

Verifica a fuoco della muratura con Thermocad 6

Thermocad è un software che consente di determinare la resistenza a fuoco di una sezione. E' dotato di un apposito solutore ad elementi finiti per calcolare la diffusione delle temperatura nei materiali sottoposti ad una azione termica e prevede la verifica strutturale "analitica" della sezione sottoposta ad incendio, per cemento armato anche precompresso, acciaio, legno e ora anche in muratura con verifiche secondo i codici italiano ed europeo.

E' noto che le caratteristiche di resistenza delle strutture abbiano un certo decadimento in caso di forti aumenti della temperatura come nel caso degli incendi. Le norme prevedono che debba essere valutata la capacità portante di una struttura in caso di incendio con tre parametri che confluiscono nella sigla REI, derivante da un acronimo di origine francese Resistance (resistenza), Entretenir (ermeticità), Isolement (isolamento). Questi tre parametri influiscono nella determinazione della classe di resistenza al fuoco, espressa come il tempo in minuti per il quale è garantita la resistenza al fuoco (30,60, 120 etc).

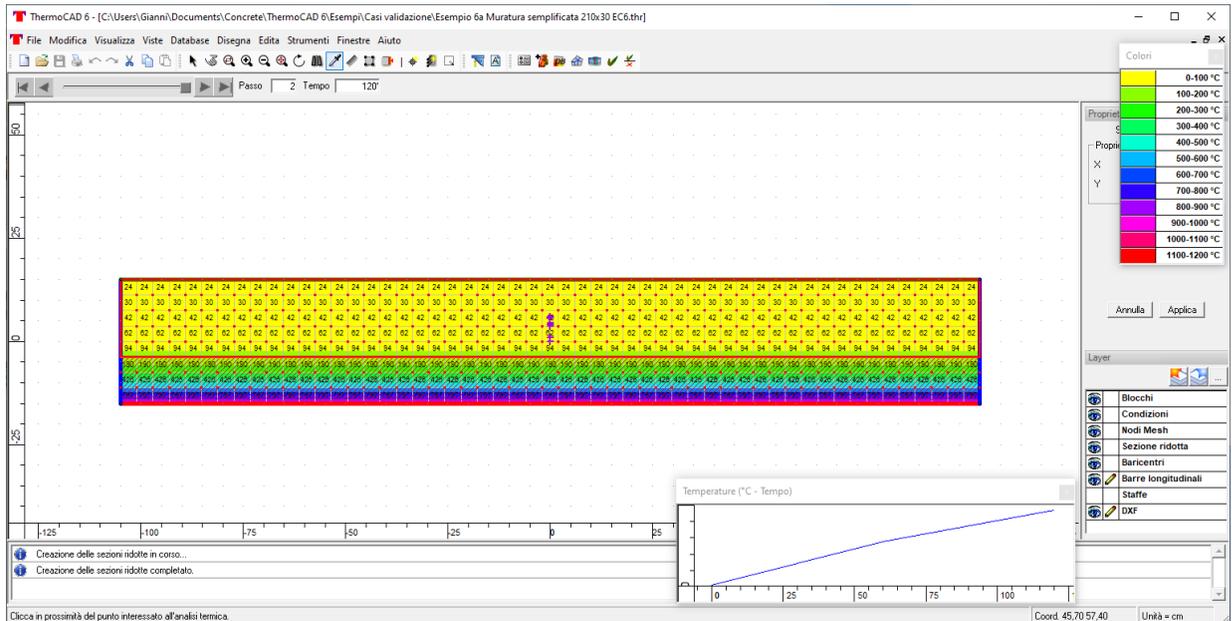
La norma prevede, tra un ampio insieme di valutazioni, delle verifiche tecniche che possono essere effettuate con tre metodi: tabellare, analitico e sperimentale.

Con Thermocad è possibile determinare, con metodo analitico, il valore di R, ovvero il tempo per il quale una sezione di calcestruzzo armato (anche precompresso), acciaio, legno o muratura, conserva la resistenza meccanica prevista dalla norma, attraverso opportune verifiche a pressoflessione e taglio.

Le norme che interessano queste analisi sono diverse ma dal punto di vista strutturale l'analisi del comportamento a fuoco è descritta nell'Eurocodice 1 e, per le verifiche, nei rispettivi Eurocodici dedicati ai diversi materiali. In relazione alla muratura, su cui ci si concentra in questo testo, i riferimenti vanno da Eurocodice 1, Eurocodice 6 e NTC 2018.

Concrete srl

Via della Pieve, 19 - 35121 Padova - Tel. 049 8754720
CF/PI: 02268670284 - www.concrete.it info@concrete.it



Thermocad è in grado di studiare la propagazione del calore tra diversi materiali con una analisi ad elementi finiti nel dominio del tempo. Possono essere considerati materiali strutturali ma anche qualsiasi altro si renda necessario per valutare il comportamento di una particolare configurazione, come nel caso di solai in laterocemento, intonaci, rivestimenti in cartongesso, vernici intumescenti etc.

Il caso della muratura

Un pannello in muratura può essere studiato mediante la definizione di una sezione orizzontale compatta e continua, senza la necessità di definire le singole costolature dei laterizi che possono essere impiegati. Possono essere definiti però eventuali elementi di protezione o spessori di intonaco perimetrale per meglio valutare la propagazione del calore.

Le condizioni al contorno prevedono l'assegnazione sul perimetro di segmenti che individuano esposizione al fuoco, adiabaticità o assegnazione della temperatura ambiente.

Normalmente l'esposizione al fuoco prevede l'assegnazione di una curva di riscaldamento da normativa ma può essere anche personalizzabile.

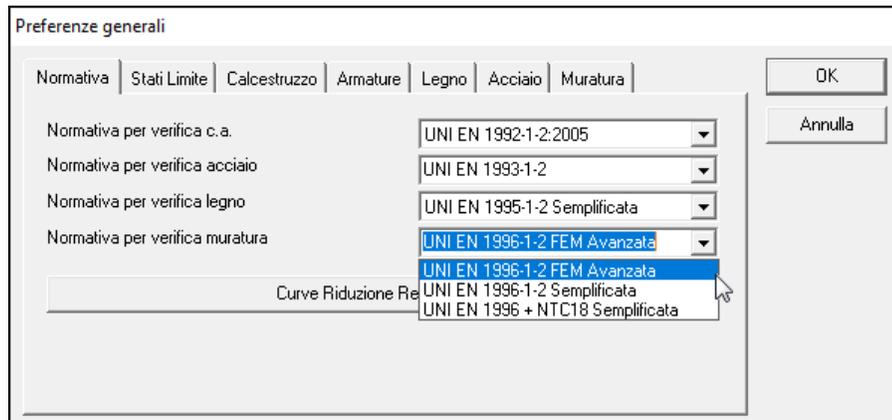
Thermocad prevede la possibilità di scegliere tra tre diverse gestioni delle verifiche:

1. EC6 FEM Avanzata

Concrete srl

Via della Pieve, 19 - 35121 Padova - Tel. 049 8754720
CF/PI: 02268670284 - www.concrete.it info@concrete.it

2. EC6 semplificata
3. EC6 + NTC18 semplificata



Le verifiche svolte sono diverse e riassumibili nella tabella seguente in funzione della scelta adottata dal tecnico.

Verifiche disponibili	EC6 FEM Avanzata	EC6 Semplificata	EC6 + NTC18 Semplificata
Verifica a pressoflessione su dominio con resistenze penalizzate secondo EC6:2010 (no instabilità)	SI	NO	NO
Verifica a pressoflessione secondo EC6:2010	NO	SI	NO
<ul style="list-style-type: none"> • Verifica a pressoflessione secondo D.M. 17/01/2018 §7.8.2.2.1 (no instabilità) • Verifica a pressoflessione per carichi laterali secondo D.M. 17/01/2018 §4.5.6.2 (resistenza a stabilità fuori piano) • Verifica a pressoflessione secondo Circolare 7 21/01/2019 §4.5.6.2 	NO	NO	SI
Verifica della resistenza a taglio (EC6 e NTC18)	SI	SI	SI

Concrete srl

Via della Pieve, 19 - 35121 Padova - Tel. 049 8754720
CF/PI: 02268670284 - www.concrete.it info@concrete.it

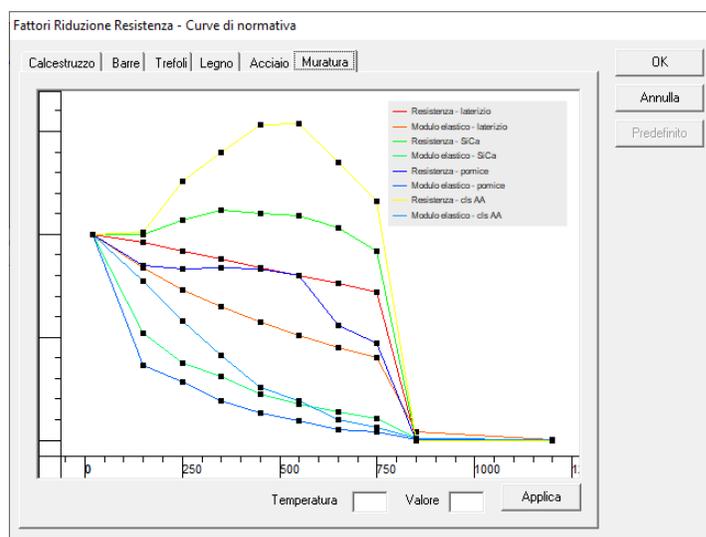
Verifiche con "EC6 FEM Avanzata"

Scegliendo una analisi con "EC6 FEM Avanzata" si considera quanto riportato nell'Eurocodice 6 e precisamente la UNI EN 1996-1-2. Le verifiche sono condotte secondo un metodo analitico avanzato che considera la variazione delle caratteristiche meccaniche dei materiali al variare della temperatura, valutando anche la variazione del modulo elastico e dei limiti deformativi, e quindi la reale legge costitutiva, come definita nell'EC6. In particolare l'aumento della temperatura determina un abbassamento della resistenza caratteristica f_{ck} e del modulo elastico rispetto a quella a temperatura ambiente, ed un aumento delle deformazioni limite.

La verifica di resistenza a taglio per la muratura viene condotta come estensione del metodo previsto dall'EC6 in condizioni normali, penalizzando il parametro di resistenza (f_{vk0}) con la temperatura.

Con questa analisi non si prevedono verifiche di instabilità.

Il **metodo avanzato** è descritto nell'appendice D "Metodo di calcolo avanzato", e fornisce le leggi costitutive in funzione della temperatura per 4 classi di materiale possibili: laterizio, blocchi in silicato (SiCa), pomice e calcestruzzo aerato autoclavato (CAA). Per ognuna di esse sono considerati dei fattori di riduzione della resistenza dei materiali in funzione della temperatura che Thermocad è in grado di riprodurre graficamente.



Concrete srl

Via della Pieve, 19 - 35121 Padova - Tel. 049 8754720
CF/PI: 02268670284 - www.concrete.it info@concrete.it

La verifica di resistenza a flessione della muratura viene condotta con un calcolo allo stato limite del dominio di resistenza, in base alle deformazioni limite previste dalle leggi costitutive. L'eventuale presenza di armatura longitudinale (muratura armata) viene considerata come per il c.a.

La verifica di resistenza a taglio non considera invece l'eventuale presenza di armatura trasversale (staffe) e viene condotta penalizzando il parametro resistente (f_{vk0}) con il medesimo fattore del parametro resistente per la flessione (f_{ck}). Il software provvede a determinare delle sezioni ridotte, definite dalla isoterma di 750°C, poiché le curve di penalizzazione del materiale per il taglio non sono previste sopra tale soglia di temperatura.

Nel caso di muratura armata la verifica a taglio che ha regole particolari e complesse non è implementata.

Verifiche con "EC6 Semplificata"

Con questo settaggio la verifica delle sezioni in muratura la normativa implementata è l'Eurocodice 6 e precisamente la UNI EN 1996-1-2:2005. Il **metodo semplificato** è descritto nell'appendice C "Modello di calcolo semplificato" e prevede il calcolo con i parametri meccanici del materiale che non cambiano con la temperatura e sono uguali a quelli "a freddo" ma per una sezione ridotta.

L'Eurocodice 6 prevede che, dopo un certo tempo di riscaldamento, la sezione sia divisa in tre zone in funzione di due temperature di riferimento chiamate Θ_1 e Θ_2 funzione di quattro tipologie di murature predefinite: per temperature al di sotto di Θ_1 le caratteristiche meccaniche della sezione sono inalterate, per temperature tra Θ_1 e Θ_2 le caratteristiche meccaniche devono essere opportunamente ridotte, per temperature sopra a Θ_2 la zona è considerata non più resistente.

L'appendice nazionale italiana all'Eurocodice 6, però prevede qualcosa di diverso (cfr. Lettera Circolare DCPREV prot. n.4638 del 5 aprile 2013): "... si ritiene possibile l'applicazione del metodo semplificato di cui all'Allegato C alla EN 1996 1-2, ... , ponendo cautelativamente pari a zero il parametro " $f_{d\theta_2}$ " relativo alla resistenza della muratura nella zona a temperatura intermedia. Tali valutazioni analitiche semplificate di resistenza al fuoco dovranno essere condotte tenendo conto del reale schema strutturale e della sezione effettivamente resistente."

In pratica viene suggerito di trascurare Θ_2 e considerare solo una **sezione ridotta** in cui effettuare verifiche con caratteristiche della muratura inalterate.

Questa impostazione appare cautelativa rispetto a quella prevedibile con il metodo avanzato ed è stata implementata in Thermocad solo per muratura non armata.

Concrete srl

Via della Pieve, 19 - 35121 Padova - Tel. 049 8754720
CF/PI: 02268670284 - www.concrete.it info@concrete.it

In sostanza Thermocad in primis determina andamento delle temperature ai vari step. Successivamente determina la sezione ridotta (in genere per $\Theta 1 < 100^{\circ}\text{C}$) agli step richiesti ed esegue le verifiche.

Per motivi legati alla definizione di una sezione ridotta idealizzata per gestire il processo di verifica, si dovrà considerare un passo di mesh adeguato e sezioni rettangolari o circolari. Per altre sezioni si dovrà considerare il Metodo avanzato.

Verifica a pressoflessione secondo EC6:2010

La procedura di verifica a pressoflessione è simile al caso a temperatura ambiente dell'EC6, in cui si aggiunge l'eccentricità dovuta alla variazione di temperatura attraverso la muratura e tiene conto dei fenomeni di **instabilità e imperfezioni costruttive**.

Il procedimento considera il coefficiente di deformazione viscosa e di dilatazione termica ma anche delle varie eccentricità da imperfezione costruttiva, da carico verticale, da deformazione viscosa e, se la sezione non è esposta a fuoco simmetrico su tutti i lati, si aggiunge l'eccentricità generata dalla variazione di temperatura.

Lo spessore del muro ai fini dell'instabilità può essere scelto nelle preferenze tra:

- spessore residuo a temperatura entro $\Theta 1$ (scelta cautelativa),
- spessore residuo a temperatura entro $\Theta 2$,
- spessore nominale a temperatura ambiente.

Nei risultati vengono mostrati gli NRd resistenti per entrambe le direzioni, il peggiore dei quali determina il coefficiente di sicurezza critico per la parete.

Instabilità

In relazione all'instabilità delle pareti legate alla verifica a fuoco, per l'Eurocodice EC6 valgono le regole indicate al punto "5.5.1.2 *Effective height of masonry walls*".

Si ipotizza che l'elemento in verifica sia la sezione di una parete o una colonna, caratterizzata da una altezza nominale effettiva e da un certo grado di incastro alle estremità superiori ed inferiori, in assenza di sollecitazioni esterne orizzontali all'interno di queste due quote. La verifica di un siffatto elemento è compiutamente definita individuando con le regole della normativa utilizzata la grandezza denominata "Altezza efficace h_{ef} ". Essa dipende da svariati fattori, come la costruzione del muro, il grado di vincolo, la presenza di aperture adiacenti o di pareti ortogonali, ecc.

Il programma chiede di inserire nelle preferenze di calcolo della muratura, nel riquadro '*Analisi semplificata*', l'altezza netta della parete ed il fattore di riduzione ρ_n .

Concrete srl

Via della Pieve, 19 - 35121 Padova - Tel. 049 8754720
CF/PI: 02268670284 - www.concrete.it info@concrete.it

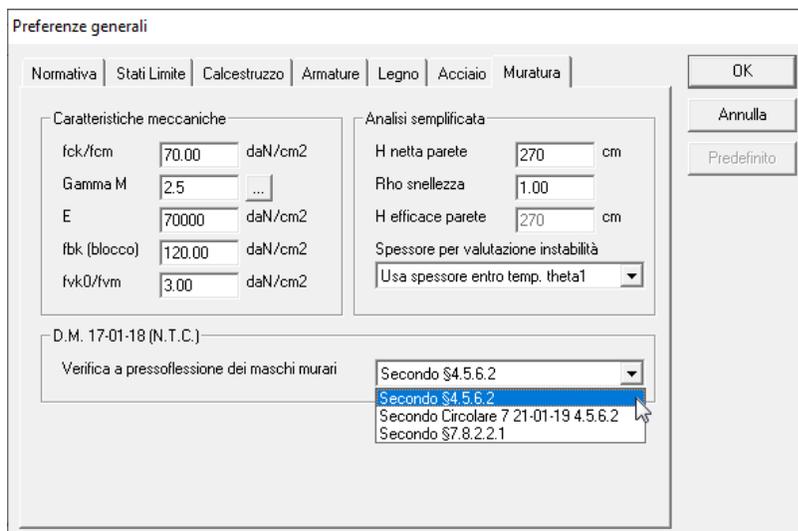
Le caratteristiche meccaniche utilizzate in verifica (f_{ck} , f_{vk0}) sono quelle inalterate dichiarate sempre nelle preferenze della muratura.

Verifica della resistenza a taglio

La verifica di resistenza a taglio, nel caso semplificato, non penalizza il parametro resistente (f_{vk0}) ma l'area resistente. L'azione di verifica viene considerata separatamente per le due direzioni.

Verifiche con "EC6 + NTC18 Semplificata"

Settando questo metodo, il tecnico può selezionare tra tre tipologie di verifica a pressoflessione previste dalle norme Tecniche per le costruzioni e relativa Circolare esplicativa. Altre eventuali verifiche, come quella a taglio, vengono invece eseguite considerando Eurocodice 6.



Verifica a pressoflessione secondo D.M. 17-01-2018 §7.8.2.2.1

Questa verifica è descritta nelle norme tecniche al paragrafo 7.8.2.2.1 "Pressoflessione nel piano", e prevede per le sezioni rettangolari delle espressioni semplificate in forma chiusa. Componendola con l'espressione Nrcd della [4.1.19] si ottiene una valutazione della resistenza in una situazione generica

Concrete srl

Via della Pieve, 19 - 35121 Padova - Tel. 049 8754720
CF/PI: 02268670284 - www.concrete.it info@concrete.it

con sollecitazione deviata. Questo metodo quindi non tiene conto dei fenomeni di instabilità, ipotizza la muratura non reagente a trazione ed una distribuzione non lineare delle compressioni.

Le eventuali eccentricità date dallo spostamento del baricentro delle sezioni ridotte, rispetto al baricentro iniziale, vengono messe in conto non nelle resistenze ma direttamente nelle sollecitazioni, nella forma di momento aggiuntivo. La verifica consiste nel confronto tra il momento di calcolo ed il momento ultimo.

Verifica a pressoflessione per carichi laterali secondo D.M. 17-01-2018 §4.5.6.2

La verifica a pressoflessione per carichi laterali considera la stabilità fuori piano.

Viene condotta nell'ipotesi di articolazione completa delle estremità della parete e tiene conto dei fenomeni di **instabilità e imperfezioni costruttive**.

Si considerano separatamente le due direzioni globali, per le quali si valutano le eccentricità da azioni verticali e le eventuali eccentricità date dallo spostamento del baricentro delle sezioni ridotte rispetto al baricentro iniziale.

I coefficienti Φ di riduzione della resistenza del materiale sono considerati in base alle tabelle del cap.4 delle NTC 2018, in funzione della snellezza convenzionale e dell'eccentricità.

Verifica a pressoflessione secondo Circolare 7 21-01-2019 §4.5.6.2

Questo metodo considera la Circolare esplicativa alle NTC 2018 che, anche in questo caso, chiarisce il dispositivo normativo ma per sua natura legislativa deve essere prevista come opzionale.

In questo caso la verifica viene condotta per sollecitazione deviata, considerando come direzione longitudinale quella di lato maggiore del rettangolo e trasversale quella di lato minore, tenendo in conto dei fenomeni di **instabilità e delle imperfezioni costruttive**.

I coefficienti Φ di riduzione della resistenza sono considerati come nel caso precedente.

Conclusioni

Quando è richiesta la verifica strutturale a fuoco di tipo analitico, il tecnico ha a disposizione uno strumento di calcolo raffinato, in grado di valutare non solo la diffusione delle temperature ma anche delle vere e proprie verifiche.

Concrete srl

Via della Pieve, 19 - 35121 Padova - Tel. 049 8754720
CF/PI: 02268670284 - www.concrete.it info@concrete.it



Le scelte tecniche devono purtroppo prendere in considerazione anche un panorama normativo eterogeneo e proprio per questo, sono state sviluppate verifiche a pressoflessione, instabilità e taglio sia con le sfaccettature del codice italiano che europeo.

Lo scopo è, come sempre, quello di fornire al moderno tecnico strutturale, strumenti sempre più flessibili.

Concrete srl

Ing. Gianni Bizzotto

Concrete srl

Via della Pieve, 19 - 35121 Padova - Tel. 049 8754720

CF/PI: 02268670284 - www.concrete.it info@concrete.it