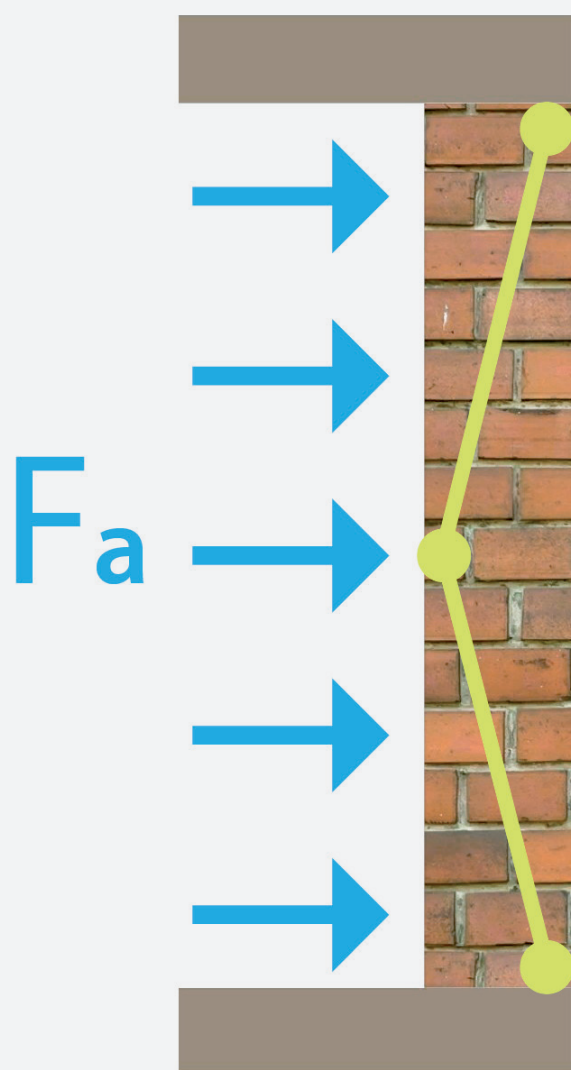


Focus

# VERIFICA SISMICA TAMPONATURE



## Verifica sismica delle tamponature

/ di Nicola Furcolo e Gerardo Carpentieri

Come fare la verifica delle tamponature con gli spettri di piano, secondo le nuove regole (NTC 2018 e Circolare esplicativa 2019): ecco un esempio pratico

Le NTC 2018 (dm 17/01/2018) ha aggiornato le verifiche sismiche richieste per gli elementi secondari non strutturali.

Questi ultimi comprendono “*quelli con rigidezza, resistenza e massa tali da influenzare in maniera significativa la risposta strutturale e quelli che, pur non influenzando la risposta strutturale, sono ugualmente significativi ai fini della sicurezza e/o dell'incolumità delle persone*” (cfr. § 7.2.3 D.M. 2018).

Si evince, quindi, che gli elementi costruttivi non strutturali, tra i quali ricadono indubbiamente le **tamponature di piano**, possono essere classificati in due gruppi:

1. elementi che influenzano il comportamento globale della struttura (es. struttura a telaio in c.a., a pareti, mista, etc.), specialmente a causa della loro rigidezza (soprattutto laterale), massa e resistenza;
2. elementi che non influenzano la risposta strutturale, ma che comunque devono essere portati in conto nell'analisi della struttura con la loro massa, ai fini della corretta determinazione dei carichi gravitazionali e sismici.

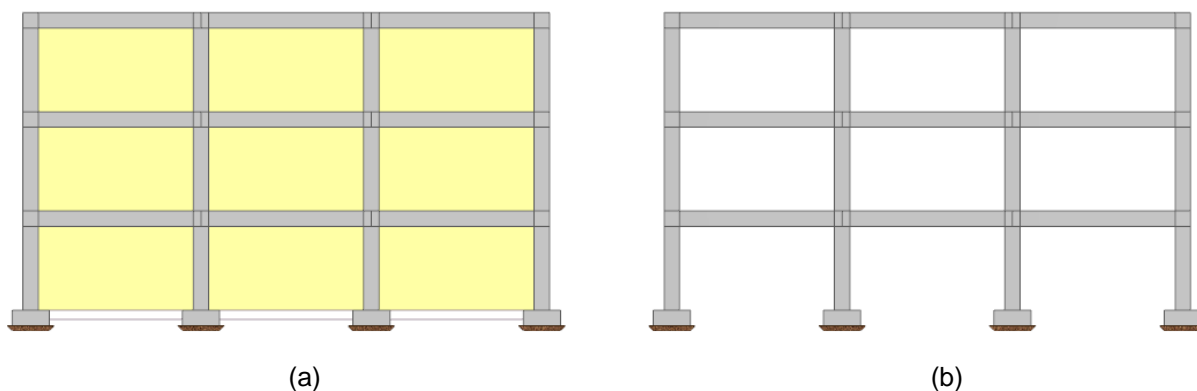


Fig. 1 - Modellazione di un telaio piano con tamponature: (a) telaio in c.a. con tamponature; (b) modello con il solo telaio nudo, per tamponature che non influenzano la risposta strutturale.

Nel caso di **modellazione di telaio in c.a. con tamponature** (caso (a)), il modello strutturale non potrà non tenere conto della modellazione stessa delle tamponature mediante, ad esempio, un modello agli elementi finiti con elementi *beam* (ad es. per la modellazione di travi e pilastri) e *shell* (ad es. per la modellazione di setti, pareti, e le stesse tamponature).

Una valida alternativa potrebbe essere quella di modellare il telaio con l'aggiunta di pendoli o controventi, reagenti solo a compressione, come descritto nell'Allegato 2 della Circolare 10/4/1997, n. 65 del Ministero dei Lavori Pubblici (esplicativa del precedente D.M. 1996).

Nel caso di **modellazione di telaio in c.a. senza tamponature**, invece, la tamponatura stessa può essere ritenuta di rigidezza trascurabile rispetto alla struttura portante; a causa dello spessore non eccessivo, della presenza di aperture e dell'utilizzo di elementi forati o comunque molto meno rigidi delle strutture portanti. In questa seconda ipotesi, l'effetto della tamponatura sull'analisi della struttura “*nuda*” viene normalmente tenuto in conto con la massa ed il peso (che tipicamente scarica sulle travi perimetrali o direttamente caricate dalla muratura, o per il tramite di un'aliquota di “*incidenza tramezzi*”, calcolata come carico equivalente uniformemente distribuito sui solai, come indicato al § 3.1.3 del D.M. 2018).

È da osservare che, tra i due modelli suddetti, ovvero quelli di tamponature influenzanti o meno il sistema strutturale globale, certamente è più diffuso, se non addirittura consigliabile, il secondo. Il motivo è che nel caso si confidi, al momento della progettazione dell'opera, nel contributo degli elementi non strutturali, eventuali modifiche successive (come, ad esempio, una semplice redistribuzione degli ambienti, o l'apertura di un vano in una tamponatura) dovrebbero comportare anche una nuova verifica dell'intera opera.

Un'ulteriore considerazione è che, in generale, non è facile o ingegneristicamente accettabile confidare in un modello con le tamponature in quanto spesso questi elementi possono essere alloggiamento di vani come finestre o porte, nonché impianti e canalizzazioni che ne modificano il comportamento in modo difficilmente prevedibile.

<b>Calcolo dell'incidenza tramezzi ai sensi del D.M. 2018</b>	
<b>Carico lineare dell'elemento divisorio (<math>G_2</math>)</b>	<b>Carico uniformemente distribuito equivalente (<math>g_2</math>)</b>
[kN/m]	[kN/m <sup>2</sup> ]
$\leq 1,00$	0,40
$1,00 < G_2 \leq 2,00$	0,80
$2,00 < G_2 \leq 3,00$	1,20
$3,00 < G_2 \leq 4,00$	1,60
$4,00 < G_2 \leq 5,00$	2,00
$G_2 > 5,00$	da modellarsi come carico lineare

Il D.M. 2018 consente di tenere conto, in modo semplificato, della presenza degli elementi non strutturali nella progettazione sismica delle strutture:

- nel caso di una distribuzione irregolare in pianta degli elementi non strutturali occorre raddoppiare l'eccentricità accidentale del centro di massa (per ciascun impalcato e per ciascuna direzione, come definito al § 7.2.6 del D.M. 2018); passando, quindi, da 0,05 a 0,1 volte la dimensione dell'edificio in direzione perpendicolare alla direzione sismica;
- nel caso di una distribuzione irregolare in altezza degli elementi non strutturali, ad esempio a seguito di una significativa riduzione ad un piano delle tamponature, occorre amplificare di un fattore 1,4 gli effetti sismici sugli elementi verticali in quel piano.

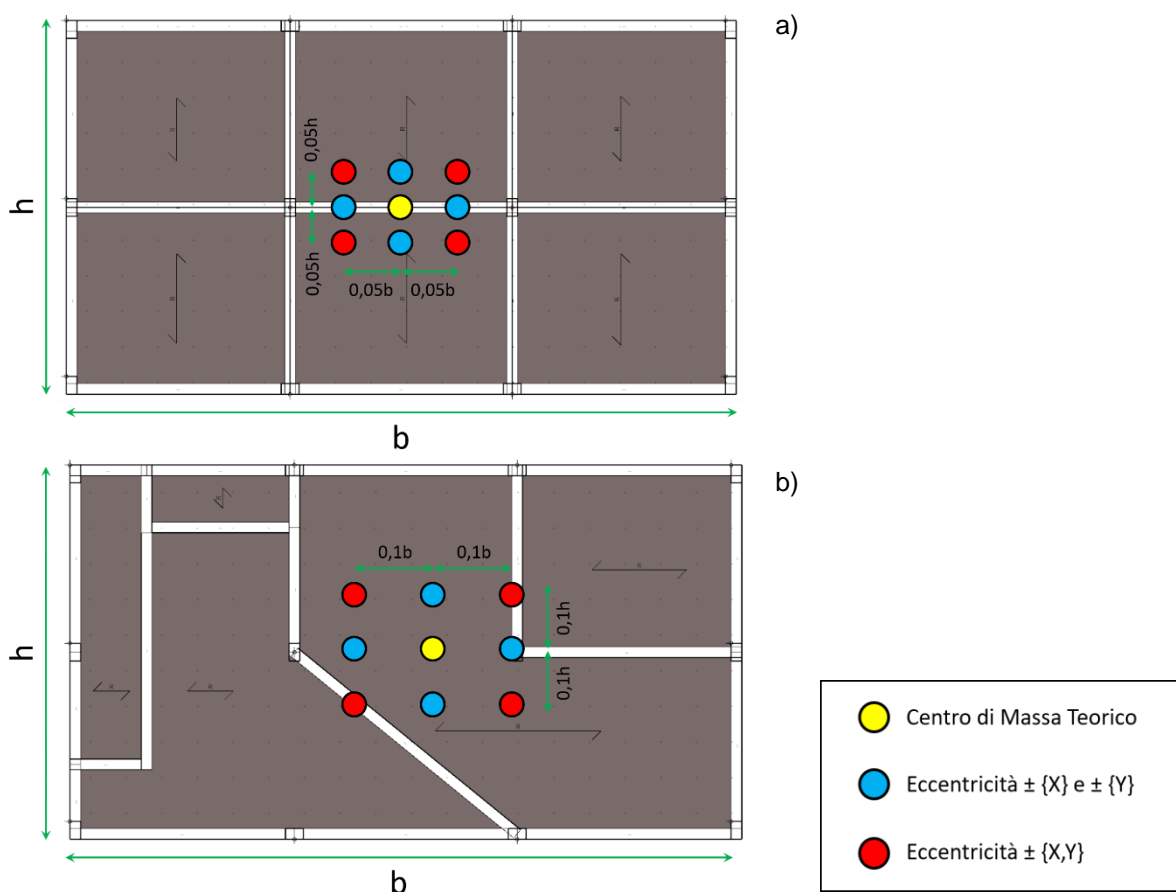


Fig. 2 - Spostamento del centro di massa teorico per effetto delle eccentricità accidentali: a) caso di edificio con distribuzione in pianta regolare delle tamponature; b) caso di edificio con distribuzione in pianta non regolare delle tamponature.

Le verifiche degli elementi non strutturali richieste dal D.M. 2018 sono illustrate nella seguente Tabella 7.3.III, in funzione della classe d'uso dell'edificio (per come definita al § 2.4.2), e dello stato limite considerato. Si evince che, per gli elementi non strutturali (indicati con "NS"), sono richieste delle verifiche di

stabilità (indicate con “STA”), per le sole classi d’uso dalla 2 alla 4 (sono, quindi, escluse le sole opere con presenza solo occasionale di persone e gli edifici agricoli), e per il solo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV).

<b>Verifiche richieste per ciascun tipo di elemento (ST = elemento strutturale; NS = elemento non strutturale; IM = impianto), per ciascuna classe d’uso e per ciascun stato limite (cfr. Tabella 7.3.III D.M. 2018)</b>								
STATI LIMITE		CU I	CU II			CU III e IV		
		ST	ST	NS	IM	ST	NS	IM <sup>(*)</sup>
SLE	SLO					RIG		FUN
	SLD	RIG	RIG			RES		
SLU	SLV	RES	RES	STA	STA	RES	STA	STA
	SLC		DUT <sup>(**)</sup>			DUT <sup>(**)</sup>		

(\*) Nelle CU III e IV, negli impianti sono compresi gli arredi fissi;  
(\*\*) Nei casi esplicitamente indicati nel D.M. 2018.

Il controllo del danno (allo Stato Limite di Danno, SLD, o, qualora richiesto, allo Stato Limite di Operatività, SLO) sugli elementi non strutturali, come chiarito dalla Circolare esplicativa 2019 del D.M. 2018 al § C7.3.6.2, non è oggetto di una specifica verifica, in quanto è già assicurato dal soddisfacimento delle verifiche di rigidezza di contenimento degli spostamenti relativi di piano, come previste al § 7.3.6.1 per gli elementi strutturali. Un ulteriore grado di sicurezza, nei rispetti del possibile danneggiamento delle tamponature, è implicitamente garantito del soddisfacimento dei minimi rapporti tra altezza e luce di travi e solai, ovvero, del soddisfacimento delle verifiche di deformabilità (in modo semplificato in funzione della snellezza o con calcolo esplicito delle frecce).

<b>Spostamenti massimi consentiti alle tamponature per le verifiche sismiche.</b>		
descrizione	spostamento massimo	
	classi d’uso I e II allo SLD	classi d’uso III e IV allo SLO
a <sub>1</sub> ) tamponature “ <i>fragili</i> ” collegate rigidamente alla struttura	0,0050 h	(2/3) x 0,0050 h
a <sub>2</sub> ) tamponature “ <i>duttili</i> ” collegate rigidamente alla struttura	0,0075 h	(2/3) x 0,0075 h
b) tamponature progettate per non danneggiarsi fino ad uno spostamento di interpiano $d_p$	$\min\{d_p; 0,0100 h\}$	$(2/3) \times \min\{d_p; 0,0100 h\}$
c) costruzioni con struttura portante di muratura ordinaria	0,0020 h	(2/3) x 0,0020 h
d) costruzioni con struttura portante in muratura armata	0,0030 h	(2/3) x 0,0030 h
e) costruzioni con struttura portante in muratura confinata	0,0025 h	(2/3) x 0,0025 h

*h* = altezza di piano

Qualora sia necessario eseguire le verifiche di stabilità, il § 7.3.6.2 del D.M. 2018 prescrive di verificare che l’elemento non strutturale non venga “*espulso*”, sotto l’azione sismica equivalente (detta  $F_a$ ). La Circolare esplicativa 2019 del D.M. 2018, al § C7.3.6.2, consente di ritenere soddisfatta la suddetta verifica utilizzando:

- delle “*leggere reti da intonaco*” su ciascuna faccia della muratura, collegandole tra loro (in senso, quindi, trasversale), ed alle strutture circostanti (telaio o pareti o impalcati), con distanza in direzione orizzontale e verticale  $\leq 500$  mm;
- delle armature orizzontali nei letti di malta a distanza non superiore a 500 mm.

È da osservare che, nel caso si provveda a rispettare il requisito precedente con la predisposizione di reti da intonaco, oppure con armature nei letti di malta, verrebbe necessariamente creata una connessione tra le tamponature e le strutture sismo-resistenti (telai, pareti, etc.). Se le tamponature, quindi, hanno dimensioni e spessori importanti rispetto al resto delle strutture portanti, il tecnico dovrebbe valutare la necessità di modelli aggiuntivi comprensivi delle tamponature stesse.

Nei casi in cui non si provveda ad adottare i precedenti magisteri o qualora si voglia effettuare una verifica “*analitica*” contro la possibile espulsione dei pannelli, è possibile procedere come segue.

#### Verifica ai sensi del D.M. 2018 e della Circolare esplicativa

Il D.M. 2018 impone, al § 7.3.6.2, che gli elementi non strutturali, tra i quali le tamponature, siano progettati impiegando opportuni accorgimenti idonei ad evitare la loro espulsione sotto l’azione della forza sismica orizzontale seguente, valutata per gli Stati Limite e la classe d’uso considerati (cfr. § 7.2.3 D.M. 2018):

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

dove:

- $F_a$  è la forza sismica orizzontale distribuita o agente nel centro di massa dell'elemento non strutturale nella direzione più sfavorevole, risultante delle forze distribuite proporzionali alla massa;
- $S_a$  è l'accelerazione massima, adimensionalizzata rispetto a quella di gravità, che l'elemento non strutturale subisce durante il sisma e corrisponde allo stato limite in esame (v. § 3.2.1 D.M. 2018);
- $W_a$  è il peso dell'elemento;
- $q_a$  è il fattore di comportamento dell'elemento.

In assenza di specifiche determinazioni, per  $q_a$  si possono assumere i valori riportati nella Tabella C7.2.I della Circolare esplicativa del D.M. 2018.

<b>Valori di <math>q_a</math> per elementi non strutturali (cfr. Tab. C7.2.I D.M. 2018)</b>		
<b>Gruppo</b>	<b>Tipologia di elementi non-strutturali</b>	<b><math>q_a</math></b>
1	Parapetti o decorazioni aggettanti Insegne e pannelli pubblicitari Comignoli, antenne e serbatoi su supporti funzionanti come mensole senza controventi per più di metà della loro altezza	1,0
2	Pareti interne ed esterne 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 poggiati sul pavimento Elementi di ancoraggio per controsoffitti e corpi illuminanti	2,0

### Verifica delle tamponature e delle murature portanti: spettri di piano

Lo spettro di risposta di piano del generico elemento non strutturale è dato dall'involuppo dei valori di accelerazione massima normalizzata rispetto all'accelerazione di gravità ( $S_a$ ) al variare del periodo proprio di vibrazione dell'elemento non strutturale ( $T_a$ ) (§ C7.2.3 Circ. 2019).

L'accelerazione al piano  $j$ -esimo della struttura, relativa al modo di vibrare  $i$ -esimo è data da:

$$S_{ij} = \varphi_{ij} \Gamma_i S_i(T_i)$$

dove:

- $\varphi_{ij}$  è la  $j$ -esima componente del vettore  $\varphi_i$  della  $i$ -esima forma modale normalizzata al valore massimo;
- $\Gamma_i$  è il "fattore di partecipazione modale", dato da:

$$\Gamma_i = \frac{\varphi_i^T \mathbf{M} \boldsymbol{\tau}}{\varphi_i^T \mathbf{M} \varphi_i}$$

essendo:

- $\boldsymbol{\tau}$  il vettore di trascinamento corrispondente alla direzione del sisma considerata;
- $\varphi_i$  il vettore della  $i$ -esima forma modale normalizzata al valore massimo;
- $\mathbf{M}$  la matrice di massa del sistema;
- $S_i(T_i)$  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), caratterizzato da un periodo di vibrazione  $T_i$ .

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

$$S_{a,ij} = S_{ij} \cdot R \left( \frac{T_a}{T_i}; \xi_a \right)$$

dove  $R$  è il fattore di amplificazione dell'elemento non strutturale, funzione del coefficiente di smorzamento  $\xi_a$  dell'elemento, del periodo di vibrazione dell'elemento  $T_a$  e del coefficiente  $\beta$  variabile tra 0,4 e 0,5:

$$R = \left[ \left( 2\xi_a \frac{T_a}{T_i} \right) + \left( 1 - \left( \frac{T_a}{T_i} \right) \right)^2 \right]^{-\beta}$$

La risposta totale si può, quindi, ottenere combinando opportunamente le risposte dovute ai diversi modi per il tramite, ad esempio, della regola SRSS.

## Verifica delle tamponature e delle murature portanti: formulazione semplificata

Nel presente paragrafo viene illustrato un procedimento semplificato, indicato nel § C7.2.3 della Circ. 2019, e valido per la verifica di elementi non strutturali, impianti o meccanismi locali, per qualunque tipologia di struttura.

Lo spettro di accelerazione per l'elemento non strutturale (indicato con il pedice "e"), valutato assumendo un periodo equivalente  $T$ , uno smorzamento viscoso equivalente  $\xi$ , e stimato ad una quota significativa  $z$ , è pari a:

$$S_{ez}(T, \xi, z) = \sqrt{\sum S_{ez,k}^2(T, \xi, z)} \geq S_e(T, \xi) \text{ per } T > T_1$$

dove  $S_e(T, \xi)$  è lo spettro di risposta al suolo, valutato per il periodo equivalente  $T$  e lo smorzamento viscoso equivalente  $\xi$  dell'elemento non strutturale; ed  $S_{ez,k}(T, \xi, z)$  è il contributo allo spettro di risposta di piano fornito dal  $k$ -esimo modo della struttura principale, di periodo proprio  $T_k$  e smorzamento viscoso equivalente  $\xi_k$  (in percentuale), pari a:

$$S_{ez,k}(T, \xi, z) = \begin{cases} \frac{1,1\xi_k^{-0,5}\eta(\xi)a_{z,k}(z)}{1 + [1,1\xi_k^{-0,5}\eta(\xi) - 1] \left(1 - \frac{T}{aT_k}\right)^{1,6}} & T < aT_k \\ 1,1\xi_k^{-0,5}\eta(\xi)a_{z,k}(z) & aT_k \leq T \leq bT_k \\ \frac{1,1\xi_k^{-0,5}\eta(\xi)a_{z,k}(z)}{1 + [1,1\xi_k^{-0,5}\eta(\xi) - 1] \left(\frac{T}{bT_k} - 1\right)^{1,2}} & T > bT_k \end{cases}$$

essendo  $a_{z,k}(z)$  il contributo del  $k$ -esimo modo alla accelerazione massima di piano:

$$a_{z,k}(z) = S_e(T_k, \xi_k) |\gamma_k \Psi_k(z)| \sqrt{1 + 0,0004\xi_k^2}$$

ed inoltre:

- $a = 0,8$  e  $b = 1,1$  sono coefficienti che definiscono l'intervallo di amplificazione massima dello spettro di piano;
- $\gamma_k$  è il  $k$ -esimo coefficiente di partecipazione modale della costruzione;
- $\Psi_k(z)$  è il valore della  $k$ -esima forma modale alla quota  $z$ , nella posizione in pianta ove è ubicato il meccanismo locale;
- $\eta(\xi)$  è il fattore che altera lo spettro elastico (cfr. eq. (3.2.6) D.M. 2018).

L'accelerazione massima alla quota  $z$  è, quindi:

$$a_z(z) = \sqrt{\sum a_{z,k}^2(z)}$$

mentre il contributo al picco di accelerazione spettrale in corrispondenza del periodo  $T_k$ , fornito da  $k$ -esimo modo, vale:

$$S_{ez,k}(T_k, \xi, z) = 1,1\xi_k^{-0,5}\eta(\xi)a_{z,k}(z)$$

Nella verifica in oggetto, è tipicamente sufficiente considerare il solo primo modo di vibrare, ed il periodo  $T_1$  si può assumere pari al periodo  $T^*$  calcolato con la [C7.3.6] nel caso di analisi statica non lineare, oppure pari a quello calcolato con la [7.3.6] negli altri casi. Inoltre, il coefficiente di partecipazione modale per strutture con masse distribuite uniformemente lungo l'altezza, si può approssimare come:

$$\gamma_1 = \frac{3n}{2n+1}$$

essendo  $n$  il numero di piani.

Qualora non sia stata effettuata una analisi modale della struttura, oppure ci si trovi nel caso di edifici con struttura intelaiata; la verifica degli elementi non strutturali può essere effettuata in modo semplificato, facendo dipendere gli spettri di piano dalla quota ( $z$ ) dell'elemento non strutturale, nonché da alcuni parametri opportunamente calibrati, come illustrato nel seguito.

## Formulazione semplificata per strutture a telaio

Nell'ipotesi di costruzioni con struttura a telai ed andamento delle accelerazioni strutturali linearmente crescente con l'altezza, l'accelerazione massima  $S_a$  può essere determinata attraverso l'espressione seguente (cfr. C7.2.3 Circ. 2019):

$$S_a(T_a) = \begin{cases} \alpha S \left(1 + \frac{z}{H}\right) \left[ \frac{a_p}{1 + (a_p - 1) \left(1 - \frac{T_a}{aT_1}\right)^2} \right] \geq \alpha S & \text{per } T_a < aT_1 \\ \alpha S \left(1 + \frac{z}{H}\right) a_p & \text{per } aT_1 \leq T_a < bT_1 \\ \alpha S \left(1 + \frac{z}{H}\right) \left[ \frac{a_p}{1 + (a_p - 1) \left(1 - \frac{T_a}{bT_1}\right)^2} \right] \geq \alpha S & \text{per } T_a \geq bT_1 \end{cases}$$

dove:

- $\alpha$  è il rapporto tra l'accelerazione massima del terreno  $a_g$  su sottosuolo tipo A da considerare nello stato limite in esame (cfr. § 3.2.1 del D.M. 2018) e l'accelerazione di gravità  $g$ ;
- $S = S_T \cdot S_s$  è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche secondo quanto riportato nel § 3.2.3.2.1 del D.M. 2018;
- $T_a$  è il periodo fondamentale di vibrazione dell'elemento non strutturale, per il quale si può fare riferimento alla seguente formulazione, che consente di calcolare i periodi di vibrazione dei rispettivi modi assimilando l'elemento ad una trave appoggiata-appoggiata:

$$T_a = \frac{2h^2}{(\pi k^2)} \sqrt{\frac{A \gamma_m}{EI g}}$$

dove:

- $k$  è un numero intero ed indica il modo di vibrare preso in esame per l'elemento non strutturale (=1,2,3, per il primo, secondo, terzo modo di vibrazione, ...)
- $h$  [mm] è l'altezza della tamponatura;
- $A = s \cdot L$  [mm<sup>2</sup>] è l'area di base della tamponatura, con:
  - $s$  è lo spessore della tamponatura comprensivo anche delle parti non aventi funzione resistente (intonaco, isolamento, ecc.)
  - $L$  è la lunghezza della tamponatura;
- $\gamma_m$  [N/mm<sup>3</sup>] è il peso per unità di volume della tamponatura;
- $E = 1000 \cdot f_k$  [N/mm<sup>2</sup>] è il modulo elastico della tamponatura, con:
  - $f_k$  [N/mm<sup>2</sup>] è resistenza caratteristica a compressione della tamponatura (vedi Tab. 11.10.VI D.M. 2018);
- $I$  [mm<sup>4</sup>] è il momento di inerzia della tamponatura rispetto all'asse baricentrico ortogonale alla forza  $F_a$ ;
- $g$  [mm/s<sup>2</sup>] è l'accelerazione di gravità.
- $T_1$  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 (cfr. § 3.2.2 D.M. 2018) (pari sempre a 0 nel caso di strutture con isolamento sismico);
- $H$  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 ( $T_1$ ) (cfr. Tab. C7.2.II Circ. 2019).

**Parametri  $a, b, a_p$  in accordo con il periodo di vibrazione della costruzione  $T_1$  (cfr. Tab. C7.2.II Circ. 2019)**

	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>a<sub>p</sub></b>
$T_1 < 0,5$ s	0,8	1,4	5,0
$0,5$ s $\leq T_1 < 1,0$ s	0,3	1,2	4,0
$T_1 \geq 1,0$ s	0,3	1,0	2,5

Nel caso in cui l'elemento non strutturale sia costituito da una parete muraria che realizza un tamponamento di una struttura sismo-resistente intelaiata, è possibile utilizzare le formulazioni riportate nel seguente paragrafo.

### Formulazione per pareti in muratura portante

Nel presente paragrafo si riportano le formulazioni semplificate, per pareti murarie, presenti nel D.M. 2018. Il D.M. 2018 consente di effettuare la verifica fuori piano di pareti murarie portanti assumendo un fattore di comportamento  $q_a = 3$  ed un coefficiente sismico (cfr. § 7.8.1.5.2 D.M. 2018):

$$S_a = \alpha S \left[ 1,5 \left( 1 + \frac{z}{H} \right) - 0,5 \right] \geq \alpha S$$

### Verifica ai sensi degli Eurocodici

La normativa UNI EN 1998-1:2013, invece, utilizza la seguente formulazione lievemente modificata rispetto alla normativa tecnica italiana:

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

in cui  $\gamma_a$  è il coefficiente di importanza dell'elemento non strutturale, definito al punto 4.3.5.3 della UNI EN 1998-1:2013 nel seguente modo:

- $\gamma_a \geq 1,5$  nel caso di elementi non strutturali costituiti da elementi di ancoraggio di macchinari e attrezzature necessari alla funzionalità dei sistemi di sicurezza oppure da serbatoi e contenitori di sostanze tossiche o esplosive, ritenute pericolose per la sicurezza generale per le persone;
- $\gamma_a = 1,0$  in tutti gli altri casi.

Una classificazione tipologica del tutto simile a quella della precedente tabella è anche riportata nel Prospetto 4.4 della UNI EN 1998-1:2013; per cui il coefficiente di comportamento assume gli stessi valori sia per il D.M. 2018 che per la UNI EN 1998-1:2013.

La norma UNI EN 1998-1:2013, inoltre, assume un coefficiente sismico pari a (eq. (4.24) UNI EN 1998-1:2013):

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

dove:

- $\alpha$  è il rapporto tra l'accelerazione massima del terreno  $a_g$  su sottosuolo tipo A da considerare nello stato limite in esame e l'accelerazione di gravità  $g$ ;
- $S = S_T \cdot S_s$  è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche;
- $T_a$  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;
- $H$  è l'altezza della costruzione misurata a partire dal piano di fondazione.

### Verifiche di sicurezza delle tamponature

Una volta calcolate le accelerazioni massime e le forze sismiche applicate sulle tamponature, è possibile condurre le classiche **verifiche di resistenza e stabilità** della tamponatura, assumendo le necessarie ipotesi di vincolo e carico (ad esempio, tamponatura appoggiata con carico concentrato o distribuito, oppure meccanismo di collasso pertinente).

In entrambi i casi, occorre stimare il momento sollecitante, provocato dai carichi laterali, ed eseguire le verifiche a flessione fuori piano, calcolando il momento resistente della muratura. Questo può essere stimato



assumendo per la muratura un diagramma di tipo "stress-block" a compressione (con tensione massima di compressione pari a  $0,85 f_d$ ). In queste ipotesi, il momento resistente può essere assunto pari a:

$$M_{Rd} = (L \cdot s^2 \cdot \sigma_0 / 2) (1 - \sigma_0 / 0,85 f_d)$$

dove:

- L [mm] è la lunghezza della tamponatura (= 1000 mm per una striscia unitaria);
- s [mm] è lo spessore della tamponatura;
- $\sigma_0$  [N/mm<sup>2</sup>] è la tensione normale media di compressione (=  $N_{Ed} / (L s)$ );
- $f_d = f_k / \gamma_M$  è la resistenza a compressione di progetto della muratura (per i valori di  $\gamma_M$  vedere il § 7.8.1.1 del D.M. 2018).

### Verifica delle tamponature: un esempio numerico

Nel seguito viene riportato un esempio di calcolo per **tamponamenti esterni**, per i quali il fattore di struttura  $q_a$  è pari a 2 (gruppo 2 dalla Tab. C7.2.I D.M. 2018). Le tamponature oggetto di verifiche sono costituite da blocchi forati. Tutti i calcoli successivi fanno riferimento alle tamponature dell'ultimo livello dove le azioni dovute al sisma sono più gravose. Le caratteristiche geometriche e meccaniche della tamponatura sono di seguito riportate:

- Z = 7,5 m, quota del baricentro della tamponatura rispetto allo spiccatto della fondazione
- H = 9,0 m, altezza dell'edificio rispetto allo spiccatto della fondazione
- h = 2,5 m, altezza della tamponatura
- $f_k = 2,00$  N/mm<sup>2</sup>, resistenza caratteristica a compressione della tamponatura
- E = 2000 N/mm<sup>2</sup>, modulo elastico del materiale
- s = 350 mm, spessore della tamponatura, comprensivo di intonaco e isolamento
- L = 5 m, lunghezza, in pianta, della tamponatura
- A =  $1,75 \times 10^6$  mm<sup>4</sup>, area di base della tamponatura
- I =  $L \cdot s^3 / 12 = 1,7865 \times 10^{10}$  mm<sup>4</sup>, momento di inerzia della tamponatura
- $\gamma_m = 8000$  N/m<sup>3</sup>, peso per unità di volume della tamponatura
- g = 9,81 m/s<sup>2</sup>, accelerazione di gravità

Il periodo di vibrazione dell'elemento non strutturale ( $T_a$ ), ponendo  $k=1$ , è pari a:

$$T_a = \frac{2 \cdot 2500^2}{\pi} \sqrt{\frac{1,75 \cdot 10^6 \cdot 8 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 10^3 \cdot 1,7865 \cdot 10^{10} \cdot 9,81 \cdot 10^3}} = 0,025 \text{ s}$$

Il calcolo dell'accelerazione  $S_a$  è stato condotto facendo riferimento ai seguenti dati:

- $S_s = 1,0$ , coefficiente di amplificazione stratigrafico;
- $S_T = 1,0$ , coefficiente di amplificazione topografico;
- $\alpha = 0,11 a_g / g$ , accelerazione di riferimento allo SLV su sottosuolo rigido;
- $S = S_s S_T = 1,0$ , prodotto fra la categoria stratigrafica e topografica;
- $T_1 = 0,55$  s, periodo fondamentale della struttura in direzione ortogonale al piano della tamponatura.

L'accelerazione massima  $S_a$ , da considerare per la stima della forza sismica  $F_a$ , stimata con la formulazione semplificata degli spettri di piano per strutture a telaio (cfr. eq. [C7.2.11]), risulta:

$$S_a(T_a) = \alpha S \left( 1 + \frac{z}{H} \right) \left[ \frac{a_p}{1 + (a_p - 1) \left( 1 - \frac{T_a}{aT_1} \right)^2} \right] = 0,256$$

essendo:

- $T_a < aT$ ;

- a = 0,3;
- b = 1,2;
- a<sub>p</sub> = 4,0.

Nel caso si adotti, invece, la formulazione dell'Eurocodice 8, si otterrebbe:

$$S_a = \alpha S \left[ \frac{3 \left( 1 + \frac{z}{H} \right)}{\left( 1 + \left( 1 - \frac{T_a}{T_1} \right)^2 \right)} - 0,5 \right] = 0,262$$

Infine, qualora si consideri la tamponatura al pari di una muratura portante, l'accelerazione sismica risulta, utilizzando la formula al § 7.8.1.5.2 D.M. 2018:

$$S_a = \alpha S \left[ 1,5 \left( 1 + \frac{z}{H} \right) - 0,5 \right] = 0,248$$

La nuova formulazione semplificata degli spettri di piano, quindi, sembrerebbe fornire, per l'esempio condotto, un'accelerazione massima leggermente più bassa di quella che si otterrebbe con l'Eurocodice 8. Una volta stimate le accelerazioni massime, è possibile calcolare la forza sismica orizzontale e le sollecitazioni che essa provoca sulla tamponatura. Secondo le indicazioni della normativa vigente, questa azione va considerata sia come uniformemente distribuita che come concentrata nel baricentro dell'elemento. Una volta note le sollecitazioni (momenti flettenti e tagli nell'elemento) è possibile eseguire le classiche verifiche di resistenza dei pannelli murari.

### Verifica delle tamponature e delle murature portanti con un software di calcolo strutturale

Edilusil software ACCA per il calcolo strutturale, viene in aiuto del tecnico ai fini della corretta modellazione delle tamponature, ai sensi delle NTC 2018 con la circolare 2019, oppure dell'Eurocodice 8. Infatti, è possibile effettuare in automatico le seguenti operazioni:

- 1) raddoppiare l'eccentricità accidentale del centro di massa (per ciascun impalcato e per ciascuna direzione, come definito al § 7.2.6 del D.M. 2018) nel caso di una distribuzione irregolare in pianta degli elementi non strutturali;

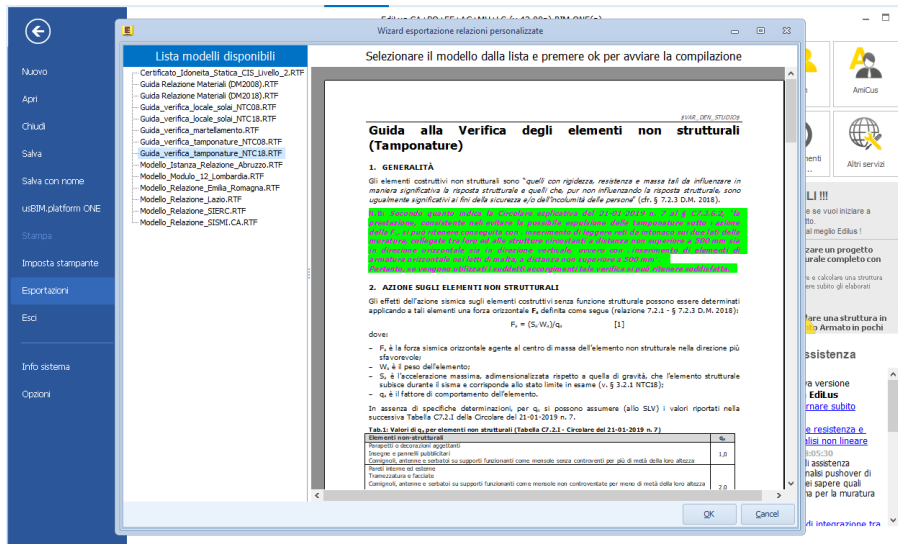
The screenshot shows the 'Dati Norma: [IT] D.M. 2018' window in the Edilusil software. The 'Analisi Sismica' sidebar is active. The main panel is titled 'Sisma e Struttura' and contains the following settings:

- Accelerazione orizzontale massima del terreno (SLV): 0.1625 [Ag/g]
- Tipo di terreno Prevalente: A
- Classe dell'edificio: Classe 3
- Tipologia della Struttura:**
  - Direzione X: A pareti, miste equivalenti a pareti / con pareti non accoppiate
  - Direzione Y: A pareti, miste equivalenti a pareti / con pareti non accoppiate
- Classe di duttilità: MEDIA\* (CD'B\*)
- Minimi di Armatura in assenza di Sisma:
- Calcolo semplificato per siti a bassa sismicità (§7.0): NO
- Irregolarità Tamponamenti in Pianta:**  (highlighted with a red box)
- Rispettare gerarchia resistenze:

- 2) amplificare di un fattore 1,4 gli effetti sismici sugli elementi verticali in quel piano, nel caso di una distribuzione irregolare in altezza degli elementi non strutturali, ad esempio a seguito di una significativa riduzione, ad un piano, delle tamponature;

Pianta/Livello	Quota[m]	Altezza[m]	Rigido	Riduzione Temp.	Collegamento Temp.
Piano Terra	0.00	3.00	<input type="checkbox"/>	1.50	Rigidamente fragili
Fondazione	0.00		<input type="checkbox"/>		

3) esportare un modello precompilato per la verifica delle tamponature non strutturali;



4) eseguire le verifiche dei meccanismi di collasso sismici dei pannelli murari portanti, calcolando la massima accelerazione con gli spettri di piano definiti nella Circolare esplicativa 2019 delle NTC 2018.

**Opzioni Circolare 21/01/2019 n°7**

Escludi nodi confinati in CD "B" e quelli di strutture non dissipative dalla verifica dei nodi [§ C7.4.4.3.1]

Considera effetto del confinamento nelle verifiche dei nodi [§C7.4.4.3.1]

Calcolare q con la [C7.3.1] se lo spettro allo SLV è inferiore allo SLD

Calcolo automatico di q, per murature esistenti, secondo § C8.5.5.1

**Calcolo dei meccanismi di collasso delle pareti murarie con gli spettri di piano [§ C8.7.1.2.1.4]**

[Clicca qui per scaricare EdilUS-CA](#)