

Gli effetti delle alte temperature sulla risposta sismica degli edifici in muratura

AUTORI: Antonio Formisano, Ricercatore Università di Napoli "Federico II"

Francesco Fabbrocino, Ricercatore Università Telematica Pegaso

Giuseppe Iazzetta, Ingegnere

Giuseppe Marino, Ingegnere

1. INTRODUZIONE

L'attività di ricerca proposta nella memoria è stata effettuata con lo scopo di valutare la risposta sismica di edifici in muratura di tufo precedentemente danneggiati da incendio. È ben noto che gli effetti di un incendio su una struttura sono molteplici. I più importanti sono rappresentati dagli sforzi di coazione che nascono in strutture iperstatiche a causa delle dilatazioni termiche impedito e la variazione delle proprietà meccaniche del materiale al variare della temperatura raggiunta. Al fine di effettuare una valutazione semplificata degli effetti dell'incendio sulla capacità sismica residua degli edifici in muratura, sono state effettuate una serie di analisi statiche non lineari facendo variare le caratteristiche meccaniche del materiale con la temperatura. Le proprietà utilizzate sono state ottenute a valle di una campagna di indagini sperimentali eseguite dagli Autori su provini di tufo soggetti a riscaldamento in forno sotto temperature via via crescenti.

Tramite l'utilizzo del software di calcolo strutturale 3Muri, considerando differenti valori di temperatura di esposizione al fuoco ($T= 20^{\circ}\text{C}$, 200°C , 400°C , 600°C , 800°C) e con riferimento ad un edificio le cui caratteristiche possono in linea generale essere assimilate a quelle mediamente riscontrabili nel patrimonio edilizio italiano esistente, sono state ottenute le curve forza-spostamento ed il danneggiamento indicativo del comportamento globale sotto azione sismica in condizioni post-incendio dell'organismo strutturale esaminato.

2. INDAGINI SPERIMENTALI SUL MATERIALE

La campagna di indagini sperimentali effettuate dagli Autori ha avuto come obiettivo la valutazione delle prestazioni meccaniche di blocchi in muratura di tufo soggette ad elevate temperature di esposizione. Gli obiettivi dello studio consistono nella valutazione sperimentale delle proprietà meccaniche (modulo elastico e resistenza a compressione) del materiale muratura con la temperatura e nella conseguente definizione di una legge di deterioramento meccanico. Tali obiettivi sono stati perseguiti utilizzando un forno di riscaldamento nel quale, inserendo all'interno cubetti di tufo di dimensioni $7 \times 7 \times 7$ cm, è stata prodotta la simulazione

fisica dell'esposizione della muratura alle alte temperature (Fig. 1). Successivamente sono state condotte prove di caratterizzazione meccanica su blocchi esposti e non esposti al riscaldamento. In Figura 2 si riportano i risultati delle prove sperimentali eseguite sui blocchi di tufo testati in termini di leggi di decadimento del modulo di Young e della resistenza a compressione media al variare della temperatura.

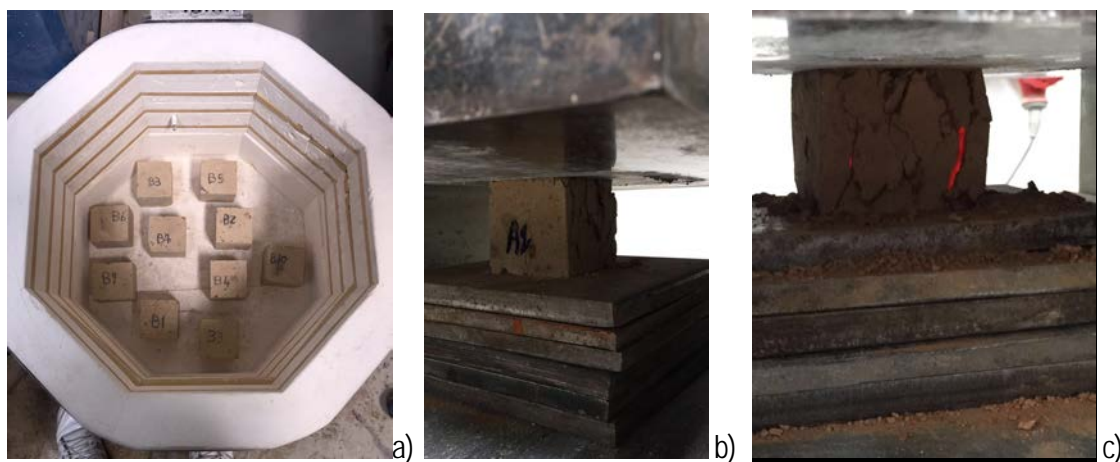


Figura 1 – Disposizione di alcuni provini nel forno di riscaldamento (a) ed esecuzione di prove di compressione su campioni soggetti a differenti condizioni di temperatura (b, c).

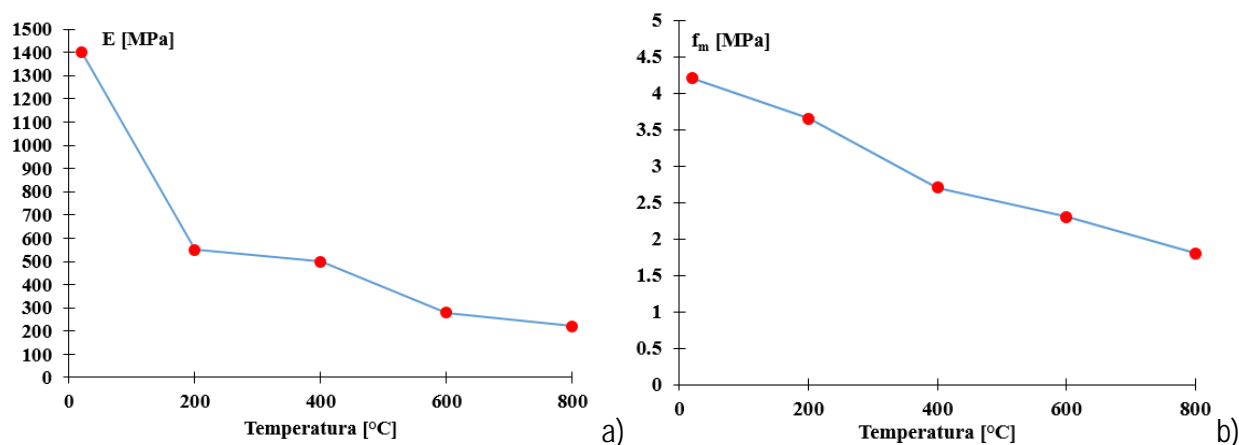


Figura 2 – Variazione media sperimentale del modulo di Young (a) e della resistenza media a compressione (b) di blocchi di muratura di tufo con la temperatura di esposizione.

3. ANALISI NUMERICHE E RISULTATI

Per studiare gli effetti delle alte temperature sulla risposta sismica residua di edifici in muratura, sono state effettuate analisi statiche non lineari tramite il software di calcolo 3 Muri su un edificio avente caratteristiche tipicamente riscontrabili in fabbricati economico-popolari del panorama edilizio costruttivo Italiano. Tale software permette la modellazione non lineare di edifici in muratura, tramite la tecnica di modellazione ai macro-elementi (metodo FME – Frame by Macro Element), che schematizza la struttura attraverso un insieme di telai equivalenti collegati da impalcati per i quali è possibile considerare l'effettiva rigidità nel piano. In Figura 3 si riportano le immagini rappresentative del modello ai macro-elementi dell'edificio in muratura oggetto di analisi.

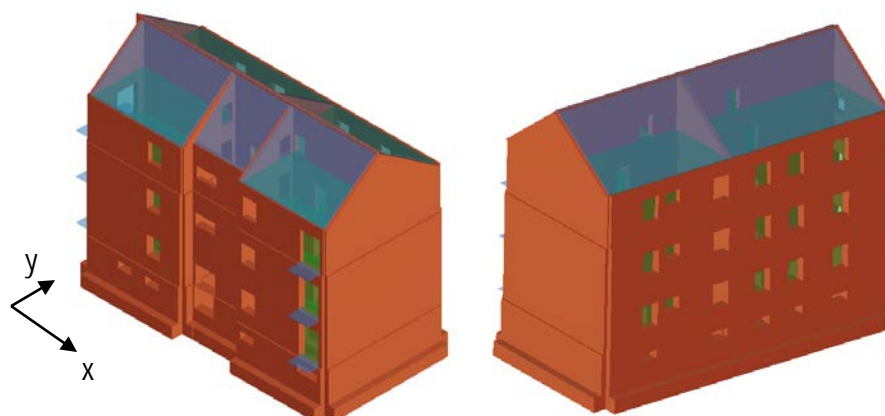


Figura 3 – Modello dell'edificio in muratura oggetto di studio.

La modellazione dell'edificio è stata realizzata mediante l'inserimento di pareti che vengono discretizzate in macroelementi, rappresentativi di maschi murari e fasce di piano deformabili, mentre i nodi rigidi di collegamento tra maschi e fasce sono indicativi di porzioni di muratura tipicamente meno soggette al danneggiamento sismico. L'impiego di tali macro-elementi permette di riconoscere il meccanismo di danno nei pannelli murari (taglio diagonale, taglio da scorrimento e presso-flessione), in modo da percepire la dinamica del danneggiamento strutturale in caso di terremoto. Le pareti murarie sono realizzate con blocchi di tufo avente spessore di 60 cm al livello più basso, che si riduce di 10 cm a ciascun livello fino a raggiungere il valore di 30 cm all'ultimo livello. Gli orizzontamenti sono costituiti da solai latero-cementizi aventi soletta con spessore di 4 cm.

L'effetto del danneggiamento dall'esposizione ad alte temperature sugli elementi strutturali è stato tenuto in conto andando a modificare le proprietà meccaniche della muratura di tufo secondo le leggi di decadimento delle proprietà meccaniche fornite dai risultati sperimentali. In particolare, le proprietà meccaniche sono state modificate in modo tale da analizzare l'edificio in muratura soggetto ad uno scenario di incendio di tipo globale.

In Figura 4 sono indicati gli andamenti delle curve forza-spostamento ricavate dalle analisi, sia per la direzione X che per la direzione Y, al variare dei valori di temperatura analizzati.

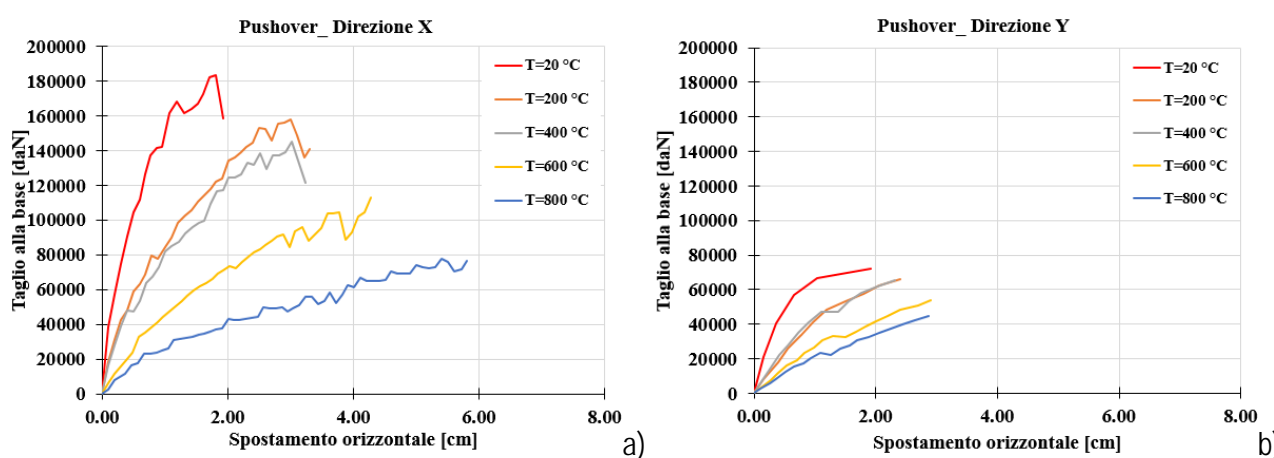


Figura 4 – Curve di pushover dell'edificio oggetto di studio al variare della temperatura: a) Direzione X; b) Direzione Y.

Le curve di risposta dell'edificio, in direzione X e Y, mostrano come l'effetto del danneggiamento da incendio modifichi la risposta globale dell'edificio. Si può osservare infatti come all'aumentare della temperatura raggiunta, si ha un abbattimento della capacità in termini di resistenza, sia in direzione X che in direzione Y. Inoltre si ha un abbattimento in termini di rigidezza complessiva, fenomeno coerente con la legge di decadimento sperimentale delle proprietà meccaniche della muratura di tufo al variare della temperatura. Inoltre, osservando le curve di risposta a $T=200^{\circ}\text{C}$ e $T=400^{\circ}\text{C}$ si nota, sia in direzione X che in direzione Y, una lieve diminuzione della capacità in termini di resistenza della struttura, mentre in termini di rigidezza presentano pressoché gli stessi andamenti. Ciò è in accordo con la legge di decadimento sperimentale del modulo di Young con la temperatura (Fig. 1 a), dove per valori di temperatura pari a 200°C e 400°C si riscontrano valori del modulo di Young molto simili tra loro.

Il software, inoltre, restituisce le tipologie dei meccanismi di rottura che si instaurano nei singoli pannelli murari.

A titolo esemplificativo vengono riportate in Figura 5 le mappature di danno dell'edificio analizzato per valori di temperatura di $T=20^{\circ}\text{C}$ e $T=600^{\circ}\text{C}$, sia in direzione X che in direzione Y.

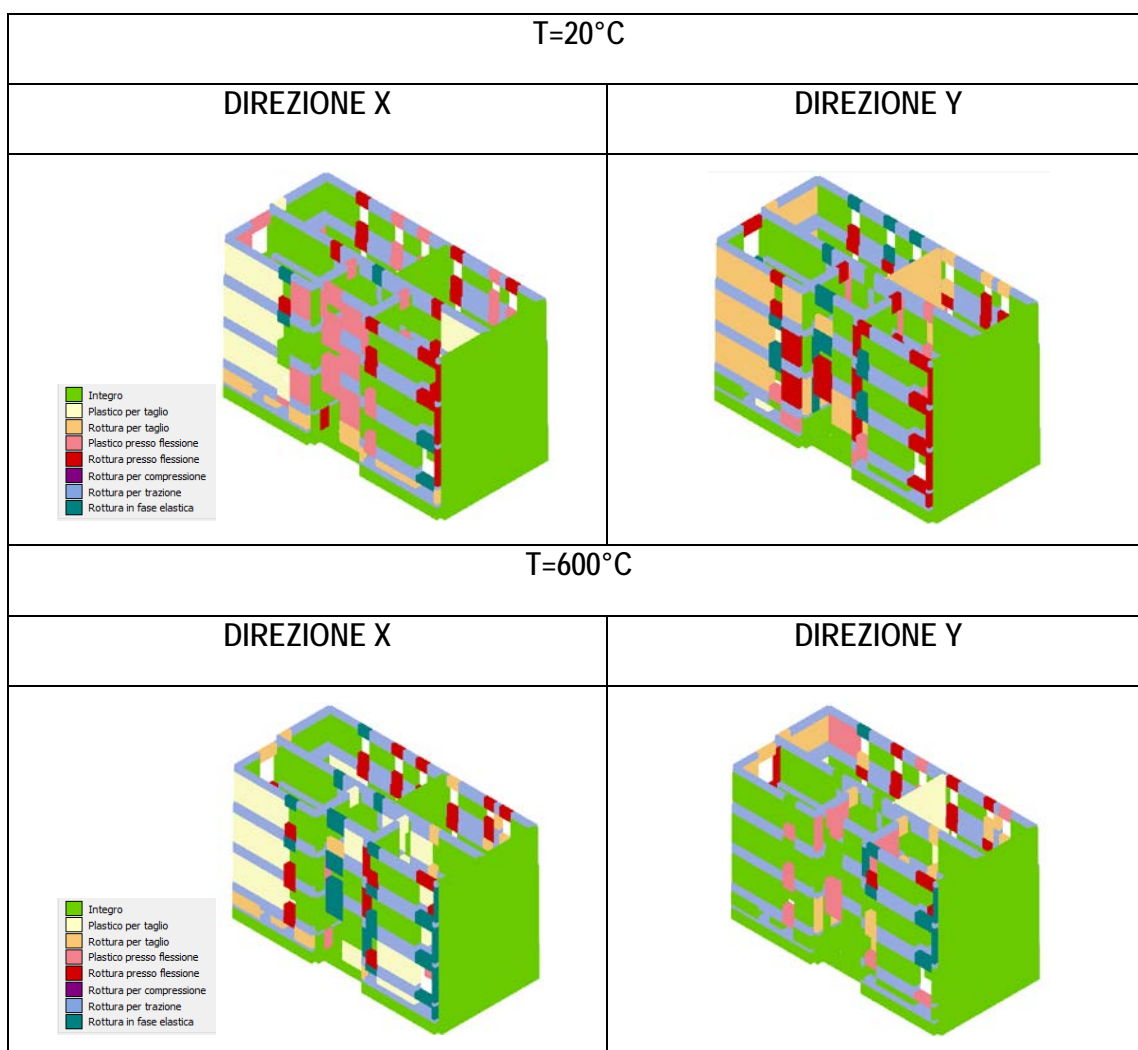


Figura 5 – Mappature di danneggiamento dell'edificio analizzato a $T=20^{\circ}\text{C}$ e $T=600^{\circ}\text{C}$.

Come si può osservare dalle figure sopra riportate, i meccanismi che maggiormente si verificano all'interno della struttura sono collassi per taglio ed a pressoflessione dei pannelli murari e rotture in fase elastica per le fasce. Inoltre si evince come il danneggiamento risulti più esteso nell'edificio a temperatura ambiente, in quanto a 600°C la drastica riduzione delle proprietà meccaniche non consente ai pannelli murari di esibire significative riserve in campo post-elastico.

Un ulteriore confronto può essere effettuato andando a valutare i rapporti degli indici di sicurezza sismica allo SLU (α_{SLU}) nelle due direzioni di analisi in funzione della temperatura. In particolare sono stati calcolati, per ogni valore di temperatura analizzata, i rapporti tra il fattore α_{SLU} corrispondente ad un generico valore di temperatura ed il medesimo fattore valutato a temperatura ambiente con riferimento ad entrambe le direzioni di analisi. Gli andamenti ricavati sono stati riportati nel grafico di confronto illustrato in Figura 6, dove vengono indicati anche agli andamenti sperimentali del modulo di Young e della resistenza a compressione media adimensionalizzati rispetto ai valori di riferimento calcolati a temperatura ambiente.

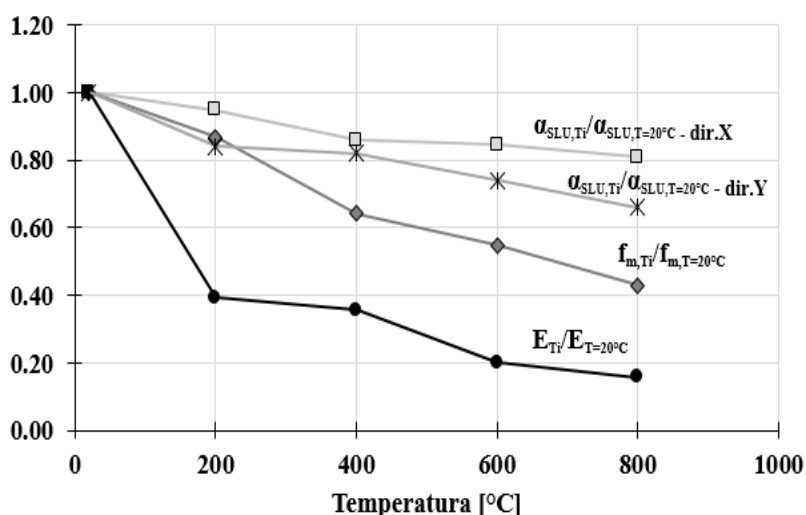


Figura 6 – Grafici finali di confronto.

Osservando tali andamenti, si può riscontrare nel campo di variazione delle temperature analizzate, una riduzione massima delle prestazioni sismiche residue rispetto a quelle valutate ad una temperatura di 20°C di circa il 20% in direzione X e di circa il 35% in direzione Y.

Confrontando gli andamenti di tali coefficienti con le leggi di decadimento adimensionalizzate delle proprietà meccaniche del materiale, si può constatare come da un punto di vista globale (con riferimento agli andamenti $\alpha_{SLU,Ti}/\alpha_{SLU,T=20^\circ C}$) si verifichi una riduzione della risposta sismica dell'edificio meno marcata rispetto all'abbattimento delle proprietà meccaniche della muratura in pietra di tufo. Tale aspetto è dovuto alla mutua collaborazione tra i vari elementi strutturali, che consente di contenere la riduzione dell'indice di sicurezza sismica e, pertanto, di garantire prestazioni sismiche globali dell'edificio esaminato non eccessivamente deficitarie.

4. CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI

Questo lavoro di ricerca si prefigge come obiettivo quello di mostrare i primi risultati sul comportamento sismico residuo di edifici in muratura pre-danneggiati da incendio.

Le analisi numeriche hanno mostrato che al variare della temperatura l'edificio in muratura oggetto di studio presenta un comportamento sismico residuo differente rispetto al comportamento globale mostrato ad una temperatura $T=20^{\circ}\text{C}$. In particolare, all'aumentare della temperatura, si è riscontrato un abbattimento delle prestazioni globali in entrambe le direzioni in termini di resistenza e di rigidezza, mentre si è riscontrato un aumento in termini di capacità di spostamento. Ciò è in accordo con le leggi di decadimento sperimentali delle proprietà meccaniche della muratura di tufo utilizzate per la calibrazione dei modelli numerici. Inoltre, con riferimento alle verifiche sismiche valutate rispetto ad un indice di sicurezza allo SLU, si registra per l'edificio esaminato una riduzione massima delle prestazioni residue rispetto a quelle valutate ad una temperatura di 20°C di circa il 20% in direzione X ed il 35% in direzione Y.

Tuttavia, i risultati ottenuti sono da ritenersi solo preliminari e si riscontra la necessità di approfondire tale tematica tramite campagne esaustive di prove sperimentali su varie tipologie di murature. Inoltre, per tener conto dei molteplici fenomeni che si riscontrano per effetto dell'incendio, risulta necessario ampliare anche la campagna di indagini numeriche, investigando diverse tipologie di edifici in muratura ed estendendo la condizione di pre-danneggiamento da incendio anche ad altri scenari di incendio diversi da quello analizzato.