

Roma - 3 Ottobre 2018

HILTI - SEISMIC ACADEMY 2018

NORMATIVA SISMICA PER ELEMENTI NON STRUTTURALI

Paolo Riva

Dipartimento di Ingegneria e Scienze Applicate
paolo.riva@unibg.it

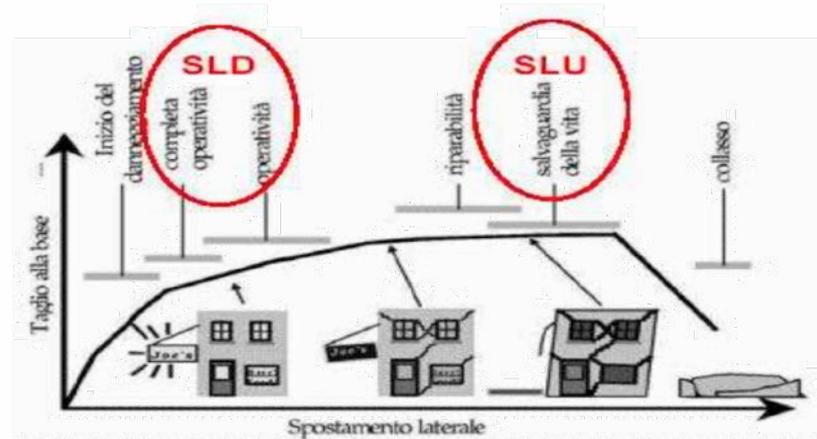


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BERGAMO

Obiettivi nella progettazione sismica degli elementi non-strutturali

1. Performance attese

Per ogni Stato Limite devono essere definite quali debbano essere le performance degli elementi non-strutturali



2. Intento primario: Salvaguardia della vita umana e funzionalità degli edifici

Questo obiettivo può essere raggiunto progettando adeguatamente gli ancoraggi degli elementi non-strutturali alle strutture al fine di limitarne gli spostamenti e le accelerazioni a cui sono soggetti.

ELEMENTI NON STRUTTURALI

Elementi con rigidezza, resistenza e massa tali da influenzare in maniera significativa la risposta strutturale (**Es. Tamponamenti Pesanti**)

Occorre introdurre nel modello strutturale globale, oltre alla massa degli elementi, che viene sempre considerata, anche la loro rigidezza descrivendone le condizioni di vincolo alla struttura. In tal caso la domanda sismica sugli elementi non strutturali è ottenuta direttamente dal modello di calcolo.

Elementi che influenzano la risposta strutturale solo attraverso la loro massa, ma sono ugualmente significativi ai fini della sicurezza e/o dell'incolumità delle persone (**Es. Tamponamenti leggeri o comportamento fuori piano**)

ottenuta la risposta in accelerazione della struttura a ciascun piano, la si può assimilare a una forzante esterna da applicare all'elemento non strutturale, così ricavando la domanda sismica su di esso

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

La capacità degli elementi non strutturali, compresi gli eventuali elementi strutturali che li sostengono e collegano, tra loro e alla struttura principale, deve essere maggiore della domanda sismica corrispondente a ciascuno degli stati limite da considerare (v. § 7.3.6).

Quando l'elemento non strutturale è costruito in cantiere, è compito del progettista della struttura individuare la domanda e progettarne la capacità in accordo a formulazioni di comprovata validità ed è compito del direttore dei lavori verificarne la corretta esecuzione.

Quando invece l'elemento non strutturale è assemblato in cantiere, è compito del progettista della struttura individuare la domanda, è compito del fornitore e/o dell'installatore fornire elementi e sistemi di collegamento di capacità adeguata ed è compito del direttore dei lavori verificarne il corretto assemblaggio.

CRITERI DI PROGETTAZIONE DEGLI IMPIANTI

A meno di contrarie indicazioni della legislazione nazionale di riferimento,

- della progettazione antisismica degli impianti è **responsabile il produttore**,
- della progettazione antisismica degli elementi di alimentazione e collegamento è **responsabile l'installatore**,
- della progettazione antisismica degli orizzontamenti, delle tamponature e dei tramezzi a cui si ancorano gli impianti è **responsabile il progettista strutturale**.

La capacità dei diversi elementi funzionali costituenti l'impianto, compresi gli elementi strutturali che li sostengono e collegano deve essere maggiore della domanda sismica corrispondente a ciascuno degli stati limite da considerare.

È compito del progettista della struttura individuare la domanda, mentre è compito del fornitore e/o dell'installatore fornire impianti e sistemi di collegamento di capacità adeguata.

Richiedono uno specifico studio gli impianti che eccedano:
il 30% del carico permanente totale dell'elemento che li supporta;
il 10% del carico permanente totale dell'intera struttura.

In assenza di più accurate valutazioni, la domanda sismica agente per la presenza di un impianto sul pannello di tamponatura o di tramezzatura a cui l'impianto è appeso, si può assimilare ad un carico uniformemente distribuito di intensità $2F_a/S$, dove F_a è la forza di competenza di ciascuno degli elementi funzionali componenti l'impianto applicata al baricentro dell'elemento e calcolata utilizzando l'equazione [7.2.1] e S è la superficie del pannello di tamponatura o di tramezzatura. Tale carico distribuito deve intendersi agente sia ortogonalmente sia tangenzialmente al piano medio del pannello.

In accordo con i criteri della progettazione in capacità gli eventuali componenti fragili devono avere capacità doppia di quella degli eventuali componenti duttili ad essi contigui, ma non superiore a quella richiesta da un'analisi eseguita con modello elastico e fattore di comportamento q pari ad 1,5. La domanda valutata con i criteri della progettazione in capacità può essere assunta non superiore alla domanda valutata per il caso di comportamento strutturale non dissipativo.

Gli impianti non possono essere vincolati alla costruzione contando sull'effetto dell'attrito, bensì devono essere collegati ad essa con dispositivi di vincolo rigidi o flessibili; gli impianti a dispositivi di vincolo flessibili sono quelli che hanno periodo di vibrazione $T \geq 0,1s$ valutato tenendo conto della sola deformabilità del vincolo. Se si adottano dispositivi di vincolo flessibili, i collegamenti di servizio dell'impianto devono essere flessibili e non possono far parte del meccanismo di vincolo.

Deve essere limitato il rischio di fuoriuscite incontrollate di gas o fluidi, particolarmente in prossimità di utenze elettriche e materiali infiammabili, anche mediante l'utilizzo di dispositivi d'interruzione automatica della distribuzione. I tubi per la fornitura di gas o fluidi, al passaggio dal terreno alla costruzione, devono essere progettati per sopportare senza rotture i massimi spostamenti relativi costruzione-terreno dovuti all'azione sismica corrispondente a ciascuno degli stati limite considerati (v. § 7.3.6)

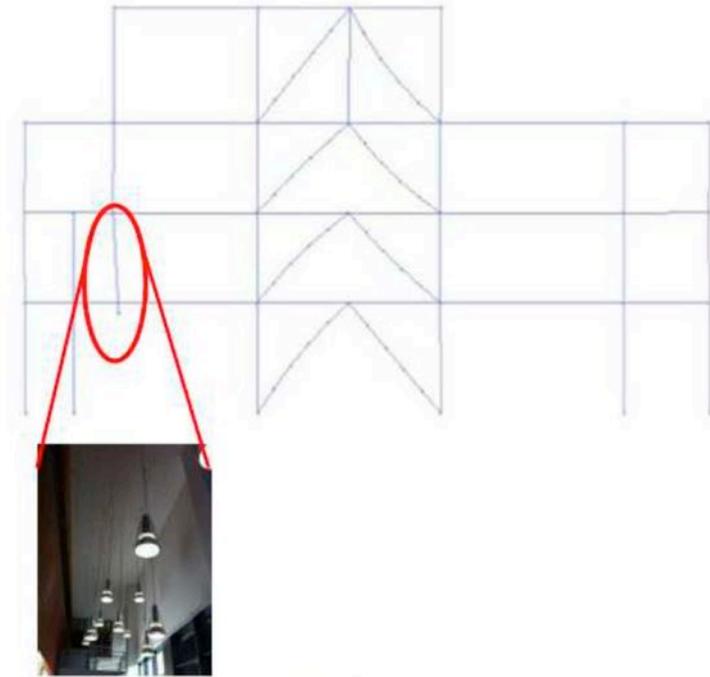
METODI DI ANALISI PER GLI ELEMENTI NON-STRUTTURALI

I metodi di analisi attualmente disponibili per lo studio degli elementi non-strutturali possono essere suddivisi nelle seguenti categorie:

- Metodo di Analisi diretta
- Metodo di Analisi a Cascata
- Metodi di analisi convenzionale secondo codice normativo
- Metodi di Analisi con definizione degli spettri di piano

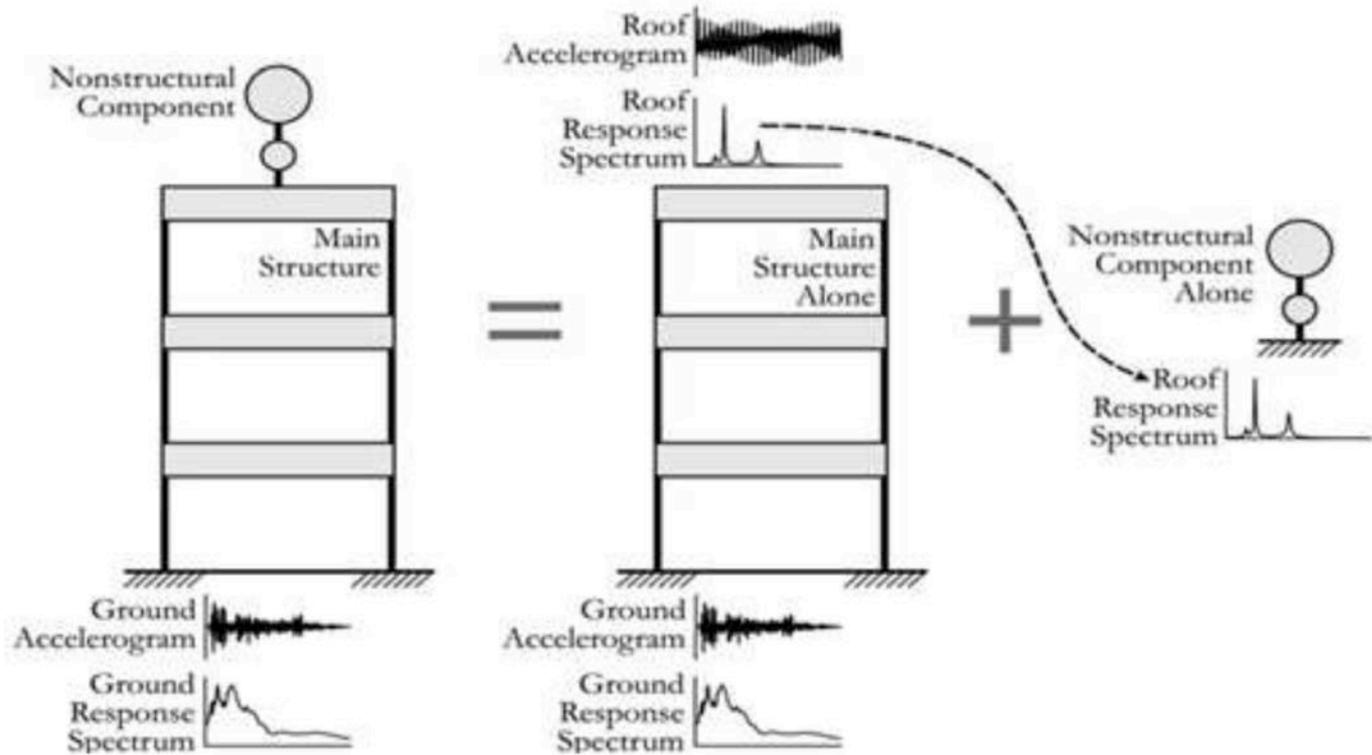
Metodo di analisi diretta

- Gli elementi strutturali e non-strutturali sono modellati all'interno dello stesso modello
- I modelli sono notevolmente complessi e richiedono un significativo onere computazionale
- Le notevoli differenze tra le proprietà degli elementi strutturali e non-strutturali possono spesso portare a modelli che non si prestano bene alle consuete procedure di analisi modale
- La selezione dell'input sismico per le analisi time history deve essere effettuata attentamente per valutare accuratamente sia il comportamento della struttura che degli elementi non-strutturali
- Gli elementi strutturali e non-strutturali tipicamente non sono definiti contemporaneamente e questo rende complesso pianificare le analisi



Metodo di analisi a cascata

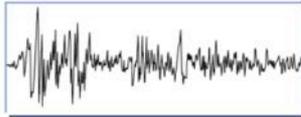
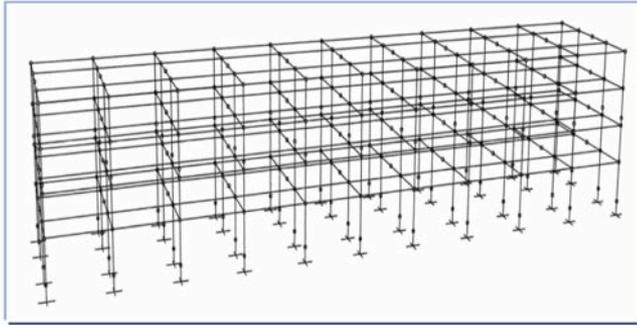
Tale metodo prevede che il comportamento della struttura e degli elementi non-strutturali siano studiati separatamente



Metodo di analisi a cascata

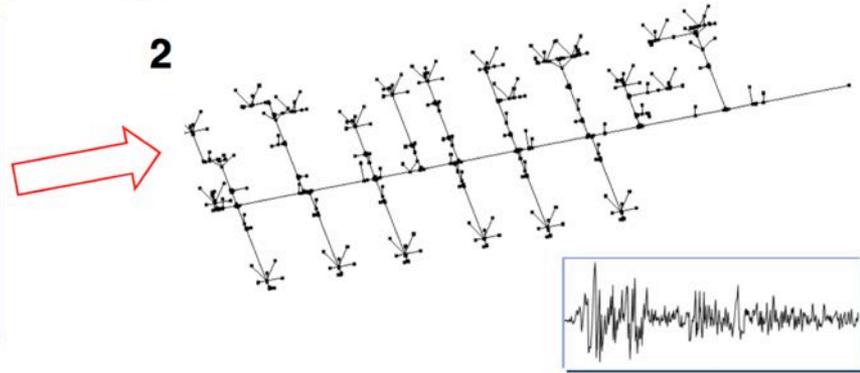
Esempio: Studio Fragilità sismica di un impianti sprinkler

1



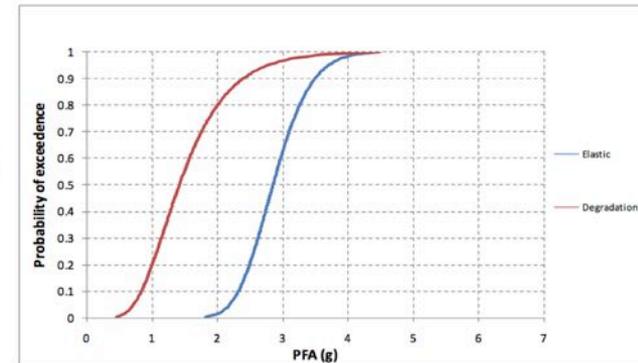
Ground motions

2



Floor acceleration
Time histories

1. Seismic Fragility Analyses of Building Models
2. Seismic Fragility Assessment of Fire Sprinkler Piping System



Conclude le analisi strutturali, necessarie per la definizione delle accelerazioni di piano, si procede con lo studio dell'impianto

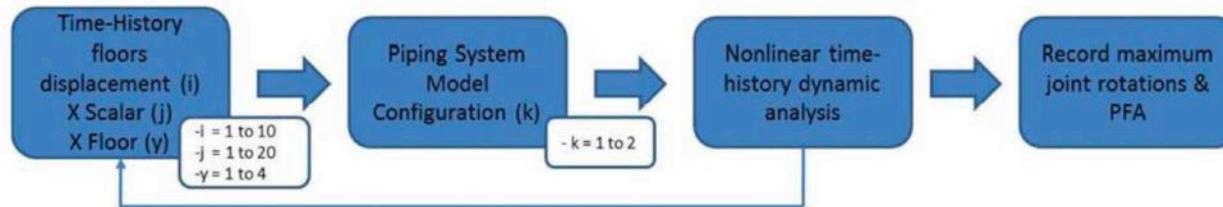
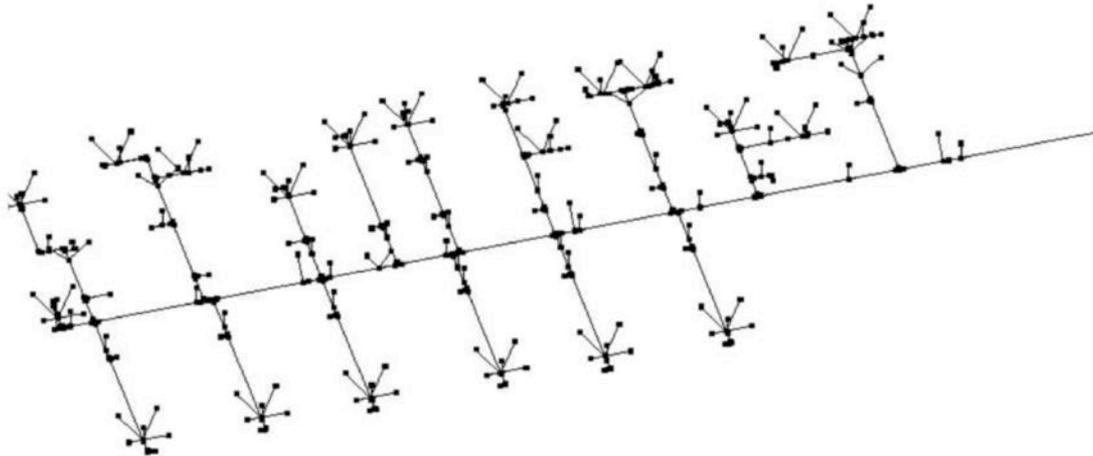
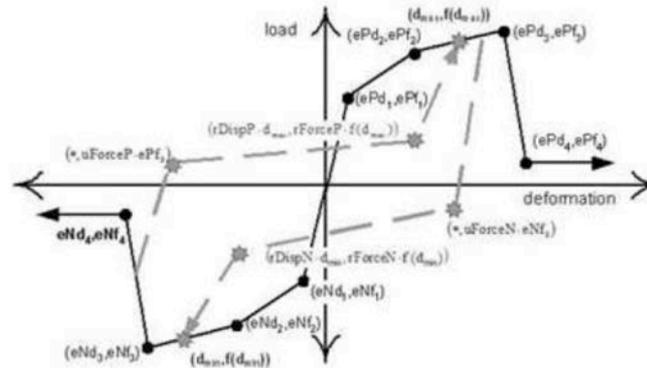
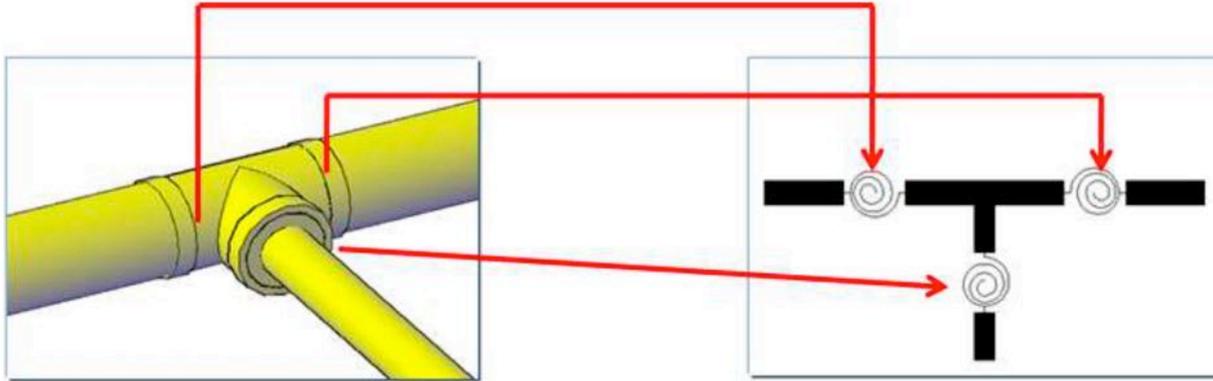


Figure 5.28 Fragility analysis of fire sprinkler piping system



L'impianto è stato modellato concentrando la non linearità nei giunti di tubazione



Pinching4 Parameters

- Risultati sperimentali
- Interpolazione numerica

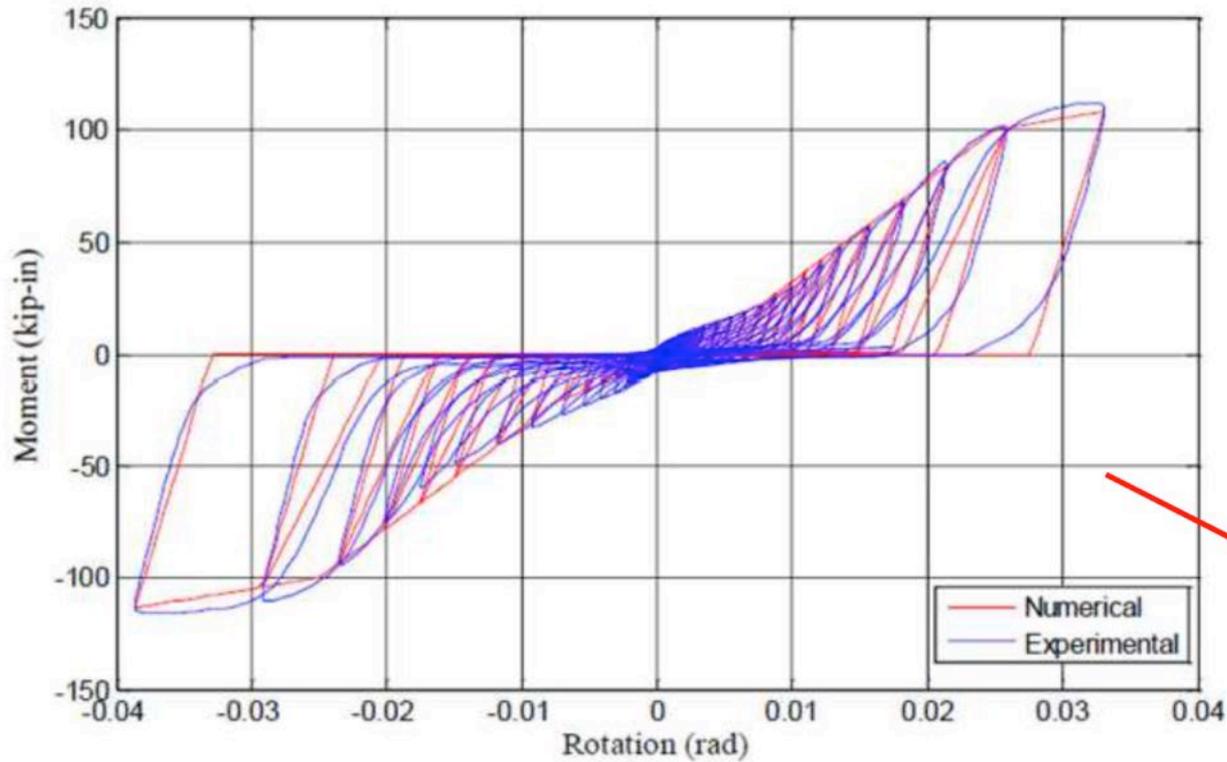
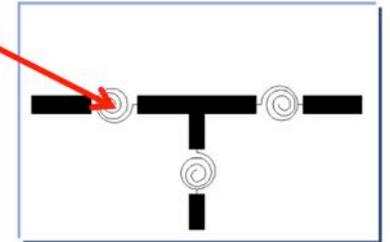
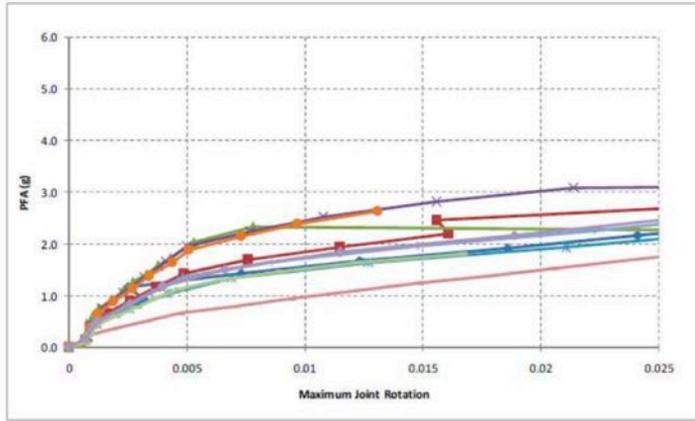


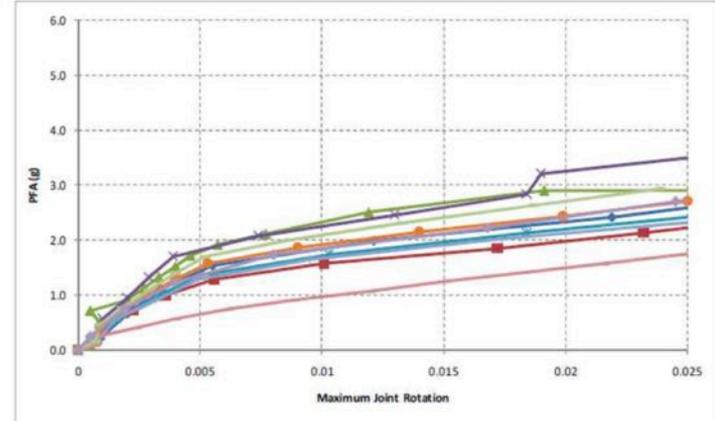
Figure 5.11 Hysteretic model of piping tee joint [Tian et al. 2012]



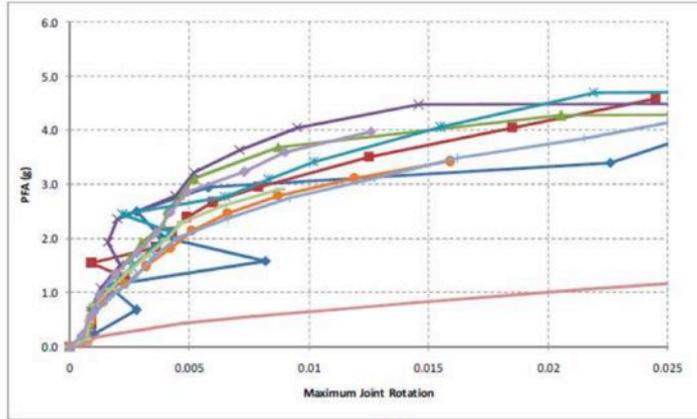
Risultati analisi IDA



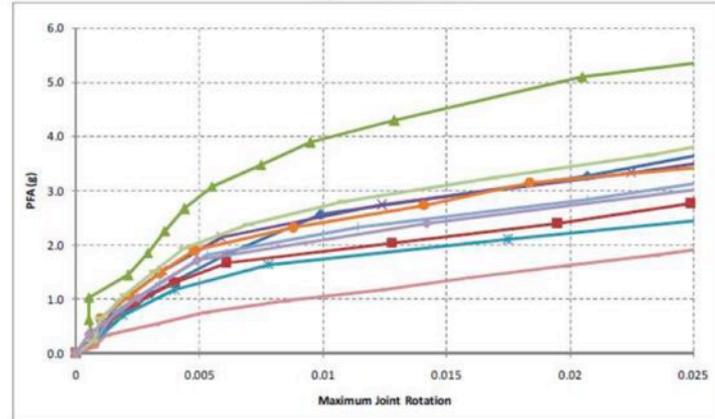
a) First floor



b) Second floor



c) Third floor



d) Fourth floor

Metodi di analisi convenzionale secondo codice normativo

1. Calcolo della forza statica equivalente orizzontale e verticale (non prevista da tutti i codici normativi)
2. Moltiplicazione della forza per un fattore di importanza (>1) per elementi di particolare importanza (non previsto da tutti i codici normativi)
3. Dividere la forza per un fattore di risposta che tiene in conto della risposta non lineare dell'elemento non-strutturale
4. Applicazione della forza statica equivalente al centro di massa del componente
5. Calcolare le reazioni dovute alla forzante in base alla configurazione geometrica dell'elemento
6. Progettazione dell'elemento o delle sue connessioni

In mancanza di analisi più accurate S_a può essere calcolato nel seguente modo:

$$S_a = \alpha \cdot S \cdot \left[\frac{3 \cdot (1 + Z/H)}{1 + (1 - T_a/T_1)^2} - 0,5 \right] \quad (7.2.2)$$

dove:

α è il rapporto tra l'accelerazione massima del terreno a_g su sottosuolo tipo **A** da considerare nello stato limite in esame (v. § 3.2.1) e l'accelerazione di gravità g ;

S è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche secondo quanto riportato nel § 3.2.3.2.1;

T_a è il periodo fondamentale di vibrazione dell'elemento non strutturale;

T_1 è il periodo fondamentale di vibrazione della costruzione nella direzione considerata;

Z è la quota del baricentro dell'elemento non strutturale misurata a partire dal piano di fondazione (v. § 3.2.2);

H è l'altezza della costruzione misurata a partire dal piano di fondazione

Per le strutture con isolamento sismico si assume sempre $Z=0$.

Il valore del coefficiente sismico S_a non può essere assunto minore di αS .

ELEMENTI NON STRUTTURALI

La norma consente infine di ridurre la domanda sismica S_a su ciascun elemento non strutturale attraverso uno specifico fattore di comportamento q_a . In tabella [C7.2.I] sono riportati i valori di q_a utilizzabili per le tipologie ricorrenti di elementi non strutturali.

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

Elemento non strutturale	q_a
Parapetti o decorazioni aggettanti Insegne e pannelli pubblicitari Ciminiere, antenne e serbatoi su supporti funzionanti come mensole senza controventi per più di metà della loro altezza	1,0
Pareti interne ed esterne Tramezzatura e facciate Ciminiere, 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	2,0

Progettazione secondo ASCE 7-10

Come per EC8 è prevista la valutazione di una forza statica equivalente

Sono definiti specifici requisiti e dettagli al fine di migliorare le performance sismiche

E' previsto che per i componenti non-strutturali critici debba essere effettuata una qualificazione per dimostrare la funzionalità a seguito dei terremoti di progetto

Le seguenti relazioni sono utilizzate per la valutazione della forza statica equivalente orizzontale e verticale:

$$F_{ph} = \frac{0.4a_p S_{DS}}{\left(\frac{R_p}{I_p}\right)} \left(1 + 2\frac{z}{h}\right) W_p$$

$$F_{pv} = \pm 0.2 S_{DS} W_p$$

$$F_{ph} = \frac{0.4a_p S_{DS}}{\left(\frac{R_p}{I_p}\right)} \left(1 + 2\frac{z}{h}\right) W_p$$

$$F_{pv} = \pm 0.2 S_{DS} W_p$$

- where
- a_p = component amplification factor;
 - S_{DS} = design earthquake spectral response acceleration at short period
 - R_p = component response modification factor;
 - I_p = component importance factor;
 - z = height of the structure at point of attachment of nonstructural component;
 - h = average roof height of structure relative to the base elevation;
 - W_p = operating weight of nonstructural component.

Esempio applicativo: Progettazione ancoraggio generatore elettrico

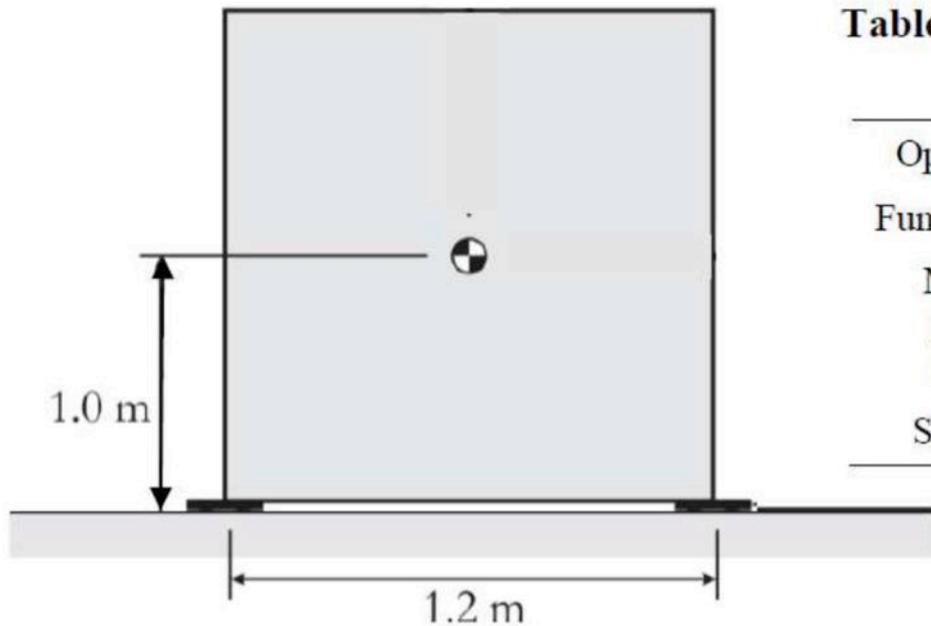


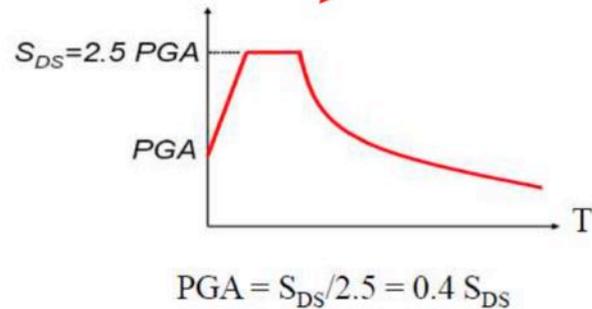
Table 1. Given information for determining loads on the generator according to ASCE 7-10.

Operating weight	W_p [kN]	65
Fundamental period	T [s]	0.1
Mapped short period MCE acceleration	S_s [g]	1.5
Site coefficient	F_a	1

1. Riassunto dei dati disponibili e necessari per la valutazione delle forze mediante EC8

Table 6. Given information for calculating loads on the generator according to Eurocode 8.

Weight of the element	W_a [kN]	65
Fundamental period of nonstructural component	T_a [s]	0.1
Fundamental period of building	T_l [s]	1.304
Ratio of design ground acceleration on soil A to gravity	α [g]	0.4
Soil factor	S	1.0



2. Valutazione del coefficiente S_a

$$S_a = \alpha S \left[3 \frac{\left(1 + \frac{z}{H}\right)}{\left(1 + \left(1 - \frac{T_a}{T_1}\right)^2\right)} - 0.5 \right] = 0.4 \cdot 1.0 \left[3 \frac{\left(1 + \frac{13.10m}{24.54m}\right)}{\left(1 + \left(1 - \frac{0.1s}{1.304s}\right)^2\right)} - 0.5 \right] = 0.794$$

3. Fattore di importanza

Come per la norma ASCE 7-10, anche in questo caso il fattore di importanza (γ_a) è pari a 1.5

4. Fattore di riduzione q_a

Exterior and interior walls	2,0
Partitions and facades	
Chimneys, masts and tanks on legs acting as unbraced cantilevers along less than one half of their total height, or braced or guyed to the structure at or above their centre of mass	
Anchorage elements for permanent cabinets and book stacks supported by the floor	
Anchorage elements for false (suspended) ceilings and light fixtures	

5. Valutazione della forza agente:

$$F_a = \frac{S_a \gamma_a}{q_a} W_a = \frac{0.794 \cdot 1.5}{2.0} 65 \text{ kN} = 38.7 \text{ kN}$$

6. Valutazione delle forze sui singoli bulloni

Le forze agenti sul generatore consistono nella massa dell'elemento e nelle due componenti dell'azione sismica (orizzontale e verticale). La forza di taglio sul singolo bullone è pari a:

$$V_{\text{bolt}} = \frac{F_a}{n_{\text{bolt}}} = \frac{38.7 \text{ kN}}{8 \text{ bolts}} = 4.84 \text{ kN / bolt}$$

6. Valutazione delle forze sui singoli bulloni:

La tensione sui bulloni può essere determinata valutando il momento (M_o) che può provocare il ribaltamento del generatore.

$$M_o = F_a \cdot 1.0m = 38.7kN \cdot 1.0m = 38.7kNm$$

Il momento minimo resistente è fornito da:

$$M_r = W_a \cdot \left(\frac{1.2m}{2}\right) = (65kN)(0.6m) = 39kNm$$

La tensione finale sul singolo bullone è pari a:

$$T_{bolt} = \frac{M_o - M_r}{1.2m \cdot (4bolts / side)} = \frac{38.7kNm - 39.0kNm}{4.8m} = -0.06kN \approx 0 \text{ (compression)}$$

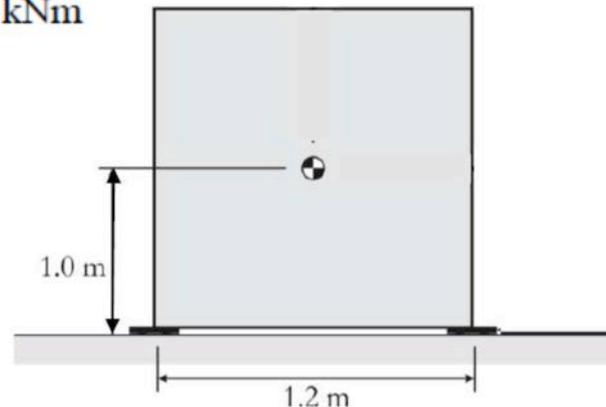


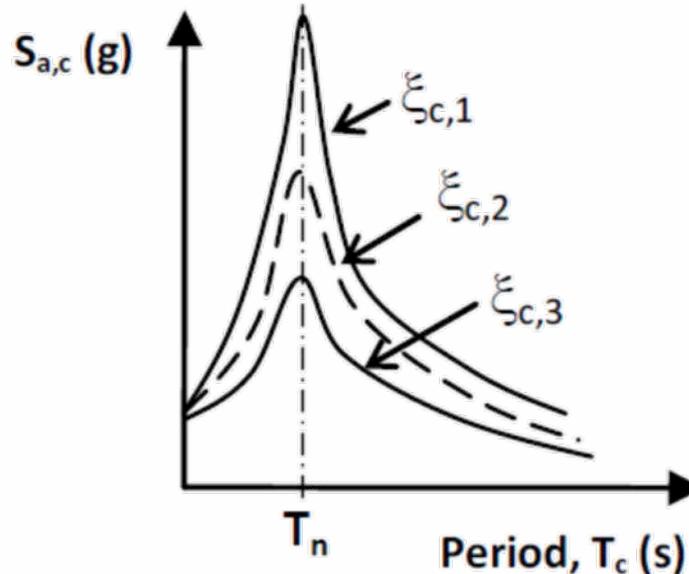
Table 7. Seismic design loads for anchorage bolts of the generator according to Eurocode 8.

Bolt design shear force	V_{bolt} [kN]	4.84
Bolt design tension force	T_{bolt} [kN]	~0

Concetti fondamentali sulla definizione degli spettri di piano

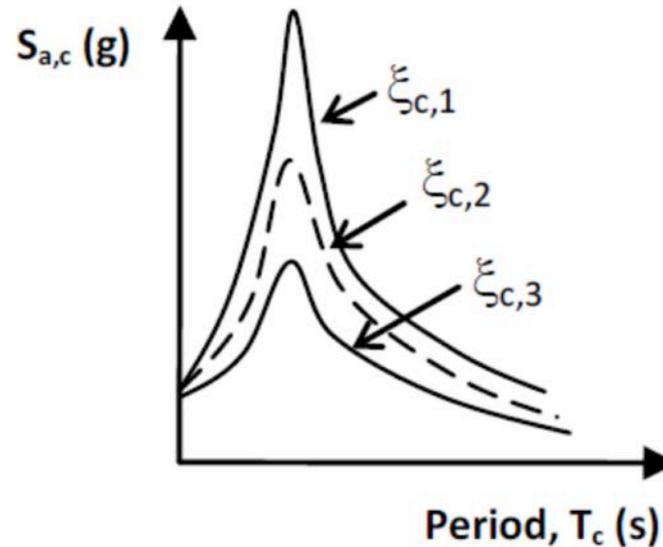
1. Effetto di amplificazione

- L'amplificazione dell'accelerazione a cui è soggetto un elemento non-strutturale dipende dal suo periodo naturale di vibrazione e dal periodo di vibrazione della struttura



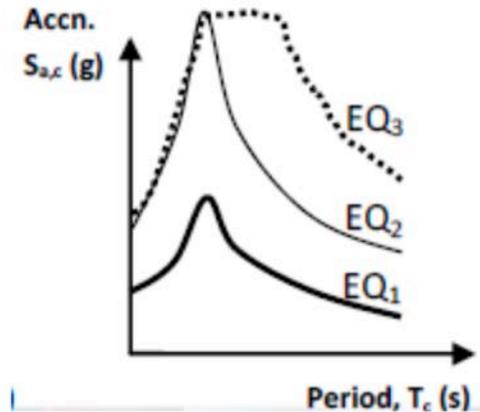
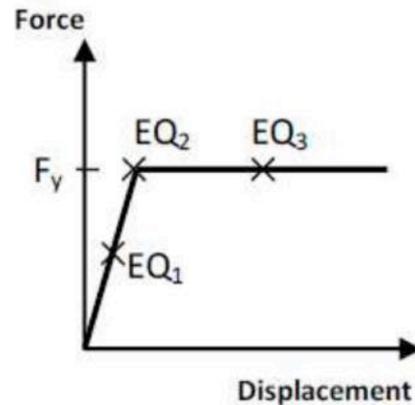
2. Damping

- *L'accelerazione risentita da un elemento non-strutturale è direttamente connessa allo smorzamento che caratterizza l'elemento stesso*



3. Effetto dell'intensità del sisma

- All'incrementare dell'intensità sismica l'accelerazione di piano aumenta
- La massima accelerazione è limitata dalla massima resistenza laterale della struttura
- Se un input sismico spinge la struttura in campo non-lineare, l'accelerazione massima non incrementa ma inizierà ad influenzare un maggior range di periodi di vibrazione



CIRCOLARE NTC

L'accelerazione del piano j-esimo della struttura relativa al modo i-esimo è data dalla relazione:

$$S_{i,j} = \varphi_{ij} \Gamma_i S_i(T_i) \quad [C7.2.1]$$

dove:

- $S_i(T_i)$ è l'ordinata dello spettro relativa al modo i-esimo (normalizzata rispetto a g ed eventualmente ridotta attraverso il fattore di comportamento q della costruzione);
- Γ_i è il "fattore di partecipazione modale", definito dalla relazione:

$$\Gamma_i = \frac{\varphi_i^T M \tau}{\varphi_i^T M \varphi_i} \quad [C7.2.2]$$

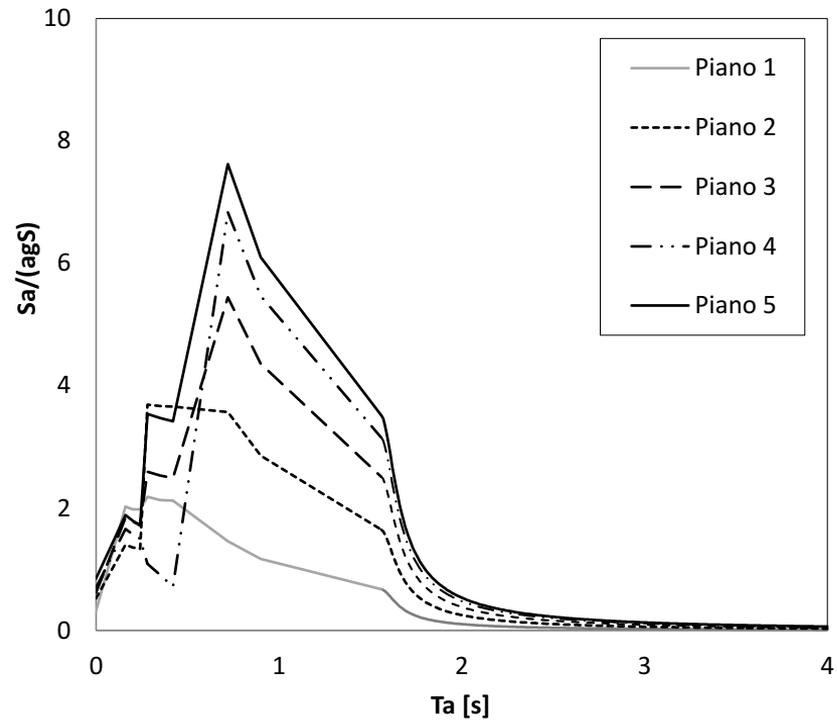
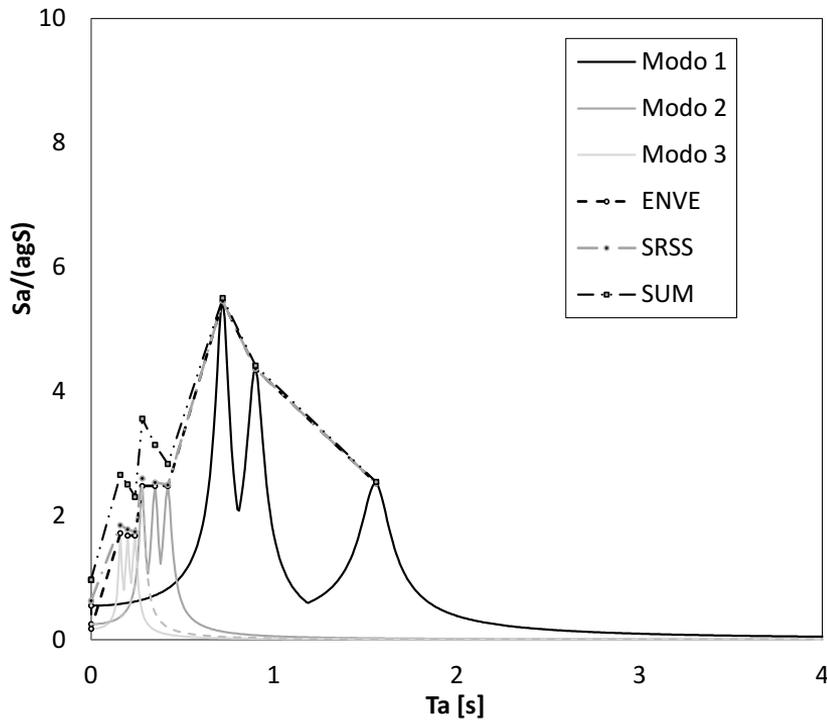
Il vettore τ è il vettore di trascinamento corrispondente alla direzione del sisma considerata; il vettore φ_i è la forma modale del modo i-esimo normalizzata al valore massimo; la matrice M è la matrice di massa del sistema reale.

L'accelerazione dell'elemento non strutturale al piano considerato, nella direzione considerata, per il modo i-esimo, è data, dunque, dall'equazione:

$$S_{a,ij} = S_{ij} \cdot R \left(\frac{T_a}{T_i}; \xi_a \right) \quad [\text{C7.2.3}]$$

dove R, il fattore di amplificazione dell'elemento non strutturale, è funzione del coefficiente di smorzamento ξ_a dell'elemento e del rapporto tra il periodo dell'elemento T_a e il periodo del modo i-esimo della struttura T_i , e vale:

$$R = \left[\left(2\xi_a \frac{T_a}{T_i} \right)^2 + \left(1 - \left(\frac{T_a}{T_i} \right)^2 \right)^2 \right]^{-1/2} \quad [\text{C7.2.4}]$$



Esempio di calcolo degli spettri di risposta di piano per gli elementi non strutturali di un edificio di 5 piani ($T_1 = 0,9$ sec; $q = 2$; $q_a = 1$). a) Spettri relativi al 3° piano; b) spettri relativi ai diversi piani dell'edificio.

$$S_a(T_a) = \begin{cases} \alpha \cdot S \cdot (1 + z/H) \cdot \left[\frac{a_p}{1 + (a_p - 1) \left(1 - T_a/a \cdot T_1\right)^2} \right] \geq \alpha \cdot S & \text{per } T_a < a \cdot T_1 \\ \alpha \cdot S \cdot (1 + z/H) \cdot a_p & \text{per } a \cdot T_1 < T_a < b \cdot T_1 \quad [C7.2.5] \\ \alpha \cdot S \cdot (1 + z/H) \cdot \left[\frac{a_p}{1 + (a_p - 1) \left(1 - T_a/b \cdot T_1\right)^2} \right] \geq \alpha \cdot S & \text{per } T_a \geq b \cdot T_1 \end{cases}$$

dove:

- α è il rapporto tra accelerazione massima del terreno a_g su sottosuolo tipo A da considerare nello stato limite in esame (vedi § 3.2.1) e l'accelerazione di gravità g ;
- S è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche secondo quanto riportato nel § 3.2.3.2.1;
- T_a è il periodo fondamentale di vibrazione dell'elemento non strutturale;
- T_1 è il periodo fondamentale di vibrazione della costruzione nella direzione considerata;
- z è la quota del baricentro dell'elemento non strutturale misurata a partire dal piano di fondazione (vedi § 3.2.2);
- H è l'altezza della costruzione misurata a partire dal piano di fondazione.
- a, b, a_p sono parametri definiti in accordo con il periodo fondamentale di vibrazione della costruzione (vedi Figura C.7.2.4 e Tabella C.7.2.II).

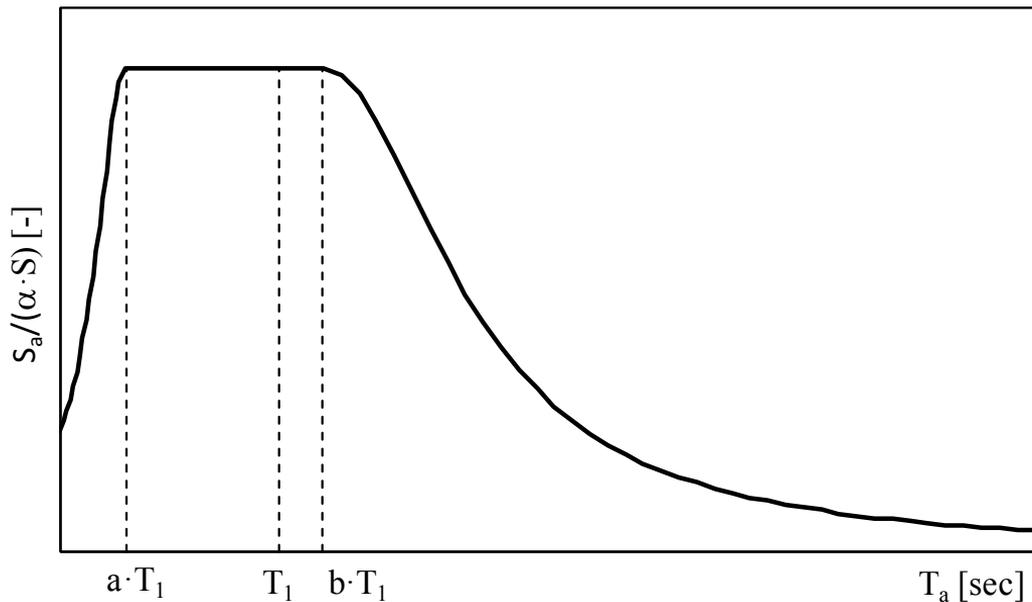
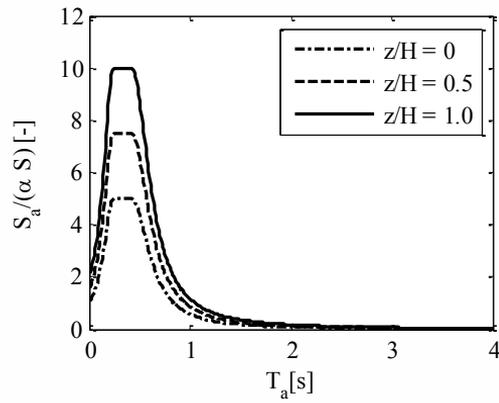


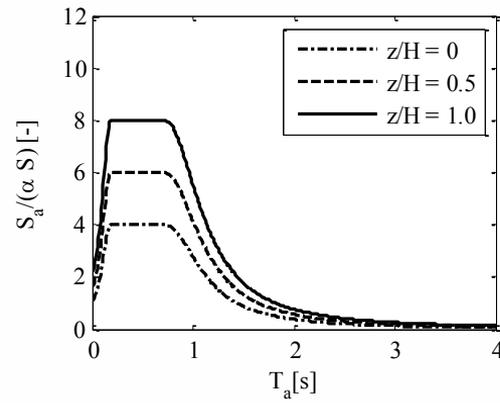
Figure C7.2.3 – Spettri di risposta di piano per gli elementi non strutturali

Tabella C7.2.II- Parametri a , b , a_p in accordo con il periodo di vibrazione della costruzione T_1 .

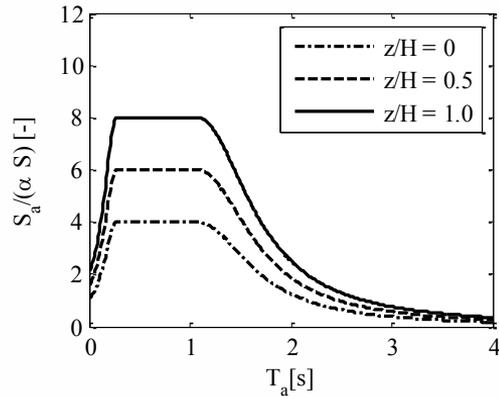
	a	b	a_p
$T_1 < 0,5 \text{ s}$	0.8	1,4	5,0
$0,5 \text{ s} < T_1 < 1,0 \text{ s}$	0.3	1,2	4,0
$T_1 > 1,0 \text{ s}$	0.3	1,0	2,5



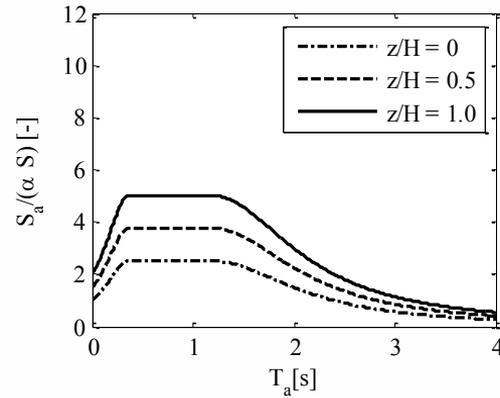
(a)



(b)



(c)



(d)

Figure C7.2.4 - Accelerazione massima, normalizzata rispetto ad αS , per i seguenti valori di T_1 : (a) $T_1 = 0,3$ s, (b) $T_1 = 0,6$ s, (c) $T_1 = 0,9$ s, (d) $T_1 = 1,2$ s..

...grazie per l'attenzione!

