

---

# **VALUTAZIONE DELLA RESISTENZA AL FUOCO DEGLI ELEMENTI COSTRUTTIVI IN CEMENTO ARMATO**

## **- UNI 9502 -**

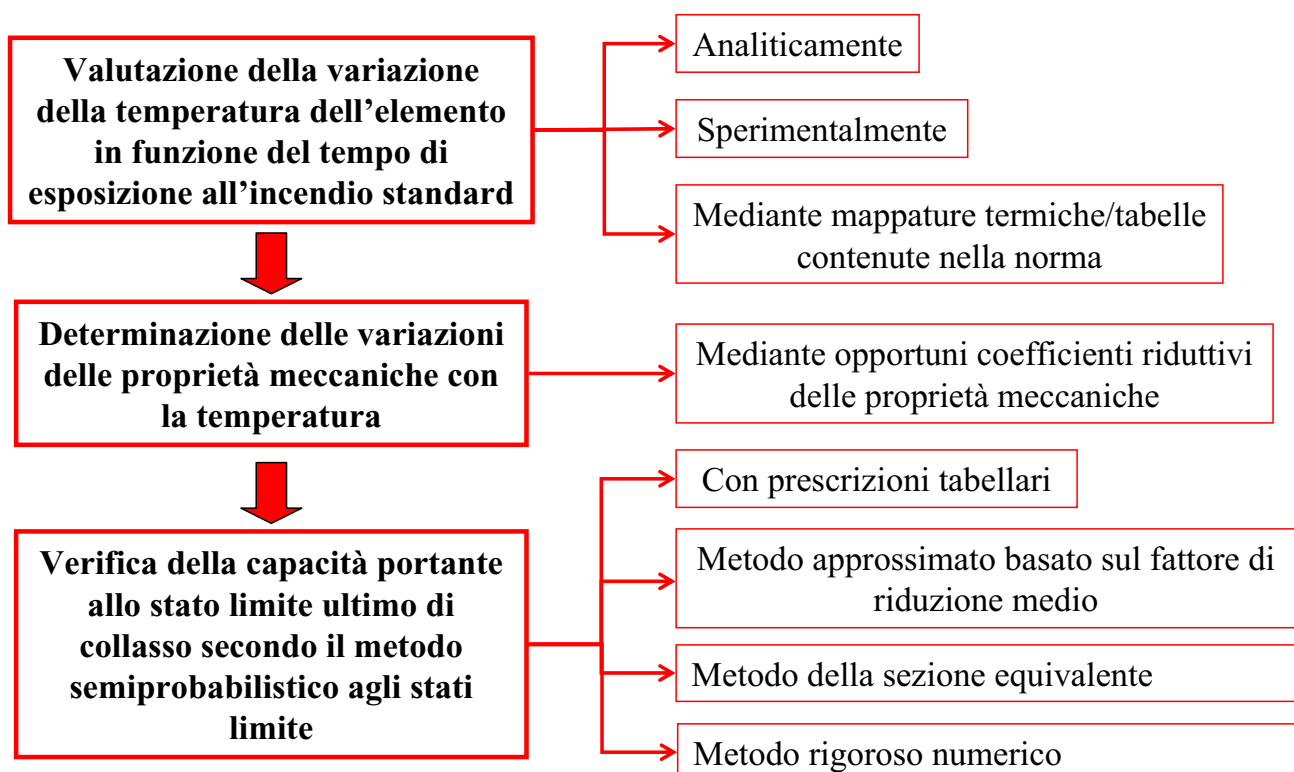
1

---

### **VALUTAZIONE ANALITICA DELLA R AL FUOCO**

---

**Valutazione della resistenza al fuoco degli elementi costruttivi in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso (UNI 9502)**



2

# VALUTAZIONE ANALITICA DELLA R AL FUOCO

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

Il presupposto del calcolo della resistenza al fuoco è la determinazione della distribuzione delle temperature all'interno dell'elemento al tempo corrispondente alla resistenza al fuoco richiesta. I fattori che influenzano la distribuzione di temperature sono la **geometria dell'elemento**, il tipo di esposizione al fuoco (tramite il **coefficiente di esposizione termica globale**), le **proprietà fisiche** del conglomerato (massa volumica, conduttività termica, contenuto d'acqua), la **possibilità di dissipare energia termica e la presenza di eventuali rivestimenti protettivi**.

Per la determinazione della distribuzione di temperature si può operare:

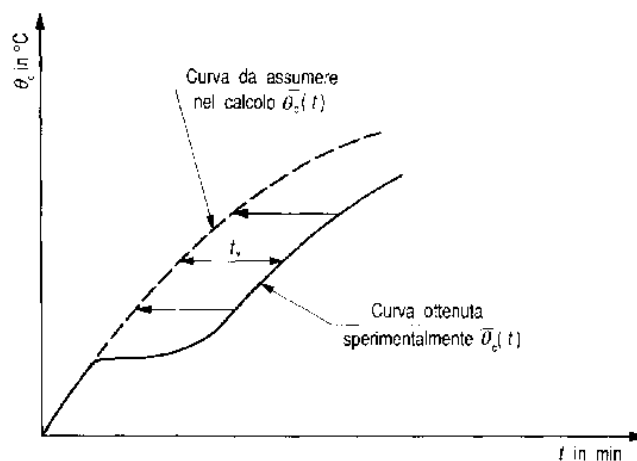
- 1) **Analicamente:** si risolve, tramite l'ausilio di codici di calcolo, l'equazione della trasmissione del calore:

$$\rho_c \cdot c_c \cdot \frac{\partial \theta_c}{\partial \tau} = \text{div}(\lambda_c \text{grad} \theta_c)$$

3

# VALUTAZIONE ANALITICA DELLA R AL FUOCO

- 2) **Sperimentalmente:** per situazioni sperimentali particolarmente complesse, in cui l'applicazione del metodo precedente possa risultare particolarmente onerosa, è necessario procedere all'individuazione della distribuzione delle temperature nel conglomerato cementizio mediante idonee determinazioni sperimentali, tramite **prove in forni e rilievi della temperatura in vari punti**. Le temperature da assumere a base del calcolo si ricavano da quelle sperimentali eliminando il ritardo di vaporizzazione del contenuto d'acqua.



- 3) **Mediante tabelle contenute nella norma:** in funzione della forma, delle dimensioni e della presenza di eventuali protezioni, la norma fornisce mappature termiche di sezioni di solette, travi e pilastri. Per la determinazione delle temperature in presenza di rivestimenti protettivi, si possono utilizzare le tabelle fornite per gli elementi in solo cemento armato, aggiungendo allo spessore del materiale di base uno spessore equivalente.

4

## VALUTAZIONE ANALITICA DELLA R AL FUOCO

Si definisce, infatti, **spessore equivalente** del materiale protettivo lo spessore del conglomerato cementizio che occorrerebbe per esercitare lo stesso grado di protezione del rivestimento protettivo applicato. Si definisce **rapporto di equivalenza** il rapporto fra lo spessore equivalente e lo spessore del rivestimento protettivo. Nel prospetto che segue sono riportati i valori del rapporto di equivalenza di alcuni materiali protettivi, valori che possono essere utilizzati per il calcolo, in mancanza di dati specifici.

MATERIALI	RAPPORTO DI EQUIVALENZA
Calcestruzzo normale (2400 kg/m <sup>3</sup> )	1.0
Calcestruzzo cementizio cellulare (≤500 kg/m <sup>3</sup> )	2.0
Calcestruzzo cementizio con aggregati di argilla espansa (≤1500 kg/m <sup>3</sup> )	1.5
Gesso	1.8
Laterizio	1.0
Intonaco di cemento	1.1
Intonaco a lastre di fibre minerali, di vetro o di roccia (contenuto in fibre ≥80%)	2.5
Intonaco di cemento e vermiculite (rapporto ≤4:1)	2.5
Intonaco di gesso e vermiculite (rapporto ≤4:1)	2.7
Intonaco di cemento e perlite (rapporto ≤4:1)	2.5
Intonaco di gesso e perlite (rapporto ≤4:1)	2.7

5

## VALUTAZIONE ANALITICA DELLA R AL FUOCO

### ● PASSO 2: Determinazione delle variazioni delle proprietà meccaniche con la temperatura

Le proprietà meccaniche dei materiali e i valori caratteristici di resistenza ad essi associati variano con la temperatura alla quale sono sottoposti. Le leggi convenzionali di variazione da impiegare nel calcolo sono riportate di seguito. Vengono definiti una serie di **fattori di riduzione** quali:

➡  $f_{ck}(\theta_c) = k_c(\theta_c) \cdot f_{ck}(20^\circ\text{C})$  dove  $f_{ck}(\theta_c)$  e  $f_{ck}(20^\circ\text{C})$  sono rispettivamente la resistenza a compressione del calcestruzzo alla temperatura  $\theta_c$  e quella a 20 °C

➡  $f_{ctk}(\theta_c) = k_{ct}(\theta_c) \cdot f_{ctk}(20^\circ\text{C})$  dove  $f_{ctk}(\theta_c)$  e  $f_{ctk}(20^\circ\text{C})$  sono rispettivamente la resistenza a trazione del calcestruzzo alla temperatura  $\theta_c$  e quella a 20 °C

➡  $f_{yk}(\theta_c) = k_s(\theta_c) \cdot f_{yk}(20^\circ\text{C})$  dove  $f_{yk}(\theta_c)$  e  $f_{yk}(20^\circ\text{C})$  sono rispettivamente la tensione di snervamento dell'acciaio alla temperatura  $\theta_c$  e quella a 20 °C

➡  $f_{pk}(\theta_c) = k_p(\theta_c) \cdot f_{pk}(20^\circ\text{C})$  dove  $f_{pk}(\theta_c)$  e  $f_{pk}(20^\circ\text{C})$  sono rispettivamente la tensione di snervamento dell'acciaio armonico alla temperatura  $\theta_c$  e quella a 20 °C

## VALUTAZIONE ANALITICA DELLA R AL FUOCO

Coefficienti  $k_t(\theta_c)$  e  $k_{ct}(\theta_c)$  per la valutazione della diminuzione della resistenza caratteristica del conglomerato cementizio all'aumentare della temperatura:

Resistenza c.a. a compressione:

$$f_{ck}(\theta_c) = k_c(\theta_c) \cdot f_{ck}(20^\circ\text{C})$$

$$\begin{aligned} k_c(\theta) &= 1.0 && \text{per } 20^\circ\text{C} \leq \theta < 100^\circ\text{C} \\ k_c(\theta) &= (1600 - \theta)/1500 && \text{per } 100^\circ\text{C} \leq \theta < 400^\circ\text{C} \\ k_c(\theta) &= (900 - \theta)/625 && \text{per } 400^\circ\text{C} \leq \theta < 900^\circ\text{C} \\ k_c(\theta) &= 0 && \text{per } \theta \geq 900^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Resistenza c.a. a trazione:

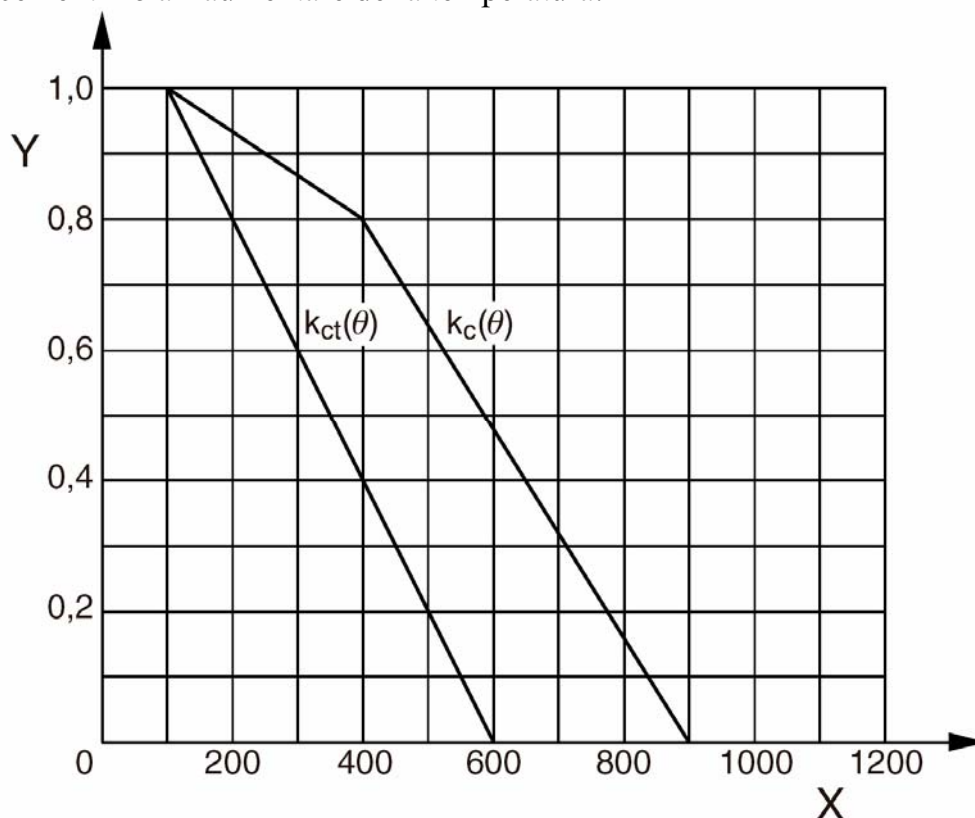
$$f_{ctk}(\theta_c) = k_{ct}(\theta_c) \cdot f_{ctk}(20^\circ\text{C})$$

$$\begin{aligned} k_{ct}(\theta) &= 1.0 && \text{per } 20^\circ\text{C} \leq \theta < 100^\circ\text{C} \\ k_{ct}(\theta) &= (600 - \theta)/500 && \text{per } 100^\circ\text{C} \leq \theta < 600^\circ\text{C} \\ k_{ct}(\theta) &= 0 && \text{per } \theta \geq 600^\circ\text{C} \end{aligned}$$

7

## VALUTAZIONE ANALITICA DELLA R AL FUOCO

Coefficienti  $k_t(\theta_c)$  e  $k_{ct}(\theta_c)$  per la valutazione della diminuzione della resistenza caratteristica del conglomerato cementizio all'aumentare della temperatura:



8

## VALUTAZIONE ANALITICA DELLA R AL FUOCO

Coefficienti  $k_{s1}(\theta_c)$ ,  $k_{s2}(\theta_c)$  e  $k_p(\theta_c)$  per la valutazione della diminuzione della resistenza caratteristica dell'acciaio da c.a. e da c.a.p. all'aumentare della temperatura:

**Acciaio ordinario - Tipo 1**  
**( $\epsilon_{s,fi} \geq 2\%$  in caso di incendio):**

$$f_{yk}(\theta_c) = k_s(\theta_c) \cdot f_{yk}(20^\circ\text{C})$$

$$\begin{aligned} k_{s,1}(\theta) &= 1.0 && \text{per } 20^\circ\text{C} \leq \theta < 350^\circ\text{C} \\ k_{s,1}(\theta) &= (6650 - \theta)/3500 && \text{per } 350^\circ\text{C} \leq \theta < 700^\circ\text{C} \\ k_{s,1}(\theta) &= (1200 - \theta)/5000 && \text{per } 700^\circ\text{C} \leq \theta < 1200^\circ\text{C} \\ k_{s,1}(\theta) &= 0 && \text{per } \theta \geq 1200^\circ\text{C} \end{aligned}$$

**Acciaio ordinario - Tipo 2**  
**( $\epsilon_{s,fi} < 2\%$  in caso di incendio):**

$$f_{yk}(\theta_c) = k_s(\theta_c) \cdot f_{yk}(20^\circ\text{C})$$

$$\begin{aligned} k_{s,2}(\theta) &= 1.0 && \text{per } 20^\circ\text{C} \leq \theta < 100^\circ\text{C} \\ k_{s,2}(\theta) &= (1100 - \theta)/1000 && \text{per } 100^\circ\text{C} \leq \theta < 400^\circ\text{C} \\ k_{s,2}(\theta) &= (8300 - 12\theta)/5000 && \text{per } 400^\circ\text{C} \leq \theta < 650^\circ\text{C} \\ k_{s,2}(\theta) &= (1200 - \theta)/5000 && \text{per } 650^\circ\text{C} \leq \theta < 1200^\circ\text{C} \\ k_{s,2}(\theta) &= 0 && \text{per } \theta \geq 1200^\circ\text{C} \end{aligned}$$

**Acciaio armonico :**

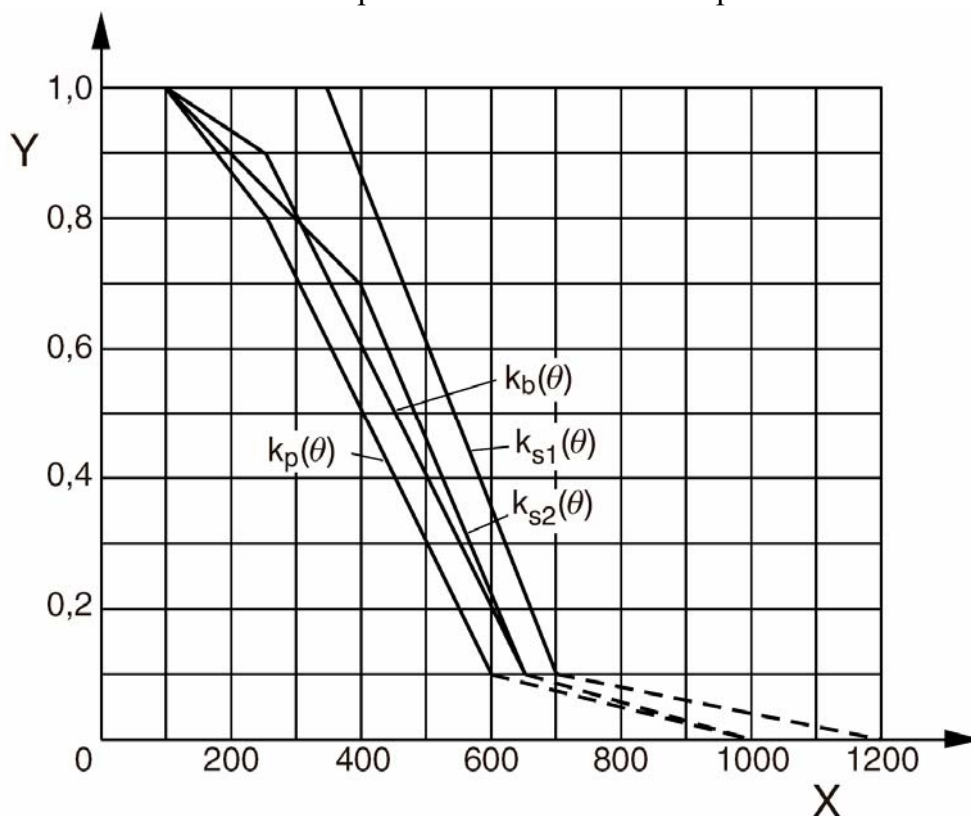
$$f_{pk}(\theta_c) = k_p(\theta_c) \cdot f_{pk}(20^\circ\text{C})$$

$$\begin{aligned} k_p(\theta) &= 1.0 && \text{per } 20^\circ\text{C} \leq \theta < 100^\circ\text{C} \\ k_p(\theta) &= (850 - \theta)/750 && \text{per } 100^\circ\text{C} \leq \theta < 250^\circ\text{C} \\ k_p(\theta) &= (650 - \theta)/500 && \text{per } 250^\circ\text{C} \leq \theta < 600^\circ\text{C} \\ k_p(\theta) &= (1000 - \theta)/4000 && \text{per } 600^\circ\text{C} \leq \theta < 1000^\circ\text{C} \\ k_p(\theta) &= 0 && \text{per } \theta \geq 1000^\circ\text{C} \end{aligned}$$

9

## VALUTAZIONE ANALITICA DELLA R AL FUOCO

Coefficienti  $k_{s1}(\theta_c)$ ,  $k_{s2}(\theta_c)$  e  $k_p(\theta_c)$  per la valutazione della diminuzione della resistenza caratteristica dell'acciaio da c.a. e da c.a.p. all'aumentare della temperatura:



10

# VALUTAZIONE ANALITICA DELLA R AL FUOCO

## PASSO 3: Verifica della capacità portante

Essa può essere effettuata mediante i seguenti metodi:

- I. Prescrizioni tabellari:** per tempi di esposizione da 30 a 240 minuti, la verifica analitica può essere omessa quando i valori della distanza  $a$  dell'asse dell'acciaio ordinario delle barre o dei trefoli più esposti dalla superficie esterna sono non minori di quelli riportati nel prospetto A.1. (UNI 9502)

prospetto A.1 Distanze  $a$  (cm), dell'asse dell'acciaio dalla superficie esposta al fuoco

Acciaio	Tempo di esposizione $t$ (min)	Fuoco su un lato	Fuoco su 2 lati	Fuoco su 3 lati	Fuoco sullo spigolo
Per acciaio ordinario (tipo 1)	30	2,00	2,60	3,00	2,05
	60	2,00	4,30	5,00	3,65
	90	2,72	5,60	6,40	4,60
	120	3,40	6,80	7,70	5,80
	180	4,50	8,60	9,80	7,50
	240	5,44	10,20	11,70	9,00
Per barre (o cautelativamente per acciaio tipo 2)	30	2,00	3,15	3,60	2,70
	60	2,73	5,20	5,90	4,50
	90	3,70	6,70	7,60	6,00
	120	4,50	8,00	9,00	7,10
	180	5,84	10,20	11,50	9,10
	240	7,00	12,00	13,60	10,70
Per acciaio da precompressione	30	2,00	3,60	4,10	3,20
	60	3,25	5,80	6,50	5,10
	90	4,20	7,30	8,30	6,70
	120	5,20	8,80	9,90	8,00
	180	6,70	11,10	12,50	10,00
	240	8,00	13,00	14,60	11,90

11

# VALUTAZIONE ANALITICA DELLA R AL FUOCO

- II. Metodo approssimato basato sul fattore di riduzione medio:** definita analiticamente la distribuzione delle temperature associate alla classe C richiesta, la verifica della capacità portante di un elemento dopo un prefissato tempo di esposizione al fuoco si può effettuare **determinando puntualmente**, in funzione della mappatura termica, **il fattore di riduzione  $k_{si}$ ,  $k_{bi}$  e  $k_{pi}$**  di ogni area  $A_{si}$  di ogni singola barra,  $A_{bi}$  di ogni barra di precompressione e  $A_{pi}$  di ogni singolo trefolo di acciaio o  **$k_{ci}$**  di ogni singola area  $A_{ci}$  di c.a. in zona compressa e **calcolando il fattore di riduzione medio  $k_{ms}$ ,  $k_{mb}$ ,  $k_{mp}$ ,  $k_{mc}$** , media opportunamente pesata dei singoli fattori di riduzione rispettivamente.

Per la verifica a flessione semplice (acciaio):

$$k_{mp} = \frac{\sum_{i=1}^n A_{pi} \cdot h_i \cdot k_{pi}}{\sum_{i=1}^n A_{pi} \cdot h_i} \quad k_{ms} = \frac{\sum_{i=1}^n A_{si} \cdot h_i \cdot k_{si}}{\sum_{i=1}^n A_{si} \cdot h_i}$$

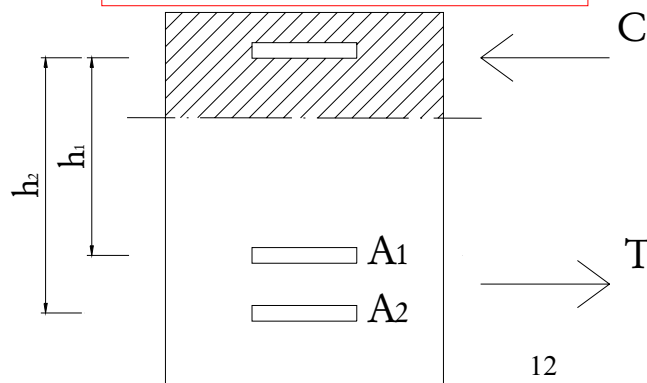
Per la verifica a taglio (acciaio):

$$k_{ms} = \frac{\sum_{i=1}^n A_{si} \cdot k_{si}}{\sum_{i=1}^n A_{si}}$$

Per la verifica a compressione/flessione (cls compresso):

$$k_{mc} = \frac{\int_{A_c} k_c dA_c}{A_c}$$

N.B.:  $h_i$  è il braccio della coppia interna della singola barra di area  $A_{ai}$  o del singolo trefolo di area  $A_{pi}$  rispettivamente



12

## VALUTAZIONE ANALITICA DELLA R AL FUOCO

Si definisce il fattore di riduzione critico:

$$k_{crit} = \eta_{fi} \cdot (\gamma_{M,fi} / \gamma_{Mi}) \cdot (\sigma_{reale} / \sigma_{max})$$

dove:

$\eta_{fi}$  è il fattore di riduzione del coefficiente di sicurezza dei carichi presenti in caso di incendio, pari a :

$$\eta_{fi} = \frac{E_{d,fi}}{E_d} = \left( \gamma_{G,E} + \psi_{1,1} \frac{Q_{k,i}}{G_{k,i}} \right) / \left( \gamma_G + \gamma_G \frac{Q_{k,i}}{G_{k,i}} \right)$$

$\sigma_{reale} / \sigma_{max} = A_0 / A_1$  è il rapporto fra la tensione realmente presente nei materiali a freddo rispetto quella massima concessa

La verifica è soddisfatta se per ogni materiale e per ogni sezione si ha

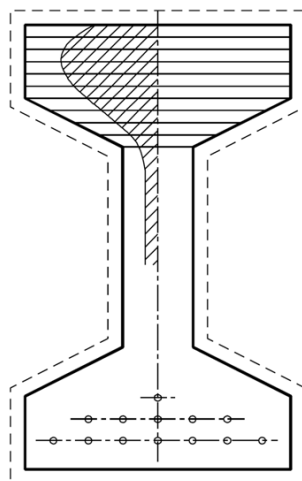
$$k_m > k_{crit}$$

13

## VALUTAZIONE ANALITICA DELLA R AL FUOCO

**III. Verifica con il metodo della sezione equivalente:** essa consiste nel ridurre puntualmente le aree resistenti del conglomerato cementizio e dell'acciaio mediante i fattori di riduzione  $k_c(\theta)$ ,  $k_s(\theta)$ ,  $k_b(\theta)$ ,  $k_p(\theta)$ .

Stabilita così quella che è definita la sezione equivalente (cioè la sezione la cui area ridotta di conglomerato e di acciaio ha nel calcolo a freddo la resistenza equivalente a quella dell'area originaria a caldo), la verifica allo stato limite ultimo può essere eseguita a temperatura ordinaria su tale sezione ridotta, con gli usuali metodi della scienza delle costruzioni senza applicare naturalmente per il conglomerato cementizio il coefficiente riduttivo della resistenza per i carichi di lunga durata.



L'area tratteggiata rappresenta la sezione di calcestruzzo equivalente ai fini del calcolo:

14

# VALUTAZIONE ANALITICA DELLA R AL FUOCO

**IV. Verifica rigorosa:** tale verifica può essere eseguita solo disponendo di codici di calcolo appropriati. Essa consiste nel determinare in più punti della sezione la temperatura  $\theta$  associata alla durata di resistenza al fuoco  $C$  richiesta, nello stabilire un legame  $\sigma$ - $\varepsilon$  puntuale “ridotto” per effetto della temperatura, e nel **valutare il dominio di rottura  $M_u$ - $N_u$  della sezione**, ridotto rispetto a quello che si ha a temperatura ambiente per effetto della temperatura  $\theta$ .

La norma prevede l'assunzione dei seguenti diagrammi  $\sigma$ - $\varepsilon$ :

**Per il cemento armato:**

$$f_{cd} = k_c(\theta_{cc}) \cdot \frac{f_{ck,i}}{\gamma_c} = k_c(\theta_{cc}) \cdot \frac{0,83 \cdot R_{ck}}{\gamma_c}$$

dove:

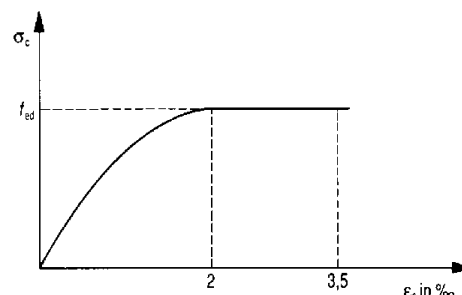
$R_{ck,j}$  è la resistenza caratteristica cubica a compressione;

$k_c(\theta_{cc})$  è il fattore di riduzione della resistenza del conglomerato cementizio corrispondente alla temperatura media caratteristica della zona compressa;

$f_{ck,j}$  è la resistenza caratteristica cilindrica a compressione al giorno  $j^{\text{mo}}$  dal getto; si può assumere  $j=90$  e, in mancanza di valutazioni più precise  $f_{ck,90}=1.10f_{ck,28}$  essendo  $f_{ck,28}$  la resistenza a 28 giorni dal getto;

$\gamma_c$  è il coefficiente di sicurezza del calcestruzzo; si assume pari a 1.20

15



# VALUTAZIONE ANALITICA DELLA R AL FUOCO

**Per l'acciaio:**

Il diagramma sforzi-deformazioni da assumere per gli acciai per c.a., normale o precompresso, si ricava dal diagramma utilizzato per il calcolo statico a temperatura ordinaria effettuando la trasformazione indicata nella figura sotto in rapporto al fattore di riduzione  $k_s$ ,  $k_b$  o  $k_p$  rispettivamente corrispondente alla temperatura  $\theta_i$  propria dell'armatura considerata.

La resistenza di calcolo per l'acciaio si assume pari a:

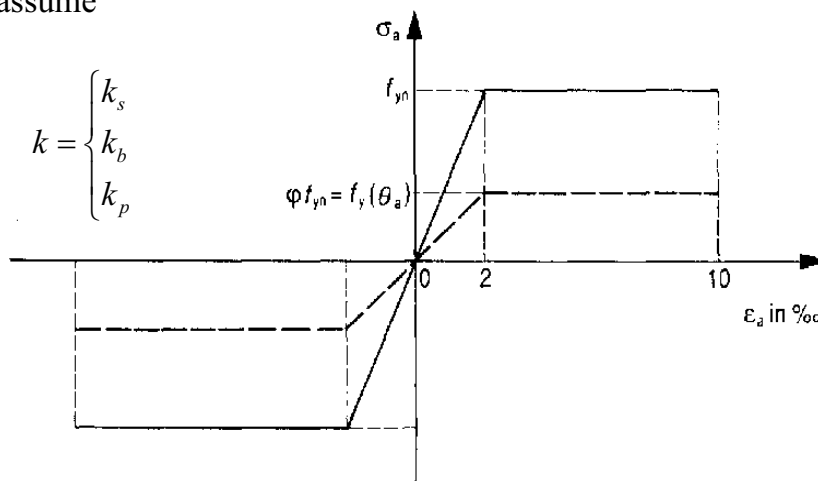
$$f_d = k \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_a}$$

dove:

$$k = \begin{cases} k_s \\ k_b \\ k_p \end{cases}$$

$f_{yk}$  è la resistenza caratteristica a trazione dell'acciaio a 20°C;

$\gamma_a$  è pari a 1.00 per acciai controllati in stabilimento, 1.15 per acciai non controllati in stabilimento.





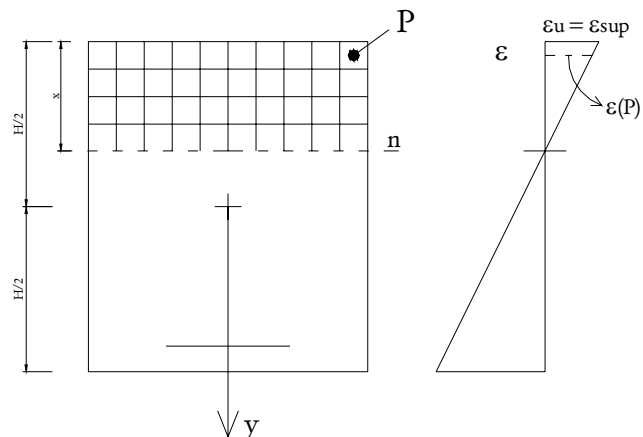
## VALUTAZIONE ANALITICA DELLA R AL FUOCO

I punti essenziali di un'analisi rigorosa su sezioni di cemento armato sottoposte a un incendio normalizzato, possono essere riassunti nei seguenti punti:

- I. **Valutazione della temperatura**  $\theta = \theta(P)$  nei diversi punti P posizionati al centro delle areole in cui è stata divisa la sezione  $A_c$  (**mappatura termica**);
- II. **Valutazione del legame  $\sigma$ - $\varepsilon$  per ogni punto P** opportunamente ridotto secondo la procedura vista in precedenza;
- III. **Si fissa un valore di x** cui corrisponde una certa posizione dell'asse neutro n e si impone il raggiungimento della deformazione ultima  $\varepsilon_u$  nella fibra superiore del calcestruzzo, oppure nell'armatura inferiore;

IV. Si valuta

$$\varepsilon(P) = \varepsilon(y) = \varepsilon_{\text{sup}} - \frac{\varepsilon_{\text{SUP}}}{X} (y + H/2)$$

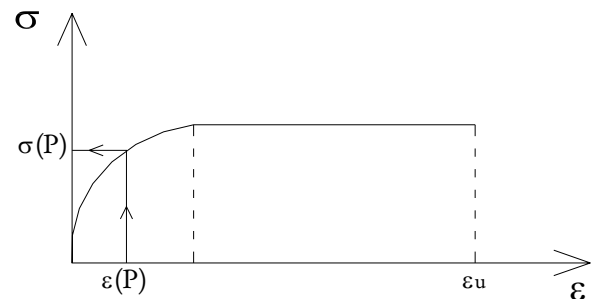


17

## VALUTAZIONE ANALITICA DELLA R AL FUOCO

V. Si valuta il legame costitutivo delle tensioni:

$$\sigma = \sigma(\varepsilon(P))$$

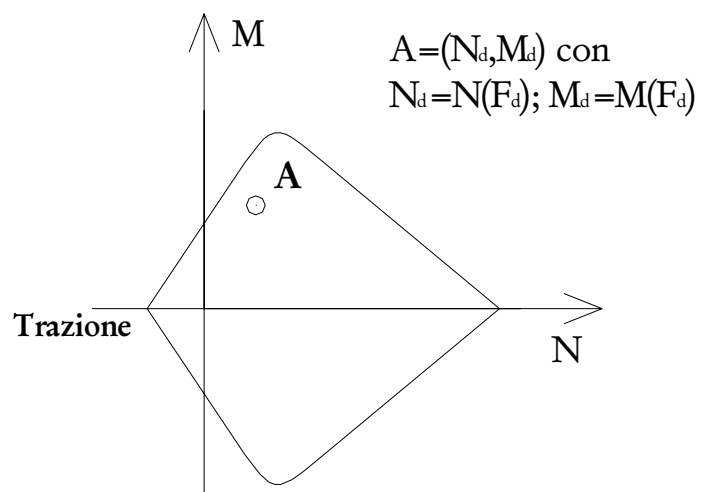


VI. Si determinano gli sforzi normali e flettenti ultimi  $N_u$ ,  $M_u$ :

$$N_u = \int_{A_c} \sigma_c dA'_c + \sum_{i=1}^n A_{si} \sigma_{si}$$

$$M_u = \int_{A_c} \sigma_c y_c dA'_c + \sum_{i=1}^n A_{si} y_{si} \sigma_{si}$$

VII. Al variare di x, cioè dell'asse neutro n, si ottiene il **dominio di resistenza** entro cui deve essere contenuto il punto A nella verifica di rottura.



18

---

# **VALUTAZIONE DELLA RESISTENZA AL FUOCO DEGLI ELEMENTI COSTRUTTIVI IN LEGNO**

**(UNI 9504 e CRN-DT 206/2006)**

19

---

## **VALUTAZIONE ANALITICA DELLA R AL FUOCO**

### **Valutazione della resistenza al fuoco degli elementi costruttivi in legno (UNI 9504)**

La presente norma si applica a singoli elementi strutturali di legno massiccio o lamellare incollato non protetti (previa determinazione sperimentale della velocità di penetrazione della carbonizzazione) e trattati con prodotti ignifughi o protetti con idonei rivestimenti continui ed aderenti (previa determinazione sperimentale dell'incidenza degli stessi sulla velocità di carbonizzazione e/o sui tempi di ritardo della combustione).

Come ipotesi di base si assume che:

- i. la carbonizzazione del legno sotto l'azione del fuoco proceda **perpendicolarmente** alle superfici esposte dell'elemento a velocità costante e dipenda esclusivamente dalla specie legnosa;
- ii. il legno conservi **inalterate le sue proprietà meccaniche** nella parte non raggiunta dalla carbonizzazione;
- iii. la relazione tra **tensioni e deformazioni sia lineare fino a rottura.**

20

## VALUTAZIONE ANALITICA DELLA R AL FUOCO

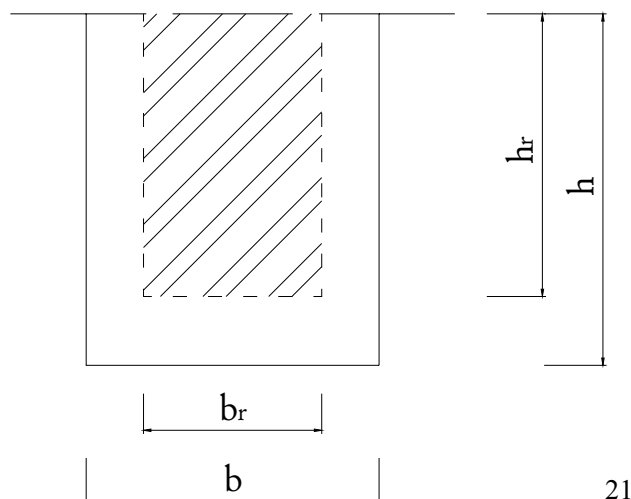
Il calcolo della resistenza al fuoco si articola come segue:

1. Determinazione della **velocità di penetrazione  $v_c$  della carbonizzazione**. I valori sono tabellati in funzione del tipo di legno:
  - per un legno massiccio si ha una velocità pari a 0.9 mm/min,
  - per legno lamellare di 0.7 mm/min;
2. Determinazione della **sezione efficace ridotta** in funzione della classe C di resistenza al fuoco tramite le seguenti espressioni:

$$b_r = b - 2 \cdot v_c \cdot C$$

$$h_r = h - v_c \cdot C$$

con  $b_r$  e  $h_r$  in millimetri;



21

## VALUTAZIONE ANALITICA DELLA R AL FUOCO

### Valutazione della resistenza al fuoco degli elementi costruttivi in legno (UNI 9504)

3. **Verifica della capacità portante allo stato limite ultimo di collasso** secondo il metodo semiprobabilistico agli stati limite della sezione efficace ridotta più sollecitata considerando la combinazione di azioni  $F_d$ :

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

I valori di calcolo si ottengono da quelli caratteristici con la relazione:

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma}$$

con coefficiente parziale di sicurezza pari a 1.40 per le proprietà meccaniche e 0.8 per le velocità di penetrazione alla carbonizzazione.

# VALUTAZIONE ANALITICA DELLA R AL FUOCO

## Valutazione della resistenza al fuoco degli elementi costruttivi in legno (CRN-DT 206/2006)

La resistenza di una struttura lignea non coincide, in generale, con quella delle singole menbrature componenti, essendo determinati le prestazioni dei collegamenti e degli altri componenti (ad esempio controventi) che, nella pratica, sono usualmente realizzati con elementi metallici.

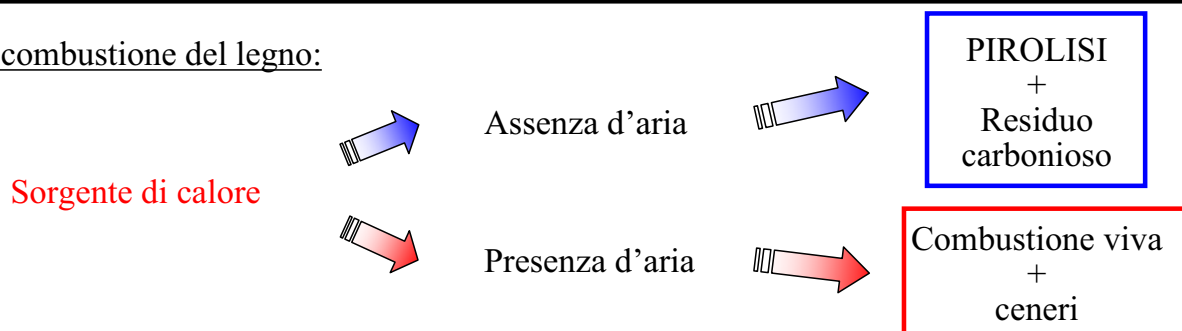
Come ipotesi di base si assume che:

- la carbonizzazione del legno sotto l'azione del fuoco proceda **perpendicolarmente** alle superfici esposte dell'elemento a velocità costante e dipenda esclusivamente dalla specie legnosa;
- le proprietà meccaniche della sezione lignea residua, ad una certa distanza dallo strato carbonizzato, non risultano ridotte rispetto alle condizioni standard;
- la relazione tra **tensioni e deformazioni sia lineare fino a rottura.**

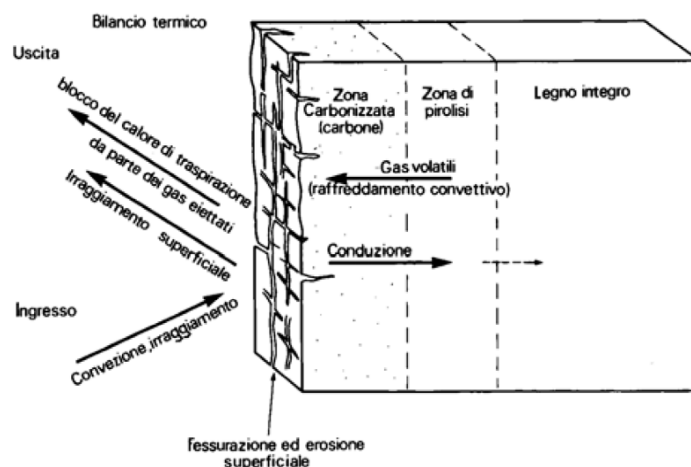
23

# VALUTAZIONE ANALITICA DELLA R AL FUOCO

La combustione del legno:



Inizio della pirolisi	170°C
Inizio degradamento (plastificazione della lignina)	120°C
Perdita d'acqua	100°C
Temperatura ambiente	20°C



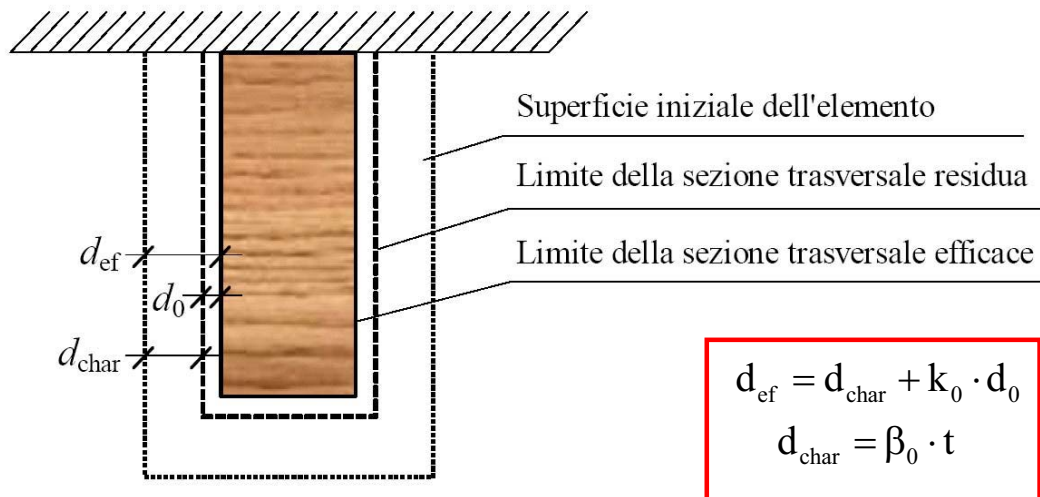
24

## VALUTAZIONE ANALITICA DELLA R AL FUOCO

1. Determinazione della **sezione efficace ridotta** in funzione della classe C di resistenza al fuoco :

Si definisce:

- Linea di carbonizzazione: confine fra stato carbonizzato e sezione trasversale residua;
- Sezione trasversale residua: la sezione trasversale originaria ridotta dello strato carbonizzato;
- Sezione trasversale efficace: la sezione trasversale originaria ridotta dello strato carbonizzato e di un successivo strato in cui si considerano nulli i valori di resistenza e di rigidezza;



25

## VALUTAZIONE ANALITICA DELLA R AL FUOCO

dove:

$$d_{\text{ef}} = \text{profondità di carbonizzazione};$$

$\beta_0$  = velocità di carbonizzazione ideale, convenientemente superiore a quella effettiva per includere fessurazioni e spigoli arrotondati;

$k_0$  = coefficiente dipendente dal tempo t:

	variabile da 0 a 1 per $0 < t < 20 \text{ min}$
	pari ad 1 per $t > 20 \text{ min};$

$$d_0 = 7 \text{ mm.}$$

## 2. Determinazione della **velocità di carbonizzazione**:

**Tabella B.22**–Velocità di carbonizzazione  $\beta_0$

Materiale	$\beta_0$ [mm/minuto]
<b>a) Conifere e faggio</b> Legno massiccio con massa volumica caratteristica non inferiore a 290 kg/m <sup>3</sup> Legno lamellare incollato con massa volumica caratteristica non inferiore a 290 kg/m <sup>3</sup>	0,8  0,7
<b>b) Latifoglie</b> Legno massiccio o legno lamellare incollato con massa volumica caratteristica non inferiore a 290 kg/m <sup>3</sup> Legno massiccio o legno lamellare incollato con massa volumica caratteristica non inferiore a 450 kg/m <sup>3</sup>	0,7  0,55
<b>c) LVL</b> con massa volumica caratteristica non inferiore a 480 kg/m <sup>3</sup>	0,7

26

## VALUTAZIONE ANALITICA DELLA R AL FUOCO

**Valutazione della resistenza al fuoco degli elementi costruttivi in legno**  
**(CRN-DT 206/2006)**

$$f_{d,fi} = k_{\text{mod},fi} \cdot k_{fi} \frac{f_k}{\gamma_{m,fi}}$$

$$S_{d,fi} = k_{\text{mod},fi} \cdot k_{fi} \frac{S_{05}}{\gamma_{m,fi}}$$

dove:

$f_k, S_{05}$  = valore di una generica proprietà del materiale (resistenza o modulo elastico);

$F_{d,fi}, S_{d,fi}$  = valore di progetto una generica proprietà del materiale;

$k_{fi}$  = coefficiente da assumersi pari a: 1,25 per il legno massiccio  
1,15 per il legno lamellare/pannelli

$\gamma_{m,fi} = 1.0$  coefficiente parziale di sicurezza in situazione di incendio;

$k_{\text{mod,fi}} = 1.0$  sostituisce il parametro  $k_{\text{mod}}$  a temperatura ambiente