

Verifica delle tamponature: alcuni aspetti da non trascurare

In questo articolo esploreremo il meccanismo resistente ad arco e il suo degrado sotto le azioni sismiche, l'importanza delle sollecitazioni da vento e la verifica per azioni di spinta orizzontali lineari. Mostreremo infine uno strumento completo e gratuito per le verifiche automatiche.

(Autori: Ing. Gennj Venturini, Ing. Nicolò Rossetti)



Le Norme Tecniche per le Costruzioni 2018, pongono particolare attenzione al tema degli elementi non strutturali che se non progettati correttamente possono generare collassi e ridurre la sicurezza delle strutture.

Le tamponature, essendo elementi non strutturali, sono soggette alla seguente prescrizione: “La **capacità** degli elementi [...] deve essere maggiore della **domanda** sismica corrispondente a ciascuno degli stati limite da considerare.” [NTC18 §7.2.3.]

In particolare, la domanda sismica viene così valutata:

$$F_a = (S_a * W_a) / q_a \quad [7.2.1]$$

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, corrispondente allo stato limite in esame (v. § 3.2.1);

W_a è il peso dell'elemento;

q_a è il fattore di comportamento dell'elemento.

La valutazione della **capacità**, non esplicitata nelle NTC 2018, verrà approfondita nei paragrafi successivi.

1. Il meccanismo ad arco

Il meccanismo ad arco in una parete di muratura è un principio strutturale che si sviluppa in risposta a carichi laterali, come quelli che possono derivare da sollecitazioni orizzontali. Il comportamento di tale sistema deve essere progettato e verificato per assicurare che le forze sviluppate siano bilanciate dalla resistenza del materiale e dai supporti. In questo contesto, una parete in muratura può essere progettata assumendo lo sviluppo di un arco, che può essere orizzontale o verticale, all'interno dello spessore del muro stesso. Per l'analisi strutturale, è possibile adottare il modello dell'arco a tre cerniere, dove la spinta dell'arco sui supporti e sulla cerniera centrale è assunta agente su un decimo dello spessore del muro come indicato dalla figura 8.3.

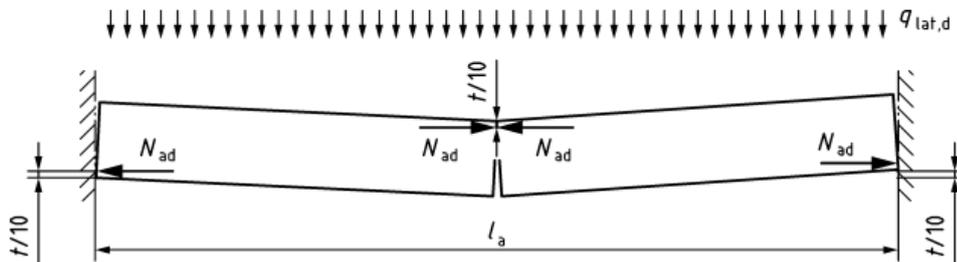
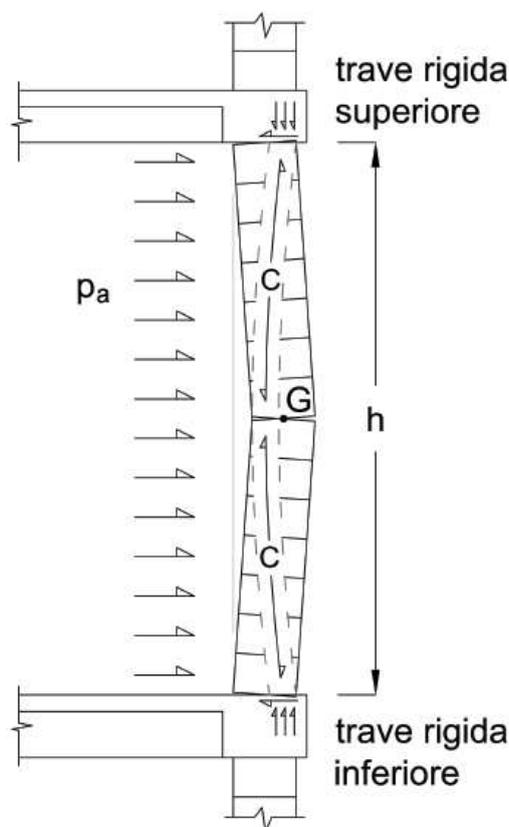


Figure 8.3 — Arch assumed for resisting lateral loads

(@ Eurocodice 6)



(Mosele e Bari, 2011)

I parametri relativi all'altezza dell'arco, alla spinta massima dell'arco per unità di lunghezza e alla resistenza laterale di progetto per unità di area del muro sono definiti all'interno dell'Eurocodice 6.

In conclusione, la determinazione della capacità dell'elemento viene effettuata considerando una striscia di parete con larghezza pari a un metro e altezza corrispondente all'altezza di interpiano.

In particolare, per la valutazione della **capacità** è prevista la seguente formula:

$$q_{lat,d} = 1.2 f_d \frac{r_a t}{l_a^2} = 1.2 f_d \frac{(0.9 t - d_a) t}{l_a^2} \quad [8.19]$$

Nell'ipotesi di snellezza inferiore o pari a 20, si assume che la deflessione dell'arco (d_a) sia pari a 0.

Dunque, secondo questa ipotesi, la formulazione diventa:

$$q_{lat,d} = 0.72 c f_d \frac{t^2}{l_a^2}$$

Dove:

f_d rappresenta la resistenza a compressione di progetto della tamponatura;

r_a rappresenta l'altezza dell'arco ed è pari a $0.9t - d_a$;

d_a rappresenta la deflessione dell'arco;

t rappresenta lo spessore della tamponatura;

l_a rappresenta la lunghezza o l'altezza della tamponatura;

c rappresenta il fattore migliorativo EC6 compreso tra 1 e 1.5.

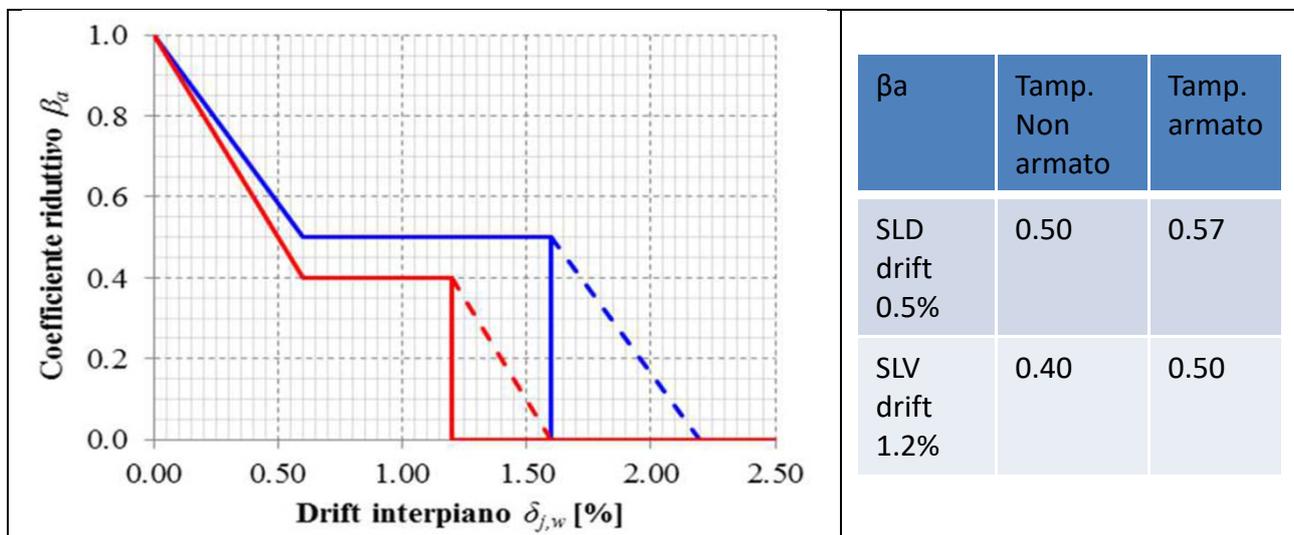
Nel caso di snellezza superiore a 20, non è possibile applicare la formulazione semplificata appena descritta.

2. Il meccanismo ad arco, meccanismi di danneggiamento dei tamponamenti, effetto combinato del danneggiamento nel piano e del conseguente degrado di resistenza fuori piano per azioni sismiche

Per tenere in conto il degrado di resistenza nel meccanismo ad arco si può fare riferimento alla trattazione presente in letteratura; per esempio nella figura successiva sono riportati i risultati ottenuti dagli studi condotti dall'Università di Padova e da CisEdil (ora confluita in **Fornaci Laterizi Danesi**) sulla resistenza degli elementi non strutturali, con particolare attenzione al comportamento ad arco delle pareti.

Tali studi consentono di calibrare la formula presente nell'Eurocodice 6, introducendo un coefficiente che tiene conto del danneggiamento delle tamponature nel piano, e del conseguente degrado di resistenza fuori piano per azioni sismiche, in relazione al drift di interpiano. Pertanto, una volta calcolata la pressione sulla tamponatura generata dall'azione sismica (p_A), questa deve essere confrontata con la pressione resistente della tamponatura (p_R), determinata attraverso la formula del meccanismo ad arco, opportunamente corretta da un coefficiente riduttivo (β_a), definito e calibrato per blocchi di Fornaci Laterizi Danesi, che considera il danneggiamento nel piano, in funzione dello spostamento.

Il fattore di riduzione può essere assunto in funzione del drift di interpiano fino al drift limite SLV. In particolare, per drift compresi tra 0 e il limite SLD, il fattore di riduzione β_a può essere calcolato mediante interpolazione lineare tra 1 per drift = 0 e il valore indicato come massimo fattore di riduzione.



(@ Danesi laterizi)

La formula per calcolare la pressione resistente che tiene conto del degrado di resistenza, dovuto al danneggiamento nel piano della tamponatura, è espressa dalla relazione:

$$p_R = q_{lat,d \text{ degradato}} = 0.72 c \beta_a f_d \frac{t^2}{l_a^2}$$

Il significato dei coefficienti è definito nel paragrafo precedente.

3. L'importanza delle sollecitazioni da vento

Come riportato nell'introduzione, tipicamente quando si pensa alla verifica delle tamponature si immagina l'espulsione per effetto delle azioni sismiche, ma anche le sollecitazioni indotte dal vento possono essere significative, specialmente per **edifici alti che si trovano in zone a bassa sismicità**. Per questo tipo di edifici, infatti, le sollecitazioni sismiche possono essere di modesta entità, ma le azioni da vento possono arrivare anche a 2 KN/m². Un altro aspetto rilevante da tenere in considerazione è il fatto che i coefficienti di sicurezza sul materiale γ_M sono **più cautelativi per le verifiche nelle condizioni non sismiche**: di seguito sono riportati i valori dei coefficienti parziali di sicurezza da attribuire alle tamponature in caso di analisi statiche e dinamiche, come definiti nelle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2018), ai rispettivi capitoli 4 e 7.

Tab. 4.5.II. Valori del coefficiente γ_M in funzione della classe di esecuzione e della categoria degli elementi resistenti

Materiale	Classe di esecuzione	
	1	2
Muratura con elementi resistenti di categoria I, malta a prestazione garantita	2,0	2,5
Muratura con elementi resistenti di categoria I, malta a composizione prescritta	2,2	2,7
Muratura con elementi resistenti di categoria II, ogni tipo di malta	2,5	3,0

(@ NTC 2018)

7.8.1.1 PREMESSA

Le costruzioni di muratura devono essere realizzate nel rispetto di quanto contenuto nelle presenti Norme Tecniche ai §§ 4.5 e 11.10. Il rispetto di tali requisiti consente di classificare le costruzioni in muratura come moderatamente dissipative e quindi appartenenti alla classe di duttilità CD"B".

In particolare, ai predetti paragrafi deve farsi riferimento per ciò che concerne le caratteristiche fisiche, meccaniche e geometriche degli elementi resistenti naturali e artificiali, nonché per i relativi controlli di produzione e di accettazione in cantiere.

Il presente paragrafo divide le costruzioni di muratura in: ordinaria, armata e confinata. Al riguardo si precisa che, per quanto attiene all'acciaio d'armatura, vale tutto quanto specificato dalle presenti Norme Tecniche relativamente alle costruzioni in calcestruzzo armato.

Ai fini delle verifiche di sicurezza, è in ogni caso obbligatorio l'utilizzo del "metodo semiprobabilistico agli stati limite", salvo quanto previsto al § 7.8.1.9.

I coefficienti parziali di sicurezza per la resistenza del materiale forniti nel Capitolo 4 possono essere ridotti del 20% e comunque fino ad un valore non inferiore a 2.

(@ NTC 2018)

4. La verifica per azioni di orizzontali lineari

Le Norme Tecniche per le Costruzioni del 2018, nel paragrafo 3.1.4.3, prevedono che per le verifiche locali debbano essere considerati anche **carichi orizzontali lineari**, non combinati con le altre azioni.

Le azioni orizzontali vanno applicate a 120 cm dal piano di calpestio e tipicamente sono significative per la progettazione dei **parapetti**.

Le verifiche locali riguardano, in relazione alle condizioni d'uso, gli elementi verticali bidimensionali quali i **tramezzi, pareti e tamponamenti esterni**.

Sarebbe necessario quindi indagare la verifica di espulsione dei tamponamenti anche per questo tipo di sollecitazioni, anche se tipicamente è **ampiamente verificata**.

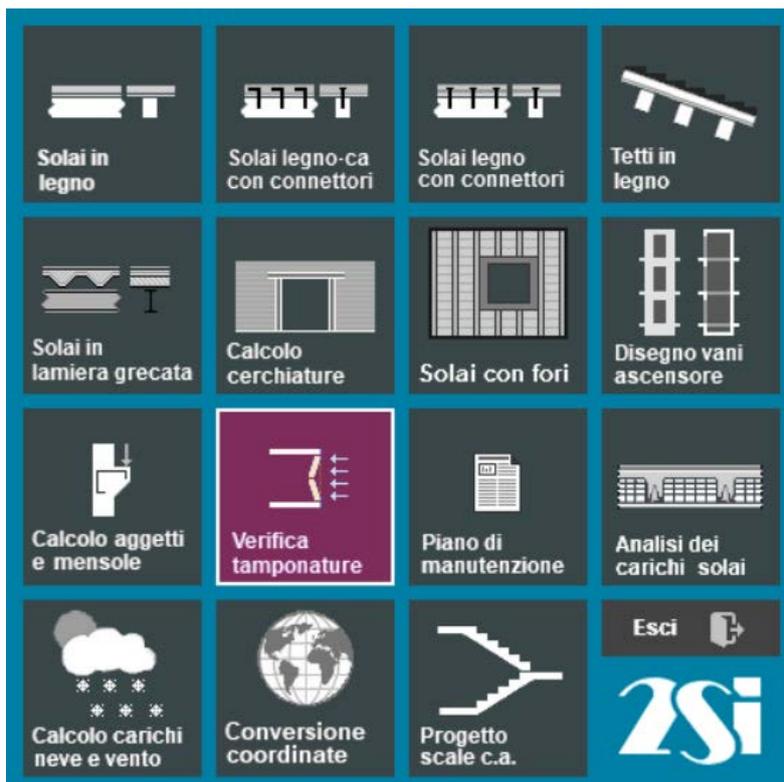
Tab. 3.1.II - Valori dei sovraccarichi per le diverse categorie d'uso delle costruzioni

Cat.	Ambienti	q_k [kN/m ²]	Q_k [kN]	H_k [kN/m]
A	Ambienti ad uso residenziale			
	Aree per attività domestiche e residenziali; sono compresi in questa categoria i locali di abitazione e relativi servizi, gli alberghi (ad esclusione delle aree soggette ad affollamento), camere di degenza di ospedali	2,00	2,00	1,00
	Scale comuni, balconi, ballatoi	4,00	4,00	2,00
B	Uffici			
	Cat. B1 Uffici non aperti al pubblico	2,00	2,00	1,00
	Cat. B2 Uffici aperti al pubblico	3,00	2,00	1,00
	Scale comuni, balconi e ballatoi	4,00	4,00	2,00
C	Ambienti suscettibili di affollamento			
	Cat. C1 Aree con tavoli, quali scuole, caffè, ristoranti, sale per banchetti, lettura e ricevimento	3,00	3,00	1,00
	Cat. C2 Aree con posti a sedere fissi, quali chiese, teatri, cinema, sale per conferenze e attesa, aule universitarie e aule magne	4,00	4,00	2,00
	Cat. C3 Ambienti privi di ostacoli al movimento delle persone, quali musei, sale per esposizioni, aree d'accesso a uffici, ad alberghi e ospedali, ad atri di stazioni ferroviarie	5,00	5,00	3,00
	Cat. C4. Aree con possibile svolgimento di attività fisiche, quali sale da ballo, palestre, palcoscenici.	5,00	5,00	3,00
	Cat. C5. Aree suscettibili di grandi affollamenti, quali edifici per eventi pubblici, sale da concerto, palazzetti per lo sport e relative tribune, gradinate e piattaforme ferroviarie.	5,00	5,00	3,00
	Scale comuni, balconi e ballatoi	Secondo categoria d'uso servita, con le seguenti limitazioni		
	≥ 4,00	≥ 4,00	≥ 2,00	

(@ NTC 2018)

5. Verifiche automatiche di espulsione delle tamponature

2S.I. sviluppa PRO_ILC, software composto da 15 moduli pensati per supportare i professionisti nell'ambito della progettazione degli interventi locali e dei particolari costruttivi. Tra i moduli inclusi all'interno di PRO_ILC, per esempio, si trovano quelli dedicati al calcolo delle cerchiature in pareti e solai, al calcolo dei solai e tetti in legno e quelli dedicati alla verifica delle tamponature.



(@ 2 S.I.)

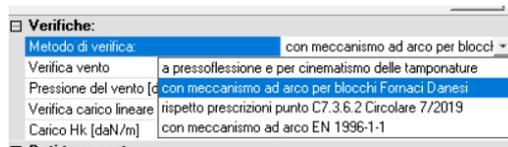
In particolare, tra questi, **PRO_SEC** è il modulo dedicato alla verifica delle tamponature in muratura, e permette ai progettisti di effettuare le verifiche esaminate in questo articolo.

Questo modulo consente di eseguire il calcolo e la verifica a espulsione delle tamponature, analizzando la loro capacità di resistere alle sollecitazioni orizzontali dovute al vento o ai carichi orizzontali lineari e alle sollecitazioni sismiche.

PRO_SEC si presenta con una interfaccia intuitiva e di facile utilizzo.

Il modulo prevede quattro diverse modalità di verifica:

- **Verifica a pressoflessione e per cinematismo:** la capacità dei tamponamenti viene calcolata come previsto a paragrafo 7.8.2.2.3 ed è possibile selezionare la modalità di verifica (pressoflessione con carico concentrato, pressoflessione con carico distribuito e/o cinematismo con cerniere plastiche).



- **Con meccanismo ad arco per blocchi Fornaci Danesi:** il calcolo è il risultato di un progetto di ricerca svolto da Università degli Studi di Padova e CisEdil (ora confluita in **Fornaci Laterizi Danesi**).
- **Rispetto prescrizioni punto C7.3.6.2 Circolare 7/2019:** in questo caso il software non effettua le verifiche poiché non richieste come da Circolare C7.3.6.2:
 - o **“Gli elementi costruttivi senza funzione strutturale il cui danneggiamento può provocare danni a persone, devono essere verificati, insieme alle loro connessioni alla struttura, per l'azione sismica corrispondente a ciascuno degli stati limite considerati.” (NTC al §7.2.3)**
 - o **“La prestazione, consistente nell'evitare la possibile espulsione delle tamponature sotto l'azione della Fd, si può ritenere conseguita con l'inserimento di leggere reti da intonaco sui due lati della muratura, collegate tra loro ed alle strutture circostanti a distanza non superiore a 500 mm sia in direzione orizzontale sia in direzione verticale, ovvero con l'inserimento di elementi di armatura orizzontale nei letti di malta, a distanza non superiore a 500 mm”**
- **Con meccanismo ad arco EN 1996-1-1:** viene applicato l'Eurocodice 6 con fattore riduttivo per danno da drift personalizzabile dall'utente, che deve essere opportunamente giustificato in relazione al tipo di tamponamento.

È poi possibile selezionare se effettuare le verifiche anche per l'effetto delle azioni del vento e del carico lineare orizzontale e assegnare i valori delle sollecitazioni.

PRO_SEC permette, infine, la generazione automatica della relazione riportante i risultati delle verifiche, le ipotesi di calcolo e le specifiche progettuali.

PRO_SEC - Verifica espulsione tamponature - build 2024.11.0020 - [file: PareteX.pse]

$A_g = 0,050 \text{ g}$, $F_0 = 2,658$, $T_c^* = 0,280 \text{ s}$
 Accelerazione massima
 $T_1 > 1 \text{ s} \Rightarrow a = 0,3$, $b = 1$, $a_0 = 2,5$
 $T_a < a T_1$
 $S_a = \alpha \cdot S (1 + Z/H) [a_0 / (1 + (a_0 - 1)(1 - T_a / a T_1)^2)] = 0,184$
 Forza sismica orizzontale agente nel baricentro dell'elemento strutturale:
 $F_a = (S_a W_a) / q_a = 82,61 \text{ daN}$

Verifica con meccanismo ad arco con degrado di resistenza secondo paragrafo 8.4.3 EN 1996-1-1:2022.
 La verifica confronta le pressioni sollecitanti indotte dal sisma con le pressioni resistenti che la tamponatura sviluppa attraverso il meccanismo ad arco. La verifica considera anche il degrado di resistenza dovuto al danneggiamento nel piano della tamponatura dipendente dallo spostamento.
 Pressione sulla parete causata dall'azione sismica.
 $p_a = F_a / (h L) = 0,0028 \text{ daN/cm}^2$
 Fattore riduttivo $\beta_s = 0,40$ con drift di interpiano = 1,00 %
 Resistenza di progetto a compressione $f_d = 25,00 \text{ daN/cm}^2$
 Pressione resistente del meccanismo ad arco.
 $p_r = 0,72 \beta_s f_d (t/h)^2 = 0,0720 \text{ daN/cm}^2$
 $p_a / p_r = 0,0382 < 1 \text{ Ok}$

Verifica di resistenza al vento.
 La verifica confronta la pressione del vento con la pressione resistente che la tamponatura sviluppa attraverso il meccanismo ad arco.
 Pressione del vento $p_v = 0,0200 \text{ daN/cm}^2$
 Resistenza di progetto a compressione $f_d = 16,67 \text{ daN/cm}^2$
 Pressione resistente del meccanismo ad arco.
 $p_r = 0,72 f_d (t/h)^2 = 0,1200 \text{ daN/cm}^2$
 $p_v / p_r = 0,1667 < 1 \text{ Ok}$

Verifica di resistenza a carico lineare orizzontale.
 La verifica confronta la pressione causata da un carico lineare orizzontale posto a 120 cm dalla base con la pressione resistente che la tamponatura sviluppa attraverso il meccanismo ad arco.
 Carico orizzontale $H_k = 1,0 \text{ daN/cm}$
 Pressione sollecitante.
 $p_h = H_k L / (h L) = 0,0033 \text{ daN/cm}^2$
 Resistenza di progetto a compressione $f_d = 16,67 \text{ daN/cm}^2$
 Pressione resistente del meccanismo ad arco.
 $p_r = 0,72 f_d (t/h)^2 = 0,1200 \text{ daN/cm}^2$
 $p_h / p_r = 0,0278 < 1 \text{ Ok}$

Verifiche:

Metodo di verifica:	con meccanismo ad arco EN 1996-1-1
Verifica vento	<input checked="" type="checkbox"/>
Pressione del vento [daN/mq]	200.0
Verifica carico lineare orizzontale	<input checked="" type="checkbox"/>
Carico Hk [daN/m]	100.0

Dati tamponatura:

Altezza parete h (cm)	300.0
Spessore parete t (cm)	30.0
Quota baricentro parete Z (cm)	8000.0
Altezza edificio H (cm)	9300.0
Massa volumica [kg/cm3]	0,00100
Modulo elastico Em [daN/cm2]	25000.0
Resistenza caratteristica fk [daN/cm2]	50.0
Coef. sicurezza Gamma M	3.00
Coef. sicurezza Gamma M Sism.	2.00
Fattore migliorativo EC6 (formula 8.18)	1.00

Dati sismici:

Località	MILANO
Classe d'uso	II - costruzioni il cui uso preveda normal
Categorie di sottosuolo	D - depositi di terreni a grana grossa sc
Categoria topografica	T1 - superficie pianeggiante, pendii e ril
Fattore di comportamento qa	2.00
Periodo proprio dell'edificio T1	Utente
Periodo proprio definito dall'utente T1 (s)	1.77000
Drift interpiano limite per SLD (%)	0.600
Drift interpiano limite per SLV (%)	1.200
Drift interpiano SLV (%)	1.000
Fattore riduttivo per danno da drift	0.40
Normativa di riferimento	NTC 2018 - Circolare n. 7/2019

(@ 2 S.I.)

PRO_SEC Verifica espulsione tamponature è **gratuito**, compreso anche nelle versioni free di PRO_SAP sia Entry, che e-Time che Startup, scaricabili da [questo link](#).

Si ringrazia l'Ing. Luca Barbieri di Fornaci laterizi Danesi per il prezioso supporto nello sviluppo di PRO_SEC e nella revisione di questo articolo.