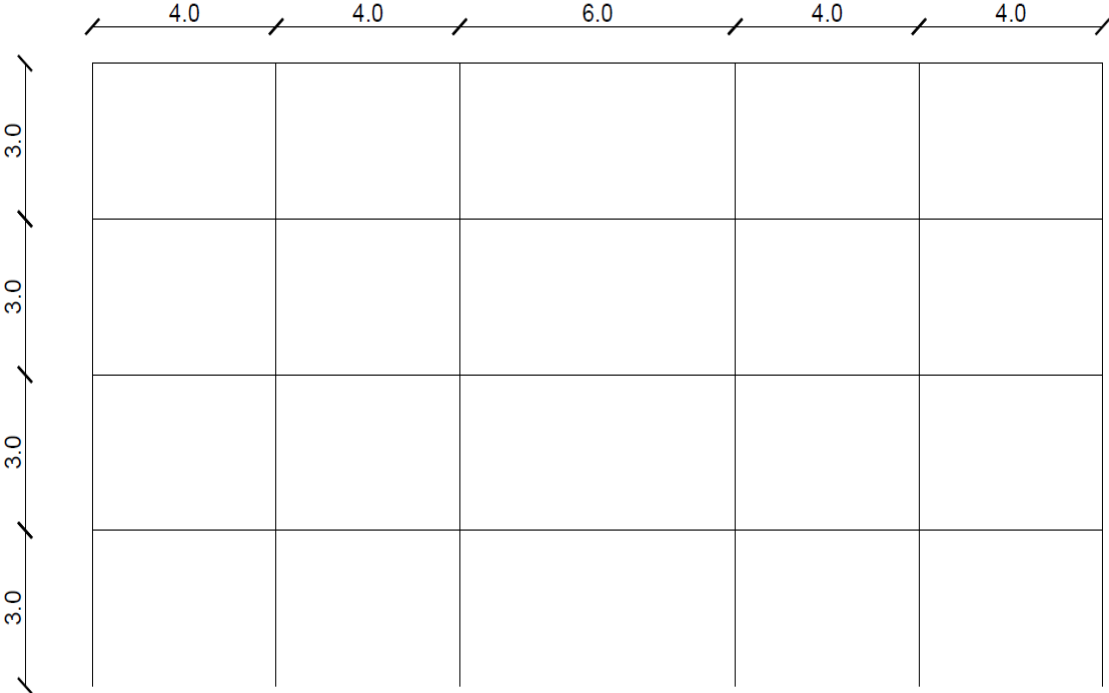
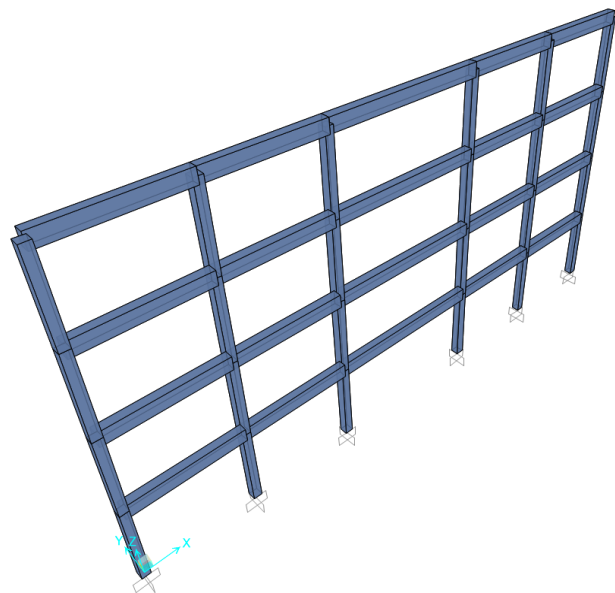


Esempio di calcolo

Caso studio

Caratteristiche telaio

- Travi a coltello di sezione 300 x 500 mm
- Pilastri quadrati di sezione 300 x 300 mm
- Armatura longitudinale colonne: 4Φ18
- Armatura trasversale colonne: staffe Φ 6/150 mm
- Calcestruzzo classe C20/25
- Acciaio classe B450C



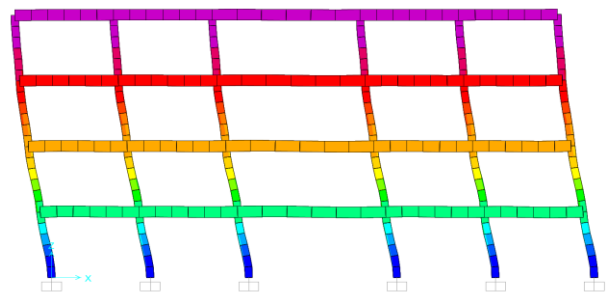
CARICHI APPLICATI		
$G_1 =$	10.0	[kN/m]
$G_2 =$	17.5	[kN/m]
$Q_A =$	10.0	[kN/m]
COMBINAZIONE SISMICA		
$G_1 + G_2 + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$		
$\Psi_{21} =$	0.3	[-]

SMORZAMENTO	
$\xi =$	5% (modale, uguale per tutti i modi)
COMPORTAMENTO MEMBRATURE	
Travi:	elastico lineare
Pilastri:	elastico lineare

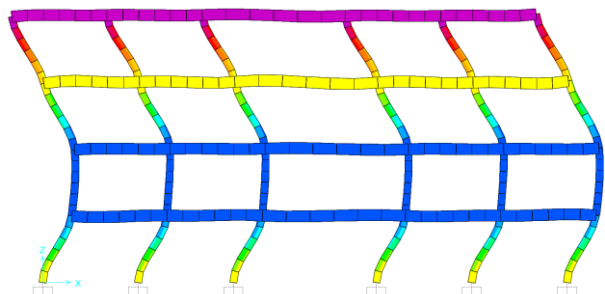
Esempio di calcolo

Analisi modale

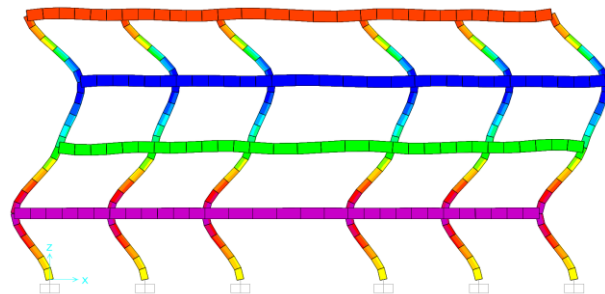
Periodi propri di vibrare e masse partecipanti



$T_1 = 0.81\text{ s}$



$T_2 = 0.27\text{ s}$



$T_3 = 0.17\text{ s}$

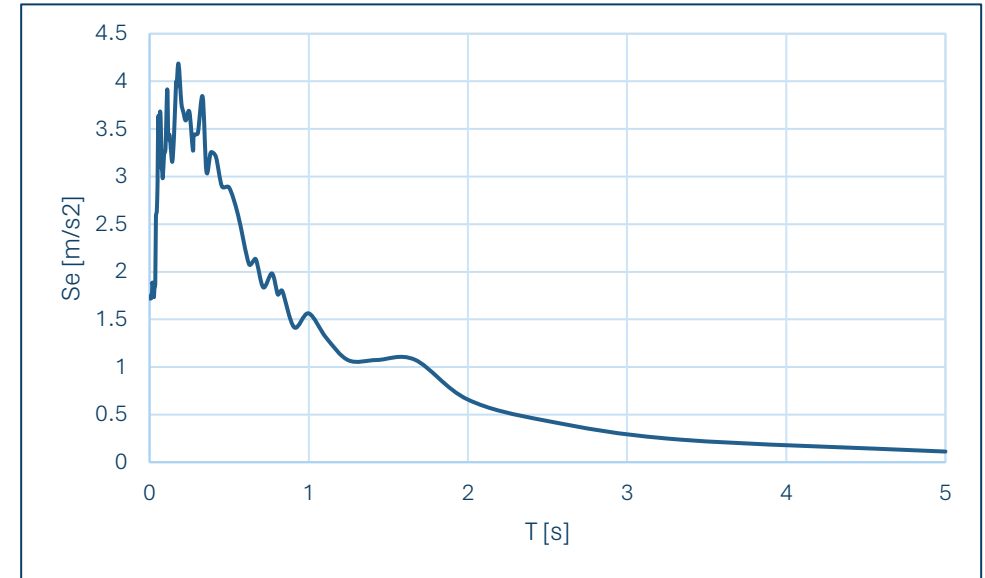
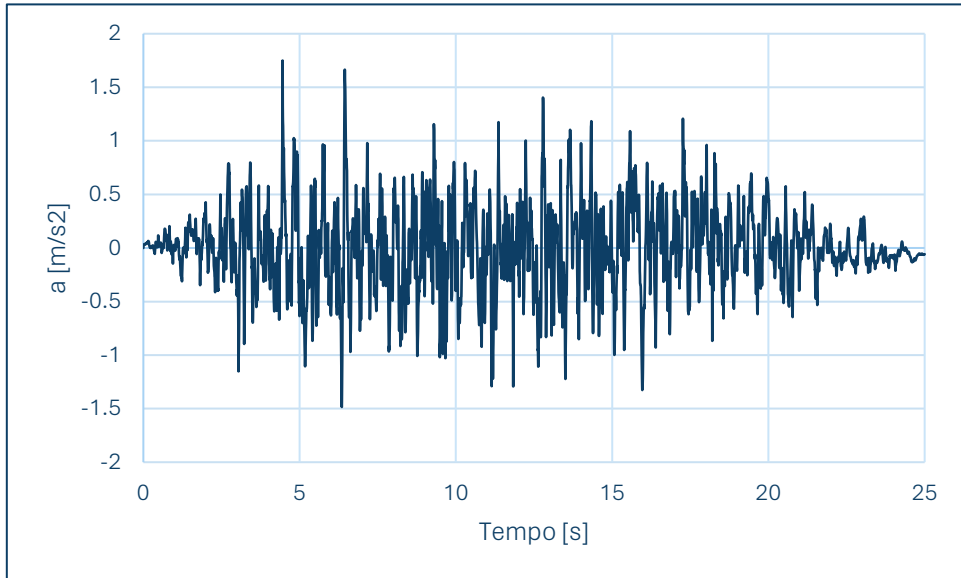
Si osserva che la quantità di massa attivata dal primo modo di vibrare è significativa.

N° modo	Periodo	Frequenza	UX	SumUX
[-]	[s]	[Hz]	[%]	[%]
1	0.81	1.24	87.58%	87.58%
2	0.27	3.67	9.30%	96.88%
3	0.17	5.89	2.56%	99.43%
$m_{STR} = 323.85\text{ ton}$				

Esempio di calcolo

► Input sismico

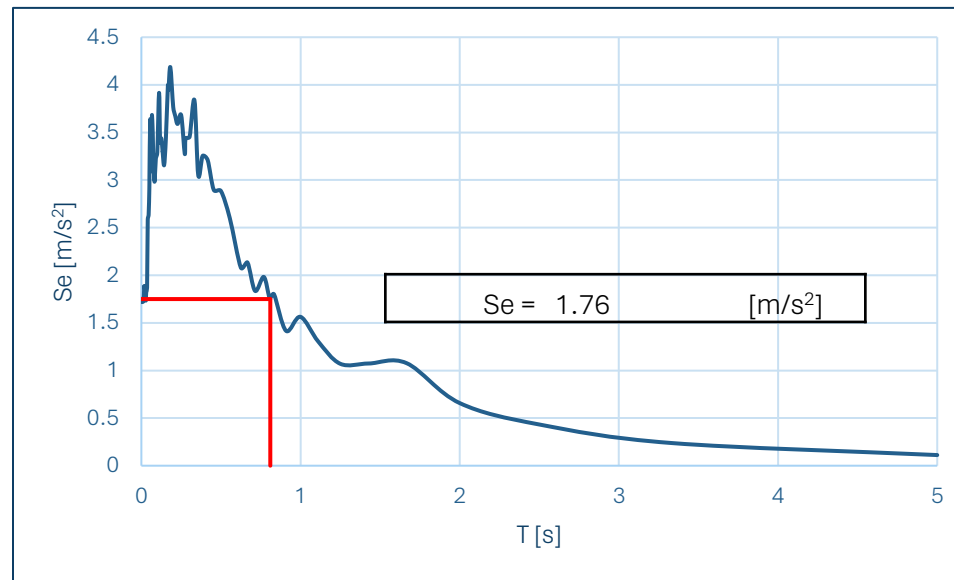
Accelerogramma e relativo spettro di risposta



Esempio di calcolo

➤ Analisi dinamica spettrale – Struttura NC

Stima del taglio alla base di domanda



$$V_b = \gamma \cdot m_{STR} \cdot S_e = 0.876 \cdot 323.85 \cdot 1.76 \cong 500 \text{ kN}$$

Esempio di calcolo

Calcolo della resistenza dei pilastri alla base – Struttura NC

Stima del taglio alla base di capacità

- resistenza flessionale espressa in termini taglienti $V_{u,flex}$
- resistenza a taglio $V_{u,shear}$

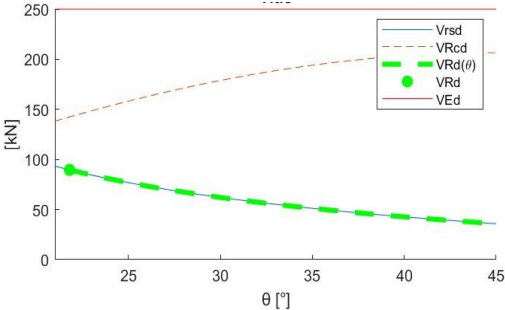
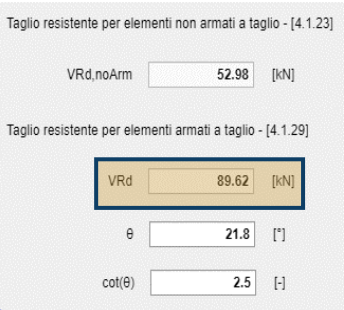
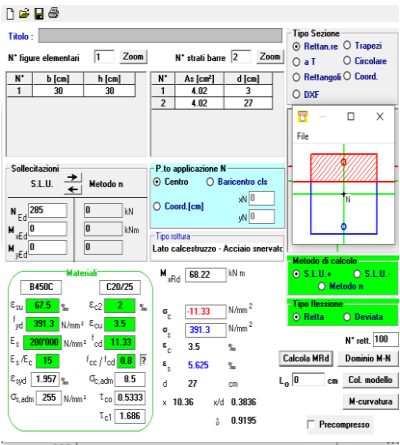
Resistenza a taglio $V_{u,shear}$ $V_{u,shear} = \max(V_{Rdno-staffe}; \min(V_{Rsd}, V_{Rcd}))$

$$V_{Rdno-staffe} = \max \left\{ \left[\frac{0.18 \cdot k (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3}}{\gamma_c} + 0.15 \cdot \sigma_{cp} \right] b_w d; (v_{min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) b_w d \right\} \quad [4.1.23]$$

$$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (ctg\alpha + ctg\theta) \cdot \sin\alpha \quad [4.1.27]$$

$$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot v \cdot f_{cd} \cdot (ctg\alpha + ctg\theta) / (1 + ctg^2\theta) \quad [4.1.28]$$

Resistenza flessionale $V_{u,flex}$ $V_{u,flex} = \frac{M_{Rd}}{\frac{H}{2}} = \frac{2M_{Rd}}{H}$



Stima della capacità a taglio alla base				
Pilastri	N _{Ed,OP} [kN]	M _{Rd} [kNm]	H [m]	V _{u,flex} [kN]
1	285	68	3.00	45.33
5	566	70	3.00	46.67
9	740	59	3.00	39.33
13	740	59	3.00	39.33
17	566	70	3.00	46.67
21	285	68	3.00	45.33
V _b =				262.67

Esempio di calcolo

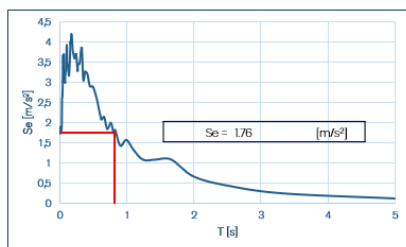
Stima del parametro ζ_E e definizione obiettivo – Struttura NC

Dai calcoli precedenti:

Esempio di calcolo

Analisi dinamica spettrale – Struttura NC

Stima del taglio alla base di domanda



$$V_b = \gamma \cdot m_{STR} \cdot S_a = 0.876 \cdot 323.85 \cdot 1.76 \cong 500 \text{ kN}$$

Esempio di calcolo

Calcolo della resistenza dei pilastri alla base – Struttura NC

Stima del taglio alla base di capacità

- resistenza flessionale espressa in termini taglianti $V_{u,flex}$
- resistenza a taglio $V_{u,shear}$

Resistenza flessionale $V_{u,flex}$

$$V_{u,flex} = \frac{M_{Rd}}{H} = \frac{2M_{Rd}}{H}$$

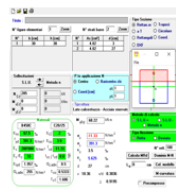
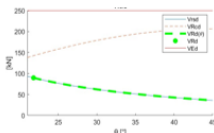
Resistenza a taglio $V_{u,shear}$

$$V_{u,shear} = \max(V_{Rd-no-staffe}; \min(V_{Rsd}, V_{Rcd}))$$

$$V_{Rd-no-staffe} = \max \left(\frac{0.18 \cdot k(100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3}}{\gamma_c} + 0.15 \cdot \sigma_{cp} \right) b_w d; (v_{min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) b_w d \quad [4.1.23]$$

$$V_{Rsd} = 0.9 \cdot d \cdot \frac{A_{sv}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (ctga + ctg\theta) \cdot \sin\alpha \quad [4.1.27]$$

$$V_{Rcd} = 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot v \cdot f_{cd} \cdot (ctga + ctg\theta) / (1 + ctg^2\theta) \quad [4.1.28]$$



Stima della capacità a taglio alla base

Pilastri	N _{Ed} [kN]	M _{Ed} [kNm]	H [m]	V _{u,Ed} [kN]
1	285	68	3.00	45.33
5	596	70	3.00	46.67
9	740	59	3.00	39.33
13	740	59	3.00	39.33
17	596	70	3.00	46.67
21	285	68	3.00	45.33
V _b =				262.67

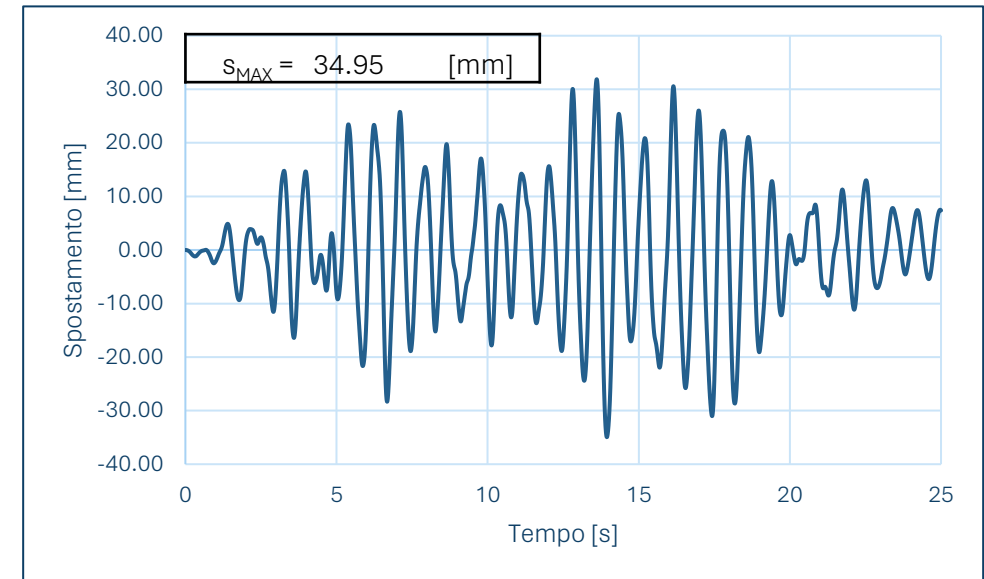
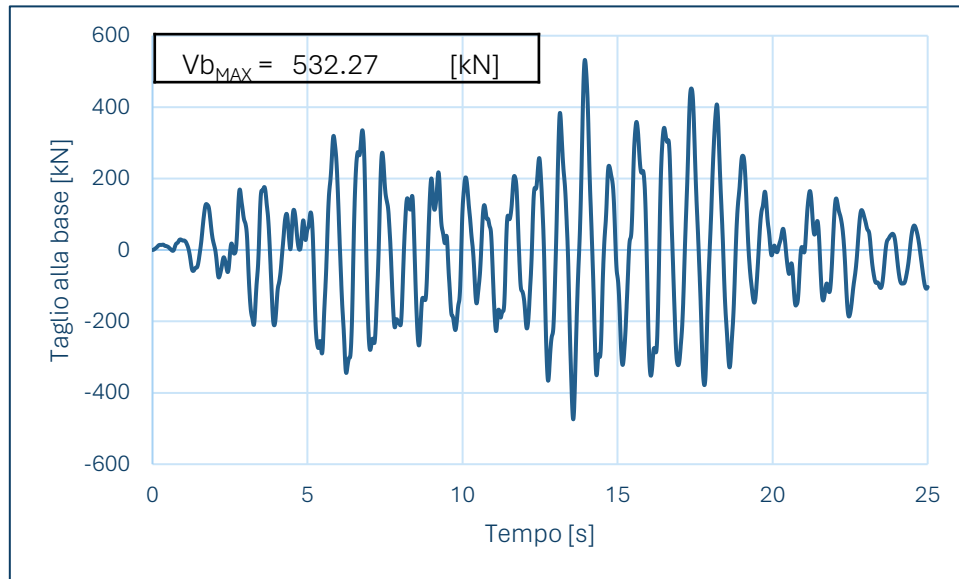
$$\zeta_E = \frac{V_{Rd,BASE}}{V_{Ed,BASE}} = \frac{262.67}{500.00} = 0.52 \rightarrow 52\%$$

$$\zeta_{E,OBBIETTIVO} = 0.80$$

Esempio di calcolo

► Analisi Time-History – Struttura NC

Taglio alla base di domanda e spostamento in copertura



Esempio di calcolo

► Analisi Time-History – Struttura NC

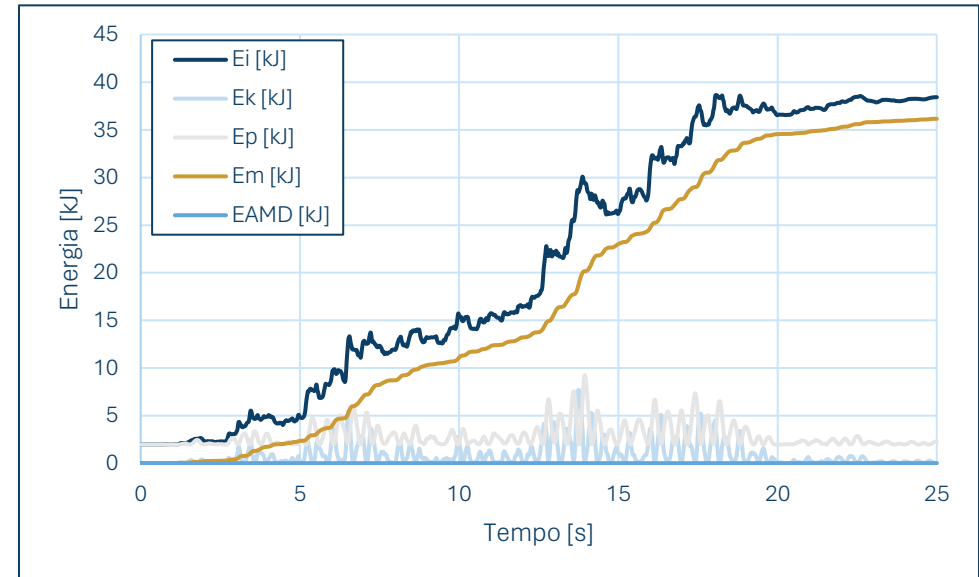
Bilancio energetico

- E_i : energia di input
- E_k : energia cinetica
- E_p : energia potenziale elastica
- E_m : energia di smorzamento modale
- E_{AMD} : energia dissipata dal sistema AMD
- E_H : energia dissipata per isteresi

Si osserva che:

- per la struttura non controllata, il contributo dissipativo offerto dal sistema AMD è nullo;
- il contributo energetico relativo alla dissipazione isteretica è pari a zero, in quanto gli elementi strutturali sono interamente modellati con comportamento elastico lineare.

$$E_I(t) = (E_k(t) + E_p(t)) + E_m(t) + E_{AMD}(t) + E_H(t)$$



Esempio di calcolo

► Dimensionamento del sistema AMD

Calcolo dello **smorzamento supplementare** necessario

$$\zeta_E = \frac{V_{Rd,BASE}}{V_{Ed,BASE}} \geq 0.80 \rightarrow V_{Ed,BASE} \leq \frac{V_{Rd,BASE}}{0.80} = \frac{262.67}{0.80} \cong 330 \text{ kN}$$

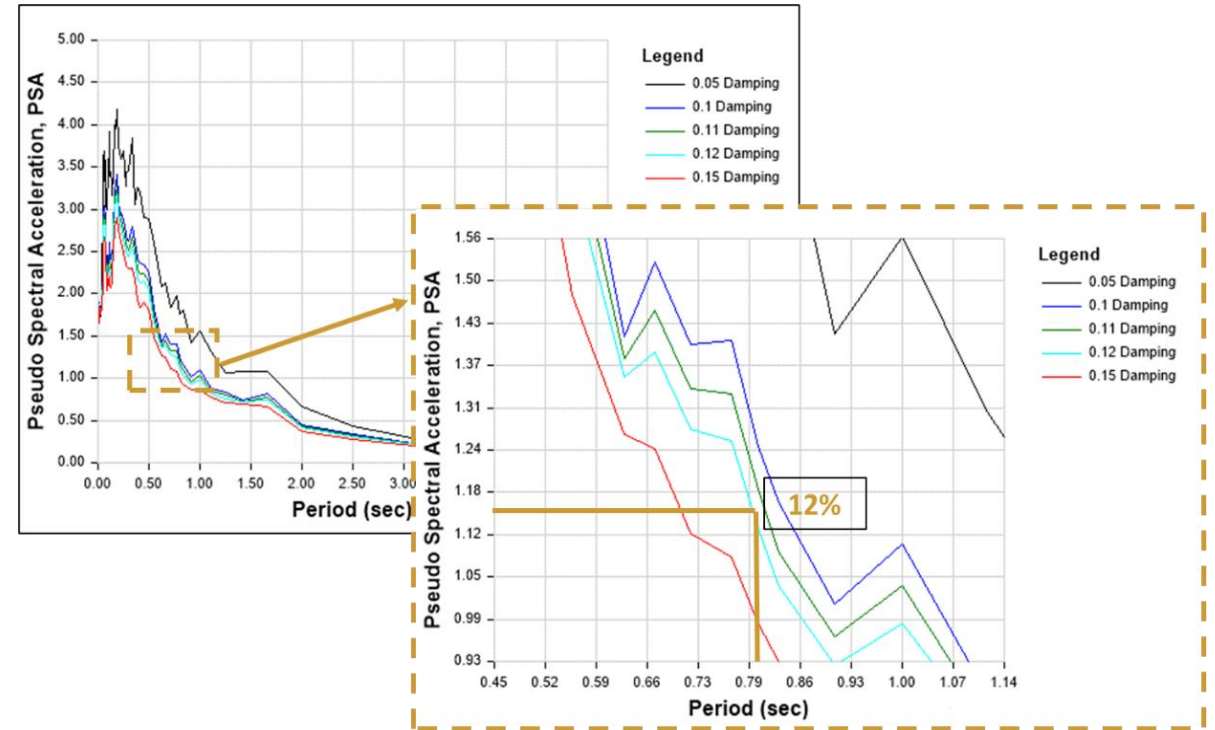
$$S_e = \frac{V_b}{\gamma \cdot m_{STR}} \rightarrow S_e \leq \frac{330}{0.876 \cdot 323.85} = 1.16 \text{ m/s}^2$$

$$\xi_{TOTALE} = ? \rightarrow S_e \leq 1.16 \text{ m/s}^2$$

$$\xi_{TOTALE} = 12\%$$

$$\xi_{STRUTTURA} = 5\%$$

$$\xi_{SUPPL} = 7\%$$



Esempio di calcolo

Dimensionamento del sistema AMD

Calcolo della forza totale richiesta agli AMD

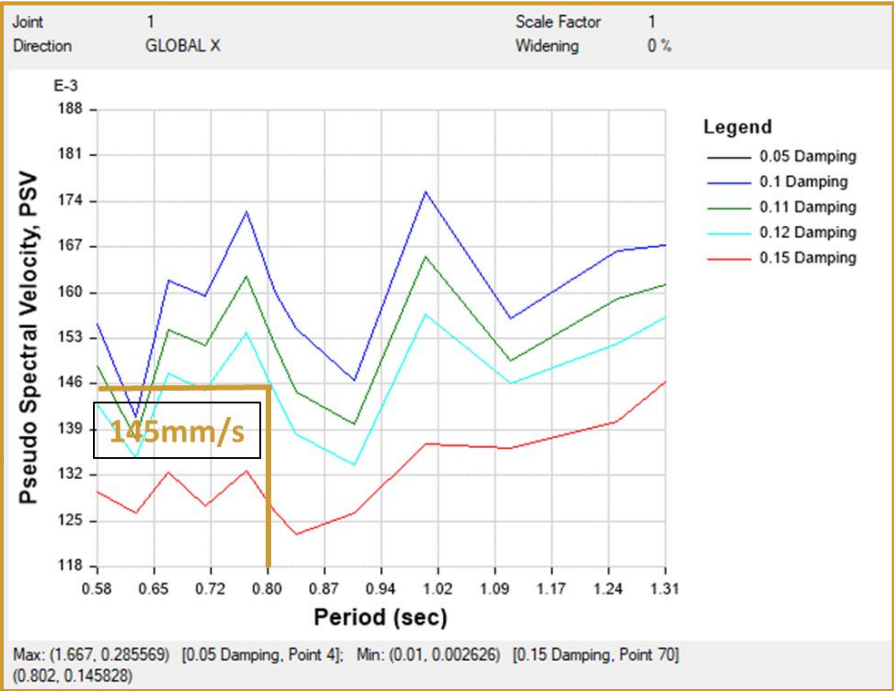
$$\xi_{SUPPL} = \frac{n_{AMD} \cdot G}{2 \cdot m_{STR} \cdot \omega_{STR}}$$

$$n_{AMD} \cdot G = \xi_{SUPPL} \cdot 2 \cdot m_{STR} \cdot \omega_{STR} = 0.07 \cdot 2 \cdot 0.88 \cdot 323.85 \cdot 7.85 = 313.3 \text{ kN s/m}$$

$$F_{req} = -n_{AMD} \cdot G \cdot \dot{x}_{STR}$$

$$|F_{req}| = n_{AMD} \cdot G \cdot \dot{x}_{STR} = 313.2 \cdot 0.145 \cong 45 \text{ kN}$$

Forza richiesta dal sistema AMD	
ξ_{SUPPL}	7%
$v_{TETTO-BASE}$	145.00 mm/s
$n_{AMD} \cdot G$	313.36 kNs/m
$F_{AMD,REQ}$	45.44 kN

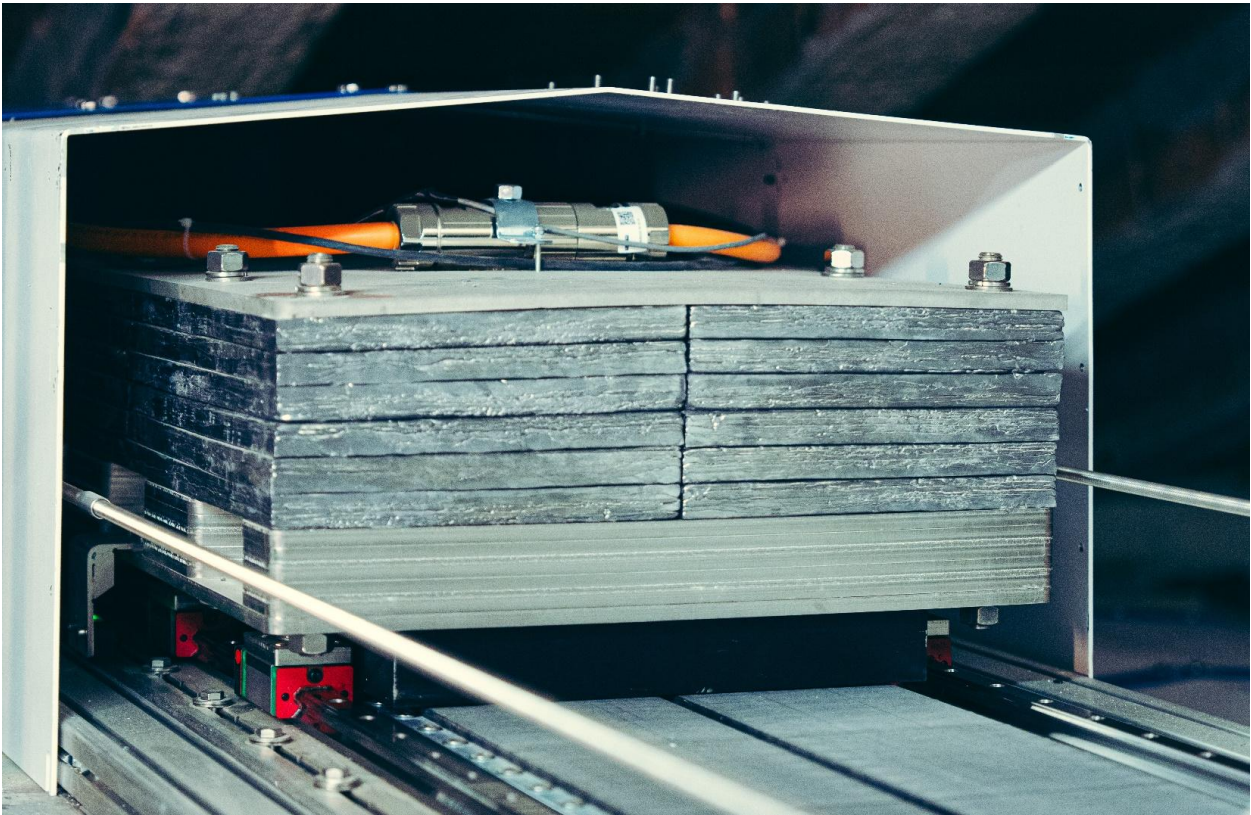


$$v_{TETTO-BASE} = 145.00 \text{ mm/s}$$

Esempio di calcolo

» Dimensionamento del sistema AMD: Electro-Pro

Asse inerziale	
Dimensioni	B = 0.80 m, H = 0.50 m, L da definire
Peso (massa mobile)	da definire
QERTM - Quadro elettrico remoto	
Dimensioni	B = 0.50 m, L = 1.10 m, H = 0.80 m
Peso	150 kg
QECNT – Quadro elettrico centrale	
Dimensioni	B = 0.60 m, L = 0.80 m, H = 1.60 m
Peso	350 kg
BATT – Quadro batterie	
Dimensioni	B = 0.40 m, L = 0.60 m, H = 0.90 m
Peso	100 kg
SISTEMA	
Forza massima di picco	20.8 kN
Accelerazione max	8 g
Velocità max	4.9 m/s
Autonomia batterie	24h (in assenza di rete elettrica)



$F_{AMD,REQ} = 45.44 \text{ kN}$
$n_{AMD} = 2 \quad [-]$

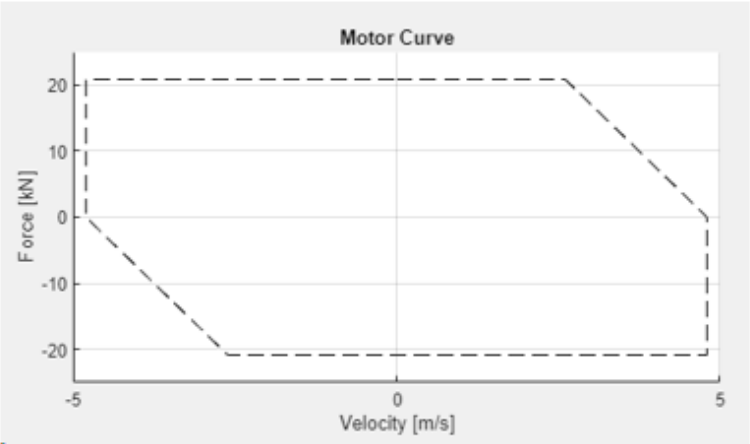
Esempio di calcolo

Dimensionamento del sistema AMD

Curva attuatore Electro-Pro

Scelta del sistema AMD e parametri AMD		
Tipologia AMD scelta: Electro-Pro		
$F_{AMD,max}$	= 20.80	kN
n_{AMD}	= 2	
$n_{AMD}G$	= 313.36	kNs/m
G	= 150.00	kNs/m
v_{AMD}	= 2.61*	m/s
* velocità nominale AMD		

$G = \frac{313.3}{2} \cong 150 \text{ kN s/m}$



Kinetic Parameters

Velocity @ Max Force [m/s]

Maximum Velocity [m/s]

Moving Mass Properties

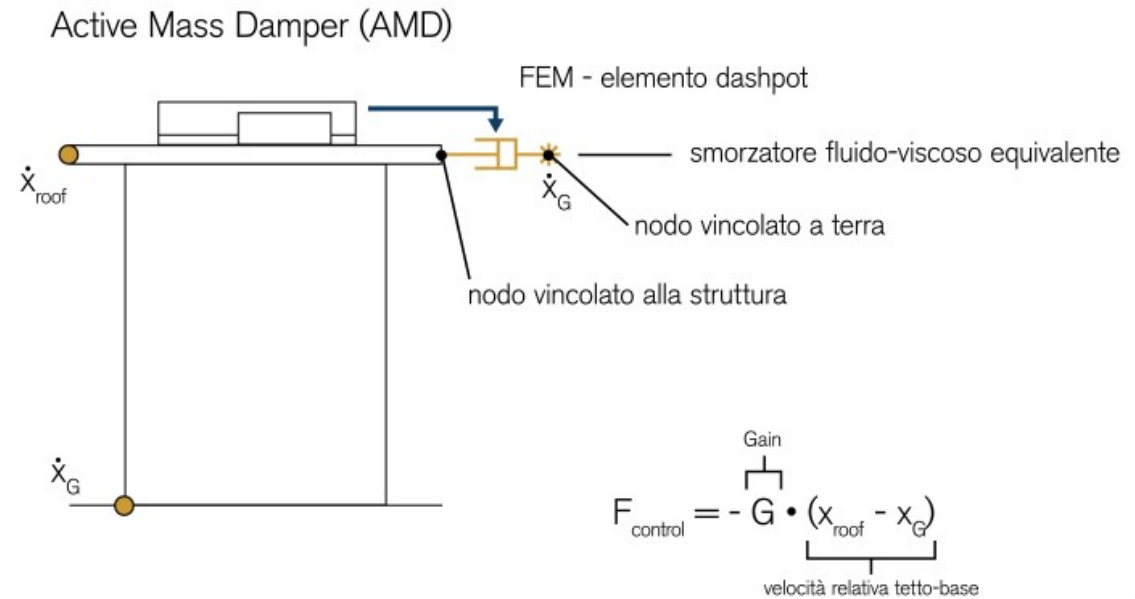
Length [m]

Esempio di calcolo

► Modellazione del sistema AMD

Caratteristiche principali necessarie per una corretta modellazione del sistema AMD Electro-Pro:

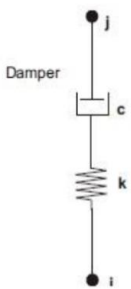
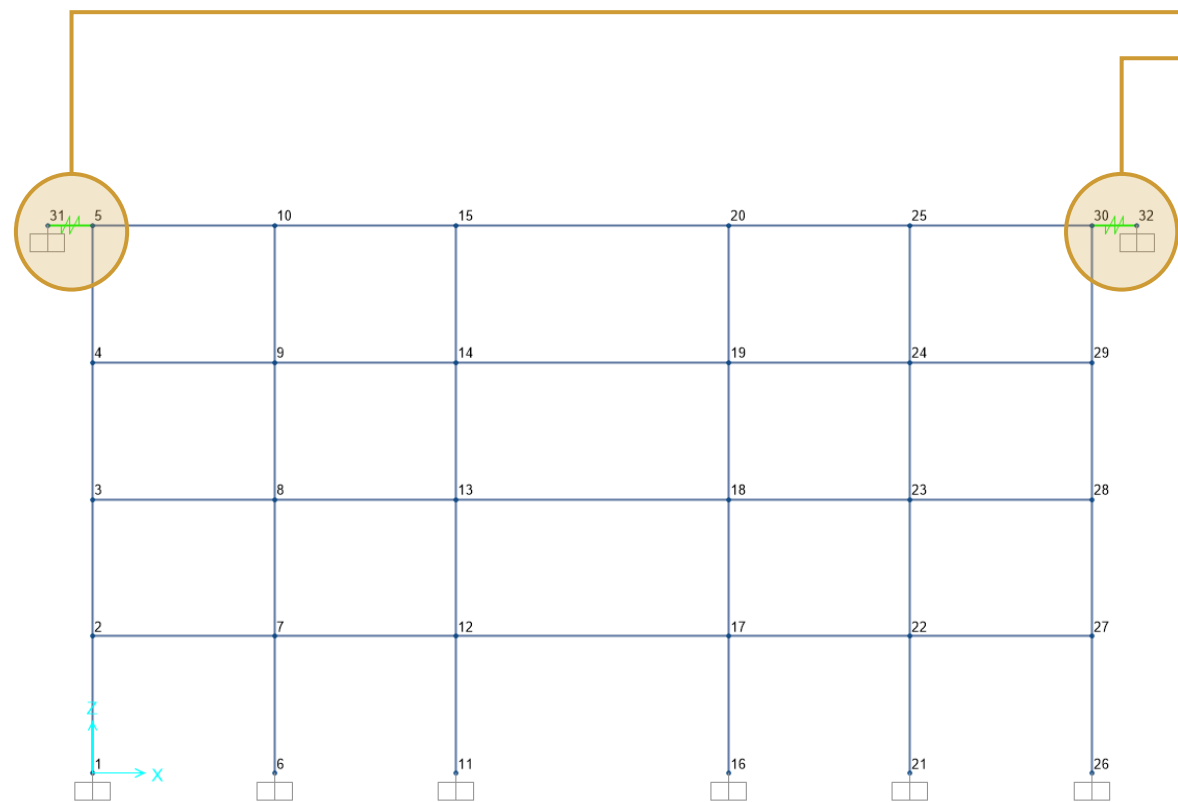
- Analisi di tipo Time-History
- Analogia con un dissipatore viscoso passivo*
- Controllo delle performance dell'attuatore
- Taratura del parametro Gain



* all'interno del modello vado a simulare l'effetto della forza di controllo espressa dall'AMD e non il comportamento intrinseco dell'AMD stesso

Esempio di calcolo

Modellazione del sistema AMD



Link/Support Property Data

Link/Support Type: Damper - Bilinear

Property Name: AMD

Property Notes:

Total Mass and Weight: Mass: 9.800E-03, Weight: 0

Factors For Line, Area and Solid Springs: Property is Defined for This Length In a Line Spring: 1, Property is Defined for This Area In Area and Solid Springs: 1

Directional Properties: Direction: U1, Fixed: ☒, NonLinear: ☒, Properties: Modify/Show for U1...

Stiffness Options: Stiffness Used for Linear and Modal Load Cases: Effective Stiffness from Zero, Else Nonlinear, Stiffness Used for Stiffness-proportional Viscous Damping: Initial Stiffness (K0), Stiffness-proportional Viscous Damping Coefficient Modification Factor: 1

Link/Support Directional Properties

Identification: Property Name: AMD, Direction: U1, Type: Damper - Bilinear, NonLinear: Yes

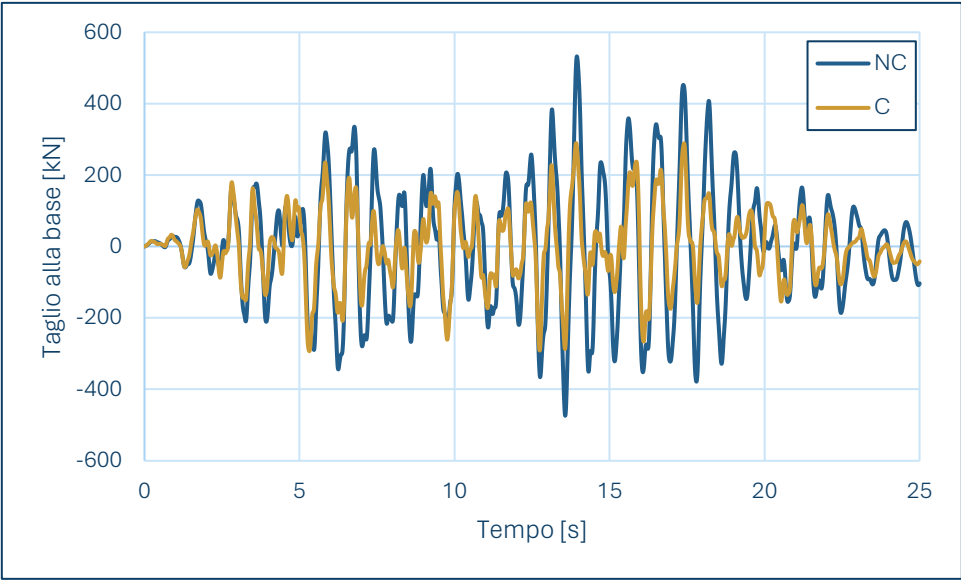
Properties Used For Linear Analysis Cases: Effective Stiffness: 0, Effective Damping: 0

Properties Used For Nonlinear Analysis Cases: Stiffness: 100000, Initial Damping Coefficient: 150, Yielded Damping Coefficient: 1.000E-04, Linear Force Limit: 21, Fixed Length Damper: ☐, Damper Length: , Modulus of Elasticity: , Cross Sectional Area:

Esempio di calcolo

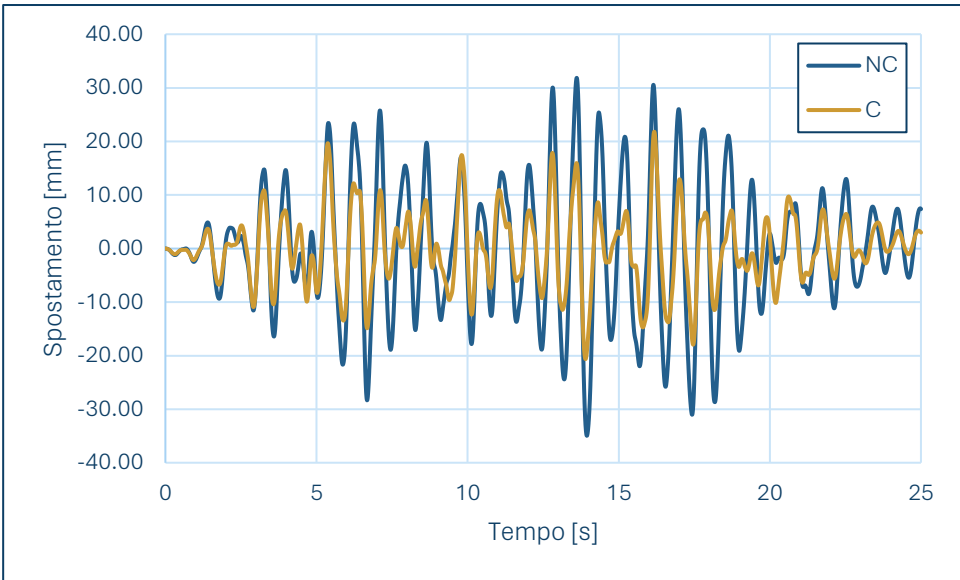
Analisi Time-History – Confronto tra struttura NC e struttura C

Taglio alla base di domanda e spostamento in copertura



	NC [kN]	C [kN]	Δ
$V_{bMAX} =$	532.27	293.44	45%

< 330kN

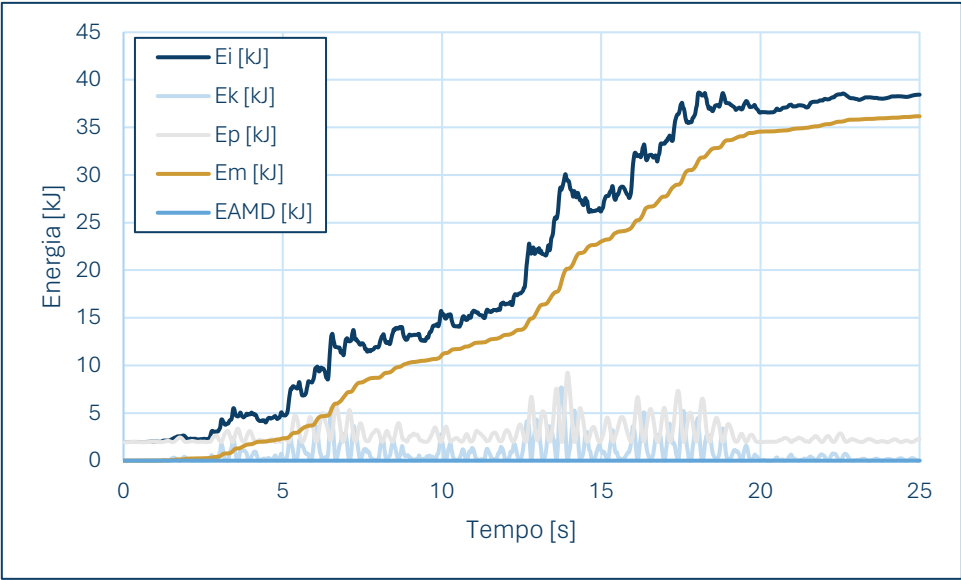


	NC [mm]	C [mm]	Δ
$s_{MAX} =$	34.95	21.81	38%

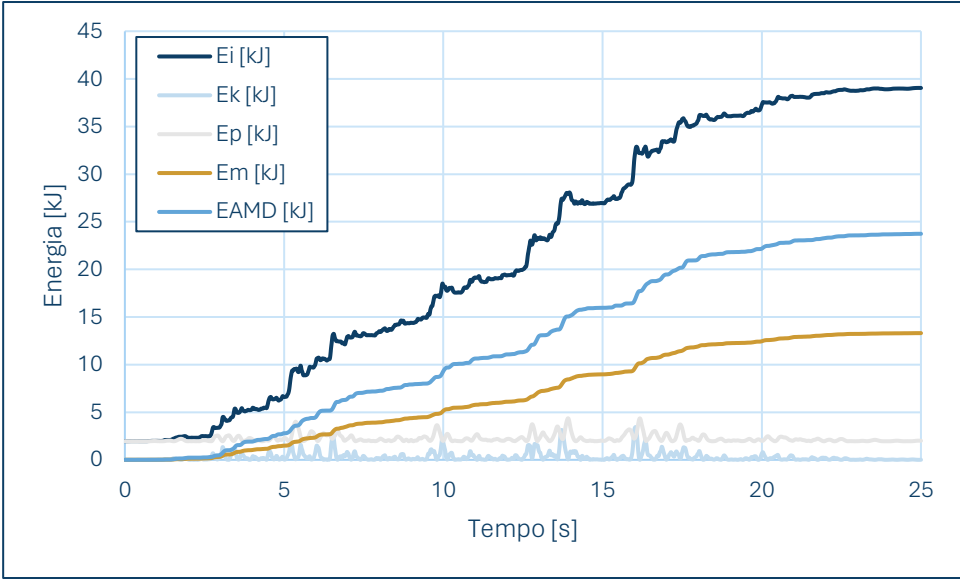
Esempio di calcolo

Analisi Time-History – Confronto tra struttura NC e struttura C

Bilancio energetico



STRUTTURA NC



STRUTTURA C

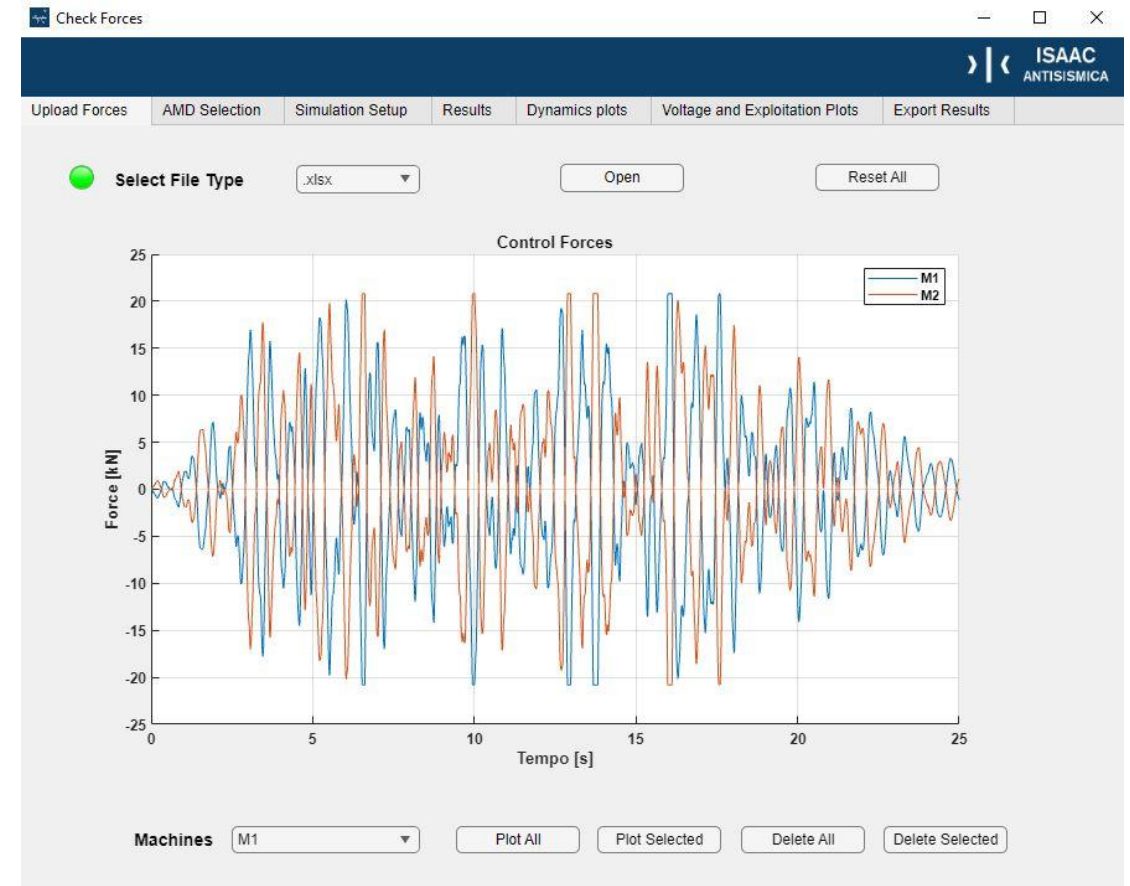
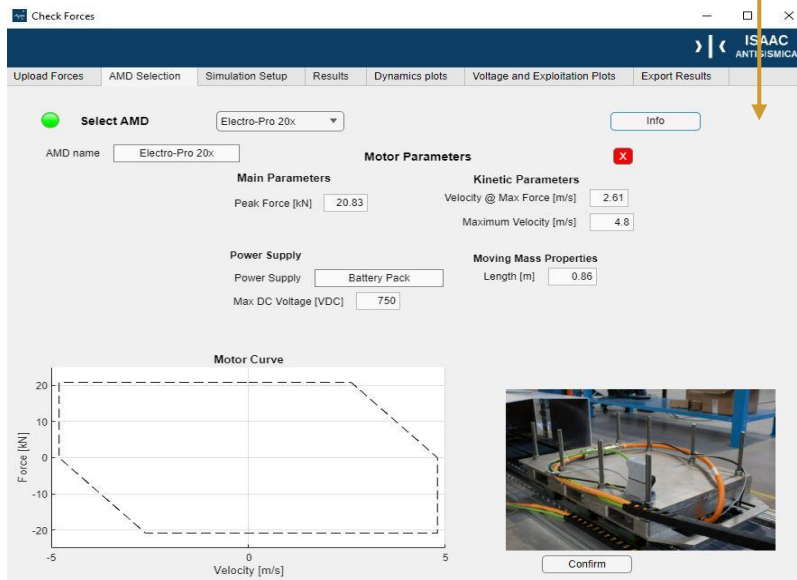
NC			C		
E_i [kJ]	E_m [kJ]	E_{AMD} [kJ]	E_i [kJ]	E_m [kJ]	E_{AMD} [kJ]
38.66	36.17	0.00	39.06	13.31	23.74

Esempio di calcolo

► Controllo performance attuatori

Verifica forze di controllo AMD

- Esportazione da analisi FEM
- Importazione in Check Forces Tool
- Scelta del tipo di AMD utilizzato



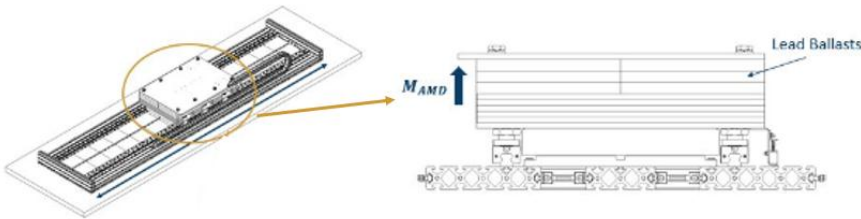
Esempio di calcolo

► Controllo performance attuatori

Verifica forze di controllo AMD

- Scelta massa mobile

$$m_{AMD} = \frac{F_{AMD,max}}{\omega_{STR} \cdot v_{AMD,max}} = \frac{20.8}{7.79 \cdot 2.61} = 1.02 \text{ ton} \rightarrow 1020 \text{ kg}$$



- Introduzione periodo fondamentale struttura*
- Scelta del time step

* Necessaria in quanto il tool applicherà un filtro passa-alto ai segnali di velocità e spostamento della massa mobile per evitare problemi numerici di deriva durante i processi di integrazione numerica. Il tool applica un filtro alla frequenza di taglio pari a:

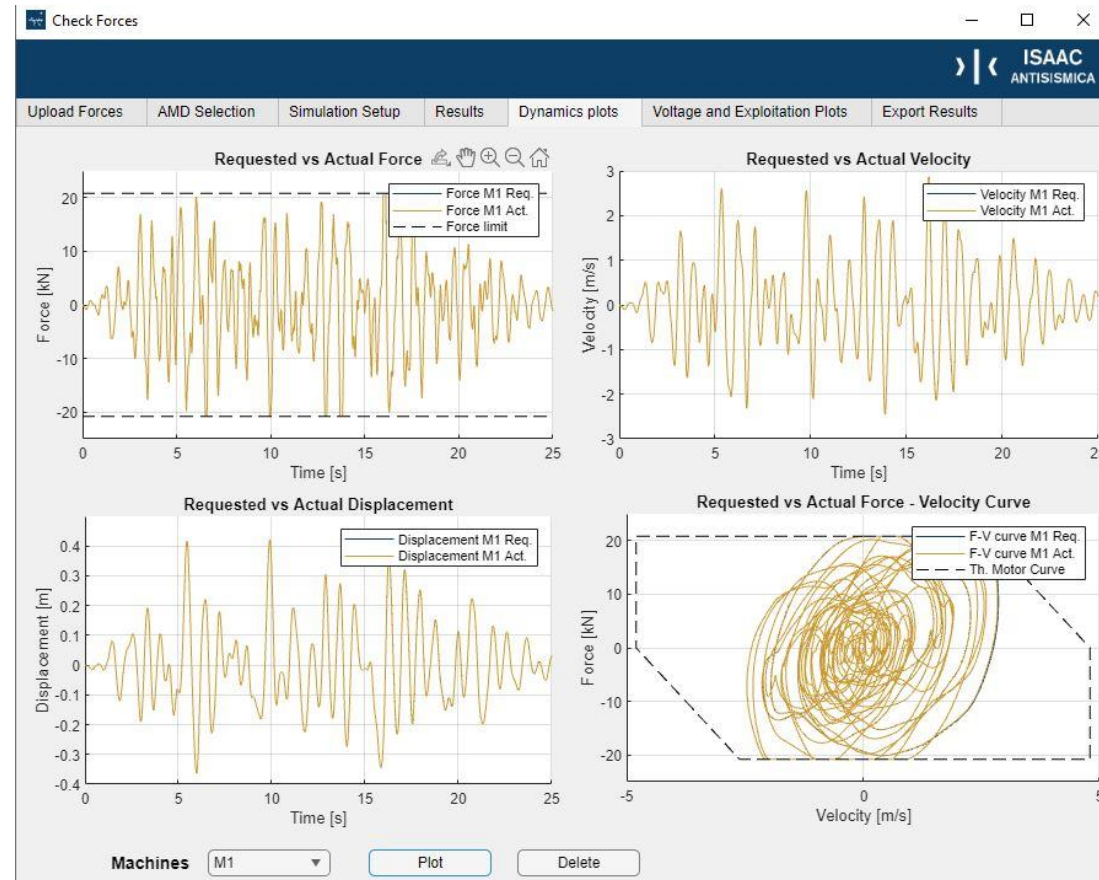
$$f_{CUT} = 0.25 \cdot f_1 \rightarrow 0.25 \cdot \frac{1}{T_1} = \frac{0.25}{0.8} = 0.31 \text{ Hz}$$

Machine Name	Moving Mass [kg]
M1	1020
M2	1020

Esempio di calcolo

► Controllo performance attuatori

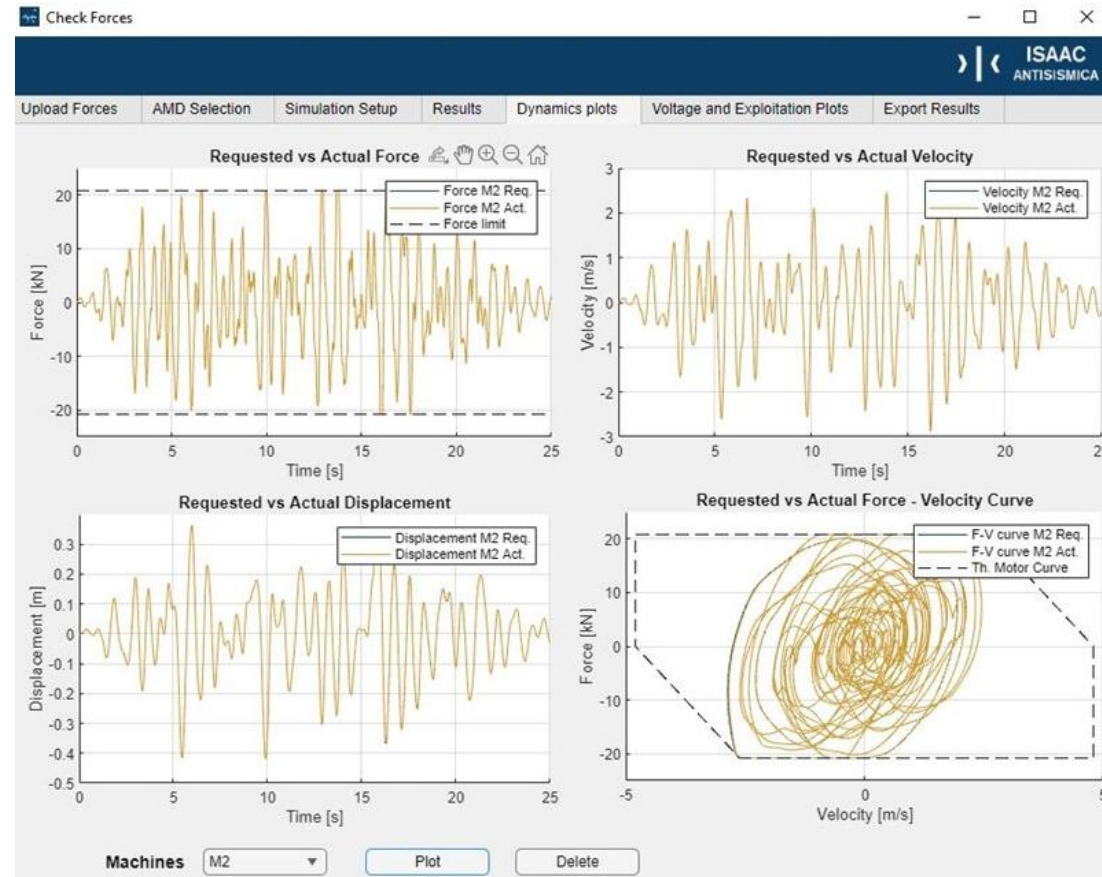
Verifica forze di controllo AMD – M1



Esempio di calcolo

► Controllo performance attuatori

Verifica forze di controllo AMD – M2



Esempio di calcolo

» Controllo performance attuatori

Verifica forze di controllo AMD – Scheda di sintesi

Check Forces

ISAAC
ANTISISMICA

Upload ForcesAMD SelectionSimulation SetupResultsDynamics plotsVoltage and Exploitation PlotsExport Results

Results

Total Grid Power [kW]0.3

Machine Name	Voltage Saturation	Info	Required Machine Exploitation [%]	Info	AMD length [m]	Info	Actual used grid power [kW]	Info
M1	No		73.0190		2.5000		0.075	
M2	No		73.0190		2.5000		0.075	

Check sulla saturazione in voltaggio

Sfruttamento macchine

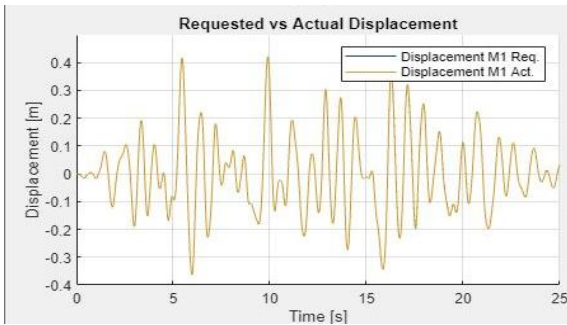
Lunghezza macchine

Esempio di calcolo

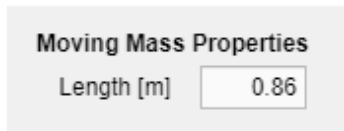
► Controllo performance attuatori

La lunghezza degli AMD è la somma di 3 contributi:

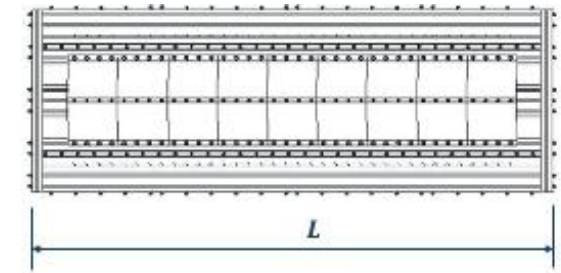
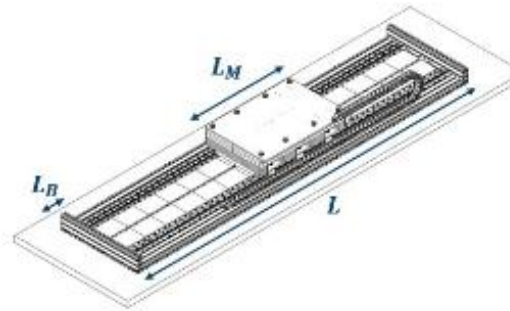
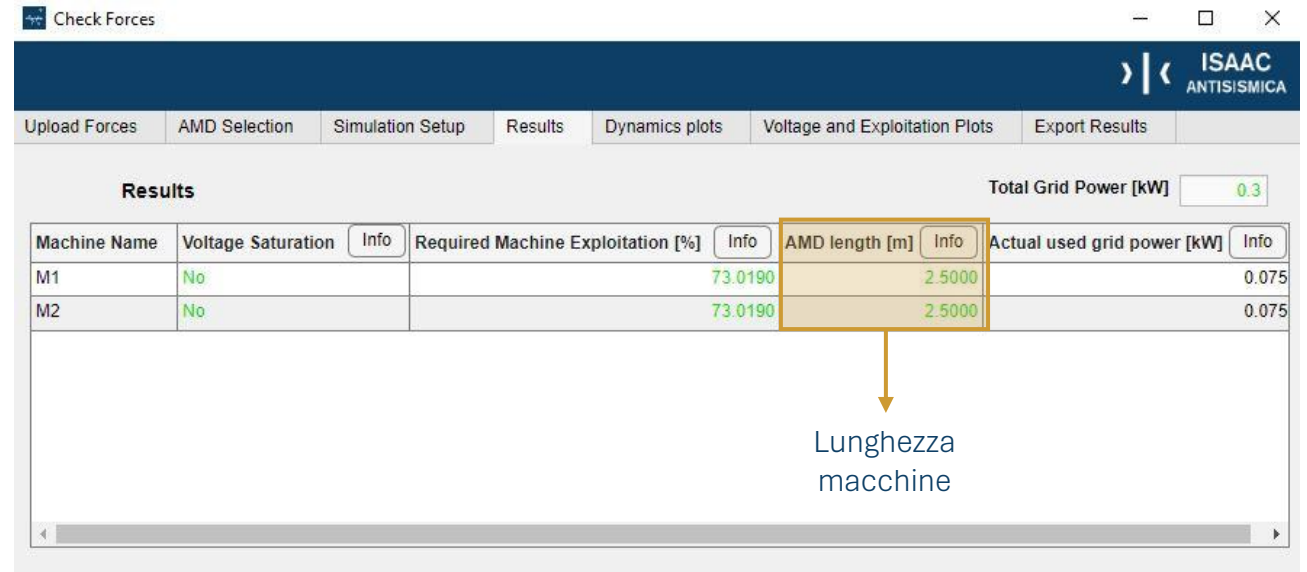
- corsa s_{AMD}



- lunghezza attuatore L_M



- fine corsa di sicurezza L_B



$$L_{AMD} = s_{AMD} + L_M + 2L_B = 0.80 + 0.86 + 0.60 = 2.26 \text{ m} \rightarrow 2.50 \text{ m}$$

Si osserva che s_{AMD} può essere validata con la relazione semplificata che segue: $s_{AMD} = \frac{2 \cdot v_{AMD,max}}{\omega_{STR}} = \frac{2 \cdot 2.61}{7.79} = 0.67 \text{ m} \sim 0.80 \text{ m}$



6.

Applicazioni reali



Applicazioni reali

► Track record

Edifici residenziali
Salerno

Installazione di 6
macchine



2023



Hilton Hotel
Modica (RG)

Installazione di 3
macchine



2024



Nuova Torre
Piloti di Genova

Installazione di 4
macchine*



2025



Ospedale
Grottaglie

Installazione di 40
macchine**



Scuola F. Di
Bartolo Buti (PI)

Installazione di 8
macchine



Ospedale di
Genova

Installazione di 74
macchine**



Uffici Investire
SGR Milano

Installazione di 4
macchine**



Applicazioni reali

► Miglioramento sismico edificio scolastico, scuola media, Buti (PI)



Immobile	Scuola secondaria F. Di Bartolo, Buti (PI)
Posizione	43.728272 N; 10.591506 E
Destinazione d'uso	Edificio scolastico
PGA SLD [g]	0.06
PGA SLV [g]	0.14
Tipologia dell'edificio	Struttura a telaio in c.a. – 2 corpi di fabbrica separati ma supposti uniti ai fini del progetto
Anno di costruzione	Corpo principale 1965, ampliamento 1979
Numero dei piani	3
Area mq / piano	Corpo principale e ampliamento 560 m ²
Altezza dell'edificio	11.00 m all'ultimo solaio
Tipo di copertura	Falde



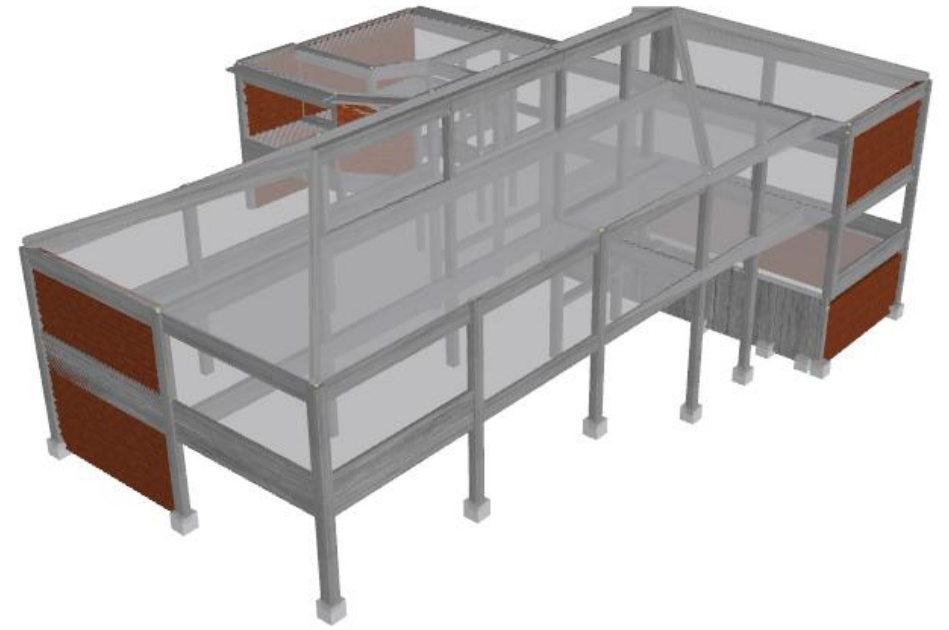
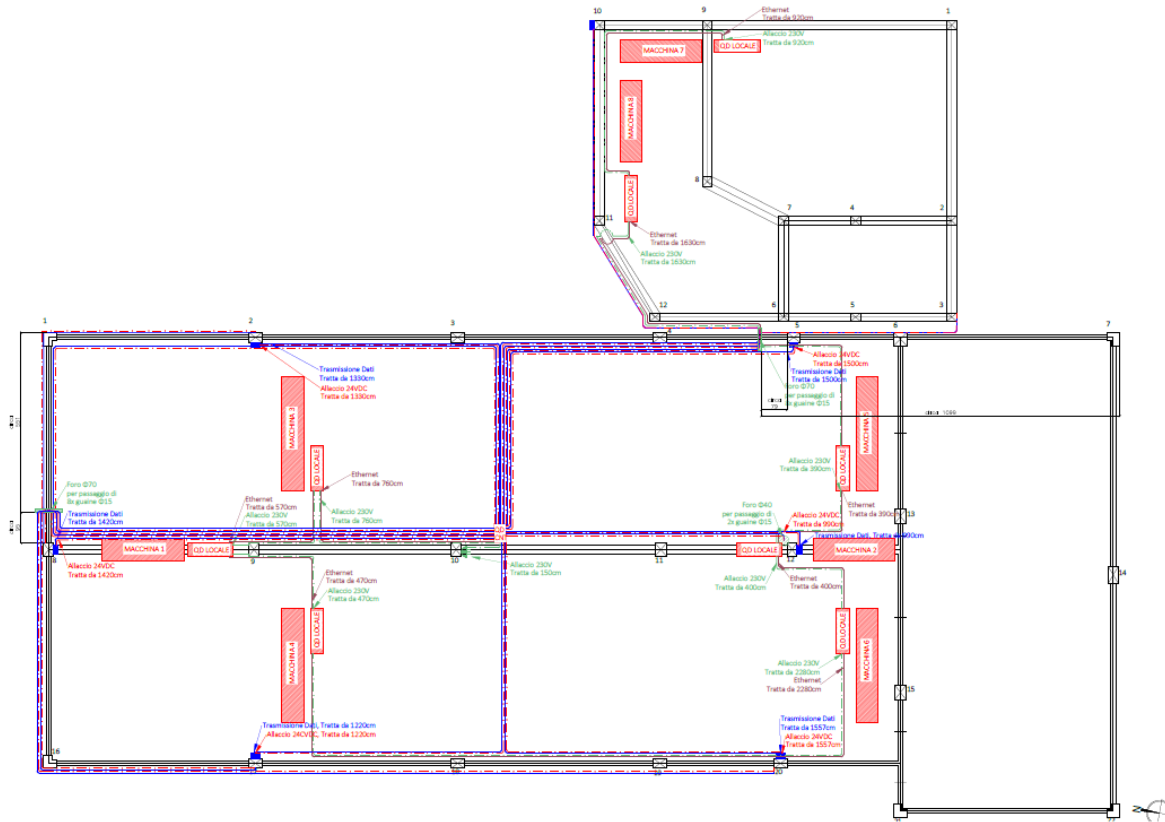
Applicazioni reali

➤ Miglioramento sismico edificio scolastico, scuola media, Buti (PI)



Applicazioni reali

► Miglioramento sismico edificio scolastico, scuola media, Buti (PI)



Applicazioni reali

➤ Miglioramento sismico padiglioni ospedalieri, San Martino, Genova (GE)



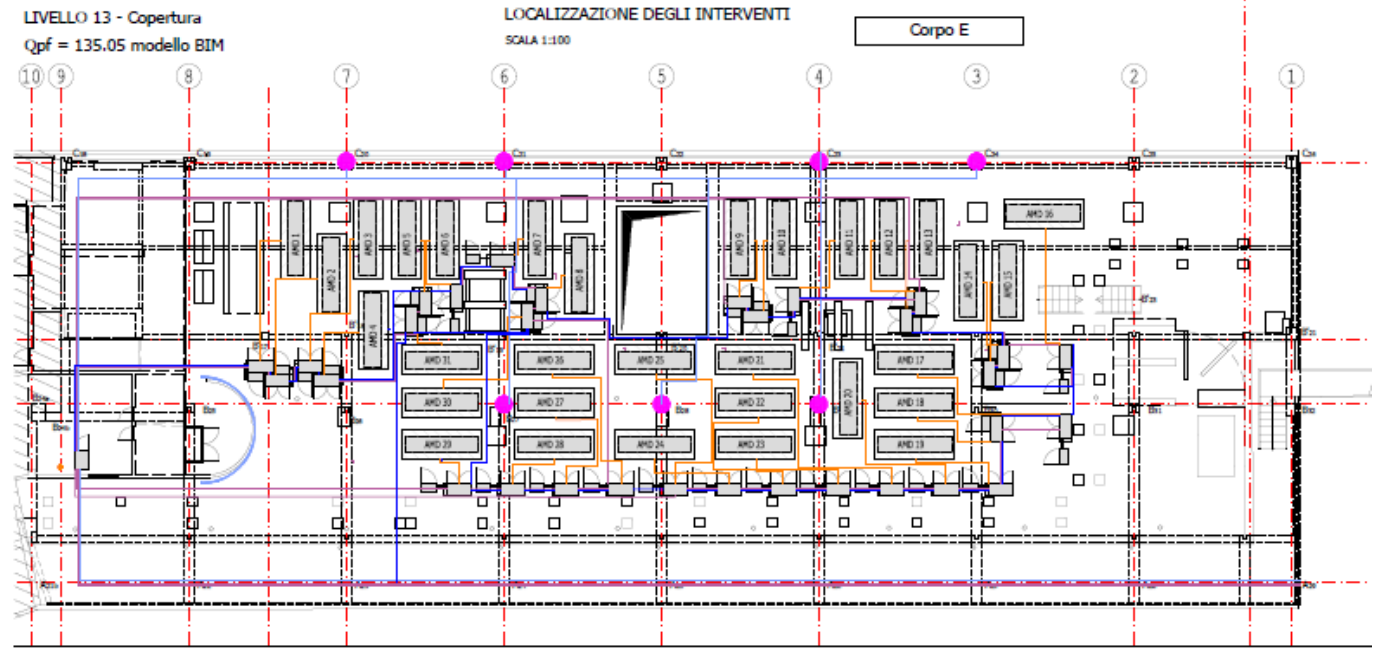
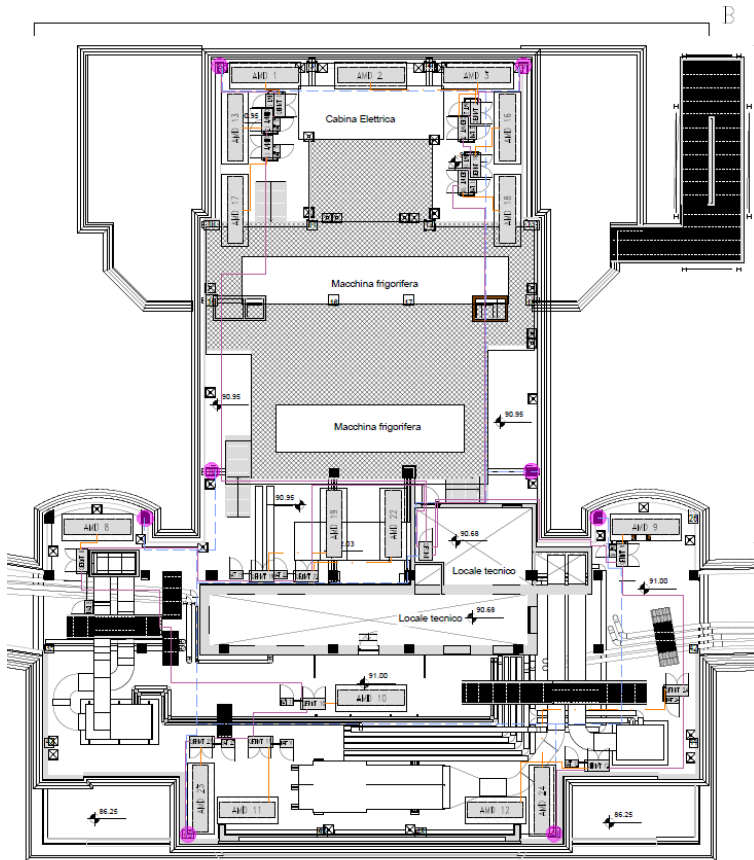
Padiglione specialità



Padiglione monoblocco

Applicazioni reali

► Miglioramento sismico padiglioni ospedalieri, San Martino, Genova (GE)



Applicazioni reali

➤ Miglioramento sismico padiglioni ospedalieri, San Martino, Genova (GE)



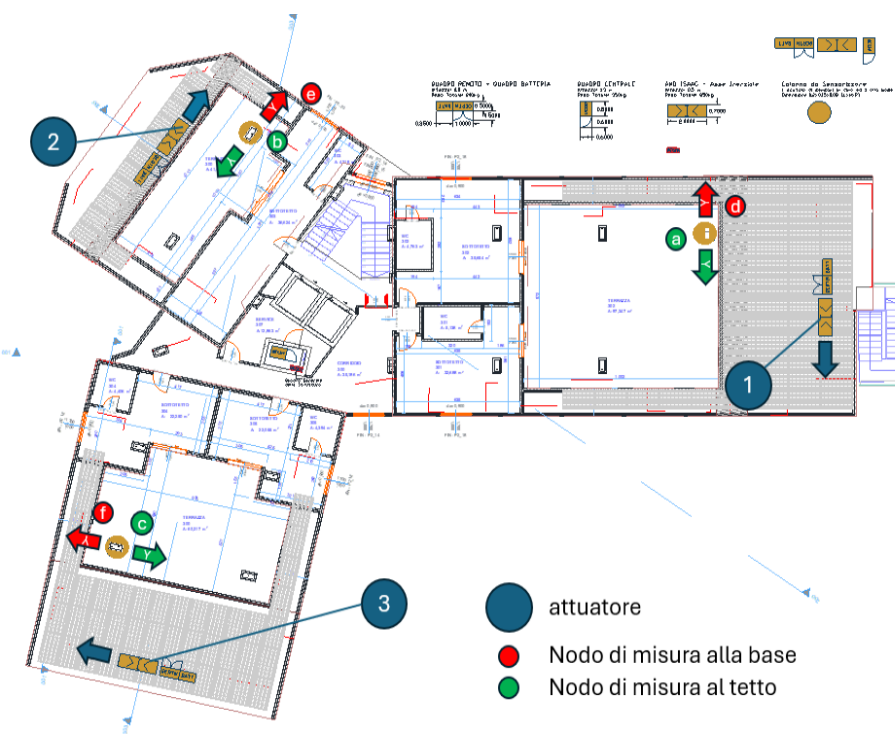
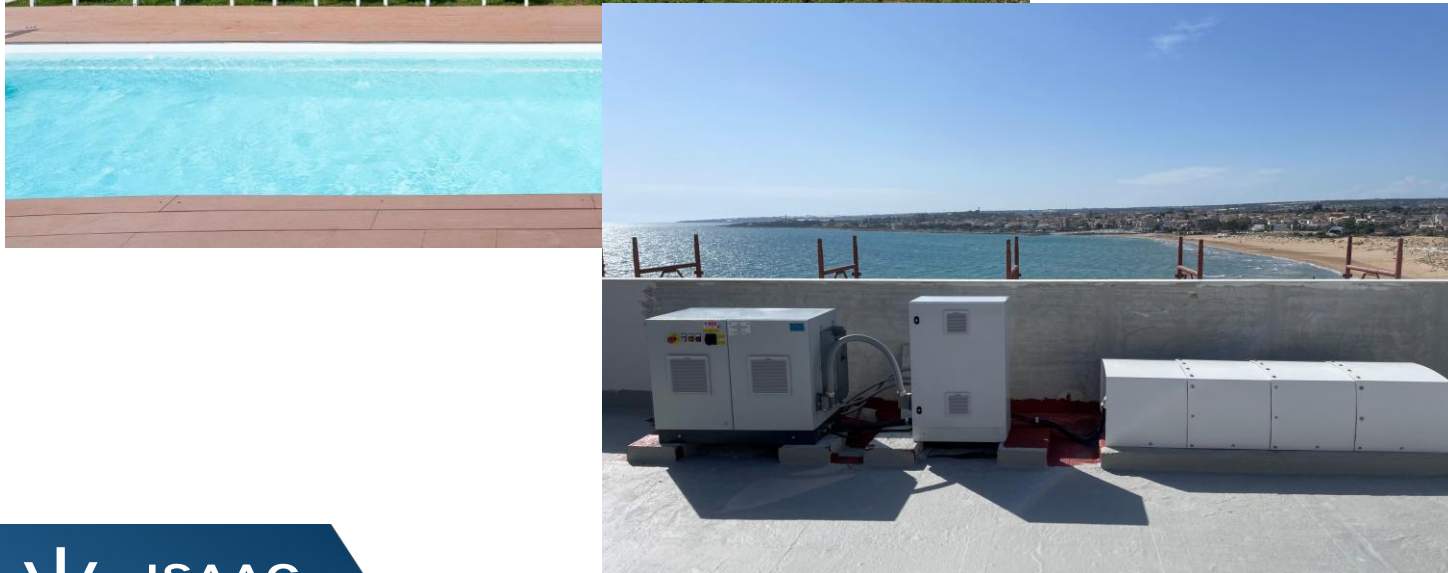
Applicazioni reali

➤ Miglioramento sismico padiglioni ospedalieri, San Martino, Genova (GE)



Applicazioni reali

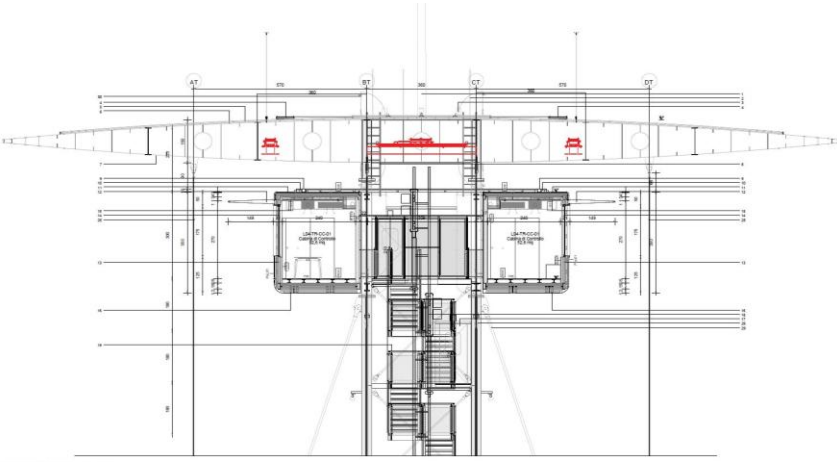
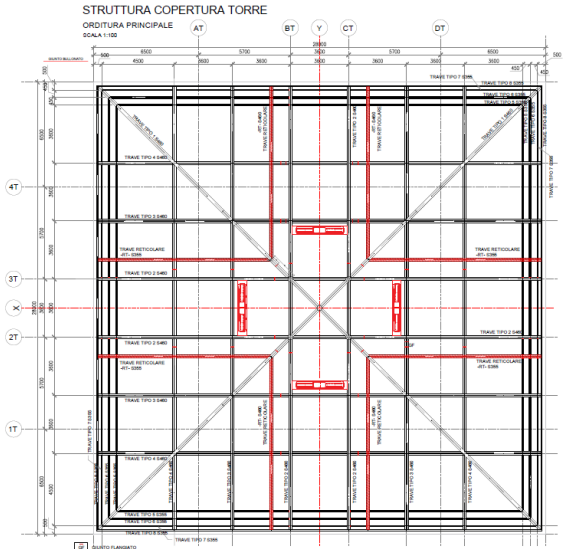
► Miglioramento sismico padiglioni ospedalieri, San Martino, Genova (GE)

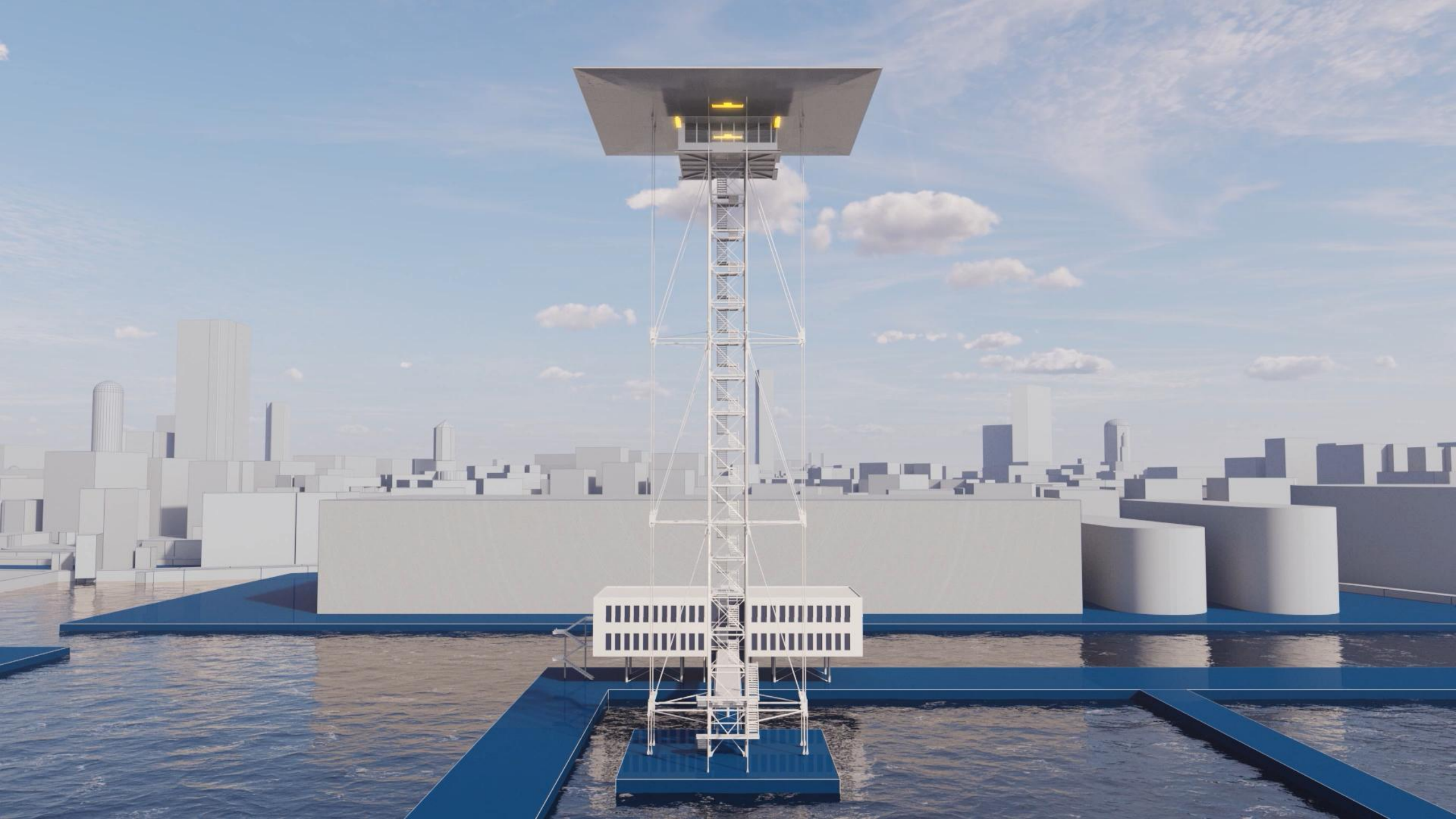


Applicazioni reali

Torre dei piloti, Genova (GE)

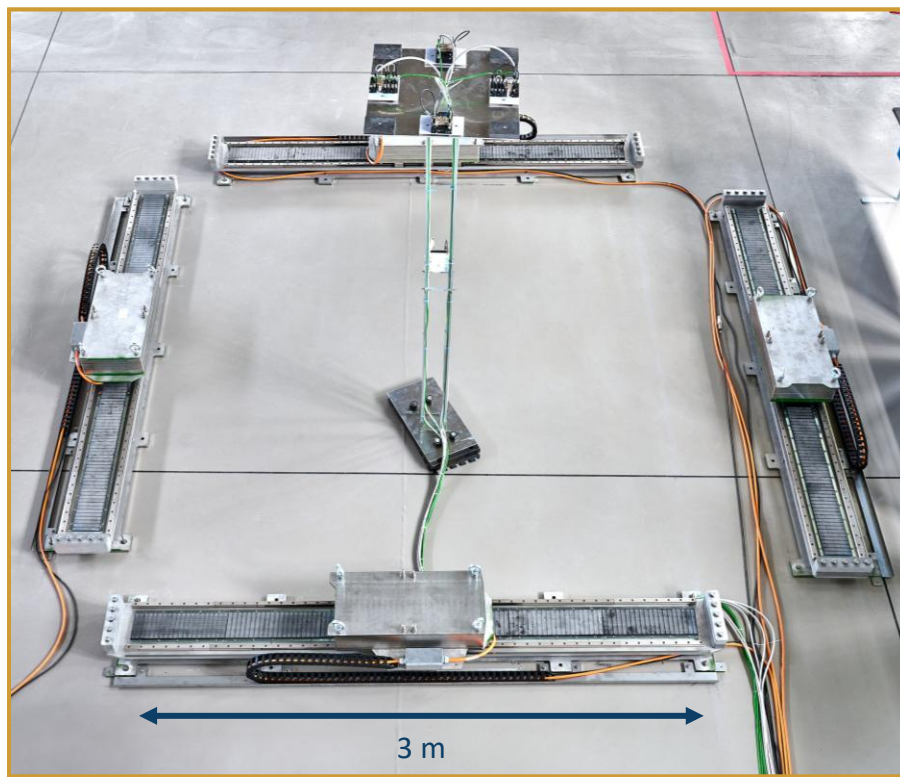
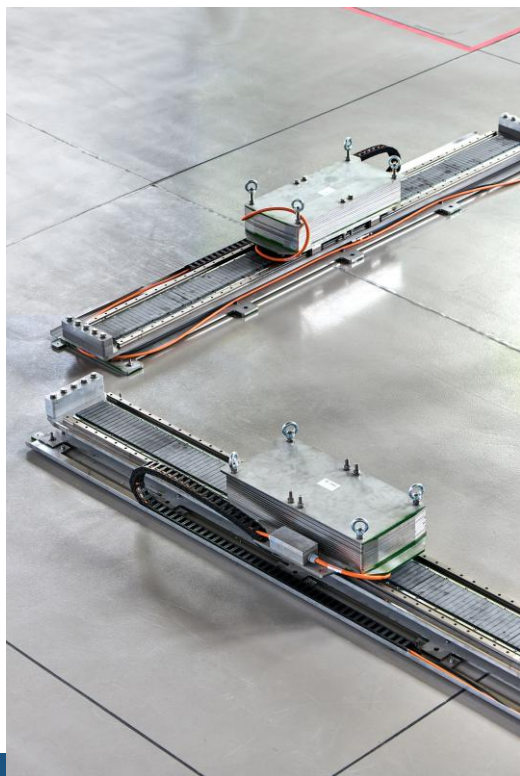
Comune:	Genova
Anno di costruzione:	2024
Tipologia struttura:	torre in acciaio
Area cappello:	784 mq
Altezza:	95 m (antenna)
Obiettivo intervento:	Comfort per vibrazioni da vento
N° AMD:	4





Applicazioni reali

► Torre dei piloti, Genova (GE)

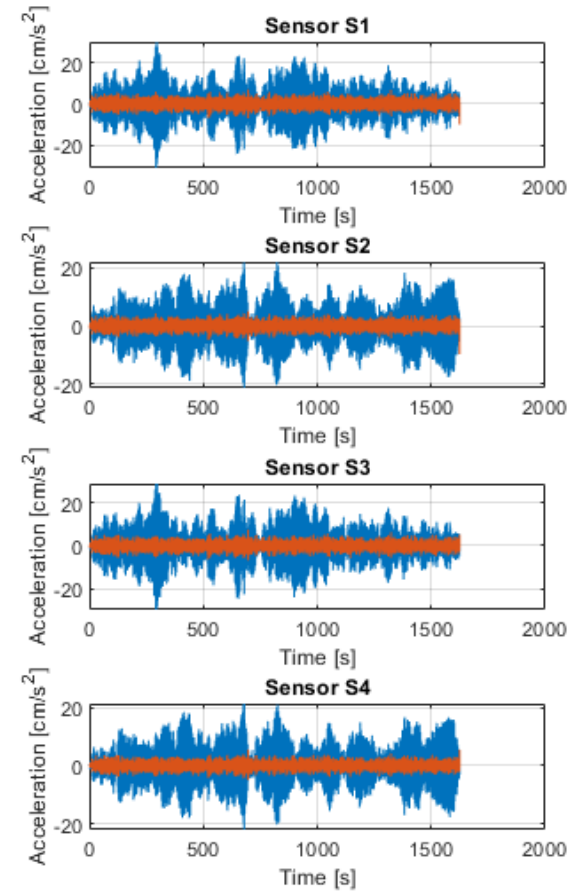
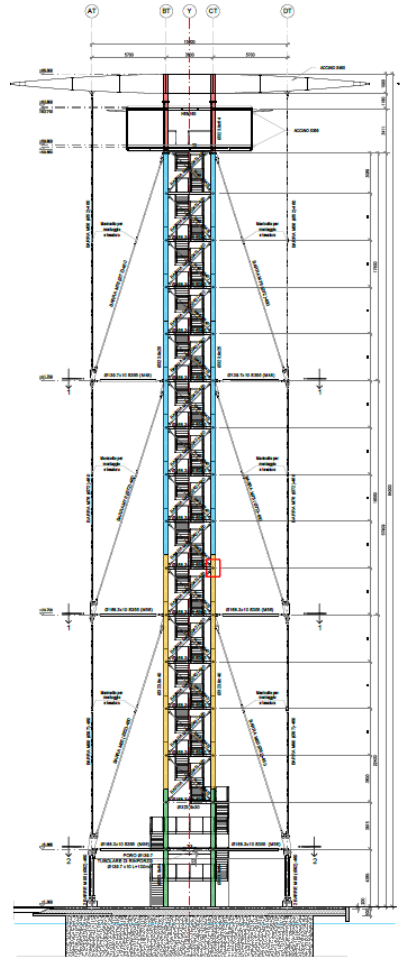




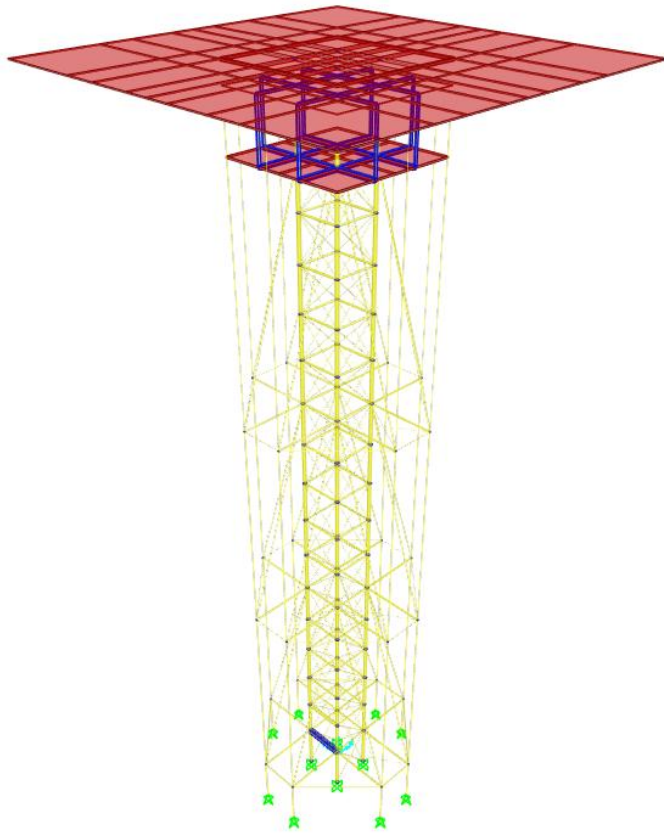
Control OFF

Control ON

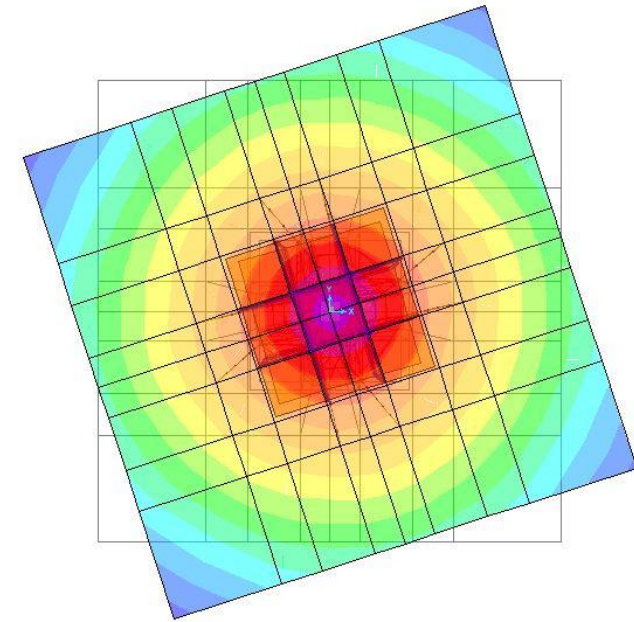
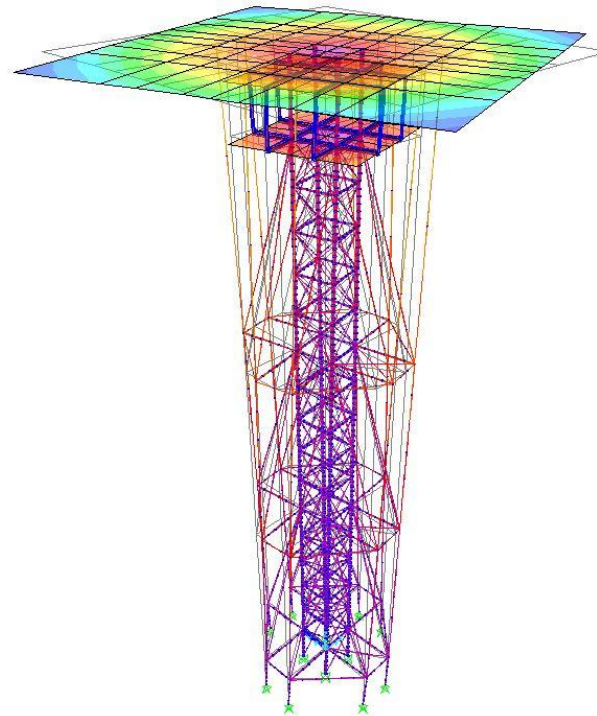
► Torre dei piloti, Genova (GE)



► Torre dei piloti, Genova (GE)



Modo [-]	T [s]	f [Hz]	Mx [%]	My [%]	Rz [%]
1	3.77	0.26	/	/	96%
2	1.62	0.62	/	82%	/
3	1.58	0.63	81%	/	/





Contatti



Structural Engineer
Barbara.zulian@isaacsrl.com

info@isaacsrl.com

www.isaacantisismica.com

Dacci un tuo feedback!



7.

Bibliografia scientifica

Pubblicazioni ISAAC



Bibliografia scientifica

► Pubblicazioni ISAAC

Article

Design and validation of a hardware-in-the-loop test bench for evaluating the performance of an active mass damper

Matteo Rosti¹, Stefano Cii¹, Alberto Bussini¹, Paolo M. Calvi², and Francesco Ripamonti³



Journal of Vibration and Control
2022, Vol. 0(0) 1–14
© The Author(s) 2022
Article reuse guidelines:
sagepub.com/journals-permissions
DOI: 10.1177/10775463221111262
journals.sagepub.com/home/jvc





Journal of Earthquake Engineering

ISSN: (Print) (Online) journal homepage: <https://www.tandfonline.com/loi/ueeq20>

Full-Scale Shake Table Tests of a Reinforced Concrete Building Equipped with a Novel Servo-Hydraulic Active Mass Damper

G. Rebecchi, P. M. Calvi, Alberto Bussini, Filippo Dacarro, Davide Bolognini, Luca Grottoli, Matteo Rosti, Francesco Ripamonti & Stefano Cii

To cite this article: G. Rebecchi, P. M. Calvi, Alberto Bussini, Filippo Dacarro, Davide Bolognini, Luca Grottoli, Matteo Rosti, Francesco Ripamonti & Stefano Cii (2022): Full-Scale Shake Table Tests of a Reinforced Concrete Building Equipped with a Novel Servo-Hydraulic Active Mass Damper, Journal of Earthquake Engineering, DOI: 10.1080/13632469.2022.2121338

To link to this article: <https://doi.org/10.1080/13632469.2022.2121338>



Available online at www.sciencedirect.com



ScienceDirect

Procedia Structural Integrity 44 (2023) 1180–1187

www.elsevier.com/locate/procedia

XIX ANIDIS Conference, Seismic Engineering in Italy

An Innovative Active Control System for The Seismic Retrofit of a Precast R.C. Wall-Bearing Building

Giovanni Rebecchi^{a*}, Fabio Menardo^a, Matteo Rosti^a, Alberto Bussini^a, Pietro Diamanti^b, Francesco Del Viva^b, Gerardo Masiello^b, Salvatore Sguzzo^c

^aISAAC srl, via Magolfi 27, Milano 20143, Italy
^bSMSstrutture, Via Giovanni Battista Picotti 6, Pisa 56124, Italy
^cProger spa, via Valadier 42, Roma 00193, Italy



Bibliografia scientifica

► Pubblicazioni ISAAC

COMPDYN 2023
9th ECCOMAS Thematic Conference on
Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering
M. Papadarakis, M. Fragiadakis (eds.)
Athens, Greece, 12-14 June 2023

FULL-SCALE SHAKE TABLE TESTS OF A R.C. BUILDING EQUIPPED WITH AN ACTIVE MASS DAMPER: EXPERIMENTAL RESULTS AND NUMERICAL SIMULATIONS

G. Rebecchi¹, F. Menardo¹, M. Rosti¹, A. Bussini¹, P.M. Calvi²



Life cycle benefits of seismic protection using a novel active mass damper

C. Fontana
University School for Advanced Studies (IUSS), Pavia, Italy
M. Caruso, R. Pinho
University of Pavia, Pavia, Italy
F. Menardo, G. Rebecchi, A. Bussini
ISAAC srl, Milan, Italy

DIGITAL
MODELING

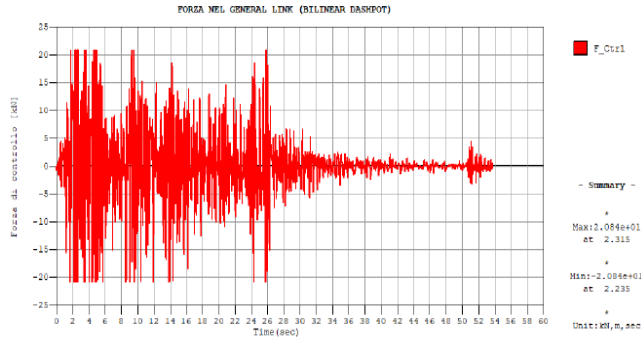
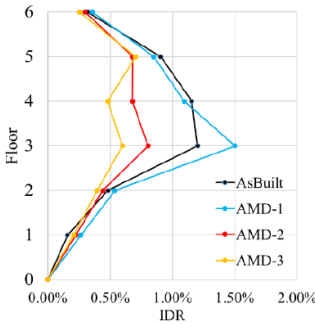
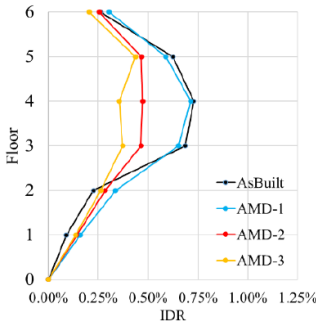
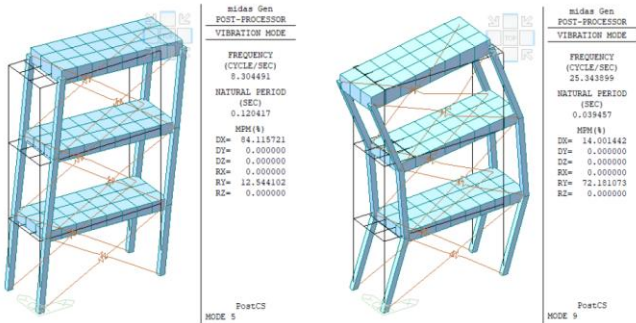
Principi di funzionamento, modellazione ed analisi di sistemi Active Mass Damper in Midas Gen



¹ Senior Civil Engineer, ISAAC s.r.l.
¹ Head of Structural Engineering, ISAAC s.r.l.
¹ Tech Sales Manager, ISAAC s.r.l.



Software utilizzato



Bibliografia scientifica

► Pubblicazioni ISAAC

lostrutturista

