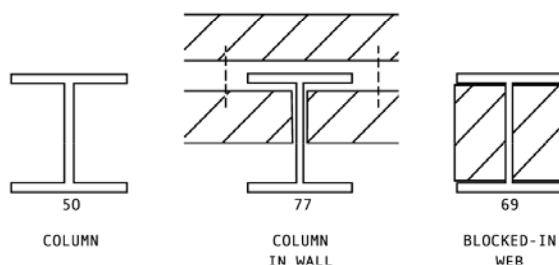

VALUTAZIONE DELLA RESISTENZA AL FUOCO DEGLI ELEMENTI COSTRUTTIVI IN ACCIAIO

- UNI 9503 -

1

VALUTAZIONE ANALITICA DELLA R AL FUOCO

L'elevata conducibilità termica dell'acciaio, accoppiata agli esigui spessori dei profili, comporta una notevole vulnerabilità al fuoco degli elementi costruttivi completamente in acciaio, che **necessitano di adeguati rivestimenti protettivi**. Il calcestruzzo presenta invece una conducibilità termica inferiore di un rapporto medio di 1/30 per cui esso viene talvolta usato per realizzare una “protezione parziale” delle membrature metalliche.

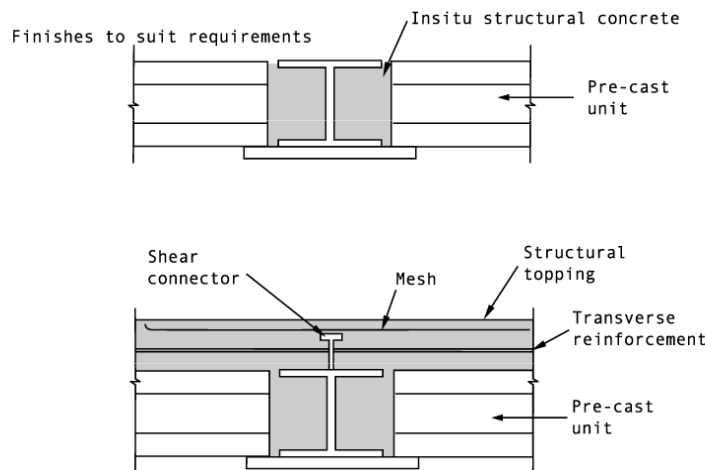


Le colonne metalliche possono essere costruite inglobando una flangia e parte dell'anima in muri dotati di cavità interne, riducendo le parti metalliche esposte all'incendio, oppure è possibile riempire lo spazio tra le flange di profili metallici a "I" con blocchi di calcestruzzo alleggerito

2

VALUTAZIONE ANALITICA DELLA R AL FUOCO

Per quanto riguarda le strutture per solai, si può realizzare il cosiddetto **slim floor**, che si ottiene appoggiando solette di calcestruzzo prefabbricate sulla flangia inferiore delle travi metalliche e completando con getti di calcestruzzo in opera: in tal modo soltanto la flangia inferiore è esposta all'incendio, mentre il resto della sezione è adeguatamente protetto dal calcestruzzo



3

VALUTAZIONE ANALITICA DELLA R AL FUOCO

VALUTAZIONE DELLA RESISTENZA AL FUOCO DEGLI ELEMENTI COSTRUTTIVI IN ACCIAIO (UNI 9503)

Tale normativa prevede lo svolgimento dei seguenti passi:

- 1) **Valutazione della variazione della temperatura dell'elemento in funzione del tempo di esposizione all'incendio standard**
- 2) **Determinazione delle variazioni delle proprietà dell'acciaio con la temperatura**
- 3) **Valutazione della temperatura critica**
- 4) **Calcolo della resistenza al fuoco**

4

VALUTAZIONE ANALITICA DELLA R AL FUOCO

● PASSO 1: Valutazione della variazione della temperatura dell'elemento

Tale passo viene eseguito mediante la risoluzione dell'equazione differenziale incontrata precedentemente, che esprime il bilancio dell'energia.

Per elementi strutturali in acciaio e passando ad incrementi finiti si ottiene:

$$\rho c V \frac{\delta \theta}{\delta t} = S \cdot (\alpha_c + \alpha_i) \cdot (\theta_{SURF} - \theta_{AMB})$$

$$\theta(t=0) = \theta_a$$



$$\Delta \theta_a = \frac{K}{\rho_a \cdot c_a} \cdot \frac{S}{V} \cdot (\theta_{SURF}(t + \Delta t) - \theta_{AMB}(t)) \cdot \Delta t$$

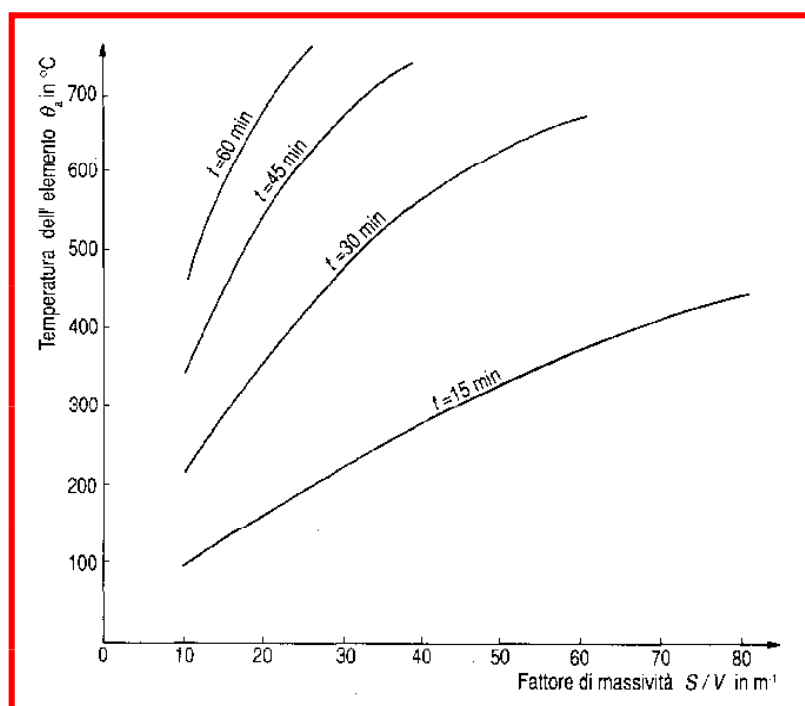
$$\text{con } K = \alpha_c + \alpha_i$$

Per l'accuratezza numerica del risultato, occorre scegliere intervalli di tempo sufficientemente piccoli. Nel caso in cui l'accrescimento della temperatura $\theta_{AMB}(t)$ segua quello dell'incendio convenzionale, è necessario assumere Δt minore od uguale a 30 secondi.

5

VALUTAZIONE ANALITICA DELLA R AL FUOCO

Nelle figure che seguono è riportato l'andamento della temperatura raggiunta da elementi esposti al fuoco in funzione del tempo di esposizione t e del fattore di massività S/V , riferito ad un rapporto di emissività pari a 0.5 ed a un incremento pari a 30 s.



6

VALUTAZIONE ANALITICA DELLA R AL FUOCO

Per gli elementi protetti da un **rivestimento isolante** l'incremento di temperatura dell'elemento stesso, in funzione del tempo di esposizione al fuoco, dipende, oltre che dalle caratteristiche dell'elemento, da quelle del rivestimento e cioè dallo **spessore d_p** e dalla **superficie interna di contatto** con l'elemento per unità di lunghezza S_p , e dalle **proprietà dell'isolante** quali la massa volumica (in kg/m^3), il calore specifico (c_p in $\text{J/kg } ^\circ\text{C}$), la conduttività termica (λ_i in $\text{W/m}^\circ\text{C}$) e il contenuto di umidità (ρ_p in % in massa). Queste ultime proprietà, nel calcolo, si assumono costanti con la temperatura; il valore deve essere determinato, per ciascun rivestimento protettivo, con prove normalizzate. Il procedimento di calcolo può essere modificato introducendo un nuovo parametro k pari a:

$$k = \frac{\lambda_i / d_i}{1 + \zeta} \quad \text{con} \quad \zeta = \frac{c_p \cdot \rho_p \cdot d_p \cdot S_p}{2 \cdot c_a \cdot \rho_a \cdot V}$$

Nella norma sono indicate, per i principali profilati con e senza rivestimenti protettivi, le modalità di calcolo del fattore di massività.

7

VALUTAZIONE ANALITICA DELLA R AL FUOCO

● PASSO 2: Determinazione delle variazioni delle proprietà dell'acciaio con la temperatura

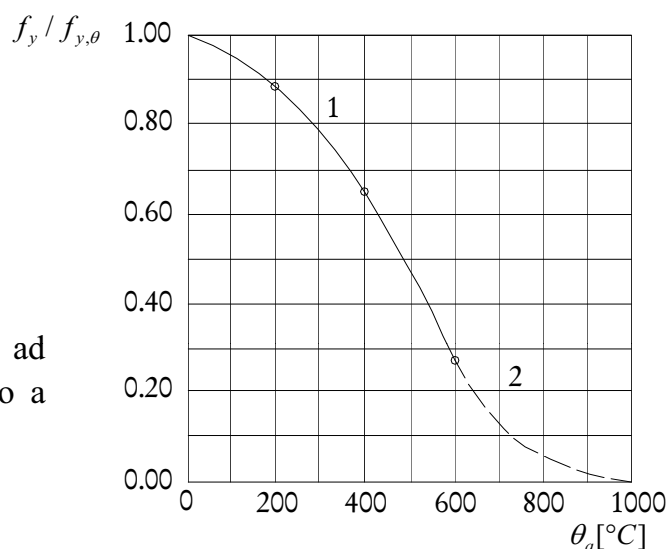
In funzione della temperatura dell'elemento, variano sia le proprietà fisiche (quali il calore specifico e la dilatazione termica) che quelle meccaniche dell'acciaio. Fra queste ultime di particolare importanza sono:

➔ La variazione del **LIMITE ELASTICO CONVENZIONALE**, fornita dalla seguente relazione:

$$f_{y,\theta} = f_y \left[1 + \frac{\theta_a}{767 \ln(\theta_a / 1750)} \right] \quad 0^\circ\text{C} \leq \theta_a \leq 600^\circ\text{C}$$

$$f_{y,\theta} = f_y \left[\frac{108(1 - 0,001\theta_a)}{(\theta_a - 440)} \right] \quad 600^\circ\text{C} < \theta_a \leq 1000^\circ\text{C}$$

con $f_{y,\theta}$ limite convenzionale di snervamento ad alta temperatura ed f_y tensione di snervamento a temperatura ordinaria.

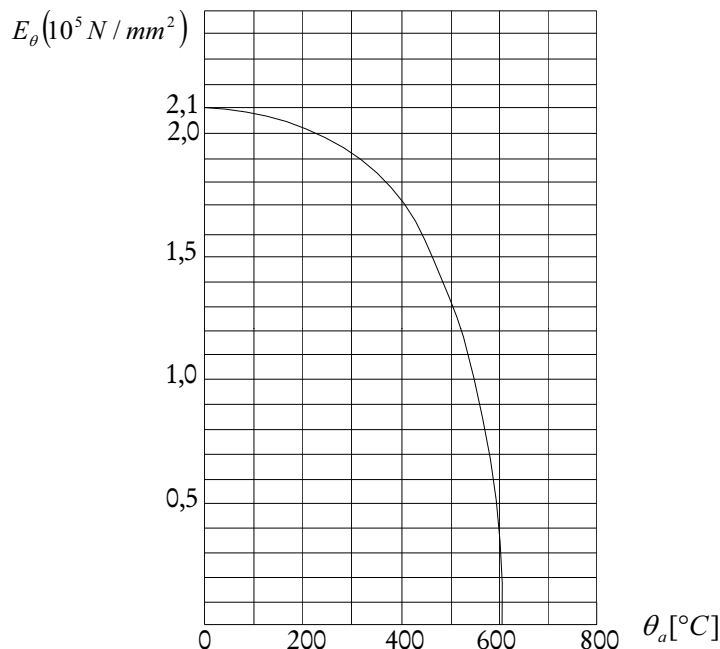


8

VALUTAZIONE ANALITICA DELLA R AL FUOCO

- ➔ La variazione del **MODULO DI ELASTICITÀ**: per $0 \text{ } ^\circ\text{C} \leq \theta_a \leq 600 \text{ } ^\circ\text{C}$ è ammesso utilizzare la stessa relazione definita per il limite convenzionale di snervamento, oppure, in alternativa, la seguente relazione:

$$E_\theta = E \left(1 + 1.59 \cdot 10^{-5} \theta_a - 34.5 \cdot 10^{-7} \theta_a^2 + 11.8 \cdot 10^{-9} \theta_a^3 - 17.2 \cdot 10^{-12} \theta_a^4 \right)$$



dove E_θ è il **modulo convenzionale di elasticità** ad alta temperatura ed E è il **modulo di elasticità a temperatura ordinaria**.

Per $\theta_a > 600 \text{ } ^\circ\text{C}$, E_θ non è definito.

9

VALUTAZIONE ANALITICA DELLA R AL FUOCO

● PASSO 3: Valutazione della temperatura critica

La temperatura critica viene definita come quella temperatura in corrispondenza alla quale la struttura raggiunge lo stato limite ultimo di collasso sotto la combinazione di azioni:

$$F_d = G_k + Q_{1k} + 0.7 Q_{2kj}$$

dove Q_{1k} sono le azioni variabili a lunga durata e Q_{2kj} sono le azioni variabili di breve durata (vento o neve od altre azioni rare).

La temperatura critica viene ottenuta dalla relazione:

$$\chi \cdot \frac{P}{P_u} = \frac{f_{y,\theta}}{f_y} = 1 + \frac{\theta_a}{767 \ln(\theta_a / 1750)} \quad \text{dove:}$$

- χ è il fattore correttivo del rapporto P/P_u che consente di tarare il metodo con quello sperimentale, dipendente dallo schema statico e dallo stesso rapporto P/P_u . In prima approssimazione si può assumere pari a 0.85;
- P è il carico sull'elemento conseguente all'azione di calcolo F_d ;
- P_u è il carico sull'elemento tale da comportare, a temperatura ordinaria, il raggiungimento dello stato limite di collasso.

VALUTAZIONE ANALITICA DELLA R AL FUOCO

Nel prospetto che segue sono riportate le temperature critiche θ_{cr} in funzione del rapporto $\chi P/P_u$ per $\chi = 0.85$.

$\chi P/P_u$ ($\chi = 0.85$)	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
$\theta_{cr} [^{\circ}\text{C}]$	590	540	490	430	360


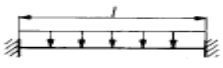
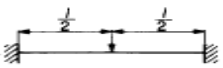

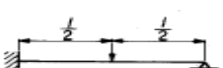

Per i soli **elementi sollecitati a flessione**, qualora il dimensionamento sia stato effettuato con riferimento allo stato limite di elasticità invece che allo stato ultimo di collasso, si può rapportare direttamente P al carico massimo P_e sopportabile, a temperatura ordinaria, in regime elastico; la relazione fra P_u e P_e può infatti essere espressa nella seguente forma:

$$P_u = \psi_1 \cdot \psi_2 \cdot P_e \quad \longrightarrow \quad \psi_1 = Z/W \quad \text{è il fattore correttivo } \geq 1 \text{ che tiene conto delle risorse plastiche della sezione dove } Z \text{ è il modulo di resistenza plastico e } W \text{ quello elastico della sezione. Per i profilati più comuni si può assumere approssimativamente } \chi_1 \text{ pari a } \mathbf{1.15}.$$

ψ_2 è il rapporto fra P_u ed il carico tale da comportare, a temperatura ordinaria, la completa plasticizzazione della sezione più sollecitata. Per gli elementi **isostatici** χ_2 è pari a **1.00**; per quelli **iperstatici** il coefficiente tiene conto dell'eventuale redistribuzione delle sollecitazioni fra più sezioni dell'elemento ed assume, in funzione dello schema statico, un valore $\geq \mathbf{1.00}$

11

VALUTAZIONE ANALITICA DELLA R AL FUOCO

ψ_1	ψ_2	Elementi	Schema statico	$\chi P/P_e$ ($\chi = 0.85$)				
				0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
				θ_{cr} °C				
1,15	1,00	isostatici		605	525	525	475	425
	1,33	iperstatici		640	605	575	545	510
	1,00			605	565	525	475	425
	1,47			650	615	590	560	535
	1,12			615	580	545	505	465
	1,47			650	615	590	560	535

12

VALUTAZIONE ANALITICA DELLA R AL FUOCO

● PASSO 4: Calcolo della resistenza al fuoco

Viene calcolato il tempo $t_r = t(\theta_{cr})$ necessario al raggiungimento della temperatura critica θ_{cr} . La verifica al fuoco risulta soddisfatta se $t_r \geq C$, con C classe di resistenza al fuoco richiesta.

Quindi, **ricapitolando**, per la verifica di un elemento in acciaio devono essere eseguiti i seguenti passi:

I. Determinazione della **combinazione di azioni** da utilizzare nei calcoli fornita dall'equazione

$$F_d = G_k + Q_{k1} + 0.7 Q_{k2}$$

II. Calcolo del **carico gravante** sull'elemento $P = P(F_d)$;

III. Determinazione della **temperatura critica** attraverso l'espressione $\chi \cdot \frac{P}{P_U} = \frac{f_{y,\theta}}{f_y} = 1 + \frac{\theta_a}{767 \ln(\theta_a/1750)}$

IV. Calcolo del **tempo necessario** al raggiungimento della temperatura critica determinato dall'equazione

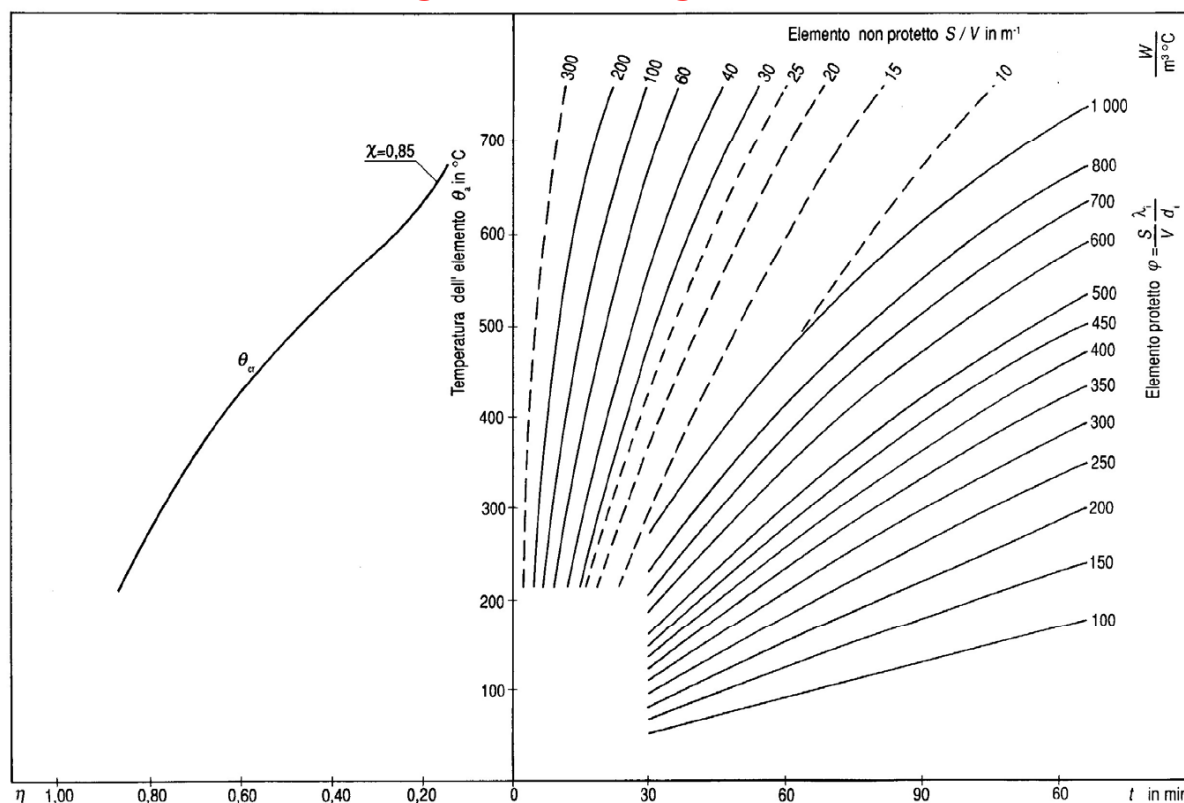
$$\Delta\theta_a = \frac{K}{\rho_a \cdot c_a} \cdot \frac{S}{V} \cdot (\theta_f(t + \Delta t) - \theta_a(t)) \cdot \Delta t$$

V. Confronto fra il tempo di raggiungimento della temperatura critica e la classe richiesta dall'elemento $t_r \geq C$.

13

VALUTAZIONE ANALITICA DELLA R AL FUOCO

Valutazione della resistenza al fuoco degli elementi costruttivi in acciaio - Procedimento grafico - Nomogramma UNI 9503 -



14