



SEISMIC ACADEMY

Progettazione sismica degli elementi non strutturali:
spettri di piano e periodo proprio di vibrazione

Ing. Simone Peloso

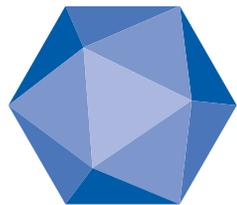
Capo del Dipartimento Costruzioni e Infrastrutture
della Fondazione EUCENTRE



Con il patrocinio di



Con la partecipazione di



EUCENTRE
FOR YOUR SAFETY.

Progettazione sismica degli elementi non strutturali: spettri di piano e periodo proprio di vibrazione

HILTI Seismic Academy
Pavia, 5 Luglio 2022

Simone Peloso, Ph.D.
Capo del Dipartimento
Costruzioni e Infrastrutture

Alcune difficoltà sono legate alla "corrispondenza" solo parziale tra i criteri di verifica il cui rispetto è richiesto dalle diverse Norme.

NTC2018

- ◆ Stato Limite di **Operatività: FUN**zionamento
Per gli impianti, si deve verificare che gli spostamenti strutturali o le accelerazioni [...] non siano tali da produrre interruzioni d'uso degli impianti stessi.
- ◆ Stato Limite di **Collasso: STA**bilità
[...] i diversi elementi funzionali costituenti l'impianto, compresi gli elementi strutturali che li sostengono e collegano [...] devono avere capacità sufficiente a sostenere la domanda [...]

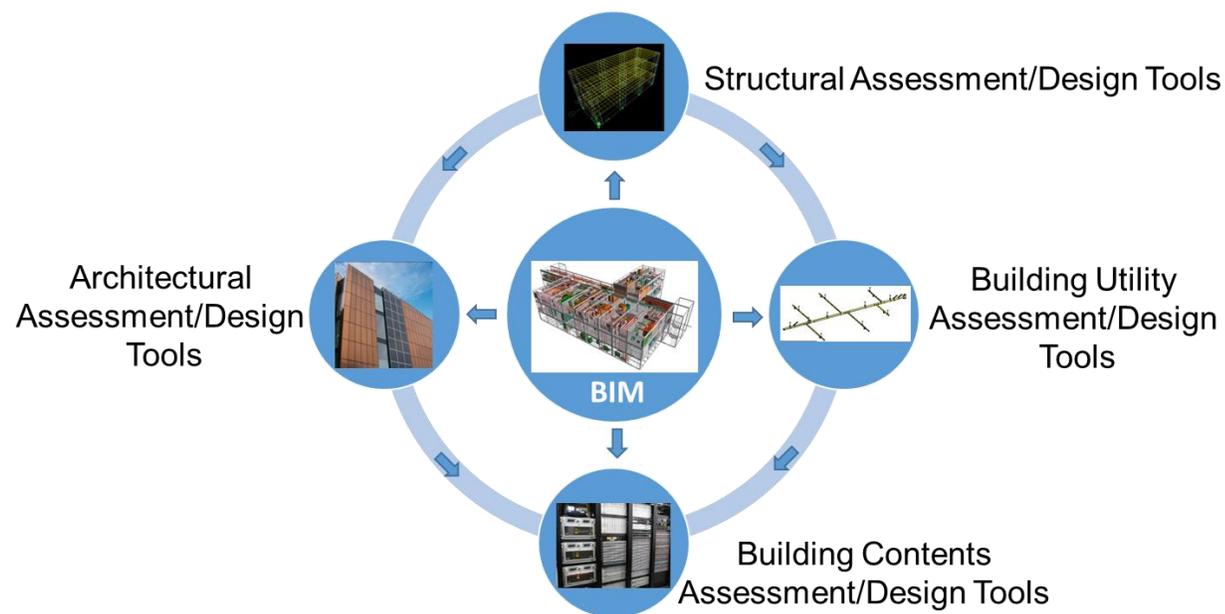
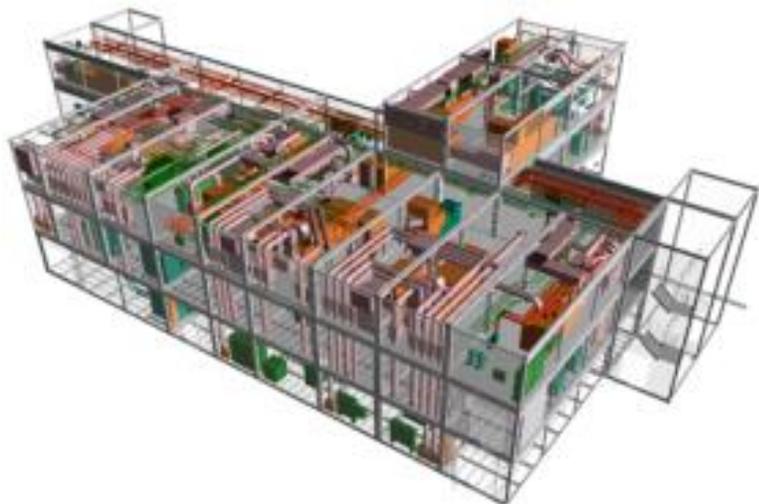
CEI 60068-3-3:2019

- ◆ Criterio 0 (**C0**): Apparecchiature che non presentano alcun cattivo funzionamento né durante né dopo la sollecitazione sismica.
- ◆ Criterio 1 (**C1**): Apparecchiature che presentano un cattivo funzionamento durante la sollecitazione sismica, ma sono ritornate al loro stato normale dopo la stessa.
- ◆ Criterio 2 (**C2**): Apparecchiature che hanno un cattivo funzionamento durante la sollecitazione sismica e richiedono un intervento o una regolazione al termine della stessa, senza necessitare di sostituzione o riparazione.

Progettazione degli elementi non strutturali

Sono varie le iniziative che si stanno intraprendendo verso possibili soluzioni:

- ◆ Uso del Building Information Modelling (BIM) per favorire lo scambio di informazioni e competenze tra le figure coinvolte;
- ◆ Uso del BIM per la progettazione sismica e la valutazione della vulnerabilità sismica degli elementi non-strutturali
- ◆ Preparazione di Guide Tecniche (es: CEI CT 45 ha proposto il progetto di una guida sulla corretta progettazione ed installazione di sistemi e componenti BT in ambienti soggetti a rischio sismico – ora pronta per inchiesta pubblica);



Le attuali Norme Tecniche per le Costruzioni guidano nella scelta dei requisiti prestazionali minimi per le costruzioni; questi, così come gli stati limite di riferimento, dipendono dalla destinazione d'uso della struttura.

[§7.3.6] Rispetto dei requisiti nei confronti degli stati limite

Tab. 7.3.III – Stati limite di elementi strutturali primari, elementi non strutturali e impianti

STATI LIMITE		CU I	CU II		CU III e IV			
		ST	ST	NS	IM	ST	NS	IM ^(*)
SLE	SLO					RIG		FUN
	SLD	RIG	RIG			RES		
SLU	SLV	RES	RES	STA	STA	RES	STA	STA
	SLC		DUT ^(**)			DUT ^(**)		

(*) Per le sole CU III e IV, nella categoria Impianti ricadono anche gli arredi fissi.

(**) Nei casi esplicitamente indicati dalle presenti norme.

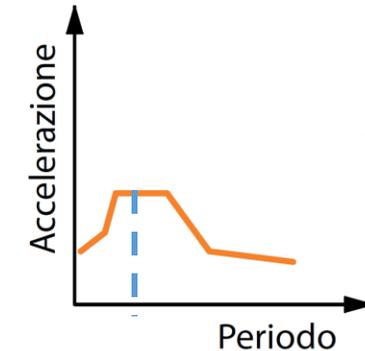
Le NTC2018 impongono il rispetto di alcuni stati limite anche per elementi non strutturali e impianti.

Criteri di verifica più stringenti possono essere imposti dai Committenti finali delle opere.

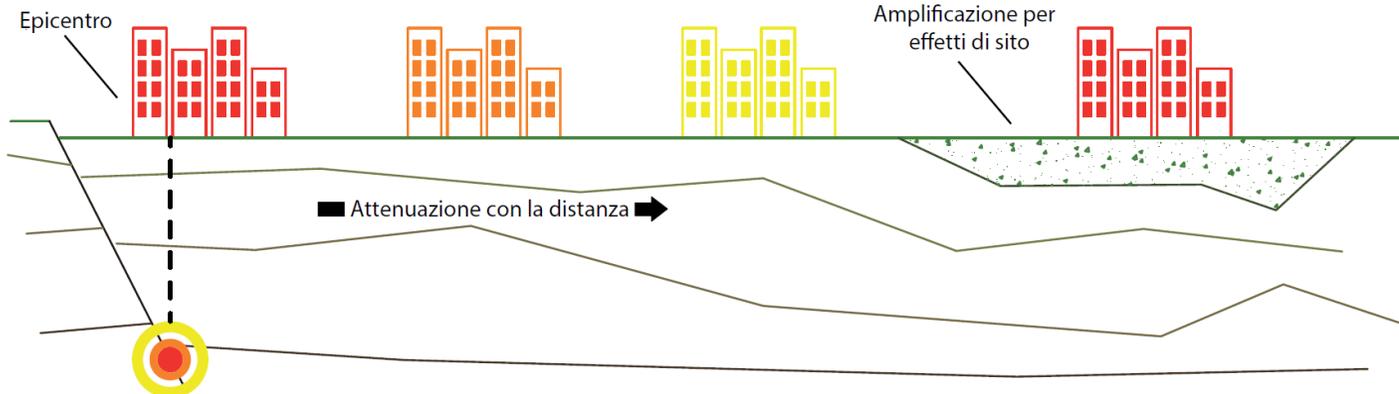
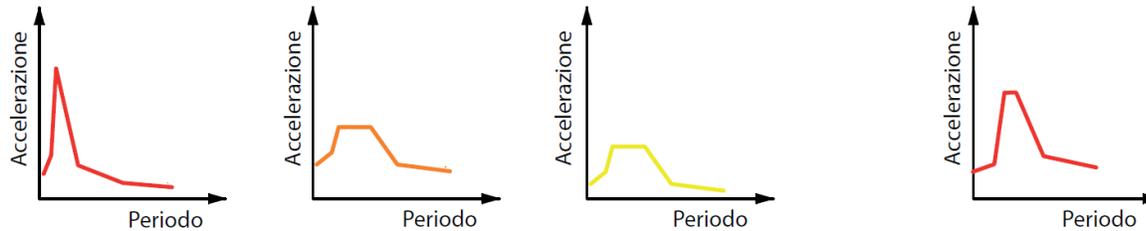
La progettazione sismica

Per gli strutturisti, la determinazione delle forze tramite analisi modale con spettro di risposta è un procedimento triviale

- ◆ Spettro di accelerazione al sito;
- ◆ Smorzamento e sovrasmorzamento;
- ◆ Massa, rigidezza e periodo di vibrazione della struttura.



$$F = M \times a$$

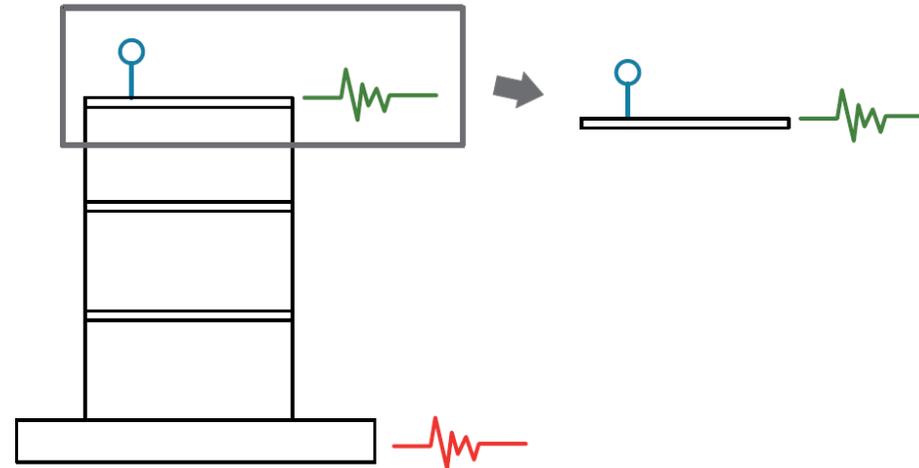


Lo spettro a terra è imposto dalle Norme, che nel determinarlo considerano:

- ◆ Caratteristiche della sorgente;
- ◆ Distanza tra il sito e la sorgente;
- ◆ Caratteristiche dei terreni.

La progettazione sismica

Lo stesso procedimento può essere utilizzato per determinare le forze agenti sugli elementi non strutturali sensibili alle accelerazioni.



Tuttavia, questa procedura incontra alcune difficoltà aggiuntive:

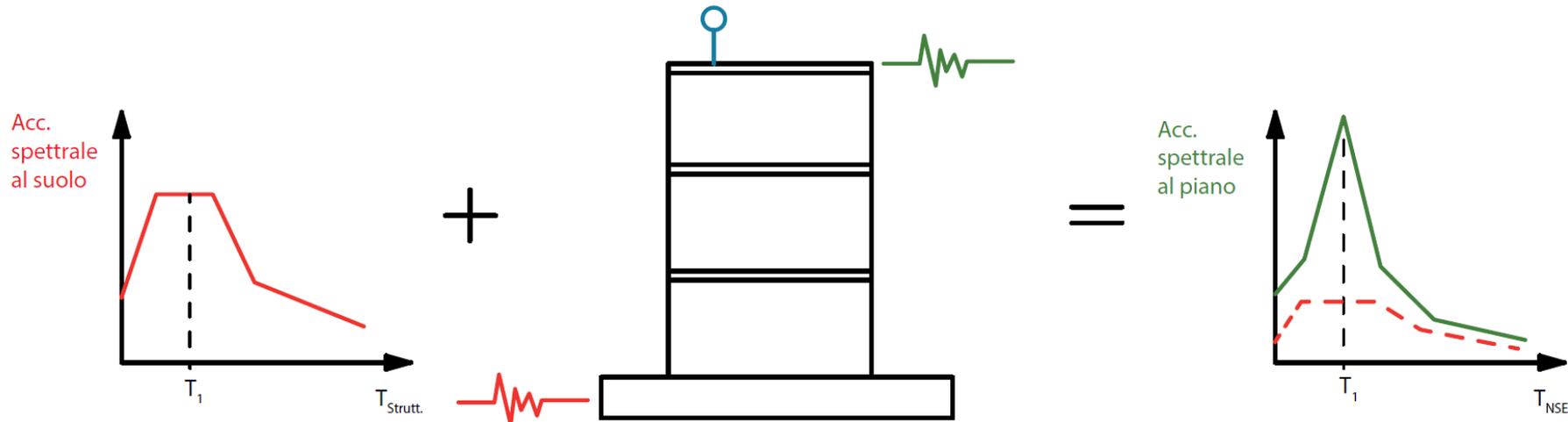
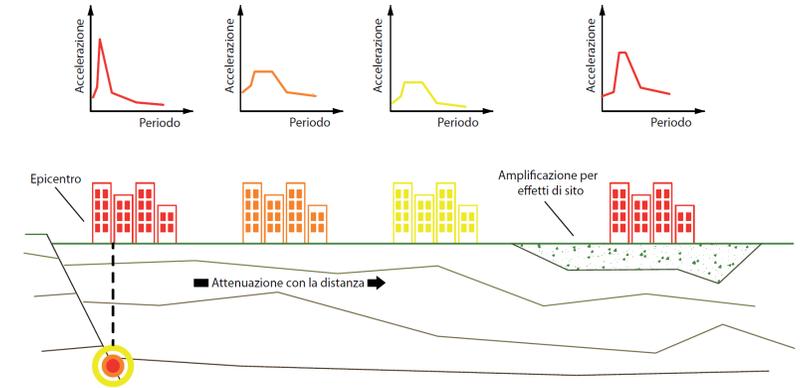
- ◆ Le NTC2018 suggeriscono metodi per il calcolo degli spettri di piano, ma non li possono fornire direttamente.

Il calcolo degli spettri di piano

In generale, lo spettro di accelerazione è funzione delle caratteristiche della sorgente sismica e di tutto ciò che è presente tra la sorgente e il sito di costruzione (o il punto di ancoraggio).

Lo stesso vale per gli spettri di piano, la cui forma è influenzata:

- ▣ dallo spettro a terra (forma e ampiezza);
- ▣ dalle caratteristiche della struttura (T_1 , ξ , $q^{(SL)}$).

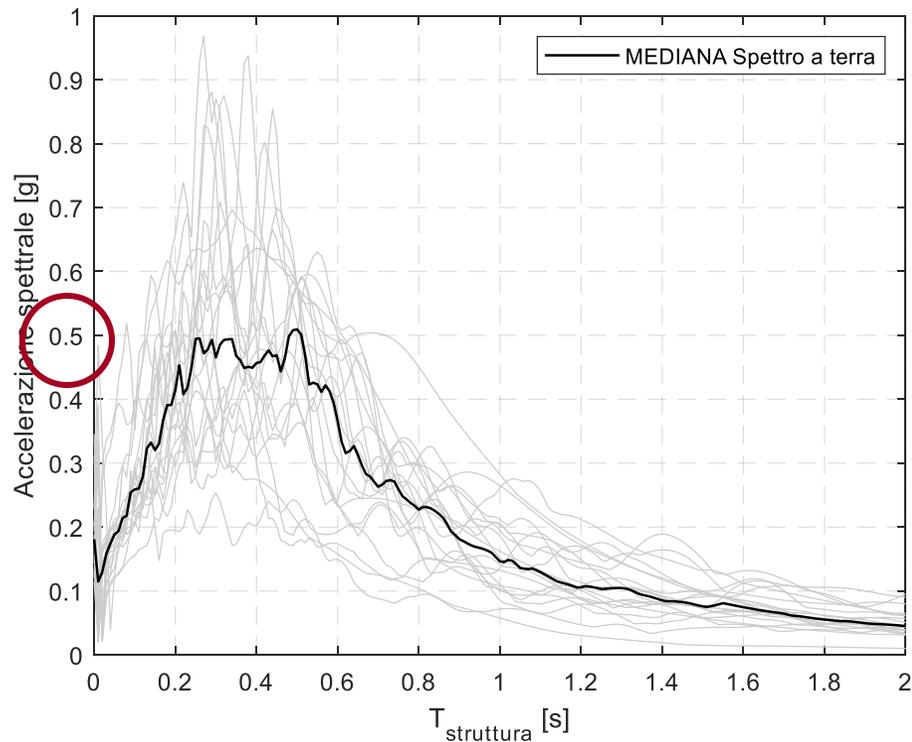


Il calcolo degli spettri di piano

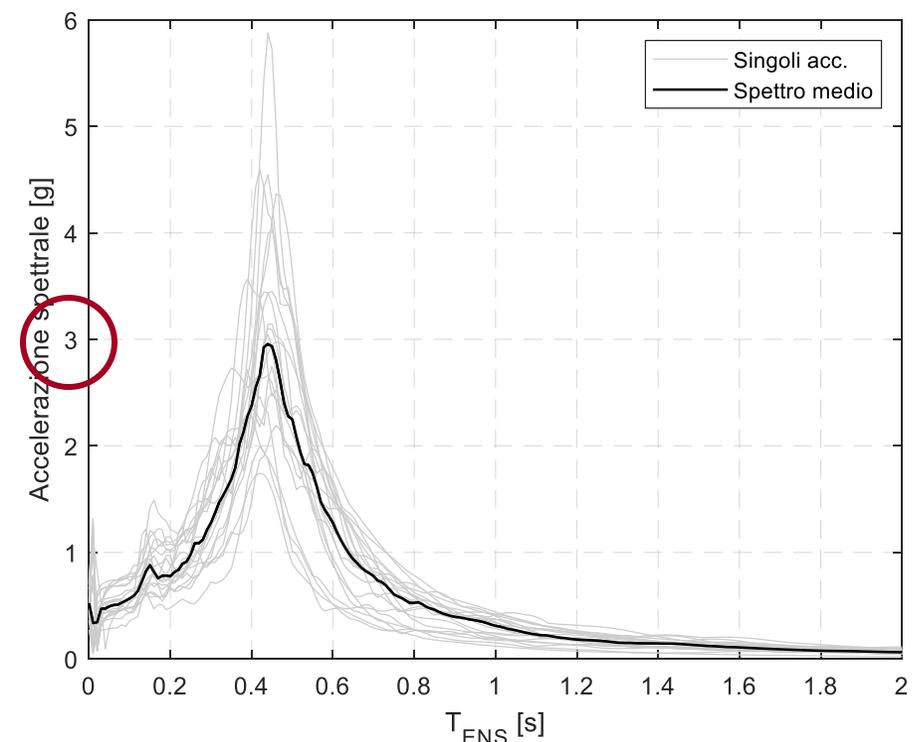
Un esempio: un telaio in C.A. tamponato, 3 campate, 5 piani, progettato secondo EC8.

Considerando $C_U = 1$, SLV, $T_R = 475$ anni, partendo da un set di 20 accelerogrammi, utilizzando analisi dinamiche non lineari, si possono calcolare gli spettri di piano, la loro media...

Spettri a terra



Spettri di piano

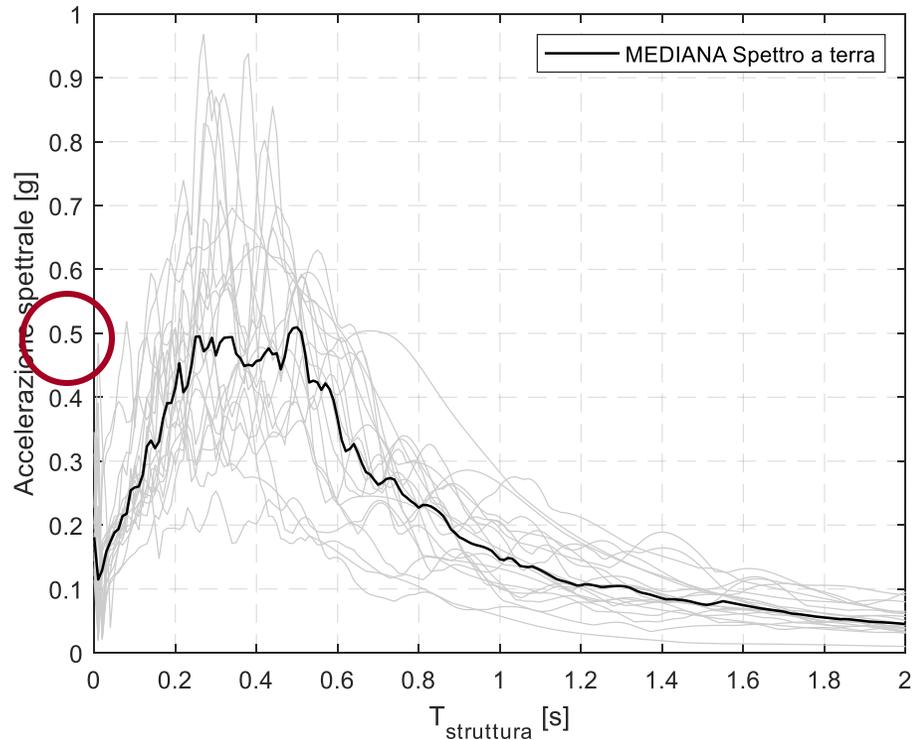


Il calcolo degli spettri di piano

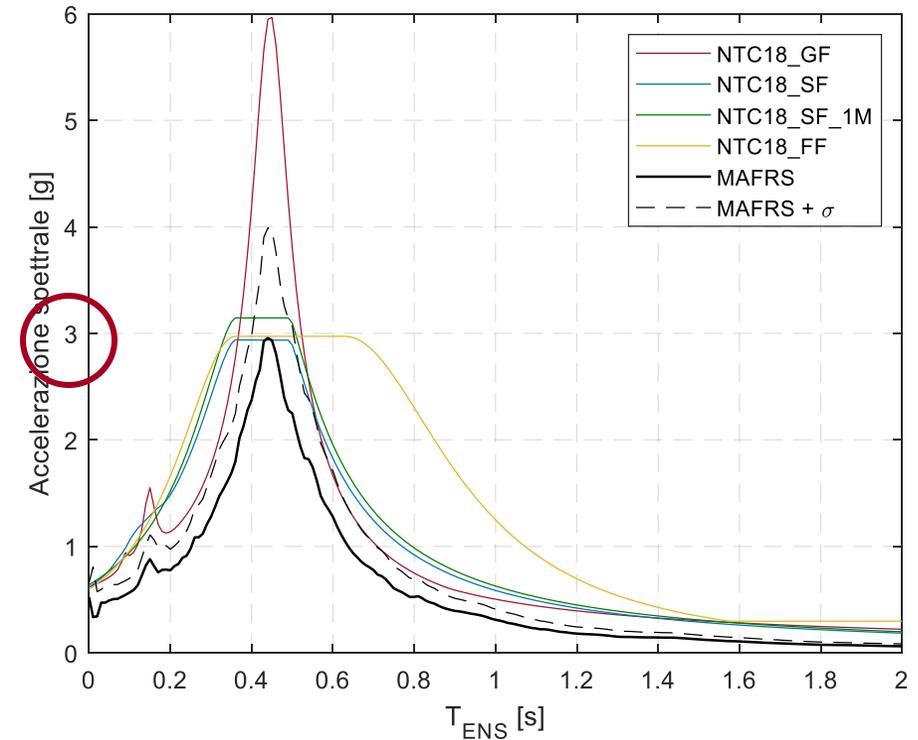
Un esempio: un telaio in C.A. tamponato, 3 campate, 5 piani, progettato secondo EC8.

Considerando $C_U = 1$, SLV, $T_R = 475$ anni, partendo da un set di 20 accelerogrammi, utilizzando analisi dinamiche non lineari, si possono calcolare gli spettri di piano, la loro media... e confrontarla con gli spettri di piano calcolati tramite le formulazioni "semplificate" della Circolare esplicativa delle NTC2018.

Spettri a terra



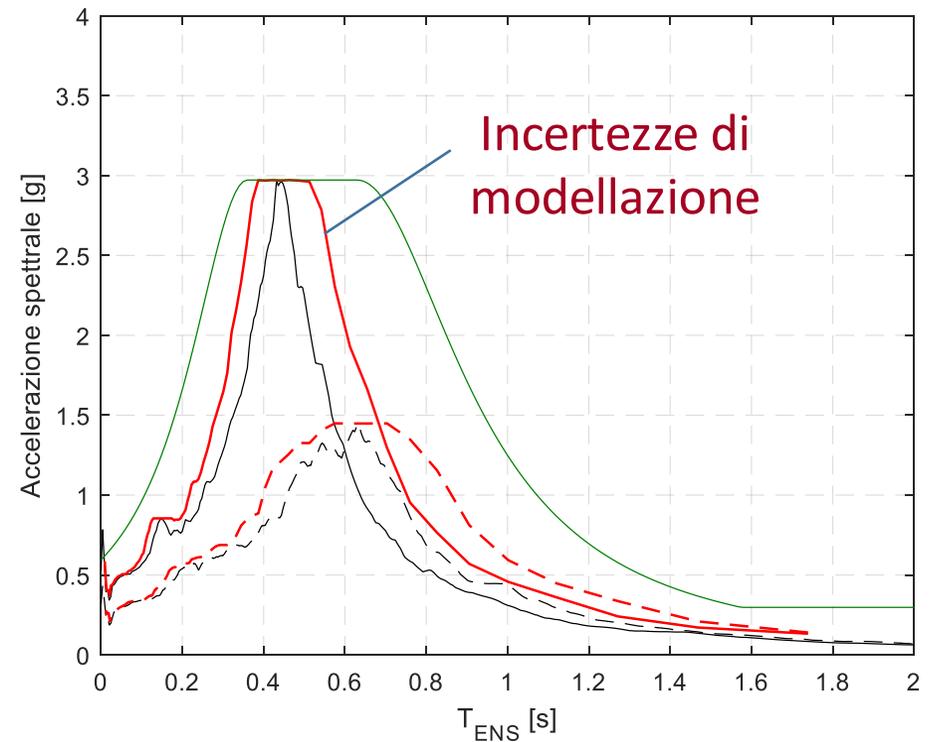
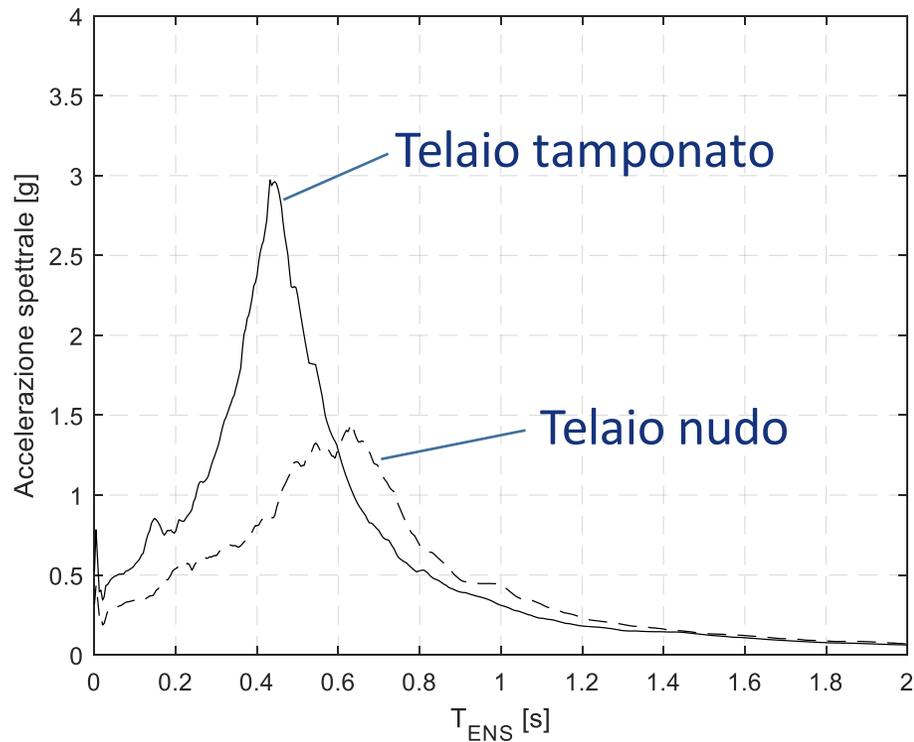
Spettri di piano



Il calcolo degli spettri di piano

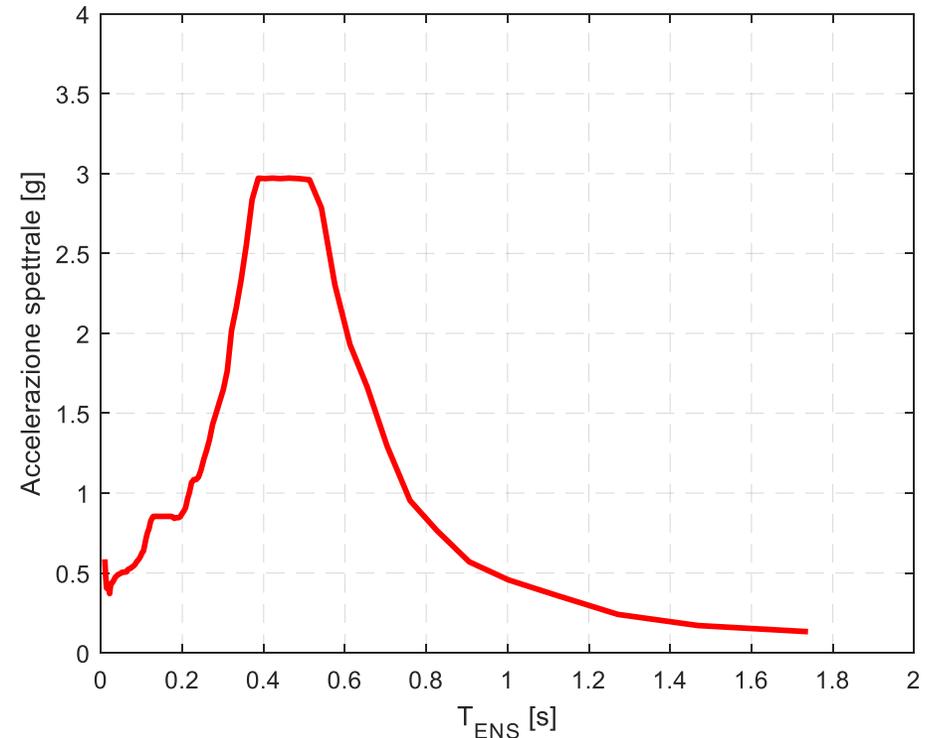
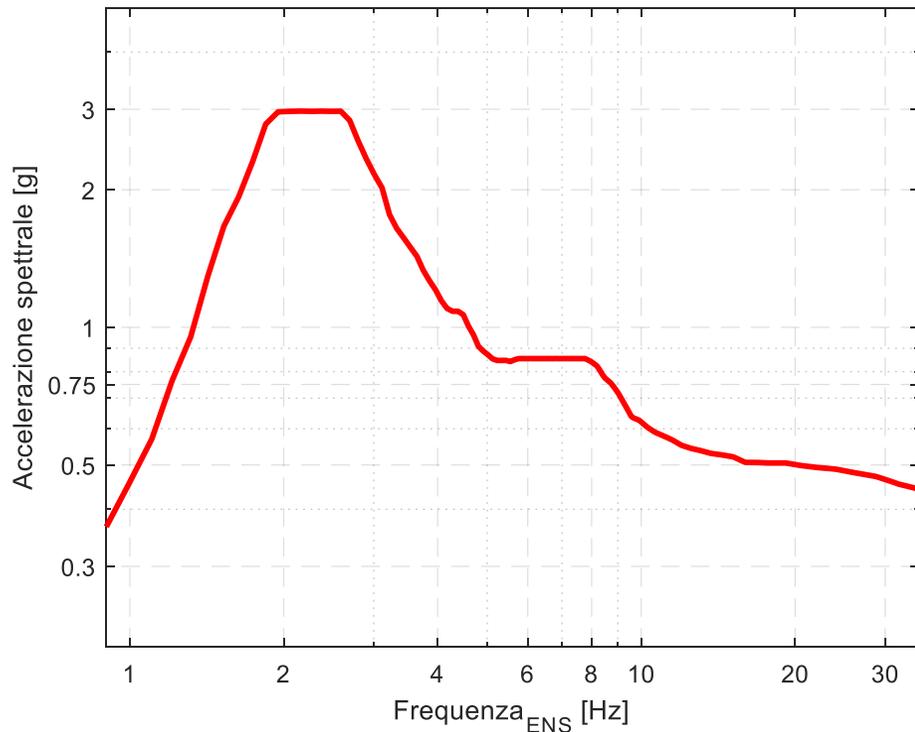
Alcune considerazioni relative a fattori che influenzano gli spettri di piano:

- ◆ Modellazione telaio nudo o tamponato?
- ◆ Gestione delle incertezze legate alla modellazione



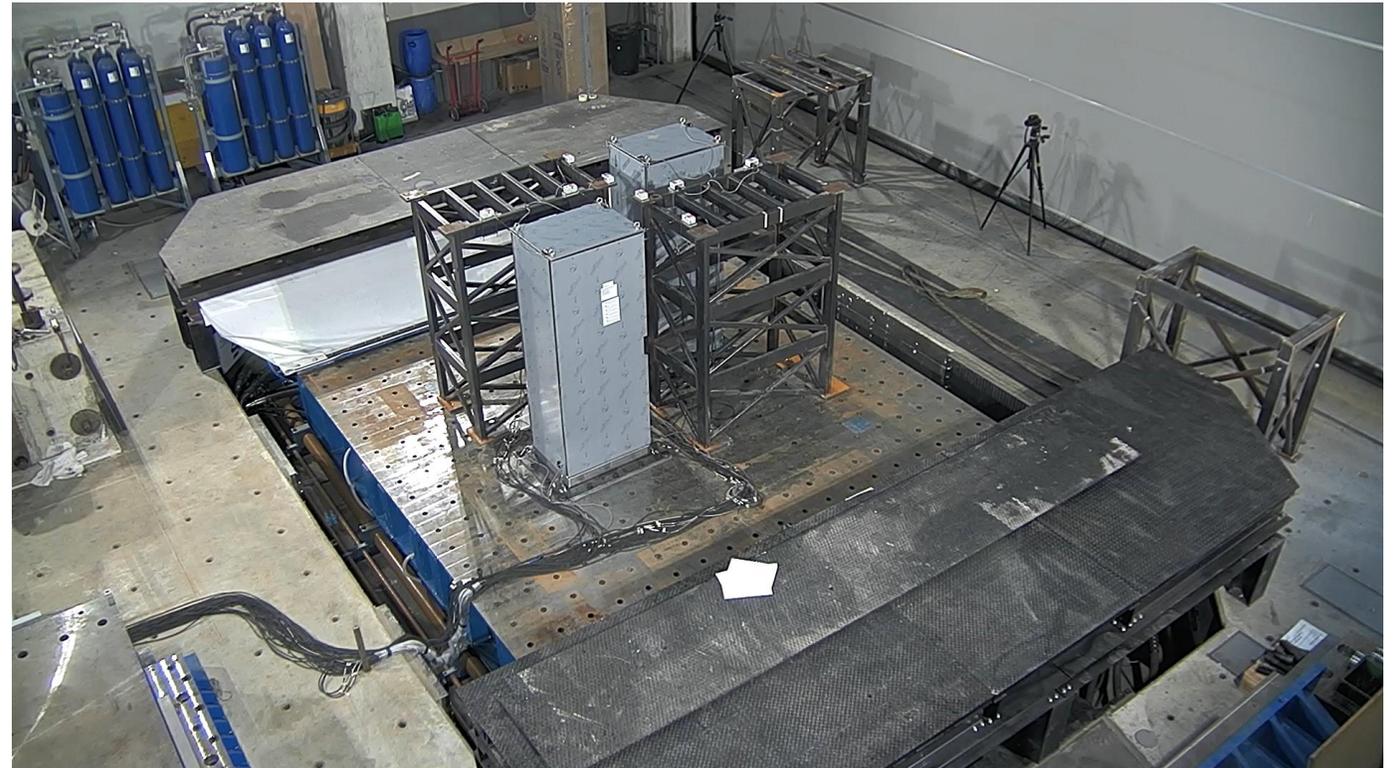
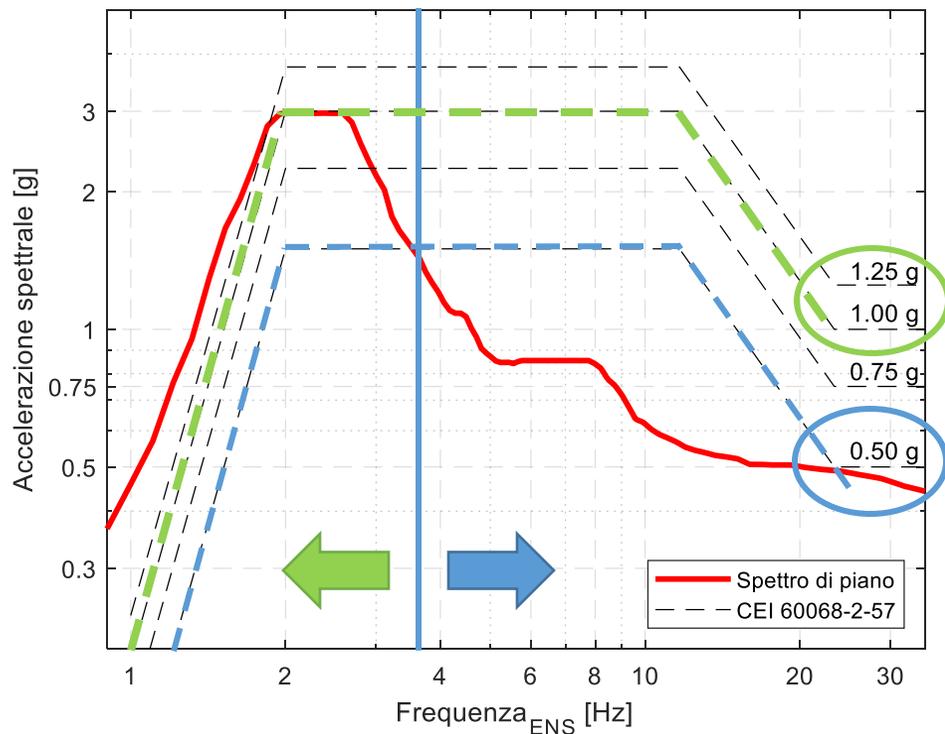
Dato lo spettro di piano, per la progettazione dobbiamo distinguere due casi:

- ◆ Elementi non strutturali qualificati sismicamente (sperimentalmente o numericamente);
- ◆ Elementi non strutturali "non-standard": la forza sismica è calcolata in funzione dell'accelerazione spettrale al **periodo di vibrazione**, della massa e di un eventuale fattore di comportamento q_a (analogo al fattore di struttura).



◆ Elementi non strutturali qualificati sismicamente (sperimentalmente o numericamente);

La progettazione è risolta semplicemente scegliendo un elemento non strutturale che sia qualificato rispetto ad uno spettro di accelerazione che involuppo lo spettro di piano, almeno nell'intorno della frequenza di vibrazione propria dell'elemento (valutata durante la qualifica sismica)

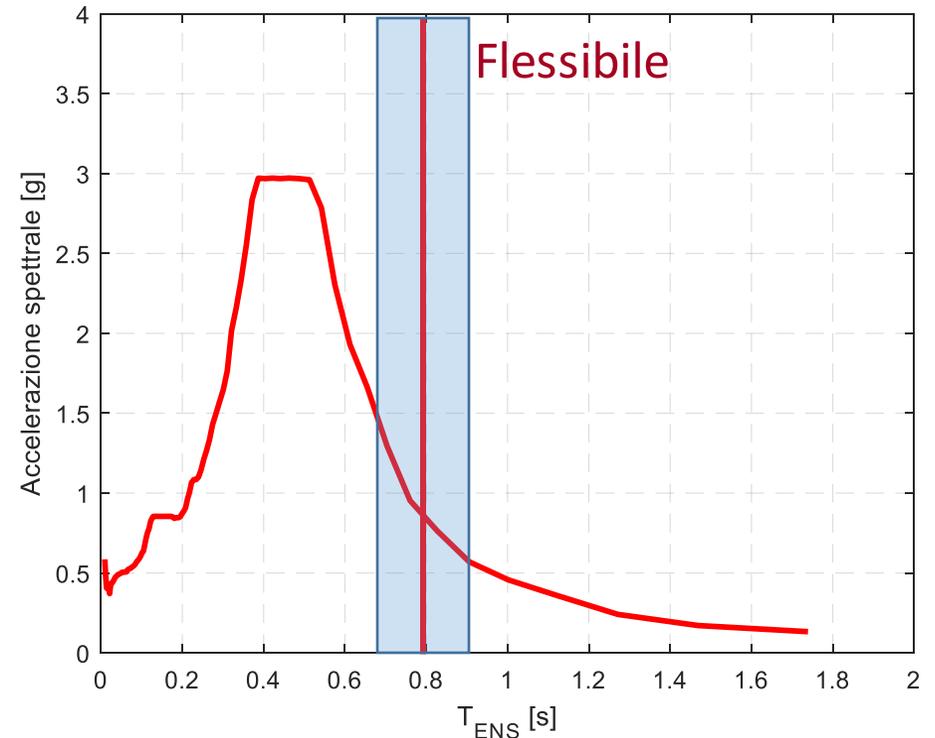
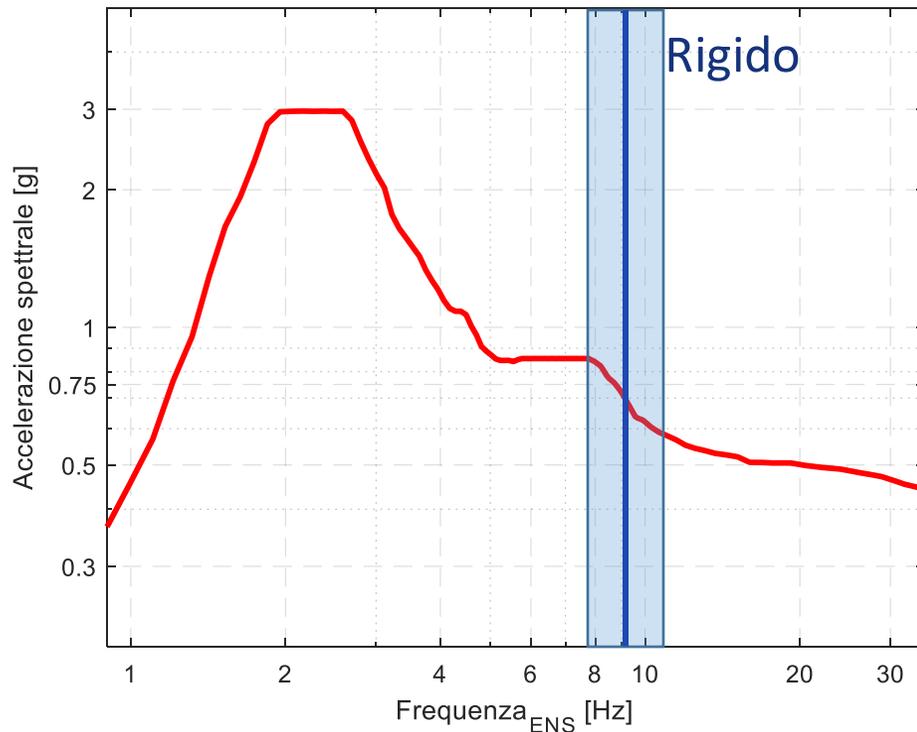


◆ Elementi non strutturali "fuori-standard":

La forza sismica è calcolata in funzione di:

- Massa;
- accelerazione spettrale al **periodo di vibrazione**;
- un eventuale fattore di comportamento q_a (analogo al coefficiente di struttura).

$$F_a = S_a(T_a) \cdot W_a \cdot q_a$$

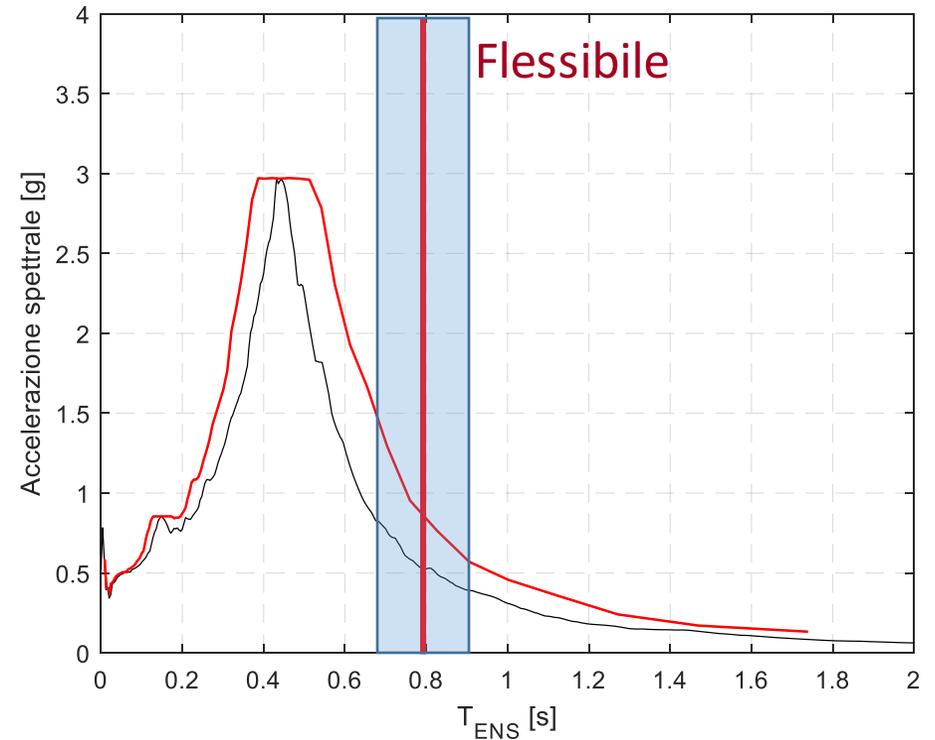
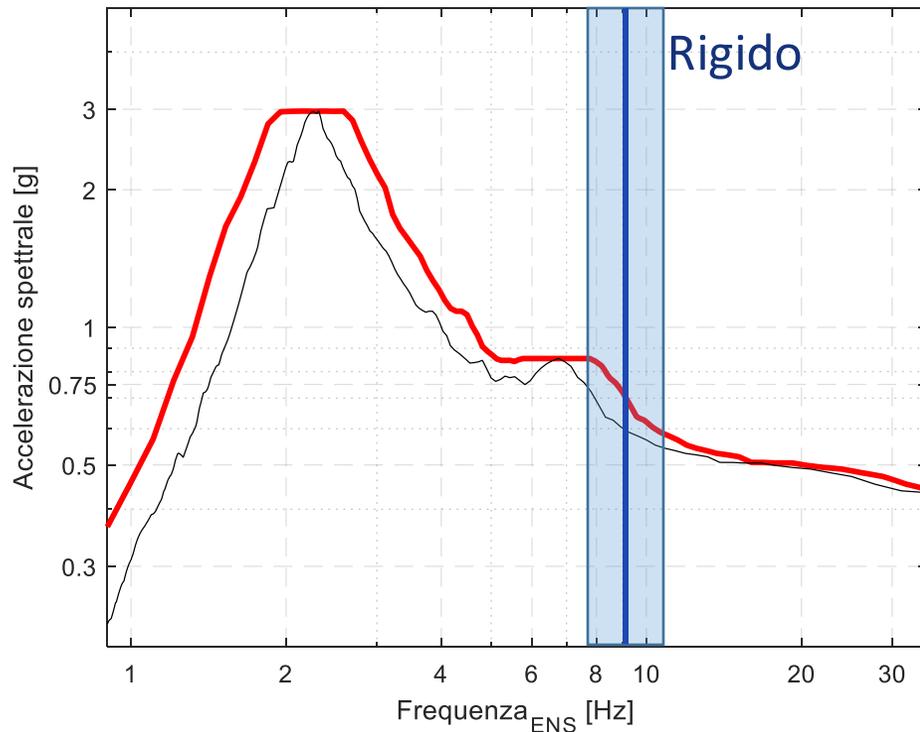


◆ Elementi non strutturali "fuori-standard":

La forza sismica è calcolata in funzione di:

- Massa;
- accelerazione spettrale al **periodo di vibrazione**;
- un eventuale fattore di comportamento q_a (analogo al coefficiente di struttura).

$$F_a = S_a(T_a) \cdot W_a \cdot q_a$$

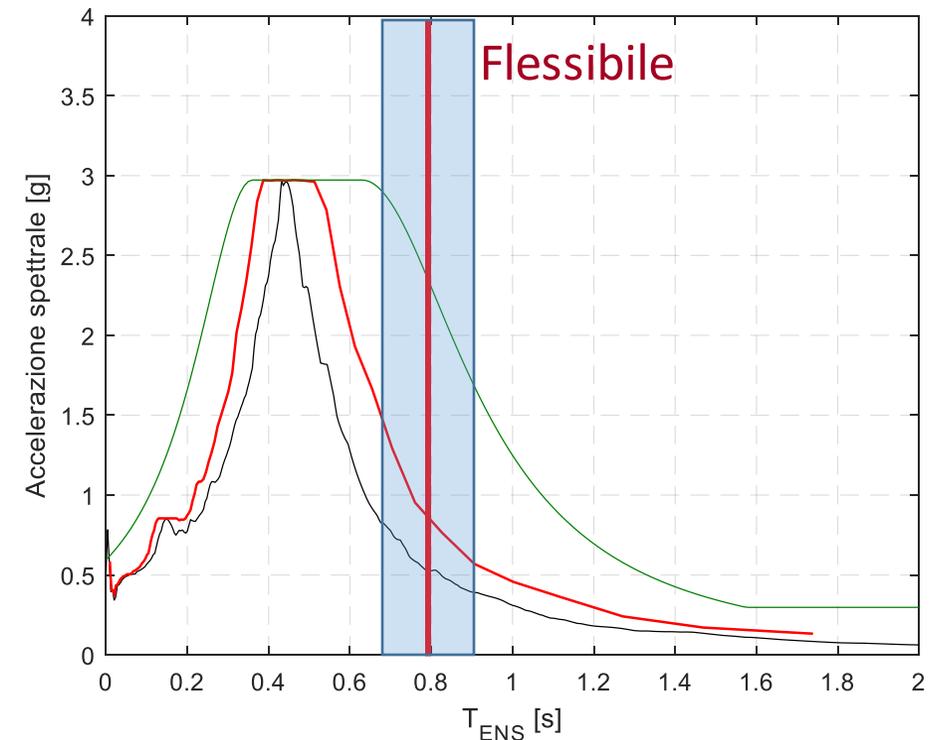
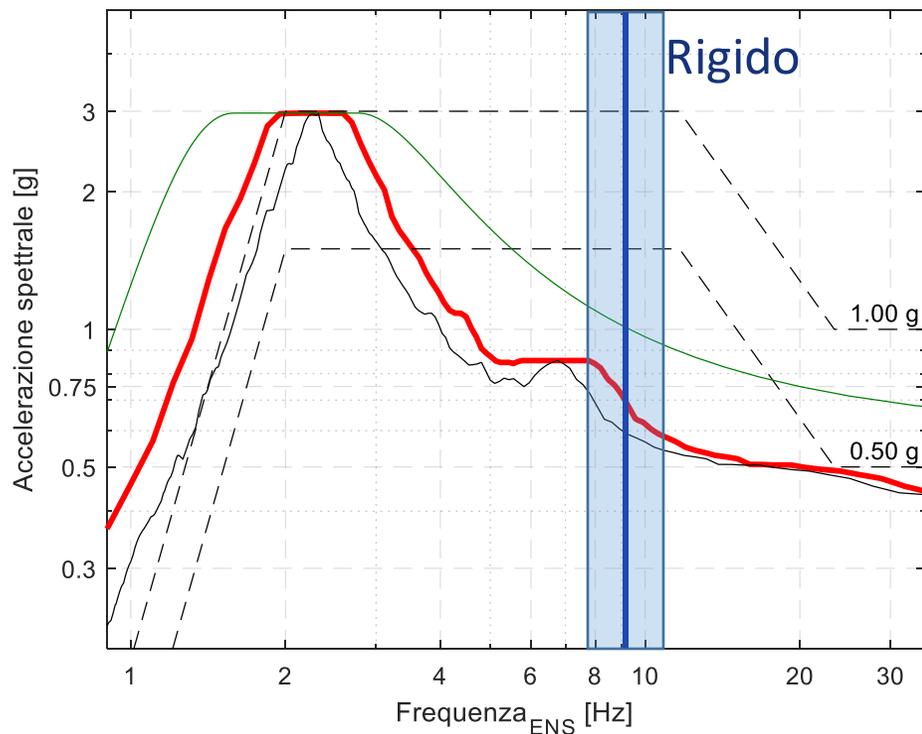


Elementi non strutturali "fuori-standard":

La forza sismica è calcolata in funzione di:

- Massa;
- accelerazione spettrale al **periodo di vibrazione**;
- un eventuale fattore di comportamento q_a (analogo al coefficiente di struttura).

$$F_a = S_a(T_a) \cdot W_a \cdot q_a$$



Progettazione sismica

◆ Elementi non strutturali "fuori-standard":

La forza sismica è calcolata in funzione di:

- massa;
- accelerazione spettrale al **periodo di vibrazione**;
- un eventuale fattore di comportamento q_a

$$F_a = S_a(T_a) \cdot W_a \cdot q_a$$

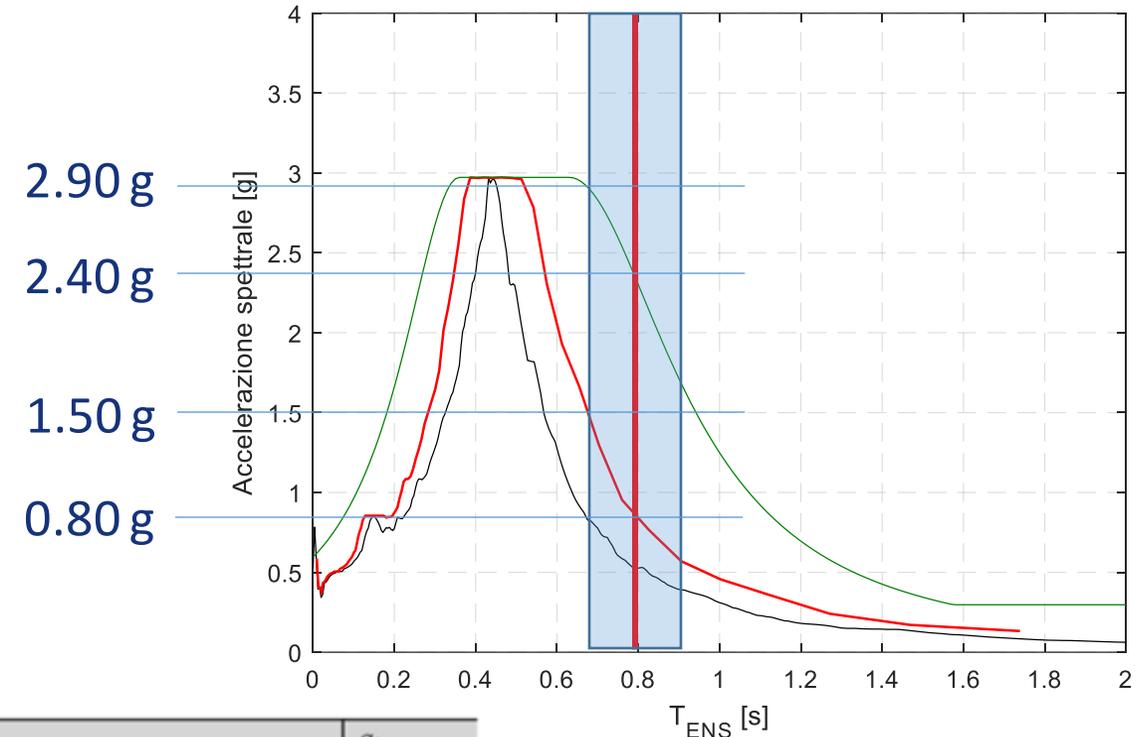


Tabella C7.2.I - Valori di q_a per elementi non strutturali

Elemento non strutturale	q_a
Parapetti o decorazioni aggettanti	1,0
Insegne e pannelli pubblicitari	
Comignoli antenne e serbatoi su supporti funzionanti come mensole senza controventi per più di metà della loro altezza	
Pareti interne ed esterne	2,0
Tramezzatura e facciate	
Comignoli, antenne e serbatoi su supporti funzionanti come mensole non controventate per meno di metà della loro altezza o connesse alla struttura in corrispondenza o al di sopra del loro centro di massa	
Elementi di ancoraggio per armadi e librerie permanenti direttamente poggianti sul pavimento	
Elementi di ancoraggio per controsoffitti e corpi illuminanti	

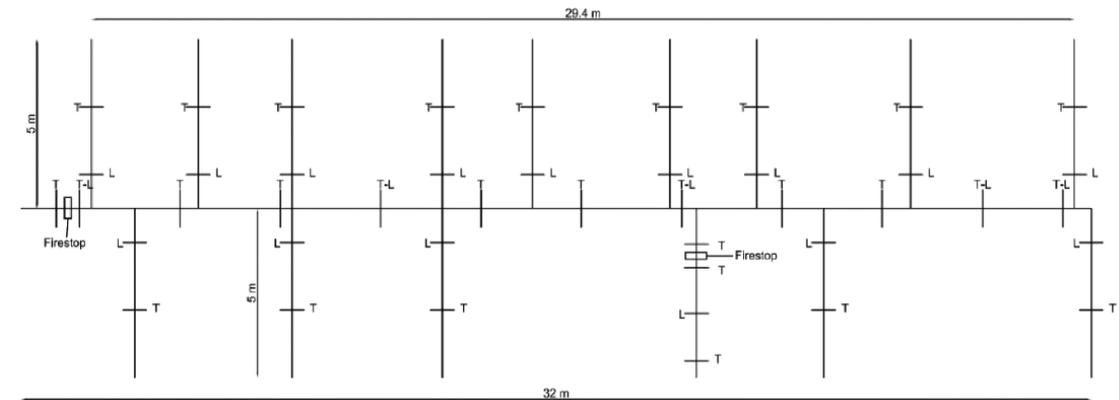
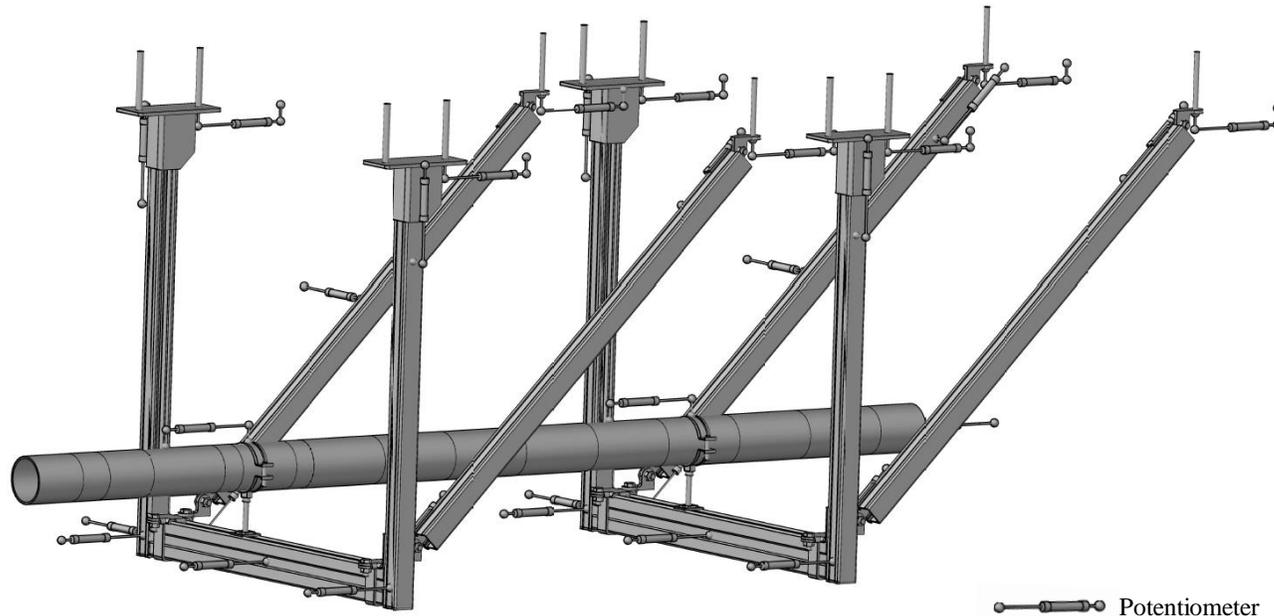
La modellazione numerica, basata su risultati di **adeguate indagini sperimentali**, può essere utilizzata per la stima di:

- ◆ Periodo di vibrazione;
- ◆ Fattore di comportamento.

	Periodo di vibrazione	Fattore di comportamento
Test monotoni	Necessario	Preferibile
Test ciclici	Preferibile	Necessario
Massa	Sì	Sì
Rigidezza elastica	Sì	Sì
Non linearità	-	Sì
Analisi	Modale	Dinamica non lineare

Fattore di comportamento

- ◆ Caratterizzazione sperimentale di componenti e assemblaggi;
- ◆ Modellazione non lineare degli archetipi;
- ◆ Calibrazione di modelli semplificati equivalenti;
- ◆ Modellazione e analisi di sistemi complessi;
- ◆ Validazione sperimentale a grande scala.



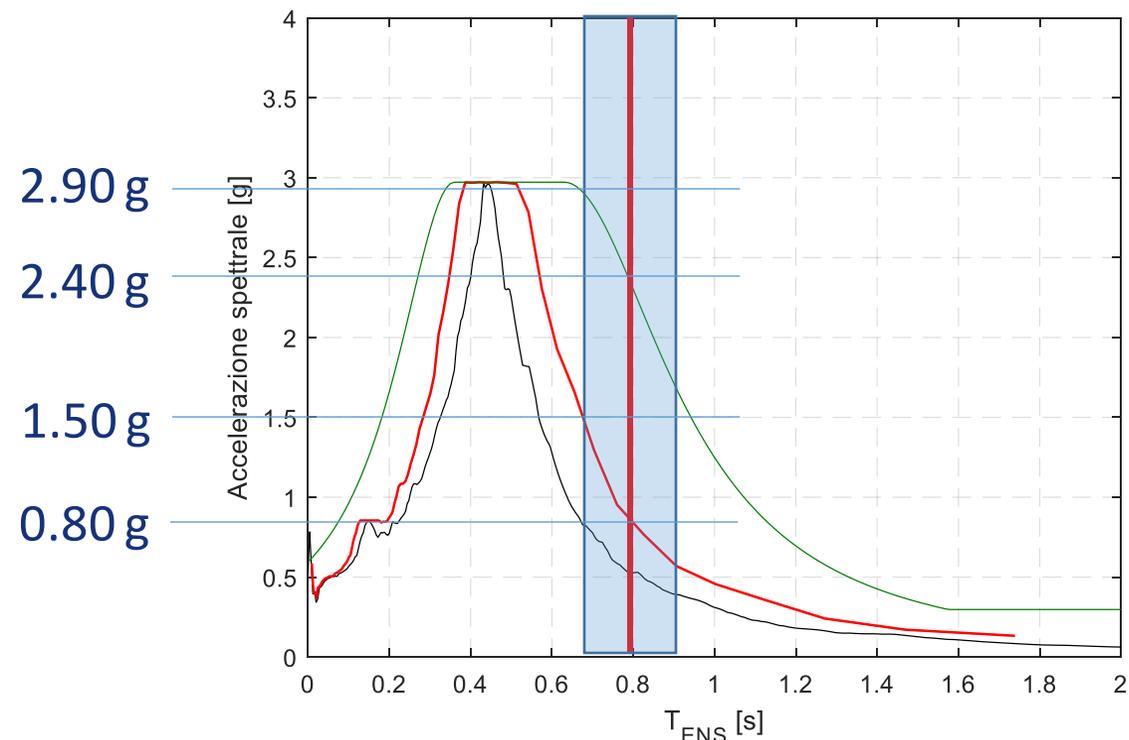
Il comportamento non lineare, necessario per l'adozione del fattore di comportamento, è sempre accettabile?

- ◆ Spostamenti ampi (presenti entrando in campo non lineare) potrebbero essere impediti o in contrasto con l'interazione tra diversi elementi non strutturali;
- ◆ Il danneggiamento derivante dall'ingresso in campo non lineare potrebbe essere accettabile per i requisiti NTC2018, ma non per eventuali requisiti più restrittivi (Committenza, Norme di settore);
- ◆ Devono essere inoltre considerati i costi necessari per arrivare alla definizione del fattore di struttura, costi proporzionali all'impegno richiesto per l'acquisizione dei dati, l'interpretazione dei risultati e l'esecuzione delle analisi.

Considerazioni aggiuntive

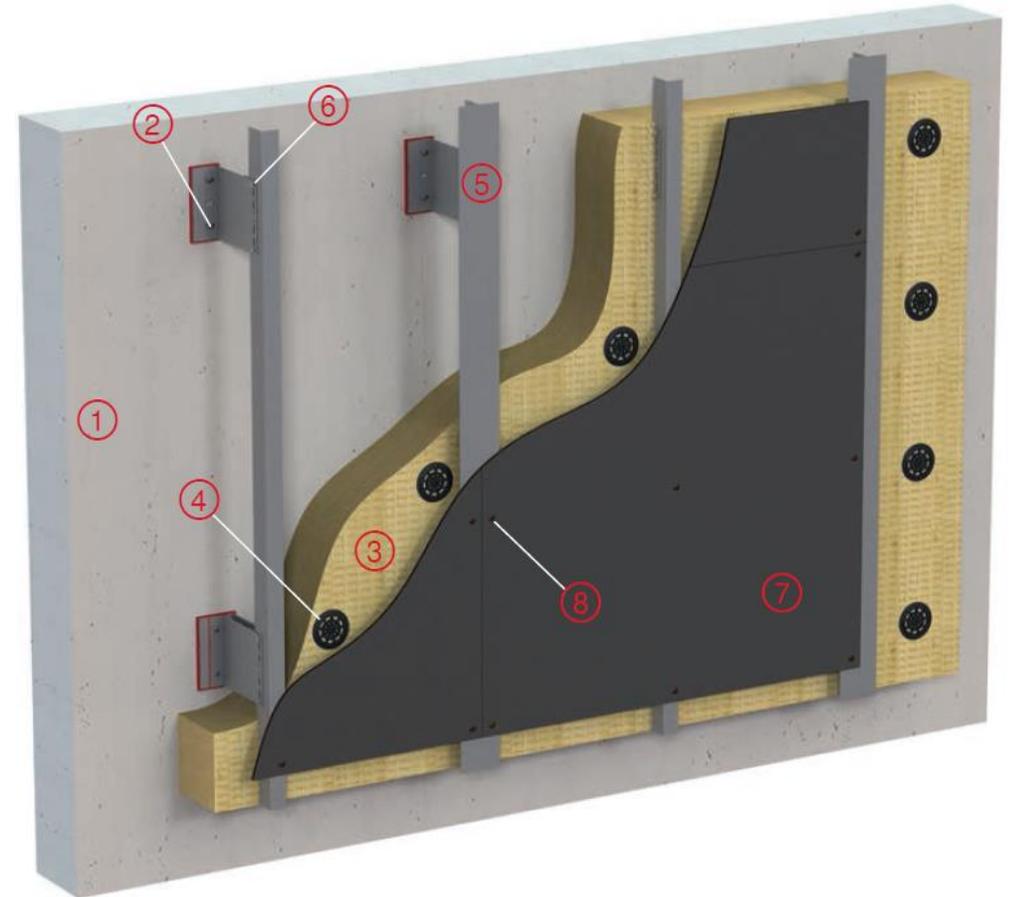
L'adozione di un fattore di comportamento non è l'unica strada per ridurre le forze sismiche agenti. Quando gli elementi non strutturali devono lavorare in campo elastico, strategie alternative potrebbero essere:

- Valutare degli spettri di piano con maggior accuratezza utilizzando un **approccio rigoroso** e lo **smorzamento** dell'elemento non strutturale;
- Basare la stima dell'accelerazione spettrale sul **periodo di vibrazione** dell'elemento non strutturale, evitando di assumere che sia in risonanza con la struttura;
- Utilizzare elementi non strutturali di alta qualità (certificati e/o soggetti a controlli di produzione) in modo da poter giustificare una **minore incertezza sulla frequenza propria di vibrazione** dell'elemento non strutturale.



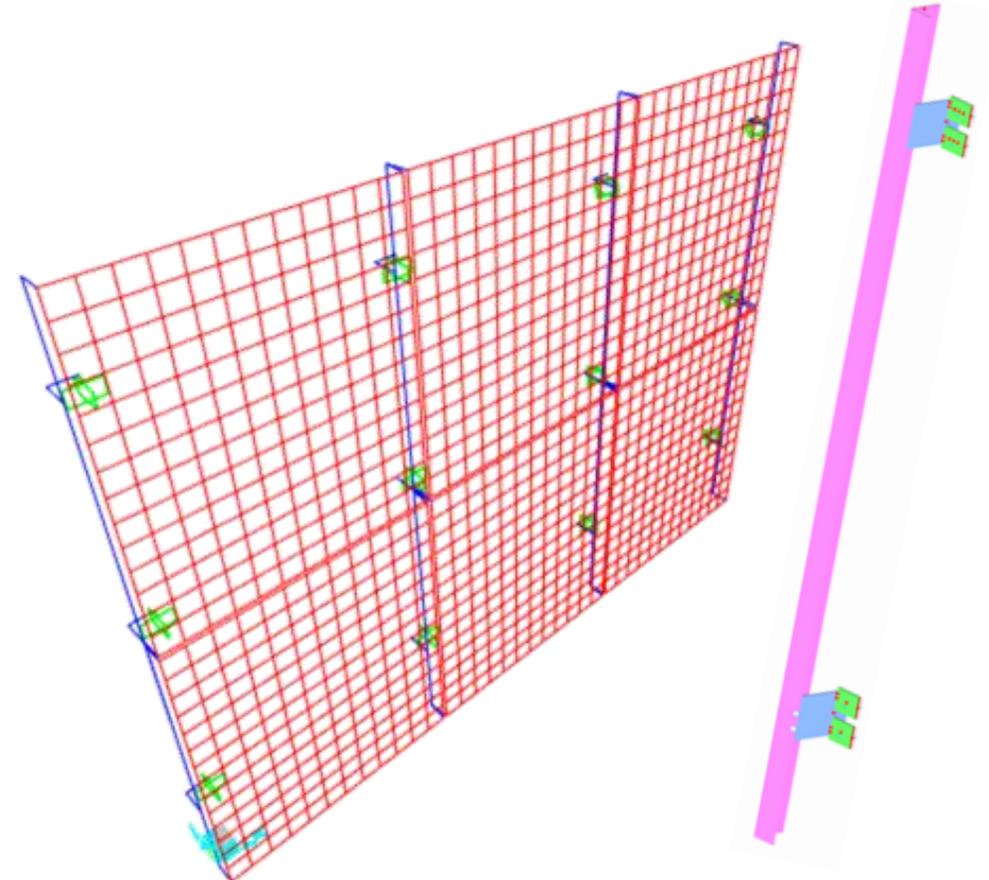
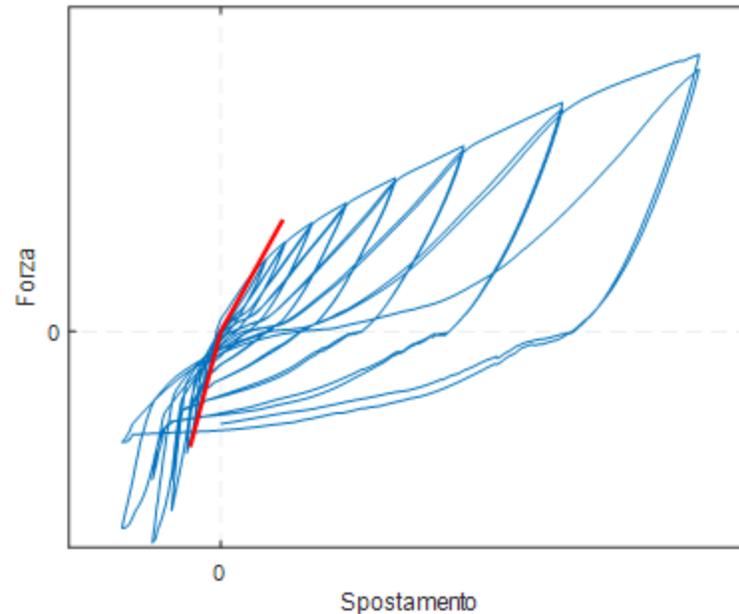
Periodo di vibrazione (T_a)

- ◆ Caratterizzazione sperimentale di componenti (ed eventualmente assemblaggi) volta alla caratterizzazione della rigidità elastica e, se possibile, dello smorzamento viscoso;
- ◆ Sviluppo di strategie di modellazione in grado di cogliere correttamente l'interazione tra i componenti dell'elemento non strutturale;
- ◆ Analisi modale di sistemi complessi;
- ◆ Validazione tramite sperimentazione a grande scala (o ID)



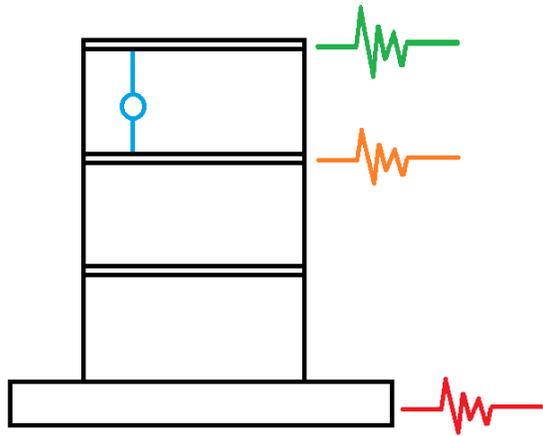
Periodo di vibrazione (T_a)

- ◆ Caratterizzazione sperimentale di componenti (ed eventualmente assemblaggi) volta alla caratterizzazione della rigidità elastica e, se possibile, dello smorzamento viscoso;
- ◆ Sviluppo di strategie di modellazione in grado di cogliere correttamente l'interazione tra i componenti dell'elemento non strutturale;
- ◆ Analisi modale di sistemi complessi;
- ◆ Validazione tramite sperimentazione a grande scala (o ID)



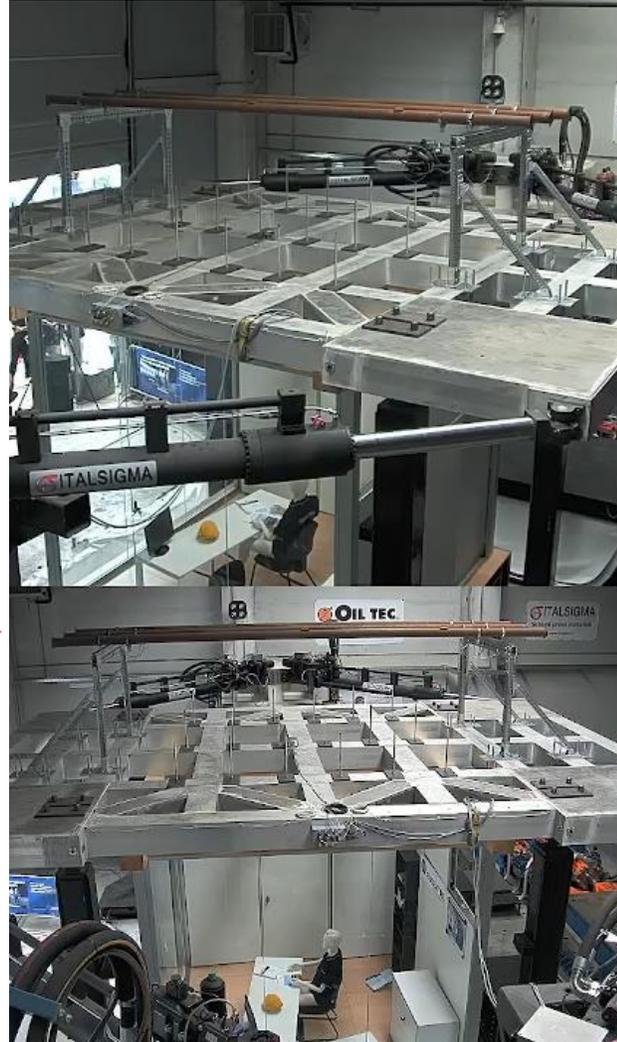
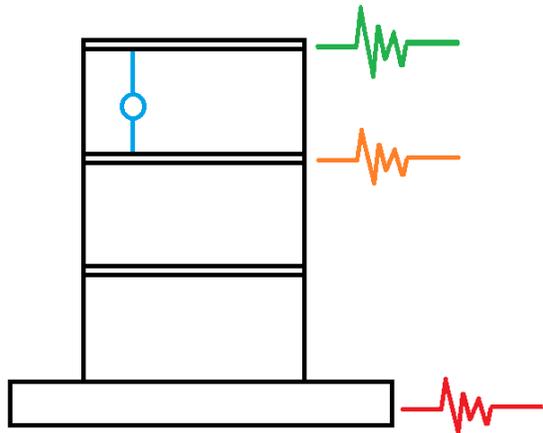
Nuovi sviluppi

Come qualificare e/o progettare gli elementi non strutturali sensibili a accelerazioni e spostamenti interpiano?

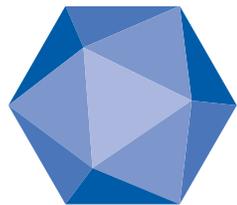


Nuovi sviluppi

Come qualificare e/o progettare gli elementi non strutturali sensibili a accelerazioni e spostamenti interpiano?



- CEI EN 60068-2-47 – "Prove ambientali Parte 2-47: Prove - Montaggio di campioni per prove dinamiche di vibrazione, urto e simili"
- CEI EN 60068-2-57 – "Prove ambientali Parte 2-57: Prove - Prova Ff: Vibrazioni - Metodo con oscillogrammi e con sinusoidi modulate"
- CEI EN 60068-3-3 – "Prove ambientali Parte 3-3: Documenti di supporto e guida – Metodi di prova sismica per apparecchiature"
- Chichino, B., Peloso, S., Bolognini, D., et al. "Towards Seismic Design of Nonstructural Elements: Italian Code-Compliant Acceleration Floor Response Spectra", *Advances in Civil Engineering*, vol. 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/4762110>
- Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, D.M. 17 gennaio 2018 "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni" G.U., no. 42, 2018
- Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Circolare 21 gennaio 2019, "Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M.17 gennaio 2018 Roma, Italia, 2019
- Perrone, D., Filiatrault, A., Peloso, S. et al. "Experimental seismic response evaluation of suspended piping restraint installations". *Bull Earthquake Eng* 18, 1499–1524 (2020). <https://doi.org/10.1007/s10518-019-00755-5>
- Perrone, D., Brunesi, E., Filiatrault, A. et al. "Seismic numerical modelling of suspended piping trapeze restraint installations based on component testing". *Bull Earthquake Eng* 18, 3247–3283 (2020). <https://doi.org/10.1007/s10518-020-00832-0>
- Perrone, D., Rodriguez, D., Filiatrault, A., et al. "A Framework for the Quantification of Non-Structural Seismic Performance Factors, *Journal of Earthquake Engineering*, DOI: 10.1080/13632469.2021.1991516
- U.S. Nuclear Regulatory Commission "Regulatory Guide 1.122 – Development of floor design response spectra for seismic design of floor-supported equipment or components" Rev.1 1978



EUCENTRE
FOR YOUR SAFETY.

Progettazione sismica degli elementi non strutturali: spettri di piano e periodo proprio di vibrazione

HILTI Seismic Academy
Pavia, 5 Luglio 2022

Simone Peloso, Ph.D.
Capo del Dipartimento
Costruzioni e Infrastrutture
