

Criteri di progettazione sismica delle tamponature in muratura di laterizio

Cil 183 – Nel panorama nazionale e internazionale, le **tamponature in muratura di laterizio** rappresentano uno dei sistemi costruttivi più utilizzati per la realizzazione di **chiusure esterne in edifici con struttura a telaio o mista telaio-pareti**, non solo grazie alle buone proprietà meccaniche della muratura in blocchi in laterizio, ma anche per le **ottime prestazioni termiche e acustiche**, soprattutto nel caso di pareti di medio-alto spessore (maggiore di 20-25 cm).

L'attenzione del presente articolo è principalmente rivolta a tipologie di tamponamento realizzate in muratura ordinaria in completa aderenza con trave/pilastrini a essi adiacenti e successivamente alla completa maturazione degli stessi se realizzati in **calcestruzzo armato**, sebbene venga anche fatto cenno a **sistemi innovativi di tipo "duttile"**, quali tamponamenti a giunti scorrevoli/deformabili.

Per l'importanza che rivestono all'interno dell'edificio ai fini della sicurezza e/o incolumità delle persone in conseguenza di un loro eventuale danneggiamento/collasso, le pareti di tamponamento di muratura in blocchi, come altri elementi non strutturali, **devono essere opportunamente verificate per garantire la loro stabilità sia ai sovraccarichi laterali statici e alle forze del vento sia alle azioni sismiche.**

Tuttavia, le vigenti **Norme Tecniche delle Costruzioni del 2018** (Ntc2018, [1]), seppur con qualche novità e miglioramento rispetto alle precedenti Norme (Ntc 2008, [2]), non sembrano affrontare e coprire in modo esaustivo alcuni aspetti chiave riguardanti la progettazione e la verifica strutturale delle tamponature di muratura in blocchi di laterizio. Basti pensare che **nell'attuale norma non è presente alcun criterio per il calcolo della resistenza fuori piano delle tamponature.**

In questo articolo, oltre alla descrizione delle indicazioni normative delle Ntc 2018 e alla messa in evidenza dei punti di novità rispetto alle precedenti Ntc 2008, si intendono fornire specifici approfondimenti su alcuni aspetti importanti che risultano carenti nelle attuali norme, in particolare nei riguardi dei **criteri di**



verifica degli spostamenti interpiano e di resistenza delle tamponature nei confronti delle azioni fuori piano.

A supporto della trattazione viene fatto costante riferimento ai risultati di ricerche numeriche e sperimentali svolte negli ultimi 10 anni, molte delle quali attivate e finanziate dall'industria dei laterizi.

Tamponature ai sensi delle Ntc2018

Definizione delle tamponature e delle verifiche da svolgere | Le Ntc2018 definiscono **elementi non strutturali** 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. Per questi elementi, **la capacità deve risultare maggiore della domanda sismica corrispondente a ciascuno degli stati limite da considerare.**

Chiaramente **le tamponature di muratura in blocchi di laterizi fanno parte di questa categoria** di elementi e, specie nei casi di murature robuste (spessori superiori a 20-25 cm), influiscono indubbiamente sul comportamento laterale della struttura.

Risulta dunque necessario condurre verifiche di sicurezza come specificato nel seguito su tutte le tamponature e i tramezzi, indipendentemente dal loro spessore, laddove invece, secondo le Ntc2008, era possibile escludere le pareti interne di spessore non superiore a 100 mm, indicazione non più presente nelle Ntc2018.

Questa scelta appare peraltro ragionevole per il fatto che le pareti sottili possono risultare **maggiormente vulnerabili alle azioni sismiche** rispetto a tamponature con spessori maggiori, senza che si possa tuttavia escludere il rischio per l'incolumità delle persone in conseguenza di un loro eventuale collasso.

Compiti delle varie figure professionali | Un importante aspetto di novità introdotto nelle Ntc2018 riguarda la definizione e i compiti delle varie figure professionali nel processo di progettazione ed esecuzione delle tamponature. Al **§ 7.2.3 delle Ntc 2018**, la norma introduce una **distinzione tra elementi non strutturali costruiti in cantiere e quelli assemblati in cantiere.**

Quando gli **elementi non strutturali sono costruiti in cantiere**, ed è questo



chiaramente il caso delle tamponature di muratura in blocchi, è compito del progettista della struttura individuare la domanda e progettare la capacità in accordo a formulazioni di comprovata validità ed è compito del direttore dei lavori verificarne la corretta esecuzione.

Quando invece gli **elementi non strutturali sono assemblati in cantiere**, per esempio nel caso di sistemi divisorii a secco, 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.

Dunque, mentre il **direttore dei lavori deve sempre garantire il controllo dell'esecuzione o dell'assemblaggio dei sistemi in cantiere**, il progettista, nel caso di realizzazione di tamponature di muratura in blocchi ha il compito di effettuare le verifiche di sicurezza andando a calcolare sia la domanda sia la capacità, mentre nel caso di elementi assemblati ha il solo compito di calcolare la domanda, lasciando al fornitore/installatore la valutazione della capacità. Questa ultima situazione appare tuttavia non priva di criticità rispetto agli elementi costruiti in cantiere (per cui il progettista mantiene il controllo dei calcoli con una procedura più lineare e affidabile); infatti, la responsabilità della sicurezza "strutturale" tende a spostarsi in maniera evidente sull'**installatore**, che deve fornire informazioni in merito alla stabilità degli elementi, e sul direttore dei lavori, che oltre al controllo esecutivo deve anche accertare il metodo di valutazione della capacità proposto dall'installatore o addirittura calcolare in prima persona la capacità nel caso in cui l'installatore non ne abbia le competenze.

Approccio per la progettazione e la verifica sismica delle norme tecniche

L'approccio adottato nelle norme tecniche per la progettazione e la verifica sismica di tamponamenti è illustrato sinteticamente in figura 1. Tale approccio è anche in linea con l'**Eurocodice 8** [3]. **Le verifiche da condurre si dividono in funzione dello stato limite da considerare.**

In prima battuta è necessario effettuare delle **verifiche di deformazione interpiano allo Stato Limite di Danno** (Sld), confrontando la domanda di spostamento in termini di drift nel piano della parete (rapporto tra spostamento orizzontale e altezza di piano) con i valori di capacità deformativa funzione del tipo di tamponatura.

La seconda verifica riguarda le **azioni fuori piano delle tamponature**, che



viene svolta **allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (Slv)** confrontando, per esempio in termini di pressione equivalente, l'azione applicata sui pannelli murari con la loro resistenza.

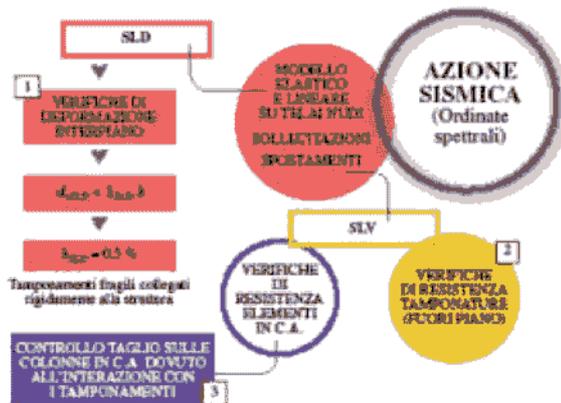


Figura 1. Approccio progettuale di verifica delle tamponature per azioni sismiche secondo le Ntc 2018.

Le norme nazionali forniscono informazioni per valutare le azioni fuori piano (in parte nelle Ntc2018, in parte nella Circolare esplicativa [4]), tuttavia non indicano come valutare la resistenza del pannello.

Per compensare tale criticità, in questo articolo verrà esposto un criterio per la valutazione della resistenza di pannelli murari alle azioni fuori piano basato sulla teoria del meccanismo ad arco verticale, in linea con quanto indicato nell'**Eurocodice 6** [5].

Infine, oltre alle consuete verifiche in termini di resistenza allo Slv sugli elementi strutturali in calcestruzzo armato (travi, pilastri, pareti, nodi), è consigliabile anche **verificare gli effetti locali prodotti dalla spinta della tamponatura sui pilastri adiacenti a essa**, sebbene non siano esplicitamente prescritte nelle Ntc (ma lo sono nell'Ec8).

Su questo argomento le norme nazionali sono carenti, ma è possibile far



riferimento a quanto indicato nell'Ec8. È anche **necessario valutare eventuali irregolarità in pianta e in elevazione nella disposizione delle tamponature**, come previsto nelle Norme e discusso nel seguito.

È utile sottolineare che la valutazione degli spostamenti allo Sld e delle sollecitazioni sugli elementi strutturali allo Slv viene normalmente effettuata con l'**esecuzione di analisi elastiche e lineari** (statiche equivalenti o dinamiche multimodali con spettro di risposta) **su un modello strutturale "nudo" dell'edificio**, costituito cioè solo dagli elementi strutturali in calcestruzzo armato (travi, pilastri, nodi, pareti), trascurando la rigidità e la resistenza dei tamponamenti e dei tramezzi, che vengono considerati solo per il loro contributo in peso e massa; questo modo di operare, sebbene non sia l'unico possibile, è comune all'attuale pratica progettuale, oltre ad essere in conformità alle Ntc 2018 e all'Ec8. In seguito, vengono approfondite nel dettaglio le verifiche sopra esposte.

Verifiche di deformazione nel piano – verifiche di rigidità

Le verifiche di deformazione nel piano vengono definite nelle Ntc 2018 come **"verifiche di rigidità"** e si ritengono **soddisfatte qualora la deformazione degli elementi strutturali non produca sulle tamponature danni tali da rendere la costruzione temporaneamente inagibile**.

Nel caso delle costruzioni civili e industriali, qualora la temporanea inagibilità sia dovuta a spostamenti di interpiano eccessivi, questa condizione si può ritenere soddisfatta quando gli spostamenti di interpiano ottenuti dall'analisi in presenza dell'azione sismica di progetto (fig. 2) siano inferiori ai limiti indicati nel seguito.

Le Ntc2018 (§ 7.3.6.1 – verifiche di rigidità (Rig)) riportano che, per le **classi d'uso I e II** (costruzioni comuni e normale affollamento) si fa riferimento agli spostamenti calcolati con uno spettro di risposta allo Sld e che, per tamponature collegate rigidamente alla struttura che interferiscono con la deformabilità della stessa, devono essere rispettate le seguenti disuguaglianze:

$$q \cdot dr \leq 0,0050 \cdot h \text{ per tamponature fragili (1)}$$

$$q \cdot dr \leq 0,0075 \cdot h \text{ per tamponature duttili (2)}$$

in cui **dr è lo spostamento di interpiano**, cioè la differenza tra gli spostamenti del solaio superiore e del solaio inferiore calcolati sul modello di calcolo non



comprensivo delle tamponature, **h è l'altezza del piano e q è il fattore di comportamento per lo stato limite considerato** (generalmente posto pari a 1.0 nelle verifiche agli stati limite di esercizio).

Per le **classi d'uso III e IV** (strutture con funzioni rilevanti e strategiche, come per esempio, giusto per citarne alcune, scuole e ospedali) ci si riferisce allo **Stato Limite di Operatività (Slo)**, e gli spostamenti d'interpiano devono essere inferiori ai 2/3 dei limiti in precedenza indicati. I

in caso di coesistenza di diversi tipi di tamponamento nel medesimo piano della costruzione, deve essere assunto il limite di spostamento più restrittivo. Nelle Ntc2018 sono dunque presenti alcuni importanti elementi di novità rispetto alle norme precedenti. Il primo riguarda l'**introduzione della definizione di tamponamento fragile o duttile**.

È opinione degli autori, anche in virtù delle ulteriori indicazioni presenti nella Circolare, che **le tamponature in aderenza alla struttura di tipo duttile siano quelle che riescono a raggiungere capacità deformative nel piano significative senza o con limitati danneggiamenti della muratura**, come per esempio le soluzioni realizzate con una suddivisione del corpo murario in laterizio in sotto-pannelli orizzontali attraverso giunti scorrevoli ideati dall'Università di Pavia (Morandi et al., 2015 [6], fig. 3) o giunti deformabili proposti dall'Università di Padova (Verlato et al., 2016 [7]).

Le tipologie in muratura ordinaria in aderenza al telaio rientrano nella categoria delle tamponature cosiddette fragili, sebbene alcune tipologie, quali per esempio quelle in laterizio "robuste"/di medio-grande spessore, possiedano una capacità deformativa tutt'altro che trascurabile (Morandi et al., 2017 [8]).

Un secondo aspetto importante riguarda il chiarimento nella norma che i limiti sopra esposti (per es., 0.005h) si riferiscono a un modello "nudo", in cui le tamponature possono essere considerate solo in termini di masse e pesi.

La modellazione esplicita delle tamponature per una valutazione delle domande di spostamento della struttura, per esempio con l'inserimento nel modello strutturale del telaio di puntoni lungo le due diagonali con una determinata rigidità/resistenza, è ammessa ma non obbligatoria e, come riportato al **§ 7.2.6 delle Ntc2018** in analogia all'Ec8, deve essere presa in considerazione solo qualora abbia effetti negativi ai fini della sicurezza, per esempio nel caso forti irregolarità in pianta nella distribuzione delle



tamponature.

Si vuole inoltre sottolineare che **la modellazione esplicita delle tamponature in un'analisi elastica risulta particolarmente complessa** a causa della difficoltà nel definire una rigidezza equivalente dei puntoni che caratterizzano la tamponatura in corrispondenza delle richieste di spostamento ai diversi stati limite.

Un possibile procedimento più abbordabile a livello professionale che tenga conto dell'effetto irrigidente delle tamponature e della conseguente diminuzione delle deformazioni rispetto a quelle di un telaio nudo, è stato recentemente proposto da **Hak et al.** (2018) [9].

Tale metodo, applicabile a strutture e distribuzioni di tamponature regolari, si basa sul calcolo degli spostamenti di un telaio tamponato partendo dagli spostamenti ottenuti dal telaio "nudo", considerando a posteriori la riduzione dei drift in funzione di un semplice parametro, ottenibile con un foglio di calcolo, che tiene conto del rapporto relativo tra la rigidezza di piano fornita dalle tamponature e quella del telaio nudo. Tale metodo, descritto dettagliatamente in Morandi et al., 2017, è stato anche inserito in uno degli annessi dell'attuale bozza del nuovo Ec8 (pr En1998-1-2 2019:3 [10]).

Verifiche di resistenza fuori piano delle tamponature

Le verifiche di resistenza fuori piano delle tamponature devono essere svolte allo Slv, confrontando la pressione applicata sui pannelli murari con la loro resistenza.

