«Scienza e Tecnica della Prevenzione Incendi»
A.A. 2013 - 2014

Resistenza al fuoco delle strutture

Pietro Croce
p.croce@ing.unipi.it

Regolamento UE 305/2011

Allegato I

REQUISITI DI BASE DELLE OPERE DI COSTRUZIONE

Le opere di costruzione, nel complesso e nelle loro singole parti, devono essere adatte all'uso cui sono destinate, tenendo conto in particolare della salute e della sicurezza delle persone interessate durante l'intero ciclo di vita delle opere. Fatta salva l'ordinaria manutenzione, le opere di costruzione devono soddisfare i presenti requisiti di base delle opere di costruzione per una durata di servizio economicamente adeguata.

1. Resistenza meccanica e stabilità
Le opere di costruzione devono essere concepite e realizzate in modo che i carichi cui possono essere sottoposti durante la realizzazione e l'uso non provochino:
a) il crollo, totale o parziale, della costruzione;
b) gravi ed inammissibili deformazioni;
c) danni ad altre parti delle opere di costruzione, o a impianti principali o accessori, in seguito a una grave deformazione degli elementi portanti;
d) danni accidentali sproporzionati alla causa che li ha provocati.

Regolamento UE 305/2011

Allegato I

2. Sicurezza in caso di incendio

Le opere di costruzione devono essere concepite e realizzate in modo che, in caso di incendio:

a) la capacità portante dell'edificio possa essere garantita per un periodo di tempo determinato;
b) la generazione e la propagazione del fuoco e del fumo al loro interno siano limitate;
c) la propagazione del fuoco a opere di costruzione vicine sia limitata;
d) gli occupanti possano abbandonare le opere di costruzione o essere soccorsi in altro modo;
e) si tenga conto della sicurezza delle squadre di soccorso.

…….

Situazione Normativa Italiana

NTC2008

Eurocodici + Appendici tecniche nazionali in accordo con il punto C.3 del DM 16/02/2007

C.3 I metodi di calcolo da utilizzare ai fini del presente decreto sono quelli contenuti negli eurocodici di seguito indicati se completi delle appendici contenenti i parametri definiti a livello nazionale (NDPs):

C.3.1 EN 1991-1-2 «Azioni sulle strutture – Parte 1-2: Azioni generali –Azioni sulle strutture esposte al fuoco»

C.3.2 EN 1992-1-2 «Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Parte 1-2: Regole generali – Progettazione strutturale contro l'incendio»

C.3.3 EN 1993-1-2 «Progettazione delle strutture di acciaio – Parte 1-2: Regole generali – Progettazione strutturale contro l'incendio»

C.3.4 EN 1994-1-2 «Progettazione delle strutture miste acciaio calcestruzzo – Parte 1-2: Regole generali – Progettazione strutturale contro l'incendio»

C.3.5 EN 1995-1-2 «Progettazione delle strutture di legno – Parte 1-2: Regole generali – Progettazione strutturale contro l'incendio»

C.3.6 EN 1996-1-2 «Progettazione delle strutture di muratura – Parte 1-2: Regole generali – Progettazione strutturale contro l'incendio»

C.3.7 EN 1999-1-2 «Progettazione delle strutture di alluminio – Parte 1-2: Regole generali – Progettazione strutturale contro l'incendio»

Situazione Normativa Italiana

Conseguentemente il punto C4 non è più valido:

C.4 In attesa della pubblicazione delle appendici nazionali degli eurocodici, è possibile limitare l'impiego dei metodi di calcolo alla

sola verifica della resistenza al fuoco degli elementi costruttivi portanti, con riferimento agli eurocodici indicati in C.3.2, C.3.3, C.3.4 e C.3.5 con i valori dei parametri da definire a livello nazionale presenti nelle norme stesse come valori di riferimento ovvero con riferimento alle norme UNI di seguito indicate :

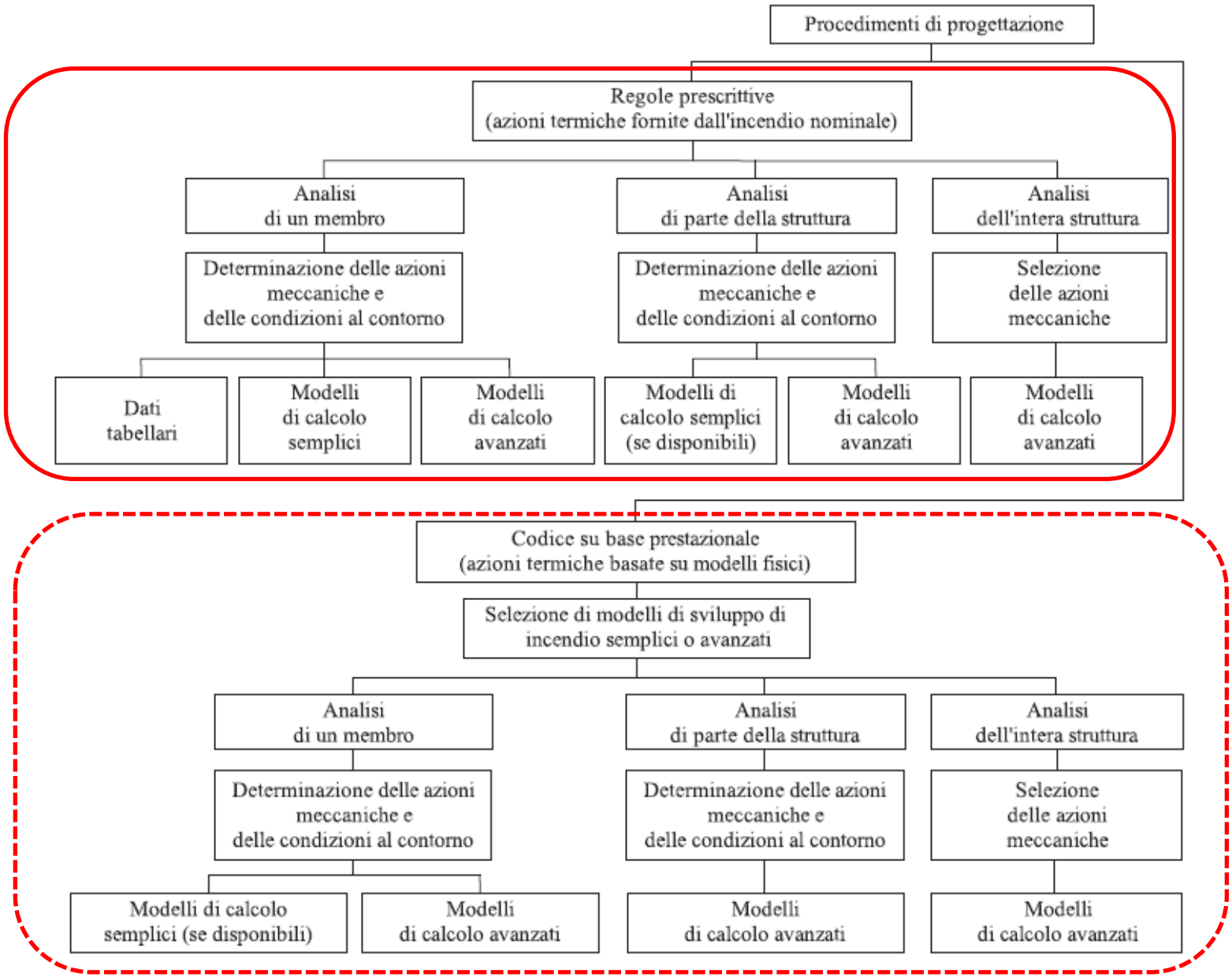
C.4.1 UNI 9502 «Procedimento analitico per valutare la resistenza al fuoco degli elementi costruttivi di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso»

C.4.2 UNI 9503 «Procedimento analitico per valutare la resistenza al fuoco degli elementi costruttivi di acciaio»

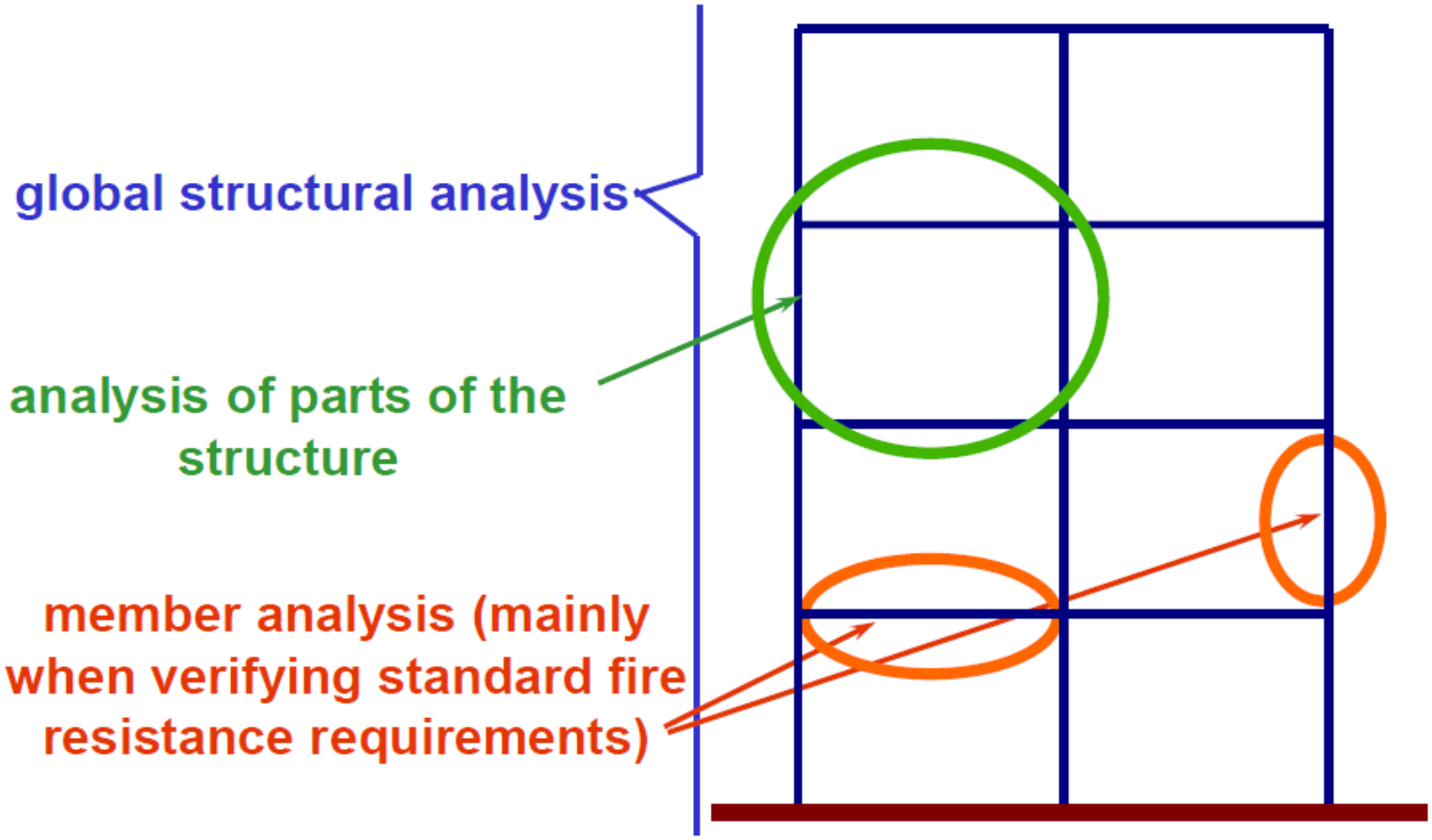
C.4.3 UNI 9504 «Procedimento analitico per valutare la resistenza al fuoco degli elementi costruttivi di legno»

Le norme UNI citate sono state abrogate

EN 1991-1-2 – Procedimenti di progettazione



Different design approaches for mechanical response of structure in fire



Curve nominali di temperatura dell'EN1991-1-2

Curva temperatura - tempo normalizzata

(1) La curva temperatura - tempo normalizzata è fornita dall'espressione:

$$\Theta_g = 20 + 345 \log_{10} (8\,t + 1) \qquad [°C] \qquad (3.4)$$

dove:

Θ_g è la temperatura del gas all'interno del compartimento antincendio [°C];

t è il tempo [min].

(2) Il coefficiente di trasferimento di calore per convezione è:

$$\alpha_c = 25\ W/m^2K$$

Curva dell'incendio esterno

(1) La curva di riscaldamento dell'incendio esterno è fornita dall'espressione:

$$\Theta_g = 660\,(1 - 0{,}687\,e^{-0{,}32\,t} - 0{,}313\,e^{-3{,}8\,t}) + 20 \qquad [°C] \qquad (3.5)$$

dove:

Θ_g è la temperatura del gas in vicinanza dell'elemento [°C];

t è il tempo [min].

(2) Il coefficiente di trasferimento di calore per convezione è:

$$\alpha_c = 25\ W/m^2K$$

Curva degli idrocarburi

(1) La curva temperatura - tempo relativa all'incendio di idrocarburi è fornita dall'espressione:

$$\Theta_g = 1\,080\,(1 - 0{,}325\,e^{-0{,}167\,t} - 0{,}675\,e^{-2{,}5\,t}) + 20 \qquad [°C] \qquad (3.6)$$

dove:

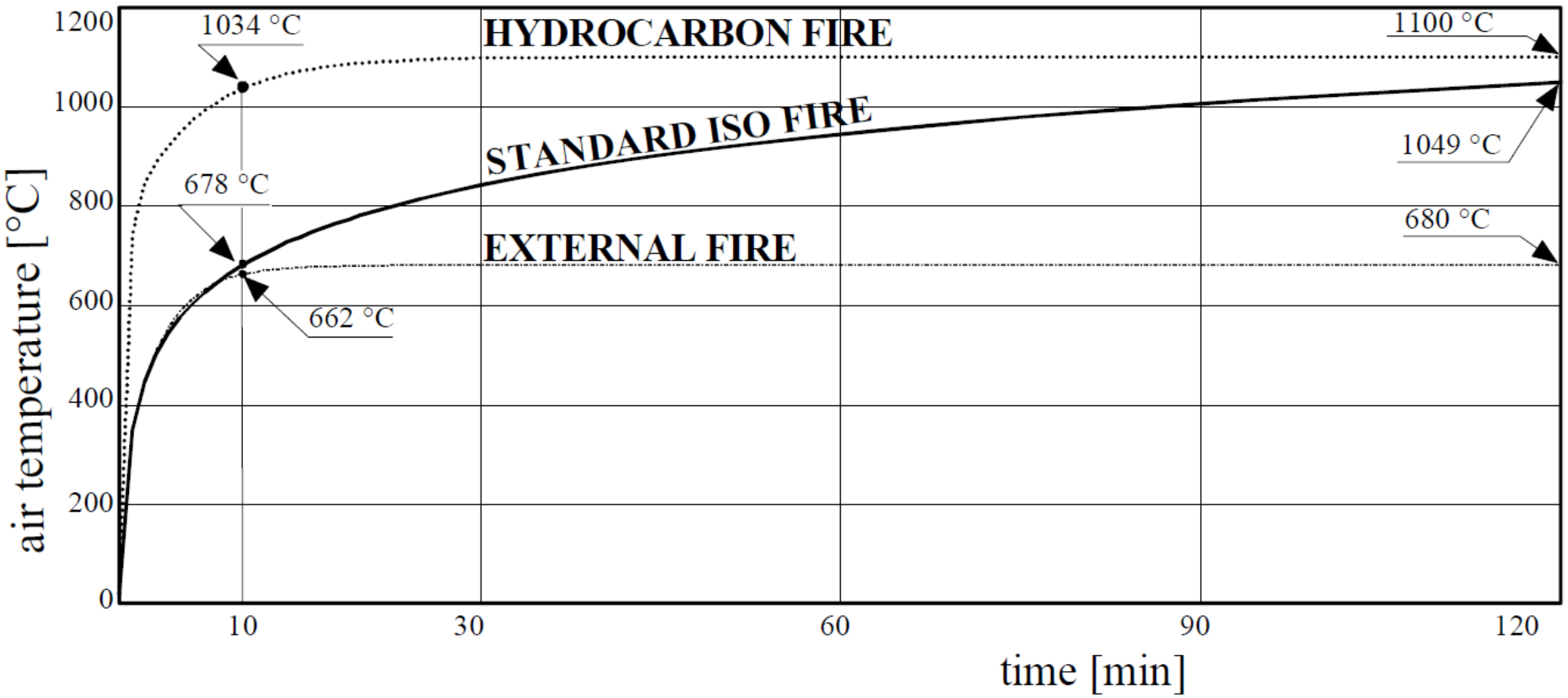
Θ_g è la temperatura del gas all'interno del compartimento antincendio [°C];

t è il tempo [min].

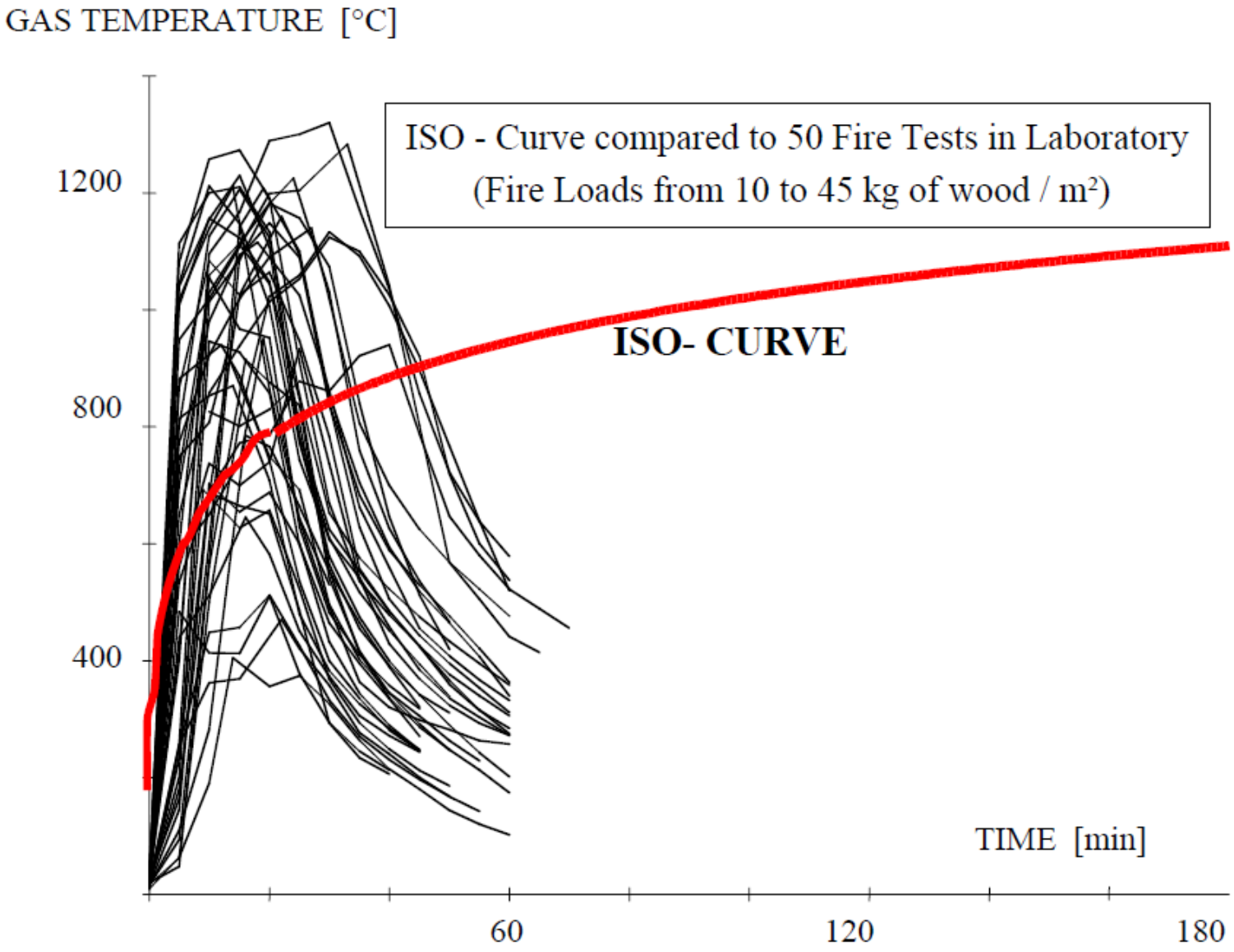
(2) Il coefficiente di trasferimento di calore per convezione è: (3.7)

$$\alpha_c = 50\ W/m^2K$$

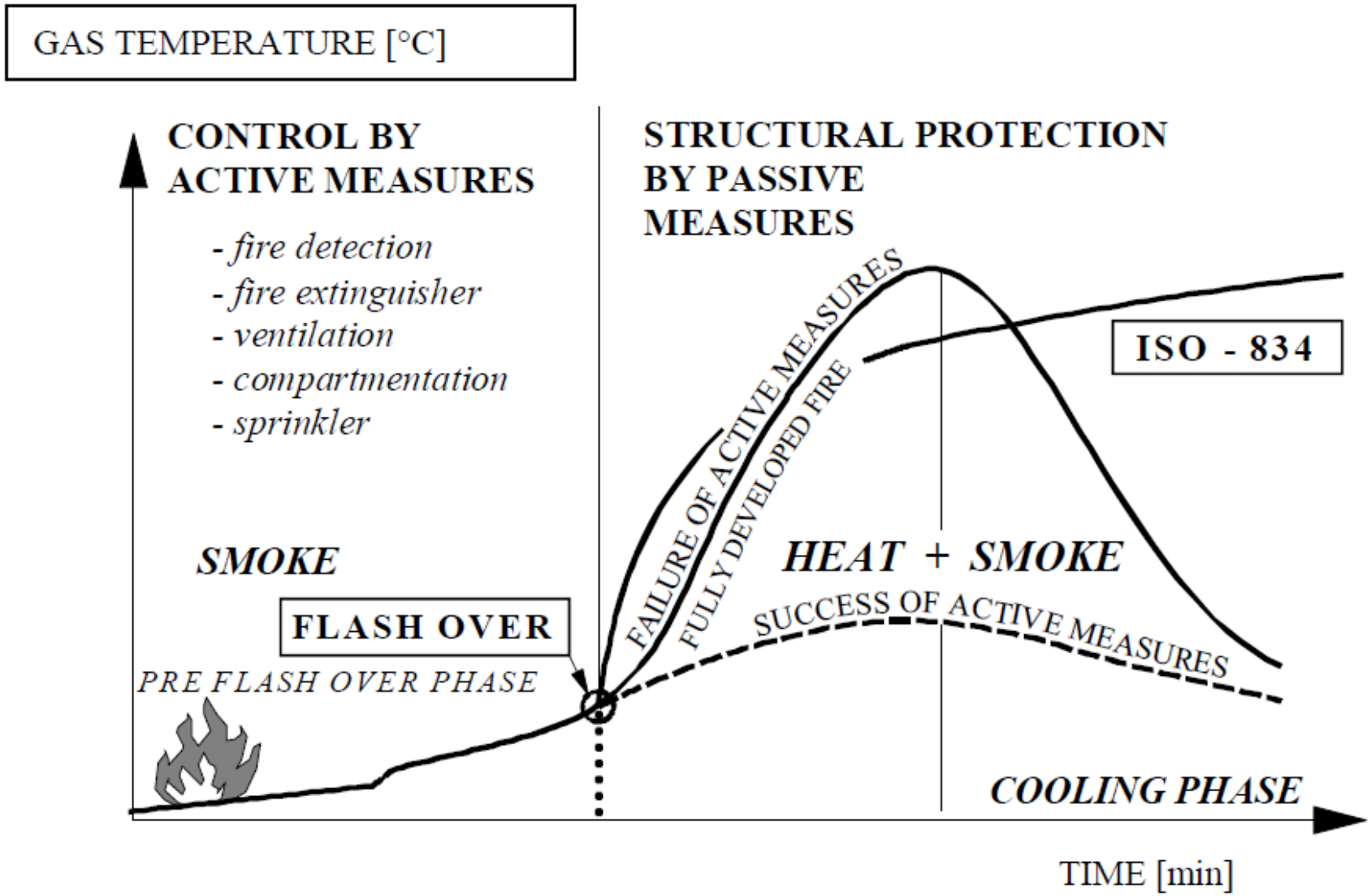
Curve nominali di temperatura dell'EN1991-1-2



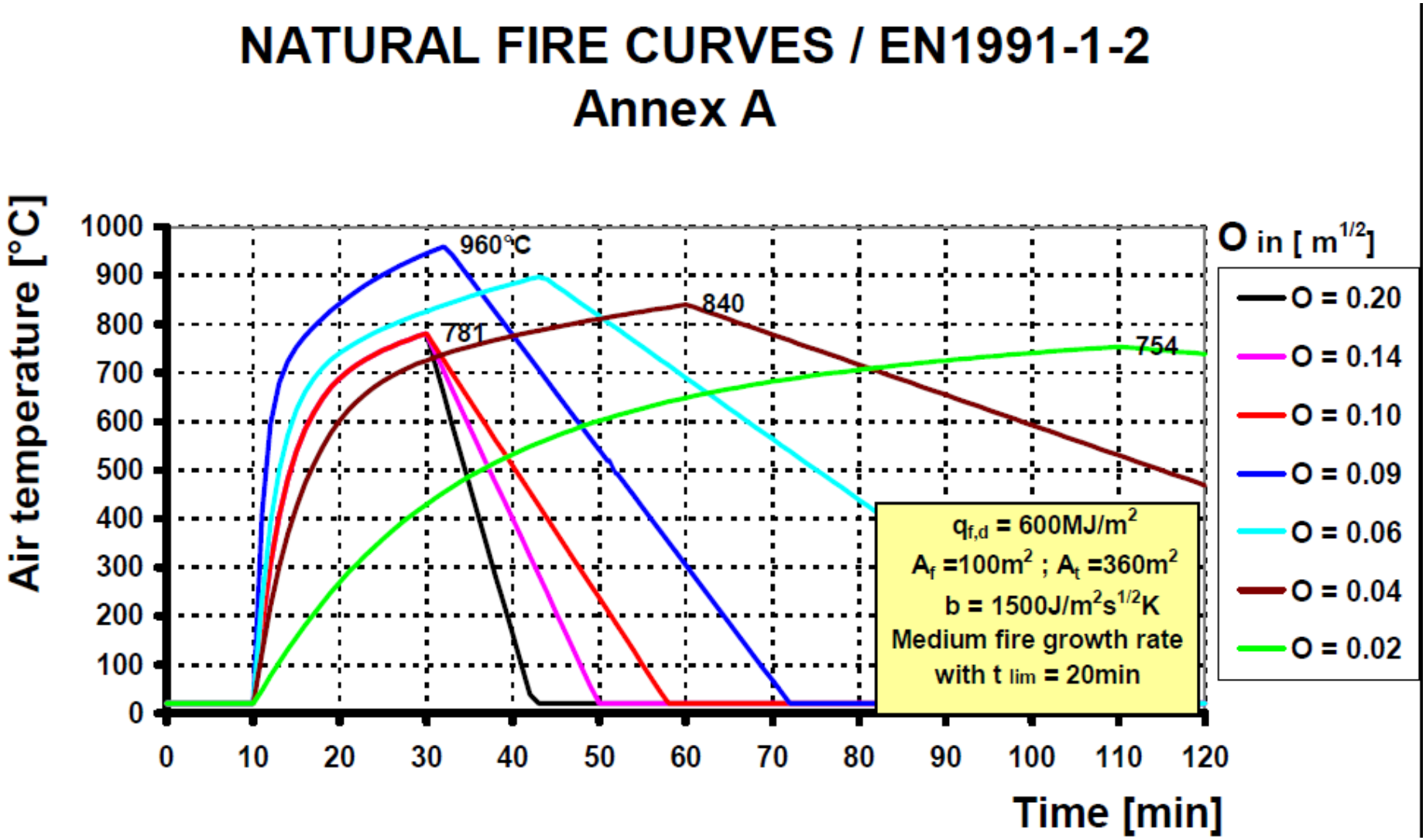
Curve naturali confrontate con la curva d'incendio standard



Fasi dello sviluppo di un incendio naturale



Curve naturali d'incendio in funzione del fattore d'apertura O



Combinazioni di carico NTC2008

2.5.3 COMBINAZIONI DELLE AZIONI

Ai fini delle verifiche degli stati limite si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni.

– Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \ldots \qquad (2.5.1)$$

– Combinazione caratteristica (rara), generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili, da utilizzarsi nelle verifiche alle tensioni ammissibili di cui al § 2.7:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \ldots \qquad (2.5.2)$$

– Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \ldots \qquad (2.5.3)$$

– Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \ldots \qquad (2.5.4)$$

– Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E (v. § 3.2):

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \ldots \qquad (2.5.5)$$

– Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali di progetto A_d (v. § 3.6):

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \ldots \qquad (2.5.6)$$

Nelle combinazioni per SLE, si intende che vengono omessi i carichi Q_{kj} che danno un contributo favorevole ai fini delle verifiche e, se del caso, i carichi G_2.

Verifiche allo SLU

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \ldots \qquad (2.5.1)$$

Tabella 2.6.I – *Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU*

		Coefficiente γ_F	EQU	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli sfavorevoli	γ_{G1}	0,9 1,1	1,0 1,3	1,0 1,0
Carichi permanenti non strutturali[(1)]	favorevoli sfavorevoli	γ_{G2}	0,0 1,5	0,0 1,5	0,0 1,3
Carichi variabili	favorevoli sfavorevoli	γ_{Qi}	0,0 1,5	0,0 1,5	0,0 1,3

[(1)]Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare per essi gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

Tabella 2.5.I – *Valori dei coefficienti di combinazione*

Categoria/Azione variabile	ψ_{0j}	ψ_{1j}	ψ_{2j}
Categoria A Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso ≤ 30 kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso > 30 kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H Coperture	0,0	0,0	0,0
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

Verifiche allo SLU

Tabella 3.1.II – *Valori dei carichi d'esercizio per le diverse categorie di edifici*

Cat.	Ambienti	q_k [kN/m^2]	Q_k [kN]	H_k [kN/m]
A	**Ambienti ad uso residenziale.** Sono compresi in questa categoria i locali di abitazione e relativi servizi, gli alberghi. (ad esclusione delle aree suscettibili di affollamento)	2,00	2,00	1,00
B	**Uffici.**			
	Cat. B1 Uffici non aperti al pubblico	2,00	2,00	1,00
	Cat. B2 Uffici aperti al pubblico	3,00	2,00	1,00
C	**Ambienti suscettibili di affollamento**			
	Cat. C1 Ospedali, ristoranti, caffè, banche, scuole	3,00	2,00	1,00
	Cat. C2 Balconi, ballatoi e scale comuni, sale convegni, cinema, teatri, chiese, tribune con posti fissi	4,00	4,00	2,00
	Cat. C3 Ambienti privi di ostacoli per il libero movimento delle persone, quali musei, sale per esposizioni, stazioni ferroviarie, sale da ballo, palestre, tribune libere, edifici per eventi pubblici, sale da concerto, palazzetti per lo sport e relative tribune	5,00	5,00	3,00
D	**Ambienti ad uso commerciale.**			
	Cat. D1 Negozi	4,00	4,00	2,00
	Cat. D2 Centri commerciali, mercati, grandi magazzini, librerie…	5,00	5,00	2,00
E	**Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale.**			
	Cat. E1 Biblioteche, archivi, magazzini, depositi, laboratori manifatturieri	≥ 6,00	6,00	1,00*
	Cat. E2 Ambienti ad uso industriale, da valutarsi caso per caso	—	—	—
F-G	**Rimesse e parcheggi.**			
	Cat. F Rimesse e parcheggi per il transito di automezzi di peso a pieno carico fino a 30 kN	2,50	2 x 10,00	1,00**
	Cat. G Rimesse e parcheggi per transito di automezzi di peso a pieno carico superiore a 30 kN: da valutarsi caso per caso	—	—	—
H	**Coperture e sottotetti**			
	Cat. H1 Coperture e sottotetti accessibili per sola manutenzione	0,50	1,20	1,00
	Cat. H2 Coperture praticabili	secondo categoria di appartenenza		
	Cat. H3 Coperture speciali (impianti, eliporti, altri) da valutarsi caso per caso	—	—	—

* non comprende le azioni orizzontali eventualmente esercitate dai materiali immagazzinati

** per i soli parapetti o partizioni nelle zone pedonali. Le azioni sulle barriere esercitate dagli automezzi dovranno essere valutate caso per caso

Verifiche per azioni eccezionali (nel caso specifico: incendio)

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \ldots \qquad (2.5.6)$$

Tabella 2.5.I – *Valori dei coefficienti di combinazione*

Categoria/Azione variabile	ψ_{0j}	ψ_{1j}	ψ_{2j}
Categoria A Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso ≤ 30 kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso > 30 kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H Coperture	0,0	0,0	0,0
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

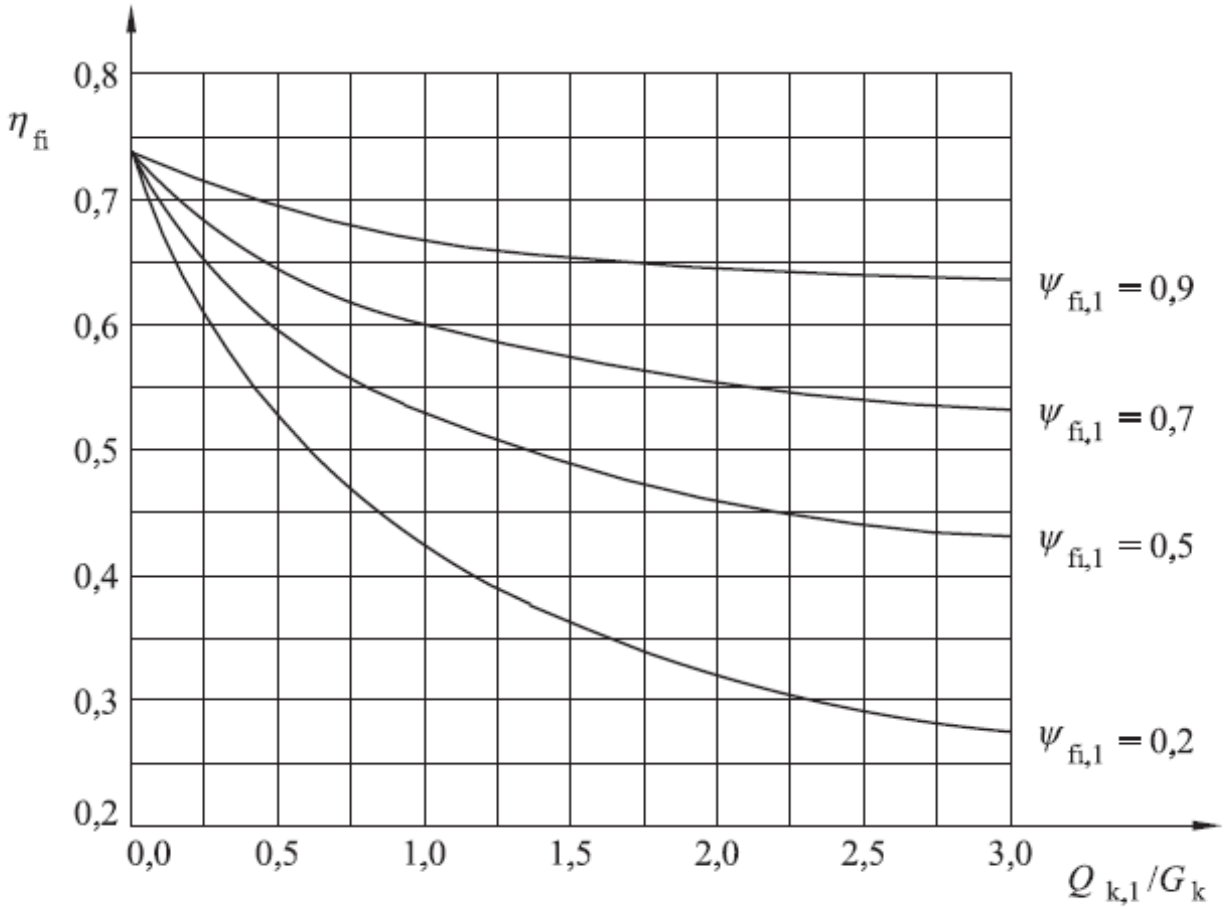
Fattore di riduzione del carico

$$\eta_{fi} = \frac{\gamma_{GA} G_k + \psi_{2.1} Q_{k.1}}{\gamma_G G_k + \gamma_{Q.1} Q_{k.1}}$$

γ_{GA}=1,0

Verifiche per azioni eccezionali (nel caso specifico: incendio)

Variazione del fattore di riduzione η_{fi} con il rapporto di carico $Q_{k,1}/G_k$



$$\eta_{fi} = \frac{\gamma_{GA} G_k + \psi_{2.1} Q_{k.1}}{\gamma_G G_k + \gamma_{Q.1} Q_{k.1}}$$

γ_{GA}=1,0

Strategie di progettazione «a caldo» degli Eurocodici

Only load bearing function **R** of steel structures is covered by the design rules of the fire part of Eurocodes

Load bearing function of a structure is satisfied only if during the relevant duration of fire exposure **t**

$$\mathbf{E_{fi,d,t}} \leq \mathbf{R_{fi,d,t}}$$

where

$\mathbf{E_{fi,d,t}}$: design effect of actions (Eurocodes 1990 and 1991)

$\mathbf{R_{fi,d,t}}$: design resistance of the structure at time **t**

Strategie di progettazione «a caldo» degli Eurocodici

Azioni termiche

$$\dot{h}_{net} = \dot{h}_{net,c} + \dot{h}_{net,r} \qquad [W/m^2]$$

$$\dot{h}_{net,c} = \alpha_c \cdot (\Theta_g - \Theta_m) \qquad [W/m^2] \qquad (3.2)$$

dove:

α_c è il coefficiente di trasferimento di calore per convezione [W/m^2K];

Θ_g è la temperatura del gas in vicinanza dell'elemento esposto al fuoco [°C];

Θ_m è la temperatura superficiale dell'elemento [°C].

Si raccomanda che sulla faccia non esposta di elementi di separazione il flusso termico netto sia determinato utilizzando l'equazione (3.1) con $\alpha_c = 4$ [W/m^2K]. Si raccomanda che il coefficiente di trasferimento di calore per convezione sia assunto come $\alpha_c = 9$ [W/m^2K], quando si considerano compresi in esso gli effetti del trasferimento di calore per irraggiamento.

Strategie di progettazione «a caldo» degli Eurocodici
Azioni termiche

$$\dot{h}_{net} = \dot{h}_{net,c} + \dot{h}_{net,r} \qquad [W/m^2]$$

La componente netta del flusso termico per irraggiamento per unità di superficie è determinata nella forma:

$$\dot{h}_{net,r} = \Phi \cdot \varepsilon_m \cdot \varepsilon_f \cdot \sigma \cdot [(\Theta_r + 273)^4 - (\Theta_m + 273)^4] \qquad [W/m^2] \qquad (3.3)$$

dove:

Φ è il fattore di configurazione;

ε_m è l'emissività superficiale dell'elemento;

ε_f è l'emissività del fuoco;

σ è la costante di Stephan Boltzmann ($5{,}67 \cdot 10^{-8}$ W/m^2K^4);

Θ_r è la temperatura effettiva di irraggiamento della zona incendiata [°C];

Θ_m è la temperatura superficiale dell'elemento [°C].

Se non fornito nelle parti da EN 1992 a EN 1966 o EN1999 nelle sezioni dedicate alle proprietà di progettazione antincendio dei materiali, si può adottare ε_m= 0,8.
L'emissività del fuoco è assunta in generale pari a ε_f = 1,0.

In generale si adotta un fattore di configurazione sia assunto pari a Φ = 1,0. Un valore inferiore è consentito per includere nell'analisi effetti dovuti a schermatura o posizione.

Strategie di progettazione «a caldo» degli Eurocodici

Eurocodes allow fire resistance to be established in any of 3 "domains":

Time: $t_{fi.d} \geq t_{fi.requ}$

Load resistance: $R_{fi.d.t} \geq E_{fi.d.t}$

Temperature: $\theta_{cr.d} \geq \theta_d$

- Usually only <u>directly</u> feasible using advanced calculation models.
- Feasible by hand calculation. Find reduced resistance at required resistance time.
- Most usual simple EC3 method. Find critical temperature for loading, compare with design temperature.

$t_{fi.d}$: design fire resistance time

$t_{fi.requ}$: required fire resistance time

Resistenze di progetto - Calcestruzzo (EN 1992-1-2)

SLU (a T=20° C)

Per il calcestruzzo la resistenza di calcolo a compressione, f_{cd}, é:

$$f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_C \qquad (4.1.4)$$

dove:

α_{cc} è il coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata;

γ_C è il coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo;

f_{ck} è la resistenza caratteristica cilindrica a compressione del calcestruzzo a 28 giorni.

Il coefficiente γ_C è pari ad 1,5.

Il coefficiente α_{cc} è pari a 0,85.

La resistenza di calcolo dell'acciaio f_{yd} è riferita alla tensione di snervamento ed il suo valore è dato da:

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_S \qquad (4.1.6)$$

dove:

γ_S è il coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio;

f_{yk} per armatura ordinaria è la tensione caratteristica di snervamento dell'acciaio (v. § 11.3.2), per armature da precompressione è la tensione convenzionale caratteristica di snervamento data, a seconda del tipo di prodotto, da f_{pyk} (barre), $f_{p(0,1)k}$ (fili), $f_{p(1)k}$ (trefoli e trecce); si veda in proposito la Tab. 11.3.VII.

Il coefficiente γ_S assume sempre, per tutti i tipi di acciaio, il valore 1,15.

Resistenze di progetto - Calcestruzzo (EN 1992-1-2)

VERIFICHE DI RESISTENZA AL FUOCO

4.1.13 RESISTENZA AL FUOCO

Le verifiche di resistenza al fuoco potranno eseguirsi con riferimento a UNI EN 1992-1-2, utilizzando i coefficienti γ_M (v. § 4.1.4) relativi alle combinazioni eccezionali ed assumendo il coefficiente α_{cc} pari a 1,0.

4.1.4 VERIFICHE PER SITUAZIONI ECCEZIONALI

Le resistenze di calcolo dei materiali riferite ad una specifica situazione di verifica si ottengono con i seguenti coefficienti parziali di sicurezza:

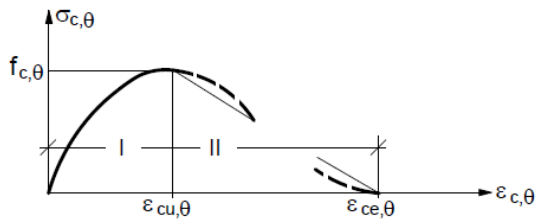
- calcestruzzo e aderenza con le armature $\gamma_C = 1{,}0$
- acciaio d'armatura $\gamma_S = 1{,}0$

Proprietà dei materiali – Calcestruzzo (EN 1992-1-2)

RESISTENZA A COMPRESSIONE

Valori dei principali parametri delle relazioni sforzi-deformazioni del calcestruzzo ordinario con aggregati silicei o calcarei a elevate temperature

Temperatura del calcestruzzo, θ	Aggregati silicei			Aggregati calcarei		
	$f_{c,\theta}/f_{ck}$	$\varepsilon_{c1,\theta}$	$\varepsilon_{cu1,\theta}$	$f_{c,\theta}/f_{ck}$	$\varepsilon_{c1,\theta}$	$\varepsilon_{cu1,\theta}$
[°C]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
1	2	3	4	5	6	7
20	1,00	0,0025	0,0200	1,00	0,0025	0,0200
100	1,00	0,0040	0,0225	1,00	0,0040	0,0225
200	0,95	0,0055	0,0250	0,97	0,0055	0,0250
300	0,85	0,0070	0,0275	0,91	0,0070	0,0275
400	0,75	0,0100	0,0300	0,85	0,0100	0,0300
500	0,60	0,0150	0,0325	0,74	0,0150	0,0325
600	0,45	0,0250	0,0350	0,60	0,0250	0,0350
700	0,30	0,0250	0,0375	0,43	0,0250	0,0375
800	0,15	0,0250	0,0400	0,27	0,0250	0,0400
900	0,08	0,0250	0,0425	0,15	0,0250	0,0425
1 000	0,04	0,0250	0,0450	0,06	0,0250	0,0450
1 100	0,01	0,0250	0,0475	0,02	0,0250	0,0475
1 200	0,00	-	-	0,00	-	-



RANGE I:

$$\sigma_{c,\theta} = f_{c,\theta}\left[3\left(\frac{\varepsilon_{c,\theta}}{\varepsilon_{cu,\theta}}\right)\Big/\left\{2+\left(\frac{\varepsilon_{c,\theta}}{\varepsilon_{cu,\theta}}\right)^3\right\}\right] \qquad (18)$$

$$\left.\begin{array}{l} k_{c,\theta} = \dfrac{f_{c,\theta}}{f_c} \\ \text{and } \varepsilon_{cu,\theta} \end{array}\right\} \text{ to be chosen according to the values of table 1}$$

RANGE II:

For numerical purposes a descending branch should be adopted.

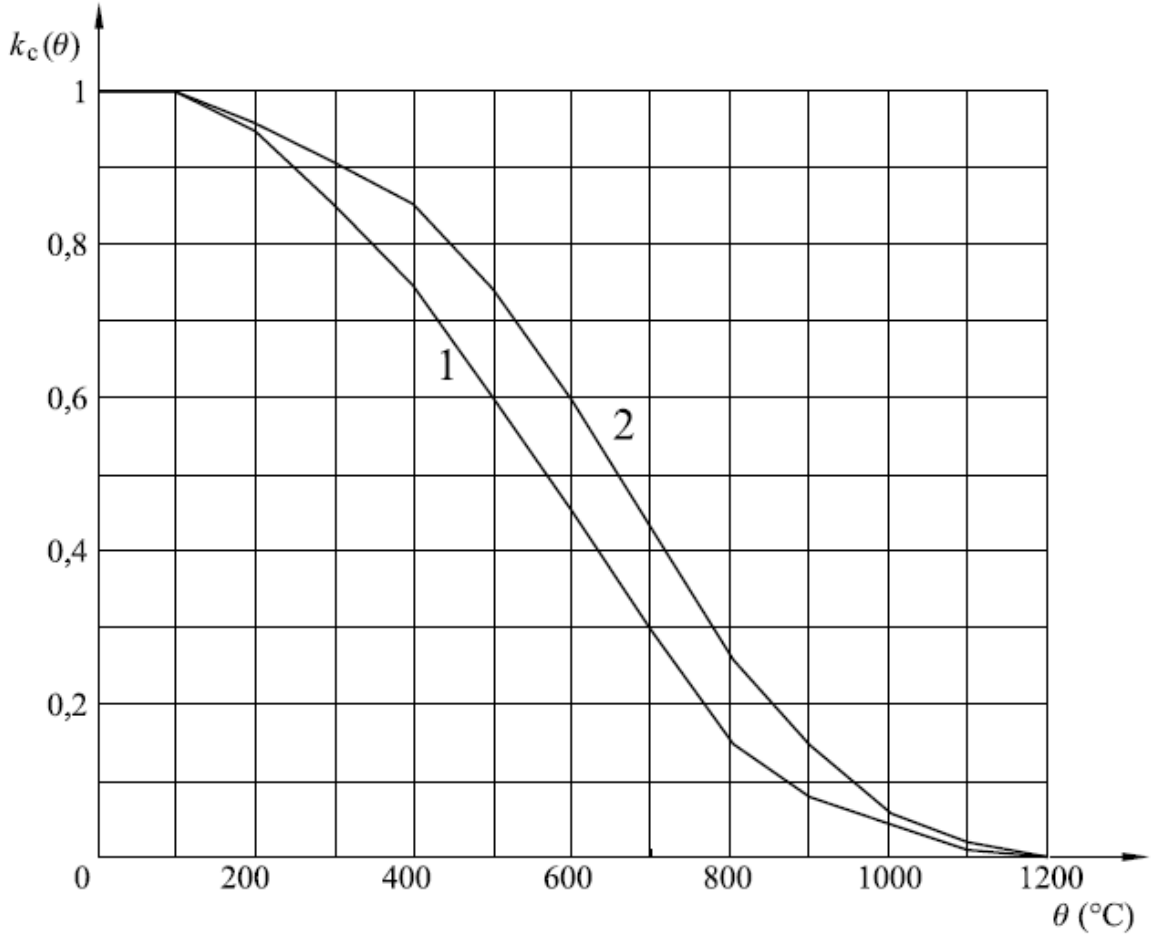
Proprietà dei materiali – Calcestruzzo (EN 1992-1-2)

RESISTENZA A COMPRESSIONE IN FUNZIONE DELLA TEMPERATURA

Coefficiente $k_c(\theta)$ per la valutazione della riduzione della resistenza caratteristica (f_{ck}) calcestruzzo

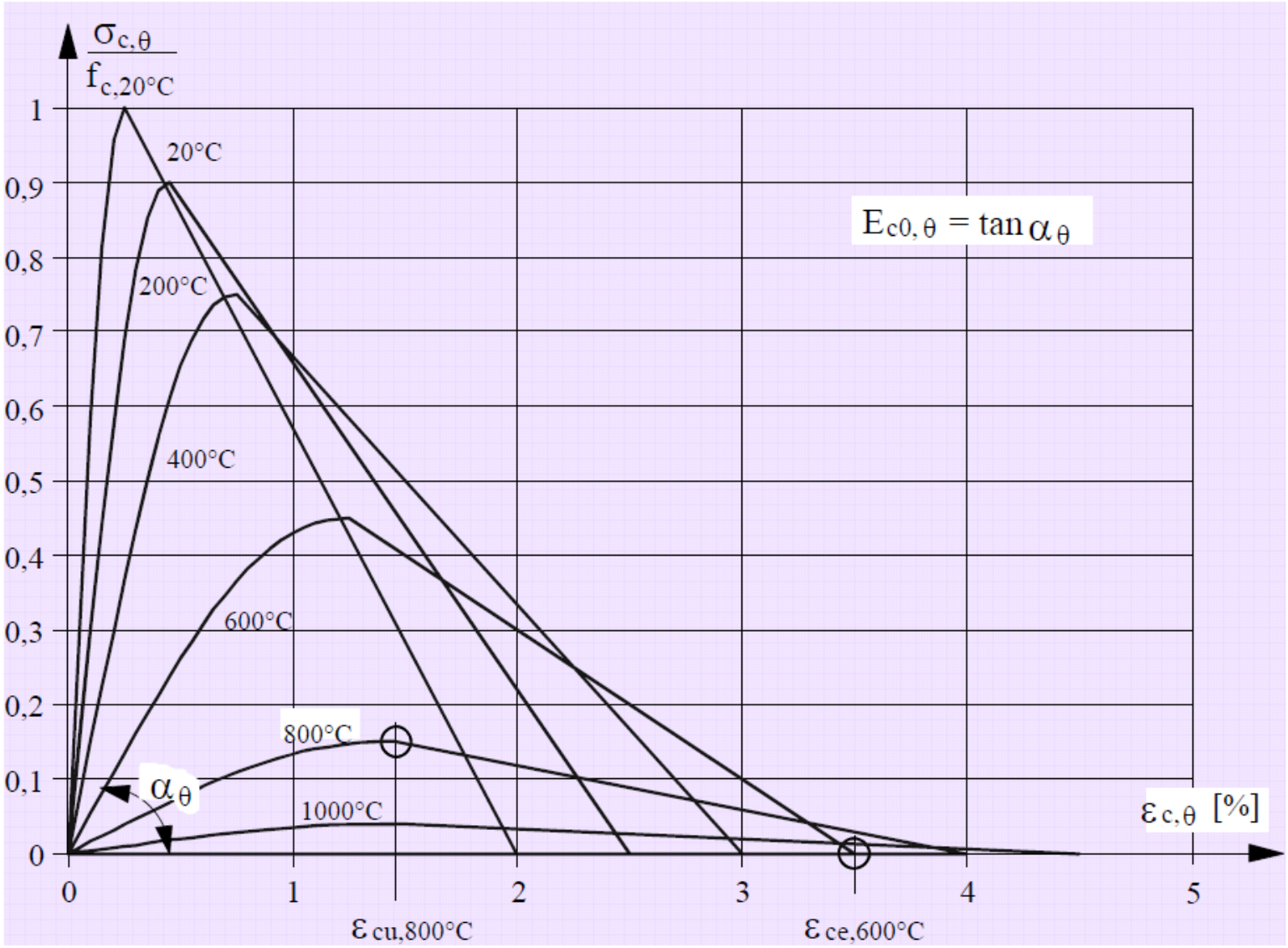
1 Curva 1: calcestruzzo ordinario con aggregati silicei

2 Curva 2: calcestruzzo ordinario con aggregati calcarei

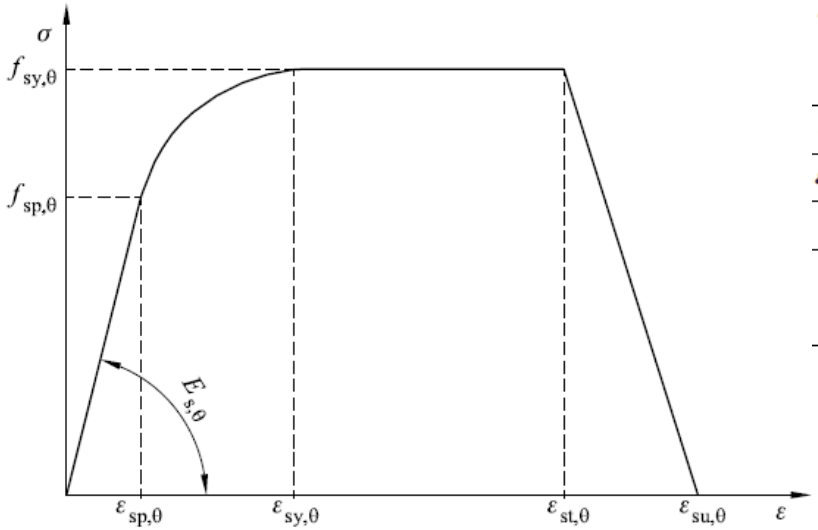


Proprietà dei materiali – Calcestruzzo (EN 1992-1-2)

CURVE σ−ε IN FUNZIONE DELLA TEMPERATURA – Aggregati silicei



Proprietà dei materiali – Acciaio e acciaio da precompressione (EN 1992-1-2)



Intervallo	Sforzi $\sigma(\theta)$	Modulo tangente
$\varepsilon_{sp,\theta}$	$\varepsilon E_{s,\theta}$	$E_{s,\theta}$
$\varepsilon_{sp,\theta} \le \varepsilon \le \varepsilon_{sy,\theta}$	$f_{sp,\theta} - c + (b/a)[a^2 - (\varepsilon_{sy,\theta} - \varepsilon)^2]^{0,5}$	$\dfrac{b(\varepsilon_{sy,\theta} - \varepsilon)}{a[a^2 - (\varepsilon - \varepsilon_{sy,\theta})^2]^{0,5}}$
$\varepsilon_{sy,\theta} \le \varepsilon \le \varepsilon_{st,\theta}$	$f_{sy,\theta}$	0
$\varepsilon_{st,\theta} \le \varepsilon \le \varepsilon_{su,\theta}$	$f_{sy,\theta}[1-(\varepsilon - \varepsilon_{st,\theta})/(\varepsilon_{su,\theta} - \varepsilon_{st,\theta})]$	-
$\varepsilon = \varepsilon_{su,\theta}$	0,00	-
Parametro *)	$\varepsilon_{sp,\theta} = f_{sp,\theta} / E_{s,\theta}$ $\quad \varepsilon_{sy,\theta} = 0{,}02$ $\quad \varepsilon_{st,\theta} = 0{,}15$ $\quad \varepsilon_{su,\theta} = 0{,}20$ Acciaio da pretensione di Classe A: $\quad \varepsilon_{st,\theta} = 0{,}05$ $\quad \varepsilon_{su,\theta} = 0{,}10$	
Funzioni	$a^2 = (\varepsilon_{sy,\theta} - \varepsilon_{sp,\theta})(\varepsilon_{sy,\theta} - \varepsilon_{sp,\theta} + c/E_{s,\theta})$ $b^2 = c(\varepsilon_{sy,\theta} - \varepsilon_{sp,\theta}) E_{s,\theta} + c^2$ $c = \dfrac{(f_{sy,\theta} - f_{sp,\theta})^2}{(\varepsilon_{sy,\theta} - \varepsilon_{sp,\theta})E_{s,\theta} - 2(f_{sy,\theta} - f_{sp,\theta})}$	

Temperatura Acciaio	$f_{sy,\theta} / f_{yk}$		$f_{sp,\theta} / f_{yk}$		$E_{s,\theta} / E_s$	
θ[°C]	laminato a caldo	trafilato a freddo	laminato a caldo	trafilato a freddo	laminato a caldo	trafilato a freddo
1	2	3	4	5	6	7
20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
100	1,00	1,00	1,00	0,96	1,00	1,00
200	1,00	1,00	0,81	0,92	0,90	0,87
300	1,00	1,00	0,61	0,81	0,80	0,72
400	1,00	0,94	0,42	0,63	0,70	0,56
500	0,78	0,67	0,36	0,44	0,60	0,40
600	0,47	0,40	0,18	0,26	0,31	0,24
700	0,23	0,12	0,07	0,08	0,13	0,08
800	0,11	0,11	0,05	0,06	0,09	0,06
900	0,06	0,08	0,04	0,05	0,07	0,05
1 000	0,04	0,05	0,02	0,03	0,04	0,03
1 100	0,02	0,03	0,01	0,02	0,02	0,02
1 200	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Proprietà dei materiali – Acciaio (EN 1992-1-2)

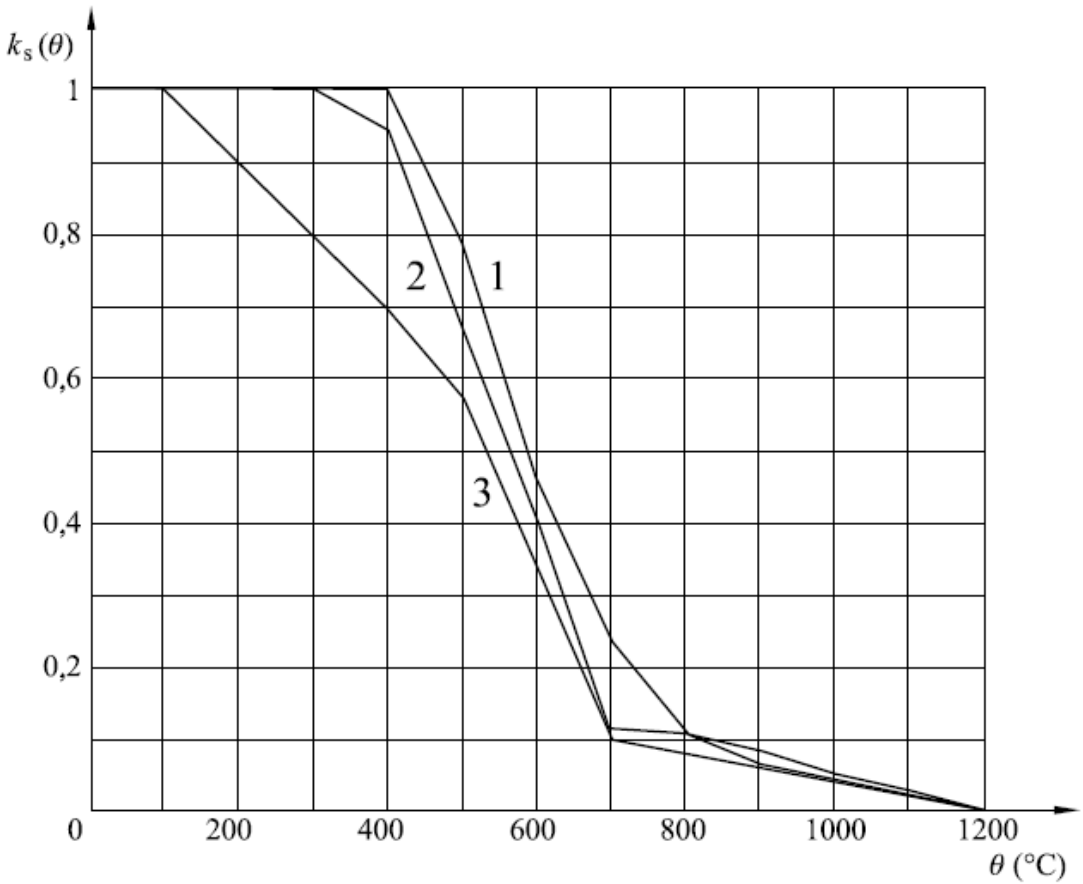
Coefficiente $k_s(\theta)$ per la valutazione della riduzione della resistenza caratteristica (f_{yk}) di armature tese e compresse (Classe N)

Legenda

Curva 1 Armatura tesa (laminata a caldo) per deformazioni $\varepsilon_{s,fi} \geq 2\%$

Curva 2 Armatura tesa (trafilata a freddo) per deformazioni $\varepsilon_{s,fi} \geq 2\%$

Curva 3 Armatura compressa e tesa per deformazioni $\varepsilon_{s,fi} < 2\%$



Proprietà dei materiali – Acciaio da precompressione (EN 1992-1-2)

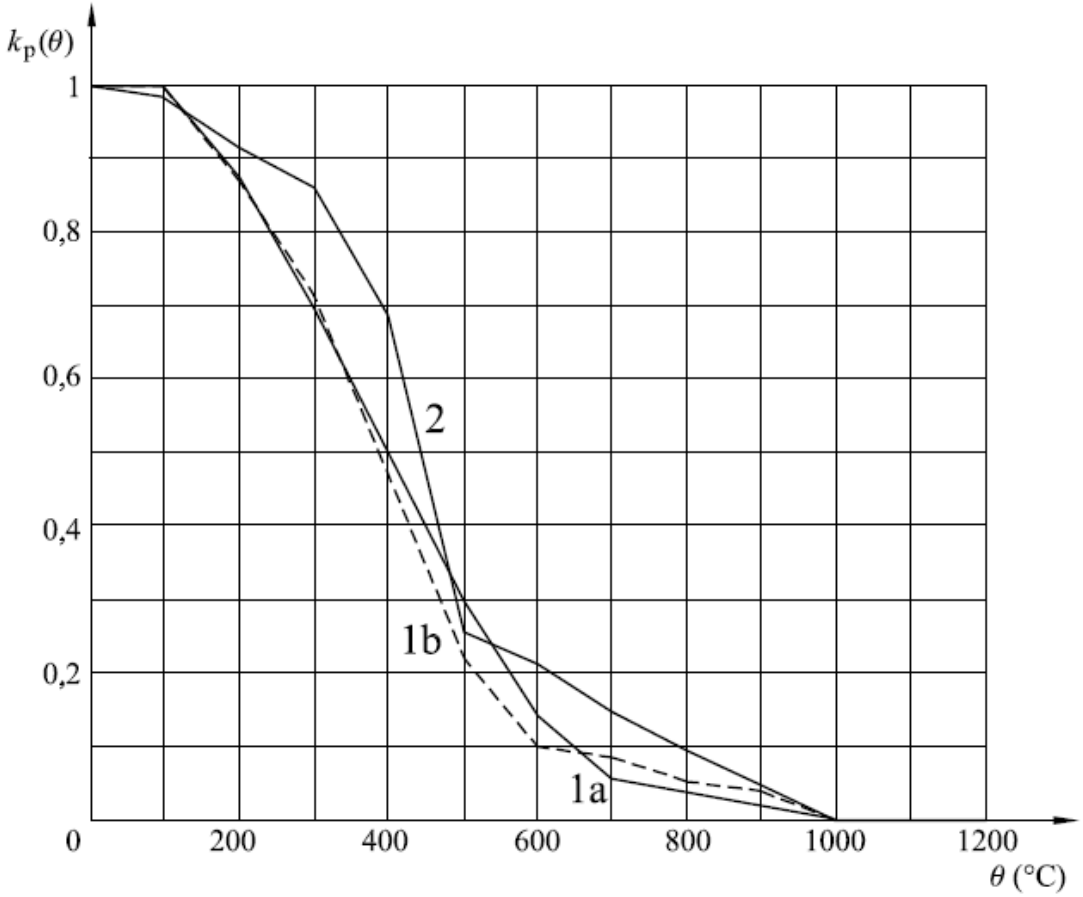
Coefficiente $k_p(\theta)$ per la valutazione della riduzione della resistenza caratteristica (βf_{pk}) dell'acciaio da pretensione

Legenda

Curva 1a Acciaio da pretensione trafilato a freddo (fili e trefoli) Classe A

Curva 1b Acciaio da pretensione trafilato a freddo (fili e trefoli) Classe B

Curva 2 Acciaio da pretensione bonificato e temperato (barre)



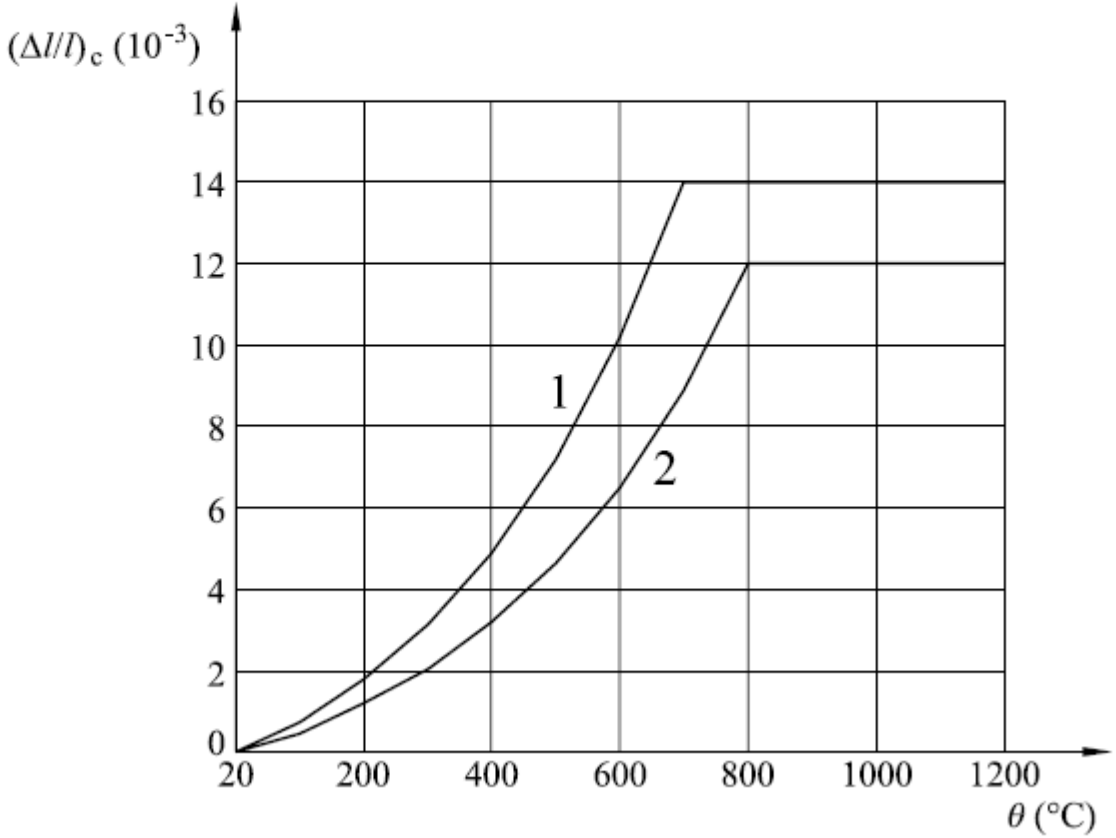
Proprietà dei materiali – Calcestruzzo (EN 1992-1-2)

Dilatazione termica totale del calcestruzzo

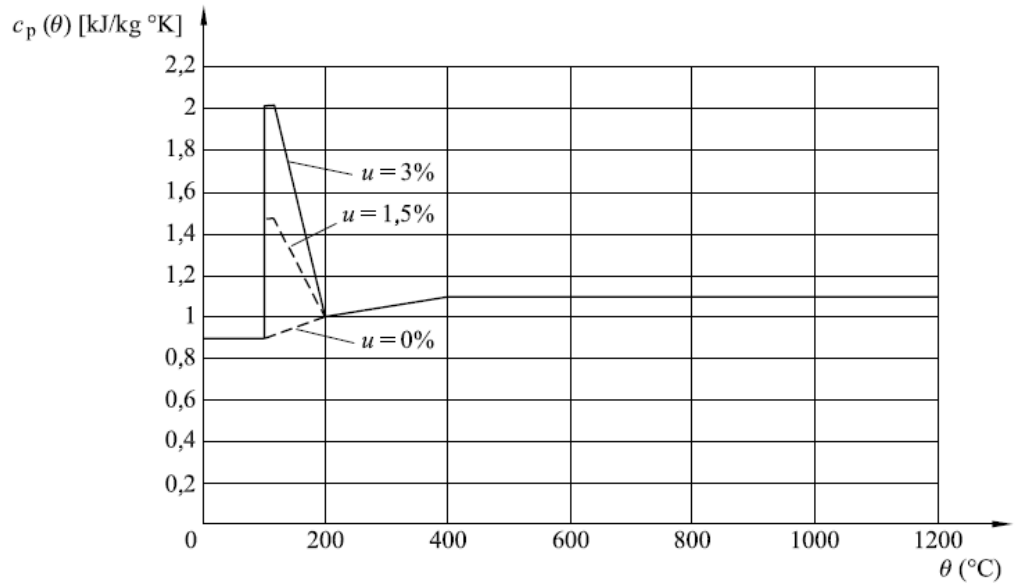
Legenda

1 Curva 1: aggregati silicei

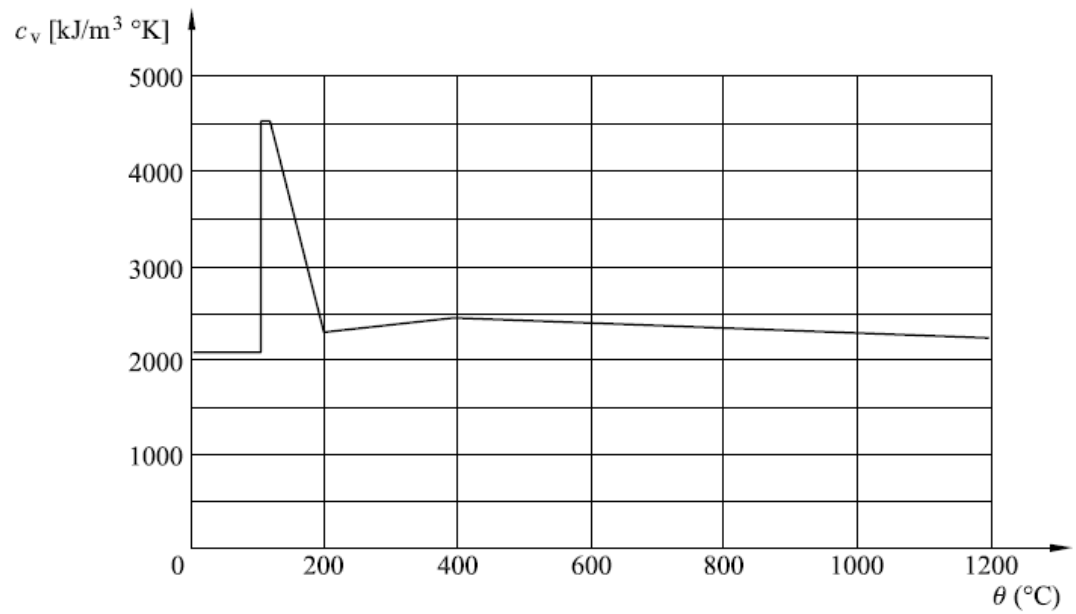
2 Curva 2: aggregati calcarei



Proprietà dei materiali – Calcestruzzo (EN 1992-1-2)



a) Calore specifico, c_p (θ) funzione della temperatura per 3 diversi contenuti di umidità u, pari a 0, 1,5 e 3,0% in peso per calcestruzzo siliceo



b) Calore specifico volumetrico, c_v (θ) funzione della temperatura per il contenuto di umidità u, pari al 3,0% in peso per calcestruzzo siliceo con massa volumica 2 300 kg/m^3

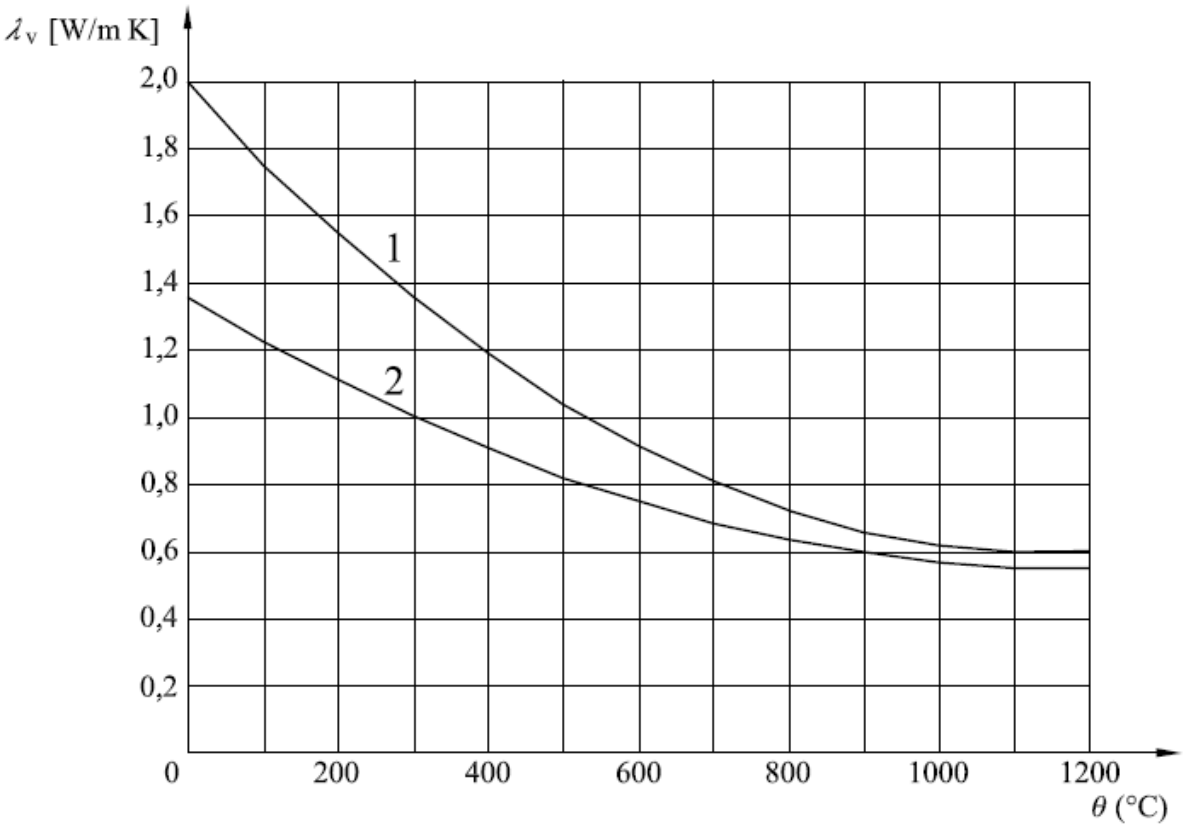
Proprietà dei materiali – Calcestruzzo (EN 1992-1-2)

Conduttività termica del calcestruzzo

Legenda

1 Limite superiore

2 Limite inferiore



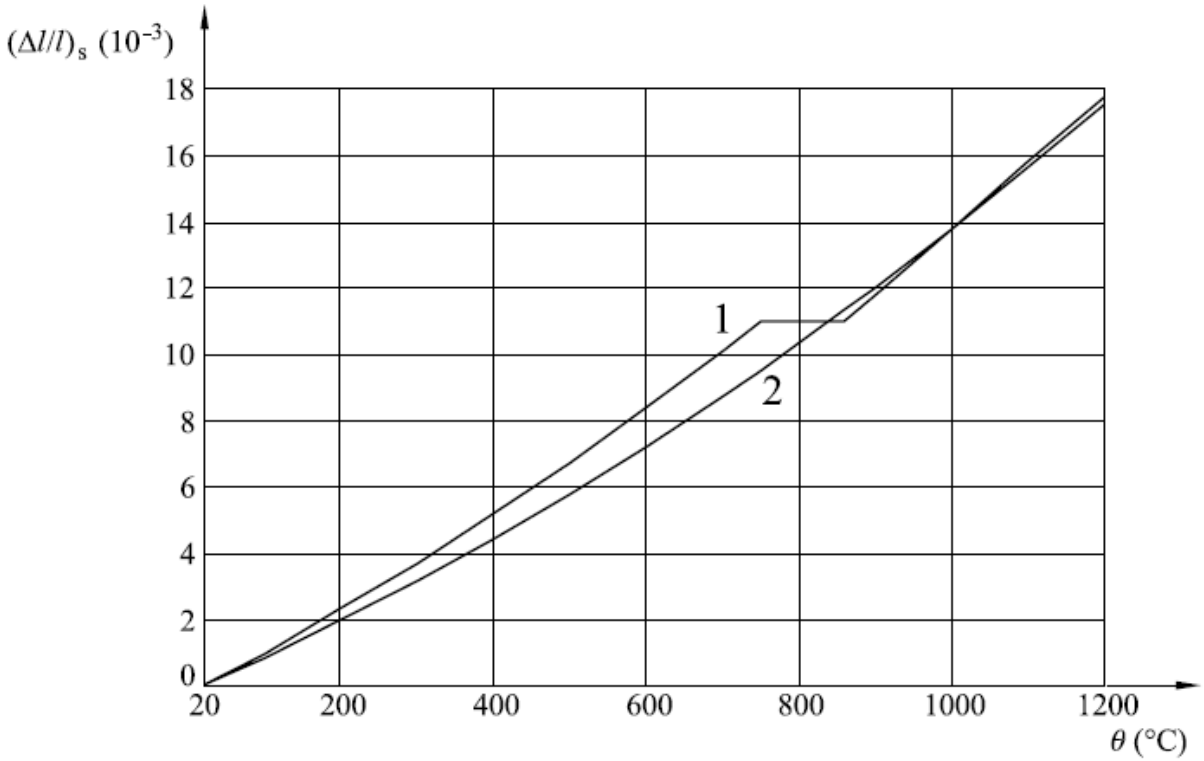
Proprietà dei materiali – Acciaio (EN 1992-1-2)

Dilatazione termica totale dell'acciaio

Legenda

1 Curva 1: acciaio di armatura

2 Curva 2: acciaio da pretensione



Proprietà dei materiali – Acciaio (EN 1992-1-2)

temperatura critica dell'armatura: È la temperatura dell'armatura alla quale ci si attende il collasso della membratura in caso di incendio (*Criterio R*) per un dato livello di sollecitazione dell'acciaio.

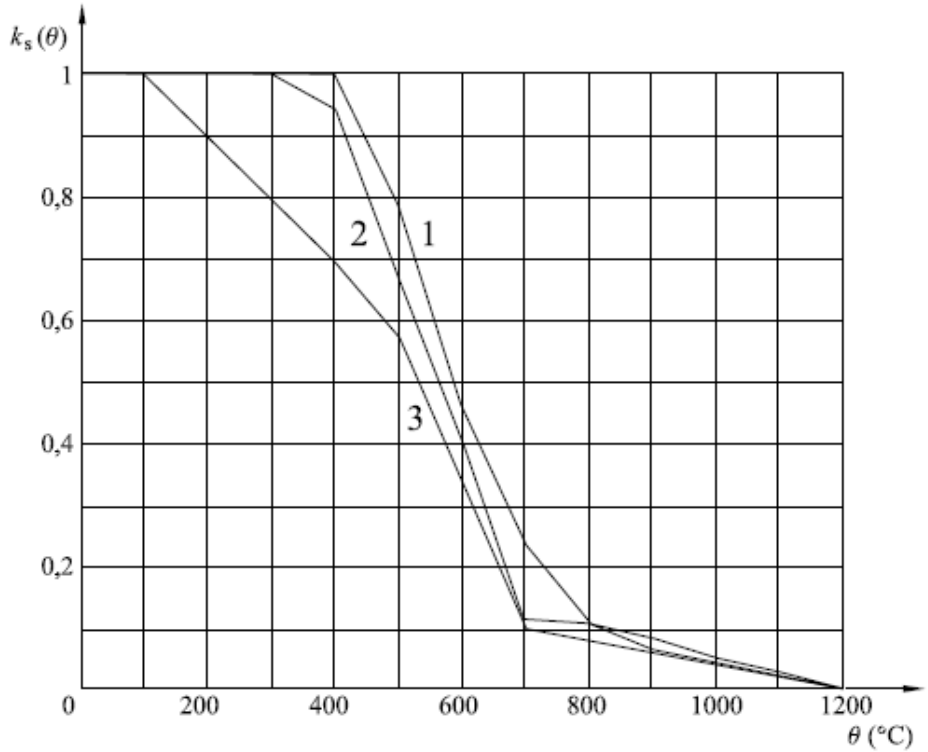
Coefficiente $k_s(\theta)$ per la valutazione della riduzione della resistenza caratteristica (f_{yk}) di armature tese e compresse (Classe N)

Legenda

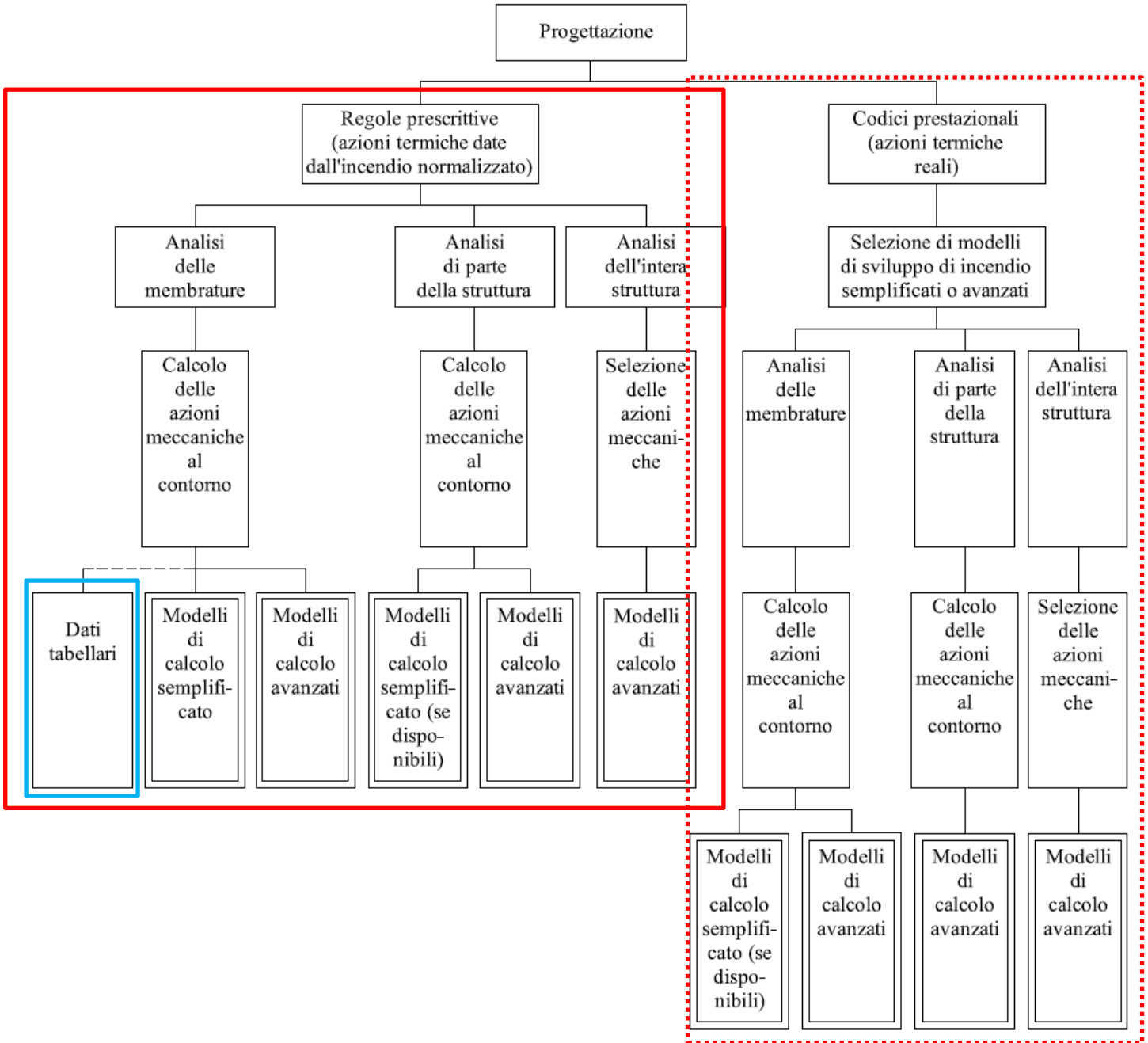
Curva 1 Armatura tesa (laminata a caldo) per deformazioni $\varepsilon_{s,fi} \geq 2\%$

Curva 2 Armatura tesa (trafilata a freddo) per deformazioni $\varepsilon_{s,fi} \geq 2\%$

Curva 3 Armatura compressa e tesa per deformazioni $\varepsilon_{s,fi} < 2\%$



EN 1991-1-2 – Procedimenti di progettazione



EN 1992-1-2 – Procedimenti di progettazione con dati tabellari – (η_{fi}=0,7)
Tabelle dell'allegato D al DM 16/2/2007

D.5.1 La tabella seguente riporta i valori minimi (mm) dello spessore totale H di solette e solai, della distanza a dall'asse delle armature alla superficie esposta sufficienti a garantire il requisito R per le classi indicate.

Classe	30	60	90	120	180	240
Solette piene con armatura monodirezionale	H = 80 / a = 10	120/ 20	120 / 30	160 / 40	200 / 55	240 / 65
Solai misti di lamiera di acciaio con riempimento di calcestruzzo (1)	H = 80 / a = 10	120 / 20	120 / 30	160 / 40	200 / 55	240 / 65
Solai a travetti con alleggerimento (2)	H = 160 / a = 15	200 / 30	240 / 35	240 / 45	300 / 60	300 / 75
Solai a lastra con alleggerimento (3)	H = 160 / a = 15	200 / 30	240 / 35	240 / 45	300 / 60	300 / 75

I valori di a devono essere non inferiori ai minimi di regolamento per le opere di c.a. e c.a.p. In caso di armatura pre-tesa aumentare i valori di a di 15 mm. In presenza di intonaco i valori di H e a ne devono tenere conto nella seguente maniera: 10 mm di intonaco normale (definizione in D.4.1) equivale ad 10 mm di calcestruzzo; 10 mm di intonaco protettivo antincendio (definizione in D.4.1) equivale a 20 mm di calcestruzzo. Per ricoprimenti di calcestruzzo superiori a 50 mm prevedere una armatura diffusa aggiuntiva che assicuri la stabilità del ricoprimento.

(1) In caso di lamiera grecata H rappresenta lo spessore medio della soletta. Il valore di a non comprende lo spessore della lamiera. La lamiera ha unicamente funzione di cassero. In caso contrario la lamiera va protetta secondo quanto indicato in D.7.1

(2) Deve essere sempre presente uno strato di intonaco normale di spessore non inferiore a 20 mm ovvero uno strato di intonaco isolante di spessore non inferiore a 10 mm.

(3) In caso di alleggerimento in polistirene o materiali affini prevedere opportuni sfoghi delle sovrapressioni.

D.5.2 Per garantire i requisiti di tenuta e isolamento i solai di cui alla tabella D.5.1 devono presentare uno strato pieno di materiale isolante, non combustibile e con conducibilità termica non superiore a quella del calcestruzzo, di cui almeno una parte in calcestruzzo armato. La tabella seguente riporta i valori minimi (cm) dello spessore h dello strato di materiale isolante e della parte d di c.a., sufficienti a garantire i requisiti EI per le classi indicate.

Classe	30	60	90	120	180	240
Tutte le tipologie	h = 60 / d = 40	60 / 40	100 / 50	100 / 50	150 / 60	150 / 60

In presenza di intonaco i valori di h e di a ne possono tenere conto nella maniera indicata nella tabella D.5.1. In ogni caso a non deve mai essere inferiore a 40 mm.

In presenza di strati superiori di materiali di finitura incombustibile (massetto, malta di allettamento, pavimentazione, etc.) i valori di h ne possono tener conto

EN 1992-1-2 – Procedimenti di progettazione con dati tabellari – (η_{fi}=0,7)
EN 1992-1-2

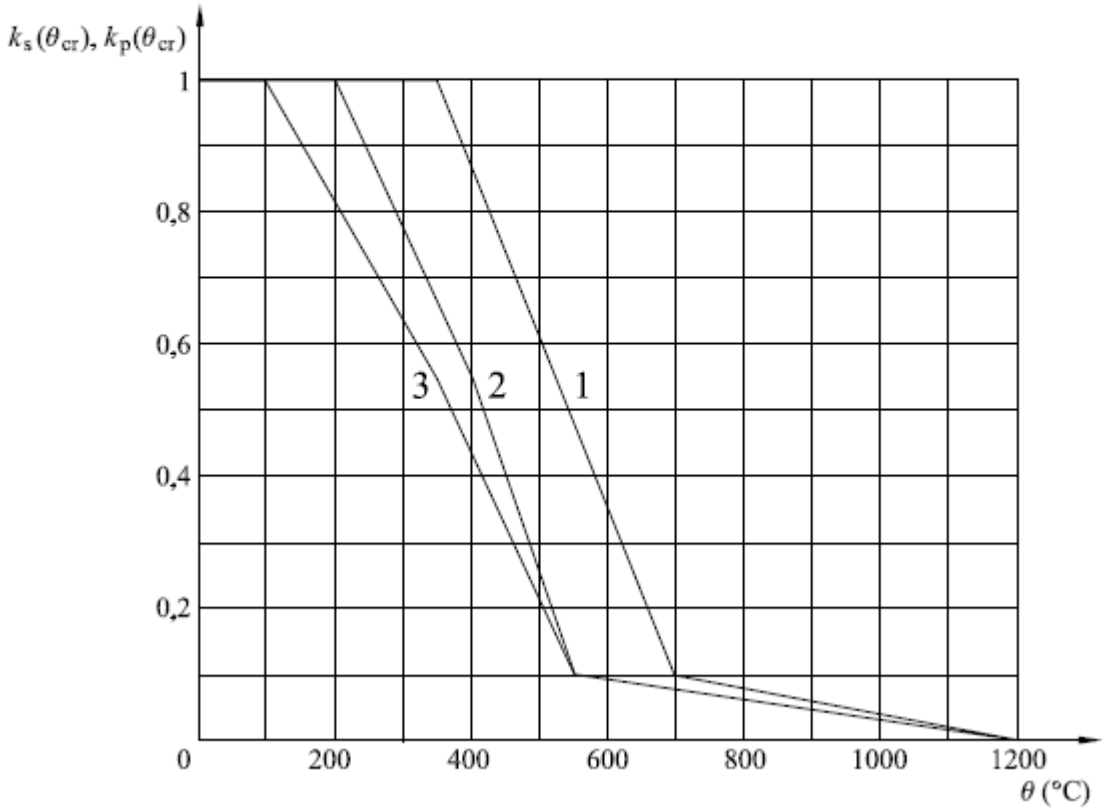
Curve di riferimento per la temperatura critica dell'acciaio armatura e da pretensione θ_{cr} corrispondenti al fattore di riduzione $k_s(\theta_{cr}) = \sigma_{s,fi}/f_{yk}(20\,°C)$ o $k_p(\theta_{cr}) = \sigma_{s,fi}/f_{pk}(20\,°C)$

Legenda

Curva 1 Acciaio di armatura

Curva 2 Acciaio da pretensione (barre: EN 10138-4)

Curva 3 Acciaio da pretensione (fili e trefoli: EN 10138-2 e -3)



EN 1992-1-2 – Procedimenti di progettazione con dati tabellari
Tabelle dell'allegato D al DM 16/2/2007 – Prospetti dell'EN1992-1-2

D.6.1 La tabella seguente riporta i valori minimi (mm) della larghezza b della sezione, della distanza a dall'asse delle armature alla superficie esposta e della larghezza d'anima b_w di travi con sezione a larghezza variabile sufficienti a garantire il requisito R per le classi indicate di travi semplicemente appoggiate. Per travi con sezione a larghezza variabile b è la larghezza in corrispondenza della linea media delle armature tese.

Classe	Combinazioni possibili di b e a				b_w
30	b = 80 / a = 25	120 / 20	160 / 15	200 / 15	80
60	b = 120 / a = 40	160 / 35	200 / 30	300 / 25	100
90	b = 150 / a = 55	200 / 45	300 / 40	400 / 35	100
120	b = 200 / a = 65	240 / 60	300 / 55	500 / 50	120
180	b = 240 / a = 80	300 / 70	400 / 65	600 / 60	140
240	b = 280 / a = 90	350 / 80	500 / 75	700 / 70	160

I valori di a devono essere non inferiori ai minimi di regolamento per le opere di c.a. e c.a.p. In caso di armatura pre-tesa aumentare i valori di a di 15 mm. In presenza di intonaco i valori di b e a ne possono tenere conto nella maniera indicata nella tabella D.5.1. Per ricoprimenti di calcestruzzo superiori a 50 mm prevedere una armatura diffusa aggiuntiva che assicuri la stabilità del ricoprimento.

TRAVI

prospetto 5.5 **Dimensioni minime e distanze dell'asse per travi semplicemente appoggiate di calcestruzzo armato e calcestruzzo armato precompresso**

Resistenza al fuoco normalizzata	Dimensioni minime (mm)						
	Combinazioni possibili di a e b_{min} dove a è la distanza media dell'asse e b_{min} è lo spessore della trave				Spessore dell'anima b_w		
					Classe WA	Classe WB	Classe WC
1	2	3	4	5	6	7	8
R30	b_{min}= 80	120	160	200	80	80	80
	a = 25	20	15*)	15*)			
R60	b_{min}= 120	160	200	300	100	80	100
	a = 40	35	30	25			
R90	b_{min}= 150	200	300	400	110	100	100
	a = 55	45	40	35			
R120	b_{min}= 200	240	300	500	130	120	120
	a = 65	60	55	50			
R180	b_{min}= 240	300	400	600	150	150	140
	a = 80	70	65	60			
R240	b_{min}= 280	350	500	700	170	170	160
	a = 90	80	75	70			
a_{sd} = a + 10 mm (vedere nota sotto)							

Per travi di calcestruzzo armato precompresso si raccomanda di porre attenzione all'incremento della distanza dell'asse secondo il punto 5.2(5).

a_{sd} è la distanza dell'asse delle barre d'angolo (o filo o cavo) da un lato della trave, in travi con un solo strato d'armatura. Per valori di b_{min} maggiori di quelli indicati nella colonna 4 non sono richiesti incrementi per il valore a_{sd}.

*) Generalmente si controlla il copriferro richiesto dalla EN 1992-1-1.

EN 1992-1-2 – Procedimenti di progettazione con dati tabellari

prospetto 5.6 **Dimensioni minime e distanze dell'asse per travi continue di calcestruzzo armato e calcestruzzo armato precompresso** (vedere anche prospetto 5.7)

Resistenza al fuoco normalizzata	Dimensioni minime (mm)						
	Combinazioni possibili di a e b_{min} dove a è la distanza media dell'asse e b_{min} è lo spessore della trave				Spessore dell'anima b_w		
					Classe WA	Classe WB	Classe WC
1	2	3	4	5	6	7	8
R30	b_{min} = 80	160			80	80	80
	a = 15*)	12*)					
R60	b_{min} = 120	200			100	80	100
	a = 25	12*)					
R90	b_{min} = 150	250			110	100	100
	a = 35	25					
R120	b_{min} = 200	300	450	500	130	120	120
	a = 45	35	35	30			
R180	b_{min} = 240	400	550	600	150	150	140
	a = 60	50	50	40			
R240	b_{min} = 280	500	650	700	170	170	160
	a = 75	60	60	50			
a_{sd} = a + 10 mm (vedere nota sotto)							

Per travi di calcestruzzo armato precompresso si raccomanda di porre attenzione all'incremento della distanza dell'asse secondo il punto 5.2(5).

a_{sd} è la distanza dell'asse delle barre d'angolo (o filo o cavo) da un lato della trave, in travi con un solo strato d'armatura. Per valori di b_{min} maggiori di quelli indicati nella colonna 3 non sono richiesti incrementi per il valore a_{sd}.

*) Generalmente si controlla il copriferro richiesto dalla EN 1992-1-1.

TRAVI CONTINUE

Inviluppo dei momenti flettenti resistenti su appoggi in condizioni di incendio

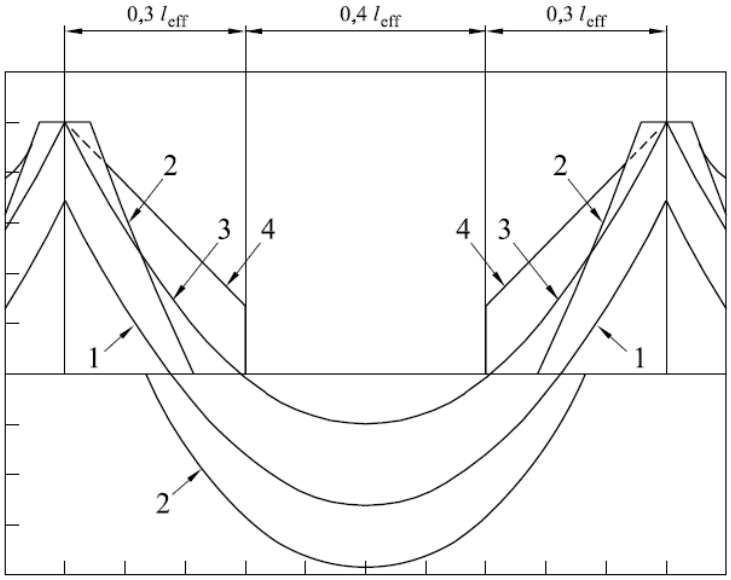
Legenda

1 Diagramma dei momenti flettenti per le azioni in condizioni di incendio a $t = 0$

2 Linea di inviluppo dei momenti flettenti reali a cui deve resistere l'armatura a secondo la EN 1992-1-1

3 Diagramma dei momenti flettenti in condizioni di incendio

4 Linea di inviluppo dei momenti flettenti resistenti secondo l'equazione (5.11)



EN 1992-1-2 – Procedimenti di progettazione con dati tabellari
Tabelle dell'allegato D al DM 16/2/2007 – Prospetti dell'EN1992-1-2

D.6.2 La tabella seguente riporta i valori minimi (mm) del lato più piccolo b di pilastri a sezione rettangolare ovvero del diametro di pilastri a sezione circolare e della distanza a dall'asse delle armature alla superficie esposta sufficienti a garantire il requisito R per le classi indicate di pilastri esposti su uno o più lati che rispettano le seguenti limitazioni:

- lunghezza effettiva del pilastro (da nodo a nodo) ≤ 6 m (per pilastri di piani intermedi) ovvero ≤ 4,5 m (per pilastri dell'ultimo piano);

e

- area complessiva di armatura $A_s \leq 0{,}04\ A_c$ area efficace della sezione trasversale del pilastro

Classe	Esposto su più lati		Esposto su un lato
30	B = 200 / a = 30	300 / 25-	160 / 25
60	B = 250 / a = 45	350 /40	160 / 25
90	B = 350 / a = 50	450/40	160 / 25
120	B = 350 / a = 60	450 / 50	180 / 35
180	B = 450 / a = 70	-	230 / 55
240	-	-	300 / 70

I valori di a devono essere non inferiori ai minimi di regolamento per le opere di c.a. e c.a.p. In caso di armatura pre-tesa aumentare i valori di a di 15 mm. In presenza di intonaco i valori di a ne possono tenere conto nella maniera indicata nella tabella D.5.1. Per ricoprimenti di calcestruzzo superiori a 50 mm prevedere una armatura diffusa aggiuntiva che assicuri la stabilità del ricoprimento.

EN 1992-1-2 – Procedimenti di progettazione con dati tabellari - Prospetti dell'EN1992-1-2

Metodo A

(1) La resistenza al fuoco di pilastri di calcestruzzo armato e calcestruzzo armato precompresso, soggetti principalmente a compressione nelle strutture controventate può essere considerata adeguata se sono applicati i valori del prospetto 5.2a unitamente alle regole seguenti.

(2) La validità dei valori minimi della larghezza del pilastro b_{min} e della distanza dell'asse dell'armatura longitudinale a fornita nel prospetto 5.2a è limitata come segue:

- lunghezza efficace del pilastro (per la definizione vedere Sezione 5 della EN 1992-1-1) in situazione di incendio: $l_{0,fi} \leq 3$ m;
- eccentricità del primo ordine in condizioni di incendio: $e = M_{0Ed,fi}/N_{0Ed,fi} \leq e_{max}$;
- rapporto di armatura: $A_s < 0{,}04\ A_c$.

Nota 1 Il valore di e_{max}, nei limiti $0{,}15h$ (o b) $\leq e_{max} \leq 0{,}4h$ (oppure b), da adottare in uno Stato è reperibile nell'appendice nazionale. Il valore raccomandato è $0{,}15h$ (oppure b).

Nota 2 La lunghezza efficace di un pilastro in condizioni di incendio $l_{0,fi}$ può essere assunta uguale a l_0 a temperatura ambiente in tutti i casi. Per il progetto di strutture controventate dove l'esposizione all'incendio normalizzato richiesta sia maggiore di 30 min, la lunghezza efficace $l_{0,fi}$ può essere presa come 0,5 l per piani intermedi e $0{,}5l \leq l_{0,fi} \leq 0{,}7l$ per l'ultimo piano, dove l è la lunghezza effettiva del pilastro (da centro a centro).

Nota 3 L'eccentricità del primo ordine in situazione di incendio si può assumere pari a quella della progettazione a temperatura ambiente.

(3) Nel prospetto 5.2a è stato introdotto un grado di utilizzo in situazione di incendio, μ_{fi}. Questo vale per le combinazioni di carico e per la resistenza a compressione e flessione del pilastro includendo gli effetti del secondo ordine.

$$\mu_{fi} = N_{Ed,fi}/N_{Rd} \qquad (5.6)$$

dove:

$N_{Ed,fi}$ è il carico assiale di progetto in situazione di incendio;

N_{Rd} è la resistenza di progetto del pilastro a temperatura ambiente.

N_{Rd} è calcolato secondo la EN 1992-1-1 con γ_m per il progetto a temperatura ambiente, compreso gli effetti di secondo ordine e un'eccentricità iniziale uguale all'eccentricità di $N_{Ed,fi}$.

Nota 1 Il fattore di riduzione η_{fi} si può utilizzare al posto di μ_{fi} per il livello di carico di progetto (vedere punto 2.4.2) come una semplificazione a favore di sicurezza, visto che η_{fi} prevede che sostenga l'intero carico previsto per il progetto a temperatura ambiente.

EN 1992-1-2 – Procedimenti di progettazione con dati tabellari - Prospetti dell'EN1992-1-2

prospetto 5.2a **Dimensioni minime del pilastro e distanze dell'asse per pilastri con sezione rettangolare o circolare**

Resistenza al fuoco normalizzata	Dimensioni minime (millimetri) Larghezza del pilastro b_{min} / distanza dell'asse a delle barre principali			
	Pilastro esposto su più lati			Esposto su un lato
	$\mu_{fi} = 0{,}2$	$\mu_{fi} = 0{,}5$	$\mu_{fi} = 0{,}7$	$\mu_{fi} = 0{,}7$
1	2	3	4	5
R30	200/25	200/25	200/32	155/25
			300/27	
R60	200/25	200/36	250/46	155/25
		300/31	350/40	
R90	200/31	300/45	350/53	155/25
	300/25	400/38	450/40**)	
R120	250/40	350/45**)	350/57**)	175/35
	350/35	450/40**)	450/51**)	
R180	350/45**)	350/63**)	450/70**)	230/55
R240	350/61**)	450/75**)	-	295/70

**) Minimo 8 barre. Per pilastri precompressi si raccomanda di porre attenzione all'aumento della distanza dell'asse secondo il punto 5.2 (5).

(4) Altri valori per dati tabellari possono essere valutati utilizzando l'equazi

$$R = 120\,[(R_{\eta fi} + R_a + R_l + R_b + R_n)/120]^{1,8}$$

$$R_{\eta fi} = 83\left[1{,}00 - \mu_{fi}\frac{(1+\omega)}{(0{,}85/\alpha_{cc}) + \omega}\right]$$

dove:

R_a = 1,60 (a - 30)

R_l = 9,60 (5 - $l_{o,fi}$)

R_b = 0,09 b'

R_n = 0 per n = 4 (solo barre d'angolo)

= 12 per $n > 4$

a è la distanza dell'asse delle barre longitudinali d'acciaio (millimetri); 25 mm $\leq a \leq$ 80 mm;

$l_{0,fi}$ è la lunghezza efficace del pilastro in situazione di incendio; 2 m $\leq l_{0,fi} \leq$ 6 m; i valori corrispondenti a $l_{0,fi}$ = 2 m danno risultati sicuri per pilastri con $l_{0,fi} <$ 2 m;

b' = $2A_c$ / (b + h) per sezioni trasversali rettangolari o il diametro per le sezioni trasversali circolari;

200 mm $\leq b' \leq$ 450 mm; $h \leq 1{,}5\,b$.

ω è il rapporto meccanico di armatura a temperatura ambiente:

$$\omega = \frac{A_s f_{yd}}{A_c f_{cd}}$$

α_{cc} è il coefficiente per la resistenza a compressione (vedere EN 1992-1-1).

Per l'eccentricità del primo ordine in condizioni di incendio si applicano i limiti di validità forniti nel punto 5.3.2 (2).

EN 1992-1-2 – Procedimenti di progettazione con dati tabellari - Prospetti dell'EN1992-1-2

Metodo B

(1) La resistenza al fuoco di pilastri di calcestruzzo armato può essere soddisfatta mediante l'utilizzo del prospetto 5.2b e delle seguenti indicazioni. Ulteriori informazioni sono fornite nell'appendice C.

(2) Il prospetto 5.2b è valido solo per pilastri in strutture controventate dove:

il livello di carico, n, a temperatura ambiente (vedere il punto 5.8 della EN 1992-1-1) è dato da:

$$n = N_{0Ed,fi} / [0{,}7(A_c f_{cd} + A_s f_{yd})] \quad (5.8a)$$

l'eccentricità del primo ordine in condizioni di incendio, e, è data da:

$$e = M_{0Ed,fi} / (N_{0Ed,fi}) \quad (5.8b)$$

essendo $e/b \leq 0{,}25$ con $e_{max} = 100$ mm

la snellezza del pilastro in condizioni di incendio, λ_{fi}, è data da:

$$\lambda_{fi} = l_{0,fi}/i \quad (5.8c)$$

essendo $\lambda_{fi} \leq 30$, che comprende la maggioranza dei pilastri negli edifici ordinari.

dove:

$l_{0,fi}$	è la lunghezza efficace del pilastro in condizioni di incendio;
b	è la dimensione minima della sezione per pilastri rettangolari o il diametro per pilastri circolari;
$N_{0Ed,fi}$, $M_{0Ed,fi}$	sono il carico assiale e il momento del primo ordine in condizioni di incendio;
ω	è il rapporto meccanico di armatura a temperatura ambiente: $\omega = \frac{A_s f_{yd}}{A_c f_{cd}}$
i	è il raggio minimo d'inerzia.

(3) Nel prospetto 5.2b sono introdotti il carico assiale e la flessione del primo ordine (vedere punto 5.8 della EN 1992-1-1) utilizzando le equazioni (5.8a) e (5.8b) per il livello di carico del pilastro a temperatura ambiente. Sono presi in considerazione anche gli effetti del second'ordine.

$N_{0Ed,fi}$ si può prendere pari a 0,7 N_{0Ed} (η_{fi} = 0,7, vedere punto 2.4.2) a meno che η_{fi} sia calcolato esplicitamente).

La snellezza λ_{fi} in condizioni di incendio può essere assunta uguale a λ a temperatura ambiente in tutti i casi. Per strutture controventate dove l'esposizione all'incendio normalizzato richiesta sia maggiore di 30 min, la lunghezza efficace $l_{0,fi}$ deve essere presa pari a $0{,}5l$ per i piani intermedi e a $0{,}5l \leq l_{0,fi} \leq 0{,}7l$ per l'ultimo piano, dove l è la lunghezza effettiva del pilastro (da centro a centro).

EN 1992-1-2 – Procedimenti di progettazione con dati tabellari - Prospetti dell'EN1992-1-2

prospetto 5.2b **Dimensioni minime del pilastro e distanze dell'asse per pilastri di calcestruzzo armato con una sezione rettangolare o circolare**

Resistenza al fuoco normalizzata	Rapporto meccanico di armatura ω	Dimensioni minime (mm). Spessore pilastro b_{min}/distanza dell'asse a			
		$n = 0,15$	$n = 0,3$	$n = 0,5$	$n = 0,7$
1	2	3	4	5	6
R30	0,100	150/25*)	150/25*)	200/30:250/25*)	300/30:350/25*)
	0,500	150/25*)	150/25*)	150/25*)	200/30:250/25*)
	1,000	150/25*)	150/25*)	150/25*)	200/30:300/25*)
R60	0,100	150/30:200/25*)	200/40:300/25*)	300/40:500/25*)	500/25*)
	0,500	150/25*)	150/35:200/25*)	250/35:350/25*)	350/40:550/25*)
	1,000	150/25*)	150/30:200/25*)	200/40:400/25*)	300/50:600/30
R90	0,100	200/40:250/25*)	300/40:400/25*)	500/50:550/25*)	550/40:600/25*)
	0,500	150/35:200/25*)	200/45:300/25*)	300/45:550/25*)	500/50:600/40
	1,000	200/25*)	200/40:300/25*)	250/40:550/25*)	500/50:600/45
R120	0,100	250/50:350/25*)	400/50:550/25*)	550/25*)	550/60:600/45
	0,500	200/45:300/25*)	300/45:550/25*)	450/50:600/25*)	500/60:600/50
	1,000	200/40:250/25*)	250/50:400/25*)	450/45:600/30	600/60
R180	0,100	400/50:500/25*)	500/60:550/25*)	550/60:600/30	(1)
	0,500	300/45:450/25*)	450/50:600/25*)	500/60:600/50	600/75
	1,000	300/35:400/25*)	450/50:550/25*)	500/60:600/45	(1)
R240	0,100	500/60:550/25*)	550/40:600/25*)	600/75	(1)
	0,500	450/45:500/25*)	550/55:600/25*)	600/70	(1)
	1,000	400/45:500/25*)	500/40:600/30	600/60	(1)

*) Generalmente si controlla il copriferro previsto dalla EN 1992-1-1.
(1) Larghezza richiesta maggiore di 600 mm. Si richiede una valutazione particolare per l'instabilità.

(4) In pilastri dove $A_s \geq 0,02\ A_c$ per una resistenza al fuoco maggiore di 90 min si richiede una regolare distribuzione delle barre lungo le pareti della sezione trasversale.

Strategie di progettazione «a caldo» degli Eurocodici

Eurocodes allow fire resistance to be established in any of 3 "domains":

Time: $t_{fi.d} \geq t_{fi.requ}$

Load resistance: $R_{fi.d.t} \geq E_{fi.d.t}$

Temperature: $\theta_{cr.d} \geq \theta_d$

- Usually only <u>directly</u> feasible using advanced calculation models.
- Feasible by hand calculation. Find reduced resistance at required resistance time.
- Most usual simple EC3 method. Find critical temperature for loading, compare with design temperature.

$t_{fi.d}$: design fire resistance time

$t_{fi.requ}$: required fire resistance time

EN 1992-1-2 – Procedimenti di progettazione semplificati

Metodo dell'isoterma 500° C

(2) Questo metodo è valido per lo spessore minimo della sezione trasversale fornito nel prospetto B1:

a) per un'esposizione a incendio normalizzato in funzione della resistenza al fuoco;

b) per un'esposizione a incendio parametrico con un fattore di apertura $O \geq 0{,}14 m^{1/2}$ (vedere appendice A della EN 1991-1-2).

1 **Spessore minimo della sezione trasversale in funzione della resistenza al fuoco (per esposizione a incendio normalizzato) e della densità di carico di incendio (per esposizione a incendio parametrico)**

a) Resistenza al fuoco

Resistenza al fuoco	R 60	R 90	R 120	R 180	R 240
Spessore minimo della sezione trasversale mm	90	120	160	200	280

b) Densità di carico di incendio

Densità di carico di incendio MJ/m^2	200	300	400	600	800
Spessore minimo della sezione trasversale mm	100	140	160	200	240

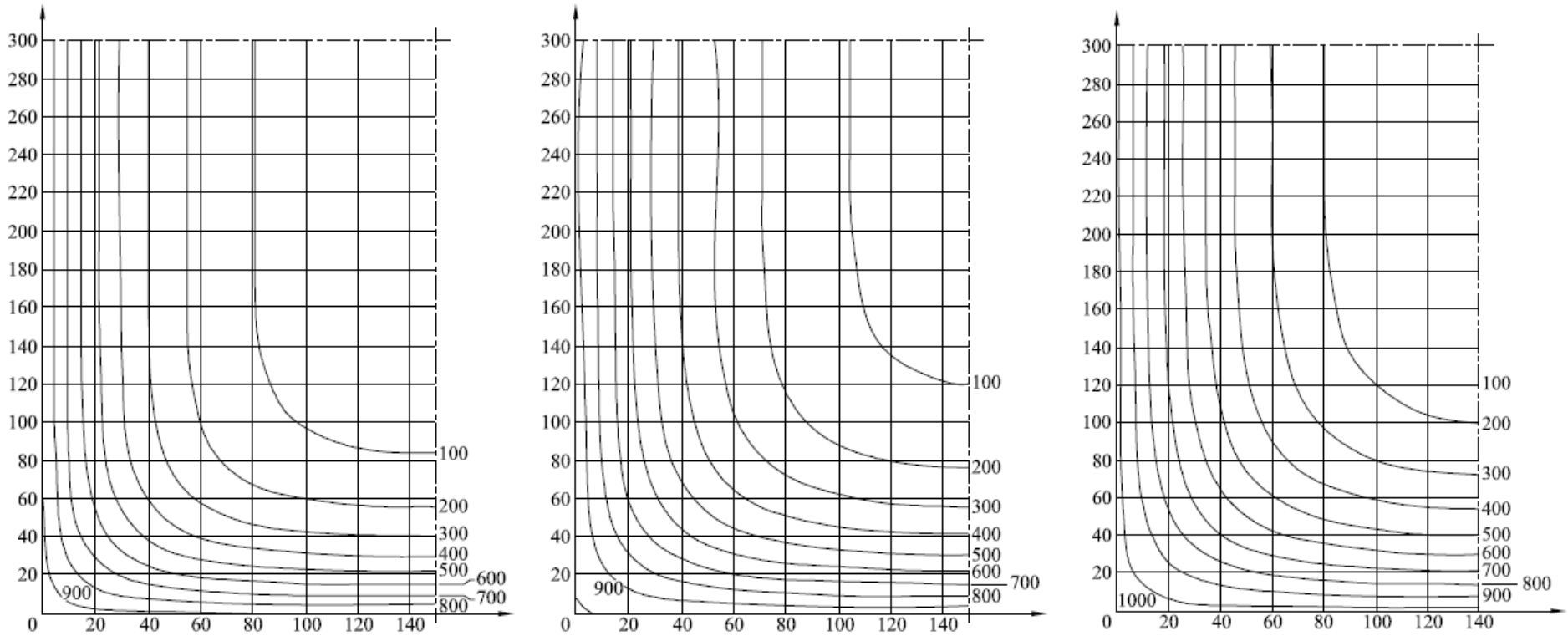
Metodo a zone

EN 1992-1-2 – Procedimenti di progettazione semplificati

Metodo dell'isoterma 500° C

1 – Con mappatura termica o per via analitico-numerica, si determina la parte di cls resistente, scartando le zone compresse soggette a T>500 °C

Mappature termiche (°C) per una trave $h \times b$ = 600 × 300 - R120



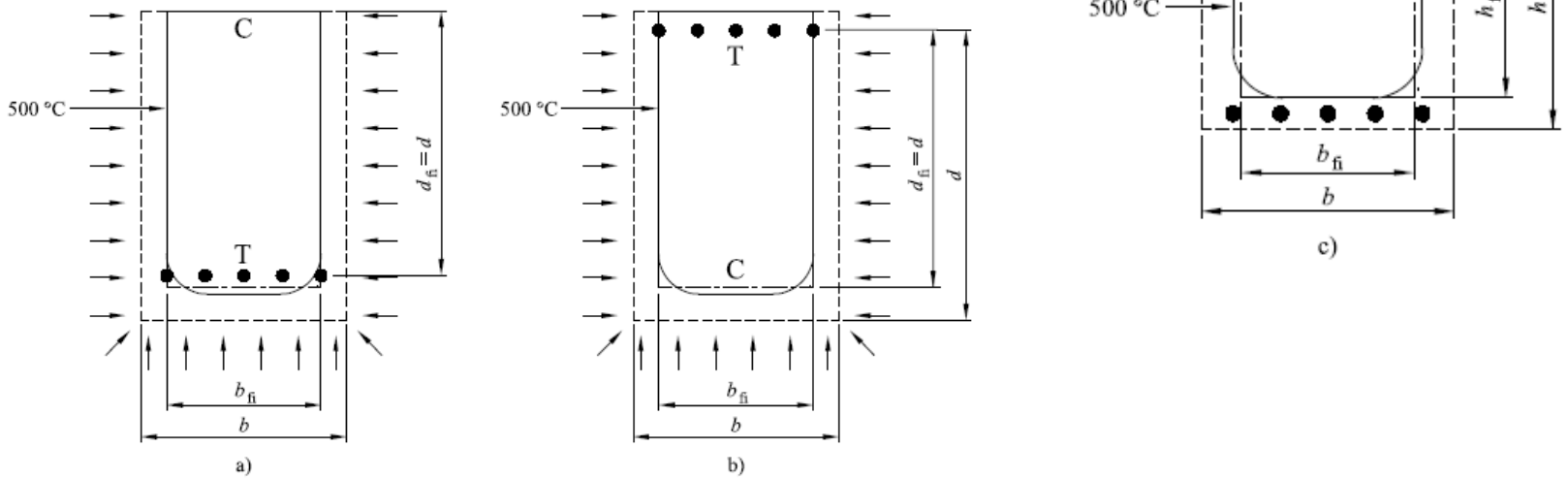
a) R60 b) R90

EN 1992-1-2 – Procedimenti di progettazione semplificati

Metodo dell'isoterma 500° C

Legenda

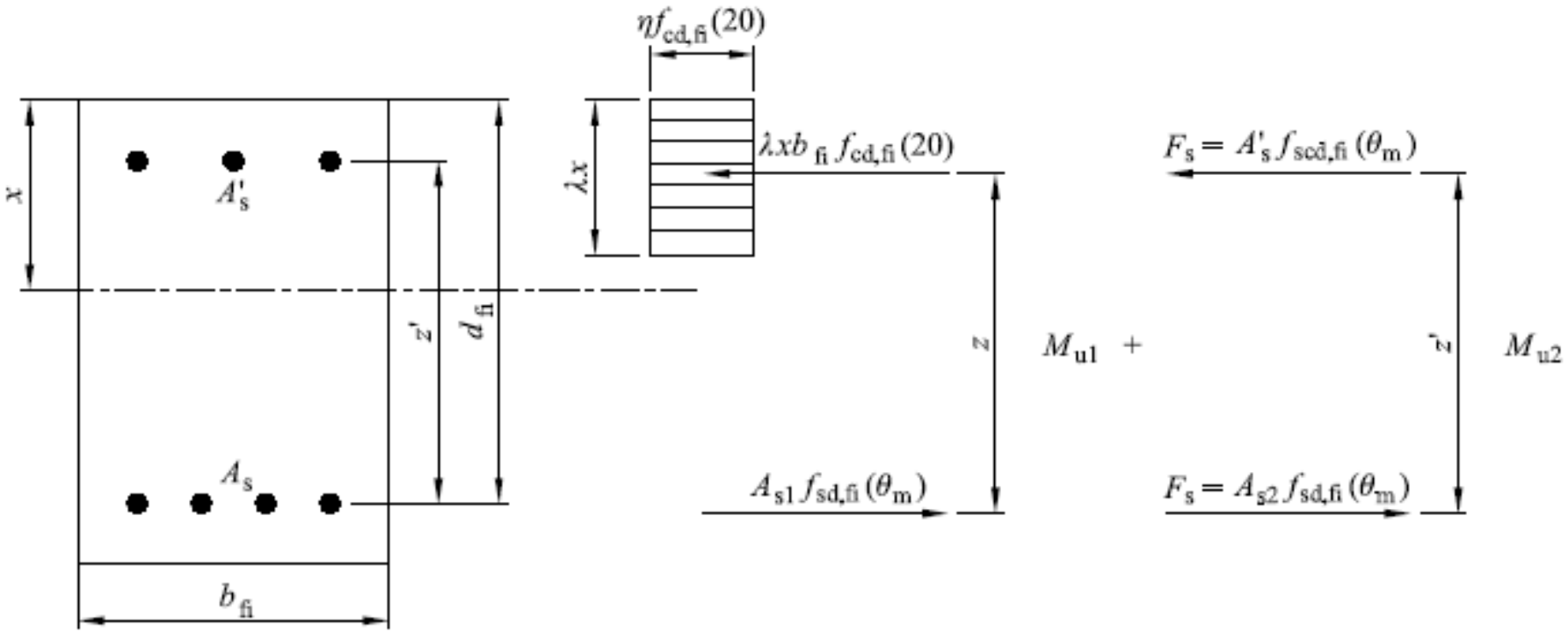
T	Tensione
C	Compressione
a)	Esposizione al fuoco su tre lati con l'esposizione della zona tesa
b)	Esposizione al fuoco su tre lati con l'esposizione della zona compressa
c)	Esposizione al fuoco su quattro lati (trave o pilastro)



2 – Si determina la temperature delle barre d'armatura, anche se a T>500 °C, e la corrispondente resistenza ridotta

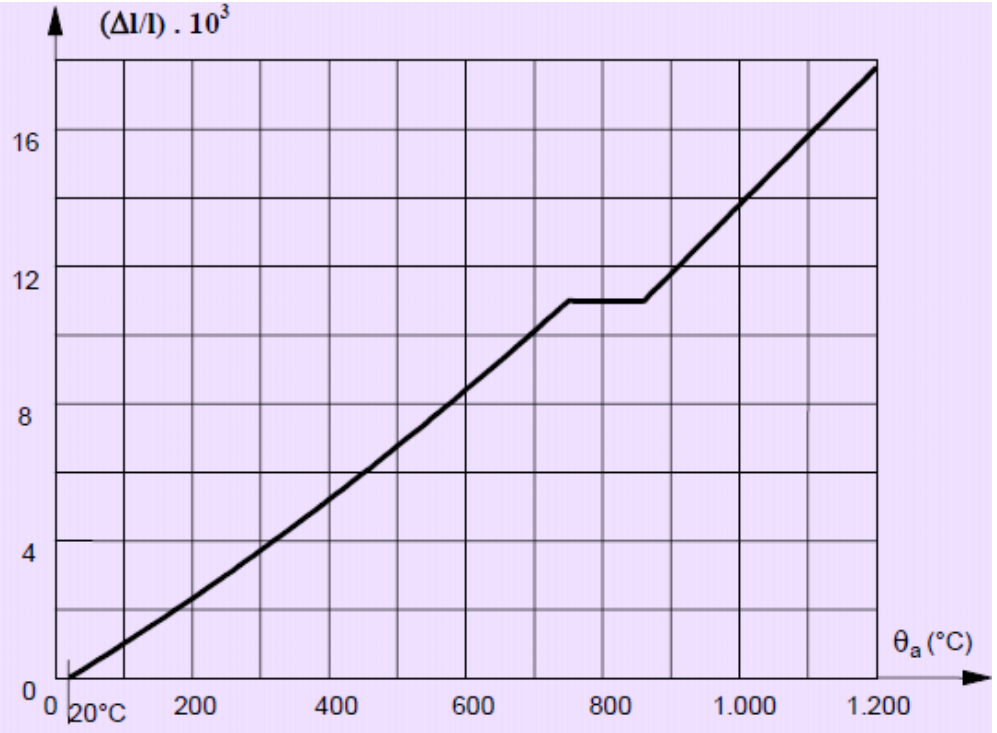
EN 1992-1-2 – Procedimenti di progettazione semplificati

Metodo dell'isoterma 500° C

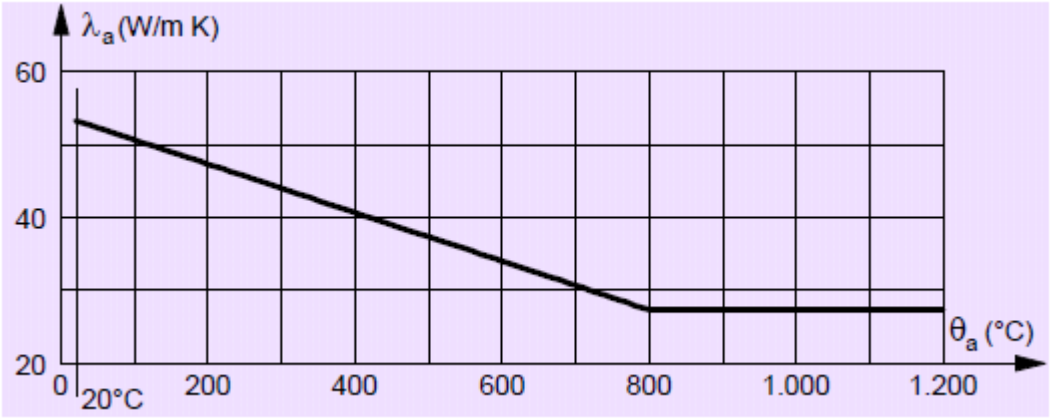


3 – Si calcola con il metodo convenzionale la resistenza a rottura della sezione, da confrontare con la resistenza

Proprietà dei materiali – Acciaio strutturale (EN 1993-1-2)



Curva Temperatura - dilatazione termica



Curva Temperatura – conducibilità termica

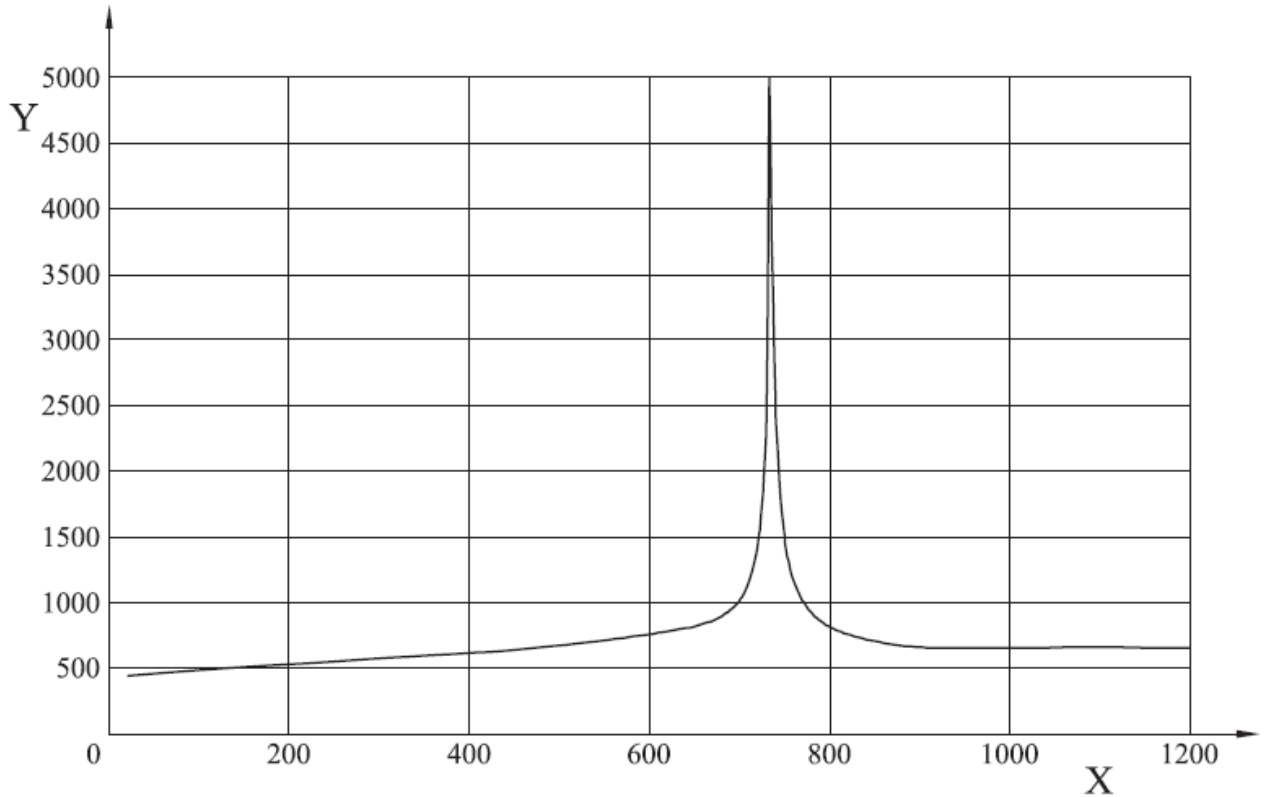
Proprietà dei materiali – Acciaio strutturale (EN 1993-1-2)

figura 3.4 **Calore specifico di un acciaio al carbonio in funzione della temperatura**

Legenda

X Temperatura [°C]

Y Calore specifico [J/kg K]



Curva Temperatura – calore specifico
(a T=735 si ha cambiamento di fase)

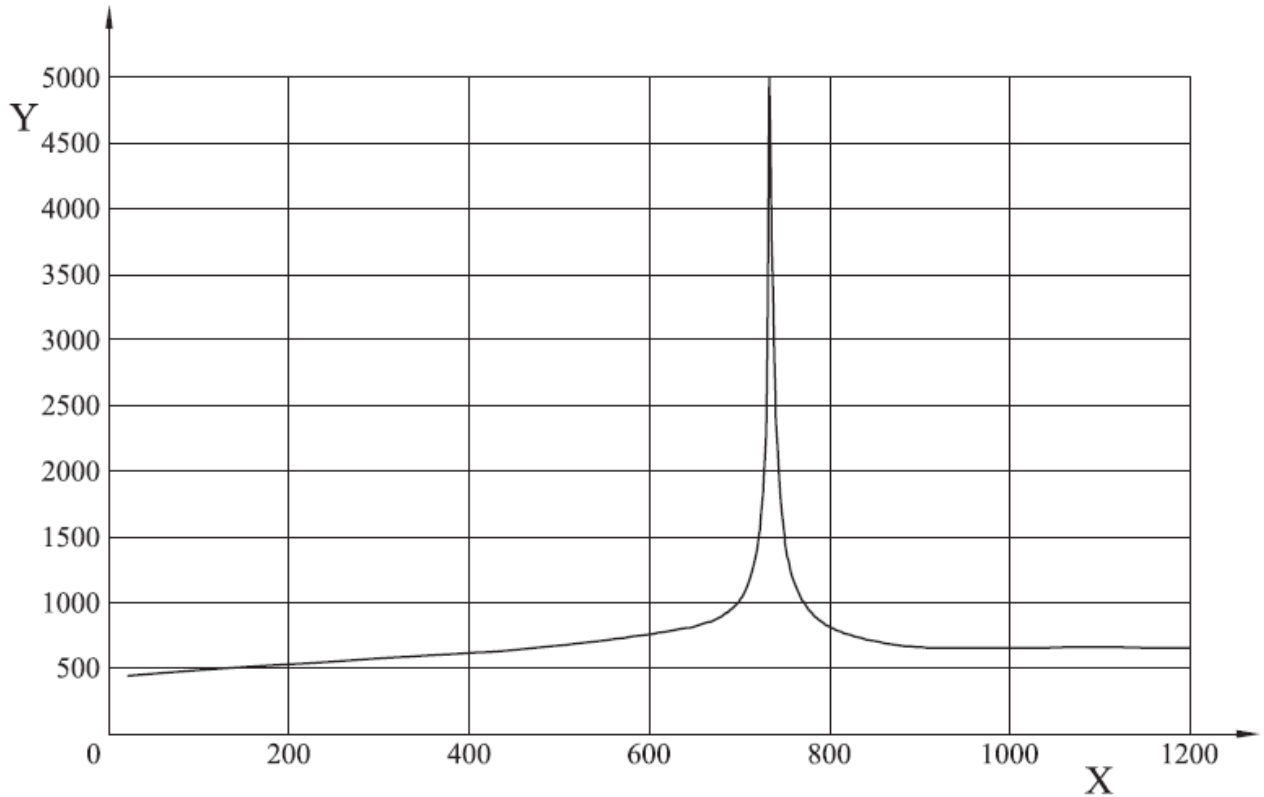
Proprietà dei materiali – Acciaio strutturale (EN 1993-1-2)

figura 3.4 **Calore specifico di un acciaio al carbonio in funzione della temperatura**

Legenda

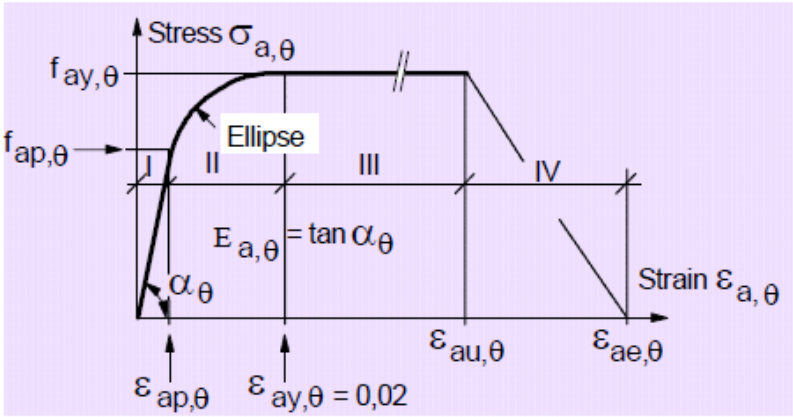
X Temperatura [°C]

Y Calore specifico [J/kg K]



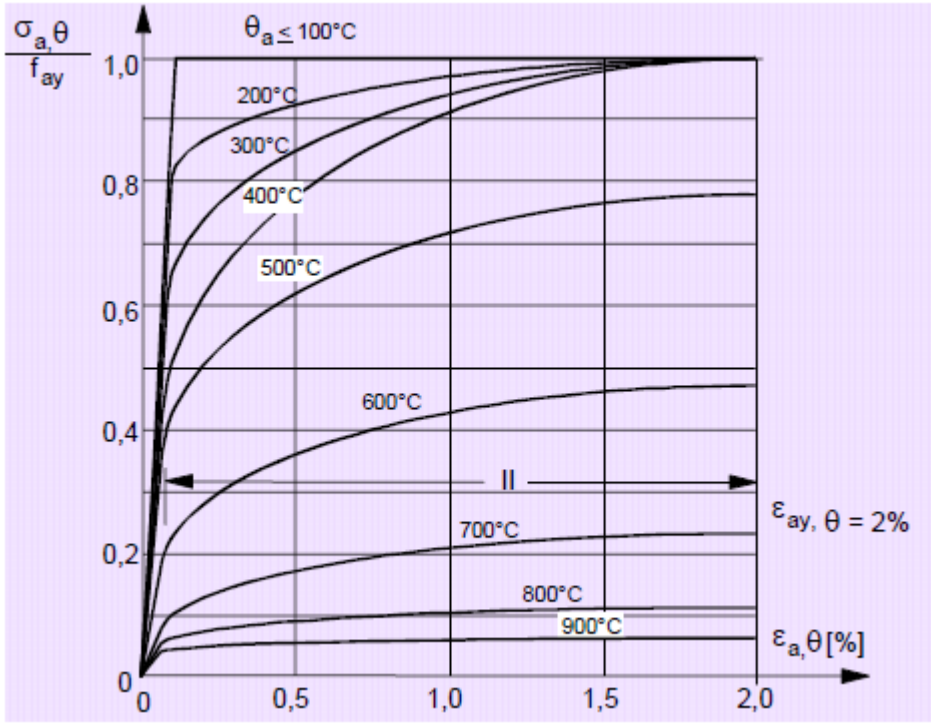
Curva Temperatura – calore specifico
(a T=735 si ha cambiamento di fase)

Proprietà dei materiali – Acciaio strutturale (EN 1993-1-2)
Curve σ–ε

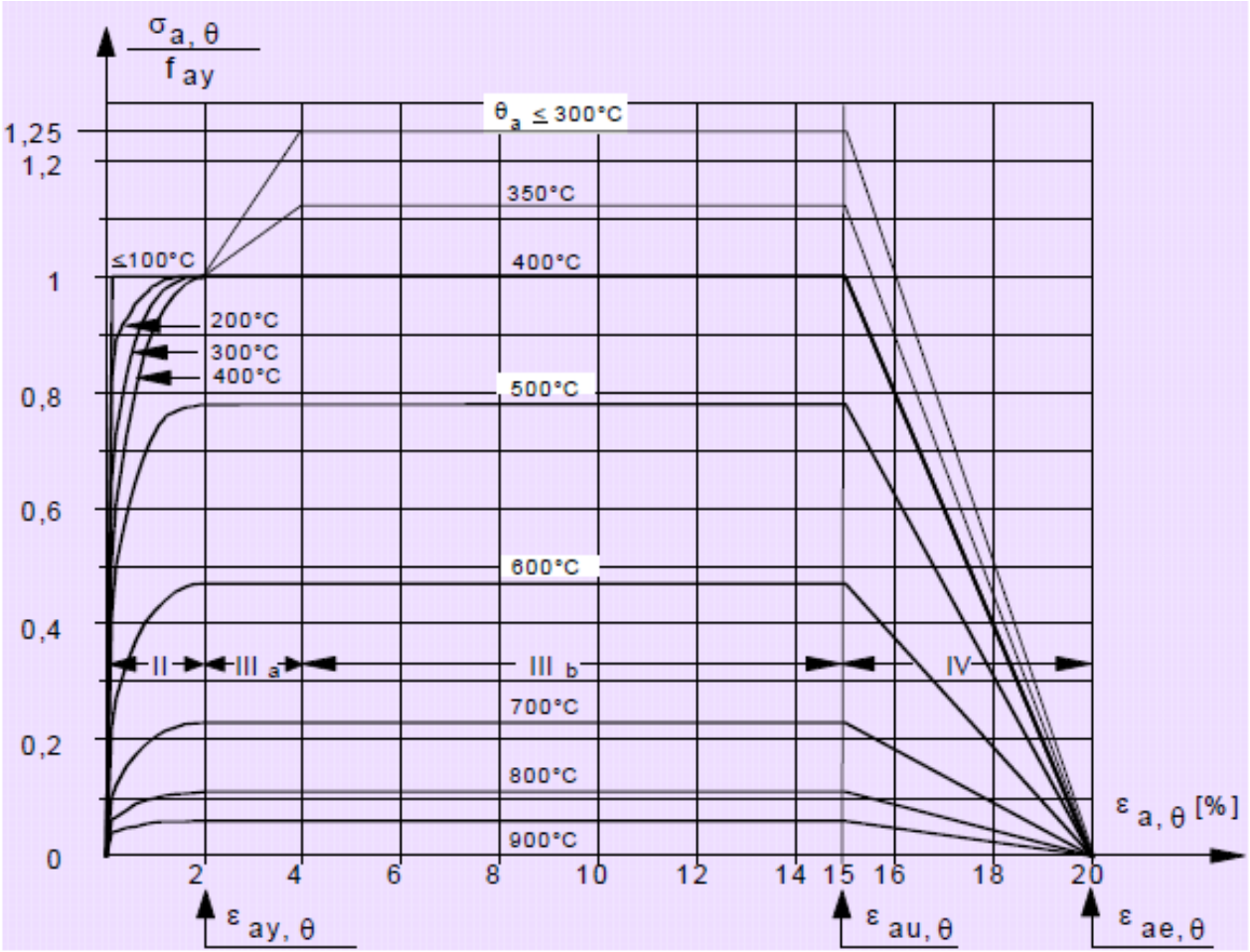


The stress-strain relationships are defined by three parameters:

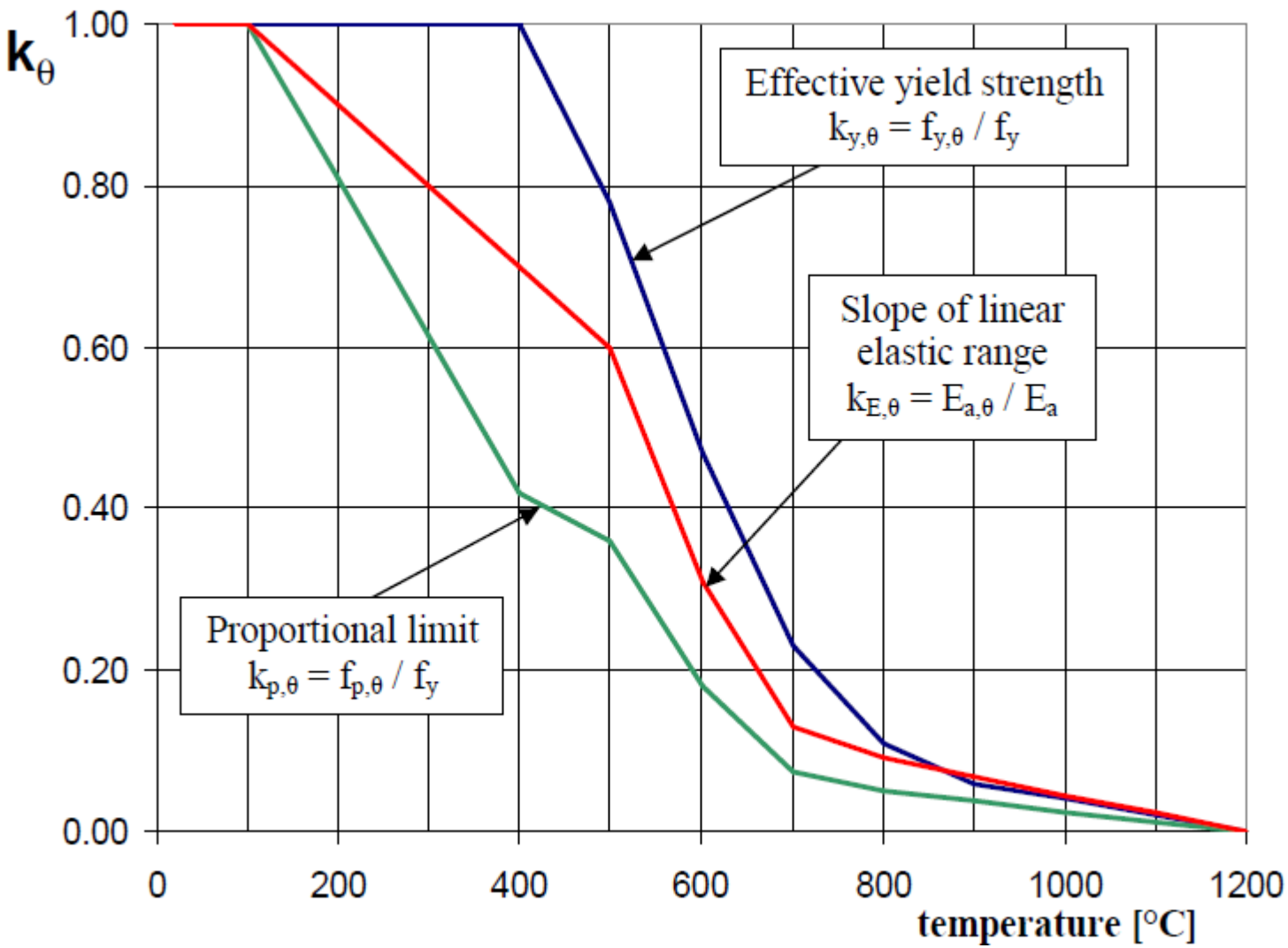
- the slope of the linear elastic range $E_{a,\theta}$
- the proportional limit $f_{ap,\theta}$
- the effective yield strength $f_{ay,\theta}$



Proprietà dei materiali – Acciaio strutturale (EN 1993-1-2)
Curve σ–ε



Proprietà dei materiali – Acciaio strutturale (EN 1993-1-2)
Fattori di riduzione delle caratteristiche meccaniche con la temperatura



Proprietà dei materiali – Acciaio strutturale (EN 1993-1-2)
Resistenze di calcolo

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_M}$$

Tabella 4.2.V Coefficienti di sicurezza per la resistenza delle membrature e la stabilità

Resistenza delle Sezioni di Classe 1-2-3-4	γ_{M0} = 1,05
Resistenza all'instabilità delle membrature	γ_{M1} = 1,05
Resistenza all'instabilità delle membrature di ponti stradali e ferroviari	γ_{M1} = 1,10
Resistenza, nei riguardi della frattura, delle sezioni tese (indebolite dai fori)	γ_{M2} = 1,25

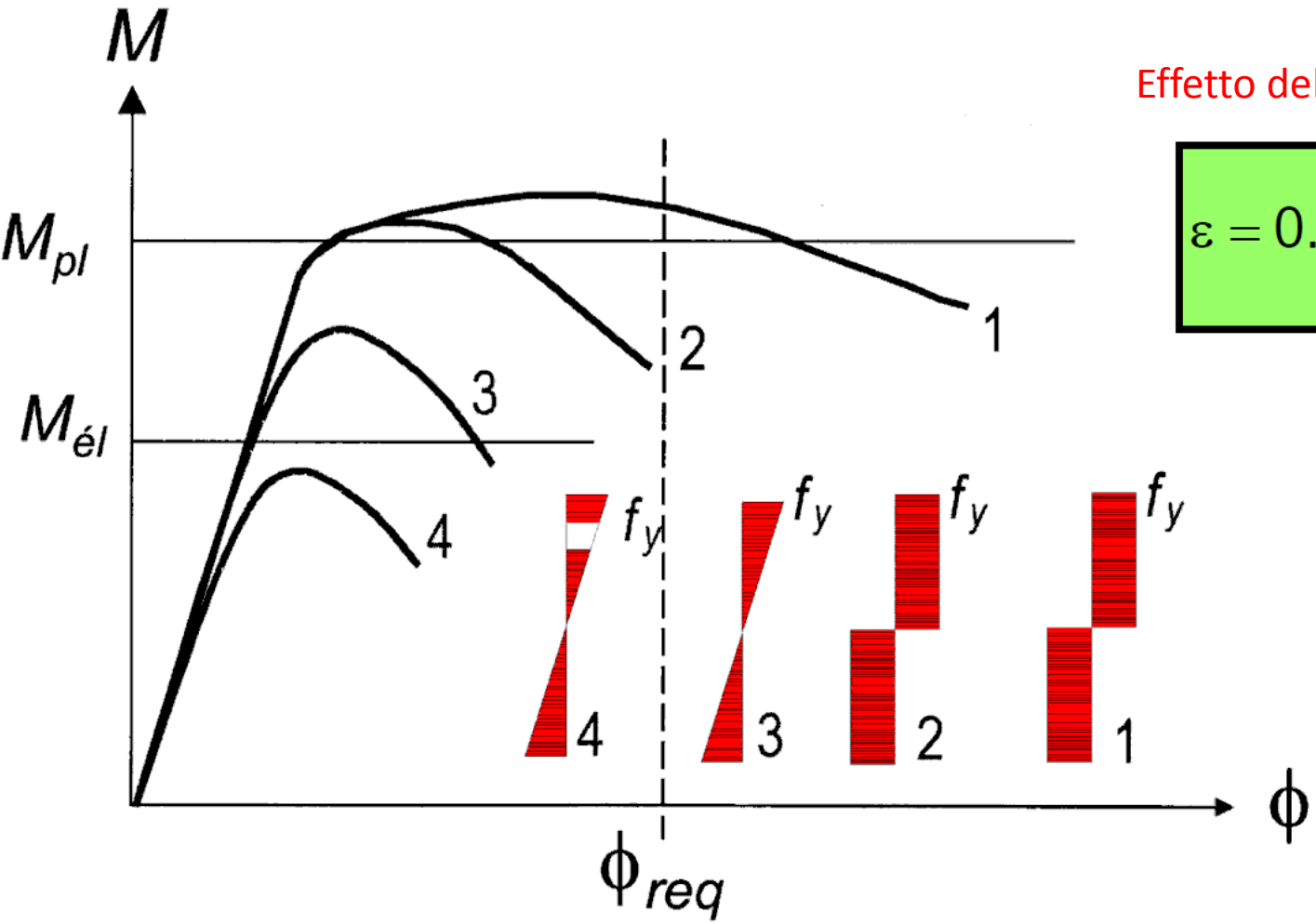
4.2.11 RESISTENZA AL FUOCO

Le verifiche di resistenza al fuoco potranno eseguirsi con riferimento a UNI EN 1993-1-2, utilizzando i coefficienti γ_M (v. § 4.2.6) relativi alle combinazioni eccezionali.

4.2.6 VERIFICHE PER SITUAZIONI PROGETTUALI ECCEZIONALI

Per situazioni progettuali eccezionali, il progetto dovrà dimostrare la robustezza della costruzione mediante procedure di scenari di danno per i quali i fattori parziali γ_M dei materiali possono essere assunti pari all'unità.

Proprietà dei materiali – Acciaio strutturale (EN 1993-1-2)
Classificazione delle sezioni trasversali

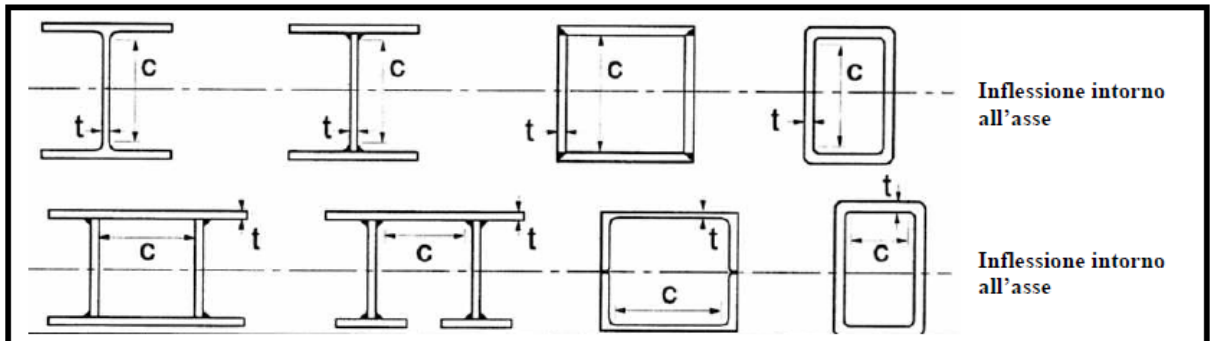


Effetto della temperatura

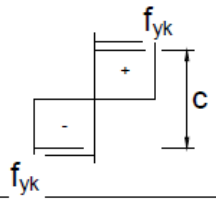
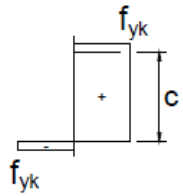
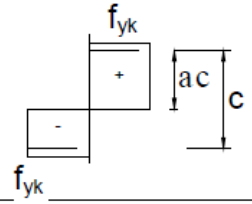
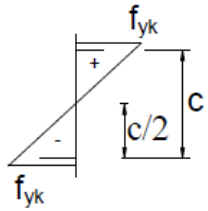
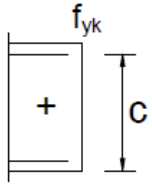
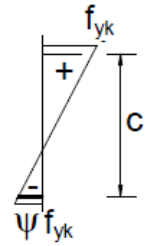
$$\varepsilon = 0.85\sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

Proprietà dei materiali – Acciaio strutturale (EN 1993-1-2) Classificazione delle sezioni trasversali

Tabella 4.2.1 - *Massimi rapporti larghezza spessore per parti compresse*



Parti interne comprese

Classe	Parte soggetta a flessione	Parte soggetta a compressione	Parte soggetta a flessione e a compressione
Distribuzione delle tensioni nelle parti (compressione positiva)			
1	$c/t \le 72\varepsilon$	$c/t \le 33\varepsilon$	quando $\alpha > 0{,}5 : c/t \le \frac{396\varepsilon}{13\alpha - 1}$ quando $\alpha \le 0{,}5 : c/t \le \frac{36\varepsilon}{\alpha}$
2	$c/t \le 83\varepsilon$	$c/t \le 38\varepsilon$	quando $\alpha > 0{,}5 : c/t \le \frac{456\varepsilon}{13\alpha - 1}$ quando $\alpha \le 0{,}5 : c/t \le \frac{41{,}5\varepsilon}{\alpha}$
Distribuzione delle tensioni nelle parti (compressione positiva)			
3	$c/t \le 124\varepsilon$	$c/t \le 42\varepsilon$	quando $\psi > -1 : c/t \le \frac{42\varepsilon}{0{,}67 + 0{,}33\psi}$ quando $\psi \le -1^{*} : c/t \le 62\varepsilon(1-\psi)\sqrt{(-\psi)}$

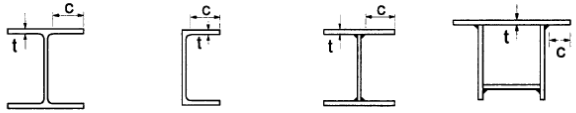
$\varepsilon = \sqrt{235/f_{yk}}$	f_{yk}	235	275	355	420	460
	ε	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

*) $\psi \le -1$ si applica se la tensione di compressione $\sigma \le f_{yk}$ o la deformazione a trazione $\varepsilon_y > f_{yk}/E$

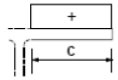
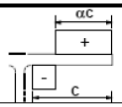
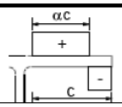
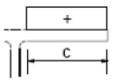
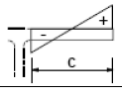
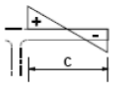
Proprietà dei materiali – Acciaio strutturale (EN 1993-1-2) Classificazione delle sezioni trasversali

Tabella 4.2.II- *Massimi rapporti larghezza spessore per parti compresse*

Piattabande esterne



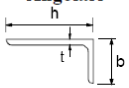
Profilati laminati a caldo — **Sezioni saldate**

Classe	Piattabande esterne soggette a compressione	Piattabande esterne soggette a flessione e a compressione: Con estremità in compressione	Con estremità in trazione
Distribuzione delle tensioni nelle parti (compressione positiva)			
1	$c/t \le 9\varepsilon$	$c/t \le \frac{9\varepsilon}{\alpha}$	$c/t \le \frac{9\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$
2	$c/t \le 10\varepsilon$	$c/t \le \frac{10\varepsilon}{\alpha}$	$c/t \le \frac{9\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$
Distribuzione delle tensioni nelle parti (compressione positiva)			
3	$c/t \le 21\varepsilon\sqrt{k_e}$ Per k_e vedere EN 1993-1-5		

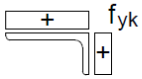
$\varepsilon = \sqrt{235/f_{yk}}$	f_{yk}	235	275	355	420	460
	ε	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

Tabella 4.2.III - *Massimi rapporti larghezza spessore per parti compresse*

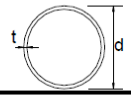
Angolari



Riferirsi anche alle piattabande esterne (v. Tab 4.2.II)
Non si applica agli angoli in contatto continuo con altri componenti

Classe	Sezione in compressione
Distribuzione delle tensioni sulla sezione (compressione positiva)	
3	$h/t \le 15\varepsilon \qquad \frac{b+h}{2t} \le 11,5\varepsilon$

Sezioni Tubolari



Classe	Sezione inflessa e/o compressa
1	$d/t \le 50\varepsilon^2$
2	$d/t \le 70\varepsilon^2$
3	$d/t \le 90\varepsilon^2$ (Per $d/t > 90\,\varepsilon^2$ vedere EN 1993-1-6)

$\varepsilon = \sqrt{235/f_{yk}}$	f_{yk}	235	275	355	420	460
	ε	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71
	ε^2	1,00	0,85	0,66	0,56	0,51

Proprietà dei materiali – Acciaio strutturale (EN 1993-1-2)
Determinazione semplificata della temperatura critica

The critical temperature is determined by the level of the applied load (action), expressed as the degree of utilisation in fire, given by:

$$\mu_0 = \frac{E_{fi,d}}{R_{fi,d,t}}$$

può essere assunto pari a

$$\mu_0 = \eta_{fi,t}\left(\frac{\gamma_{M,fi}}{\gamma_{M0}}\right)$$

$E_{fi,d}$: the design effect of actions in fire

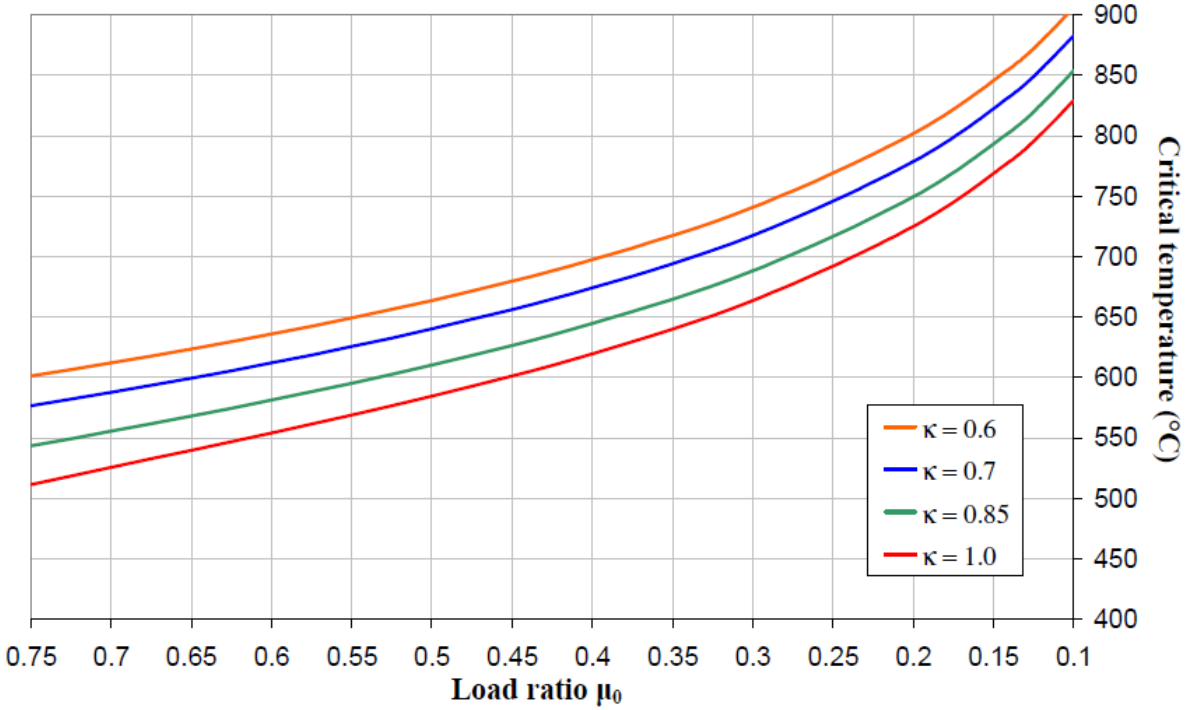
$R_{fi,d,t}$: the design resistance in fire, for time t=0 (i.e. room temperature and with $\gamma_{M,fi} = 1.0$)

The calculation of the fire resistance is based on the following assumptions:

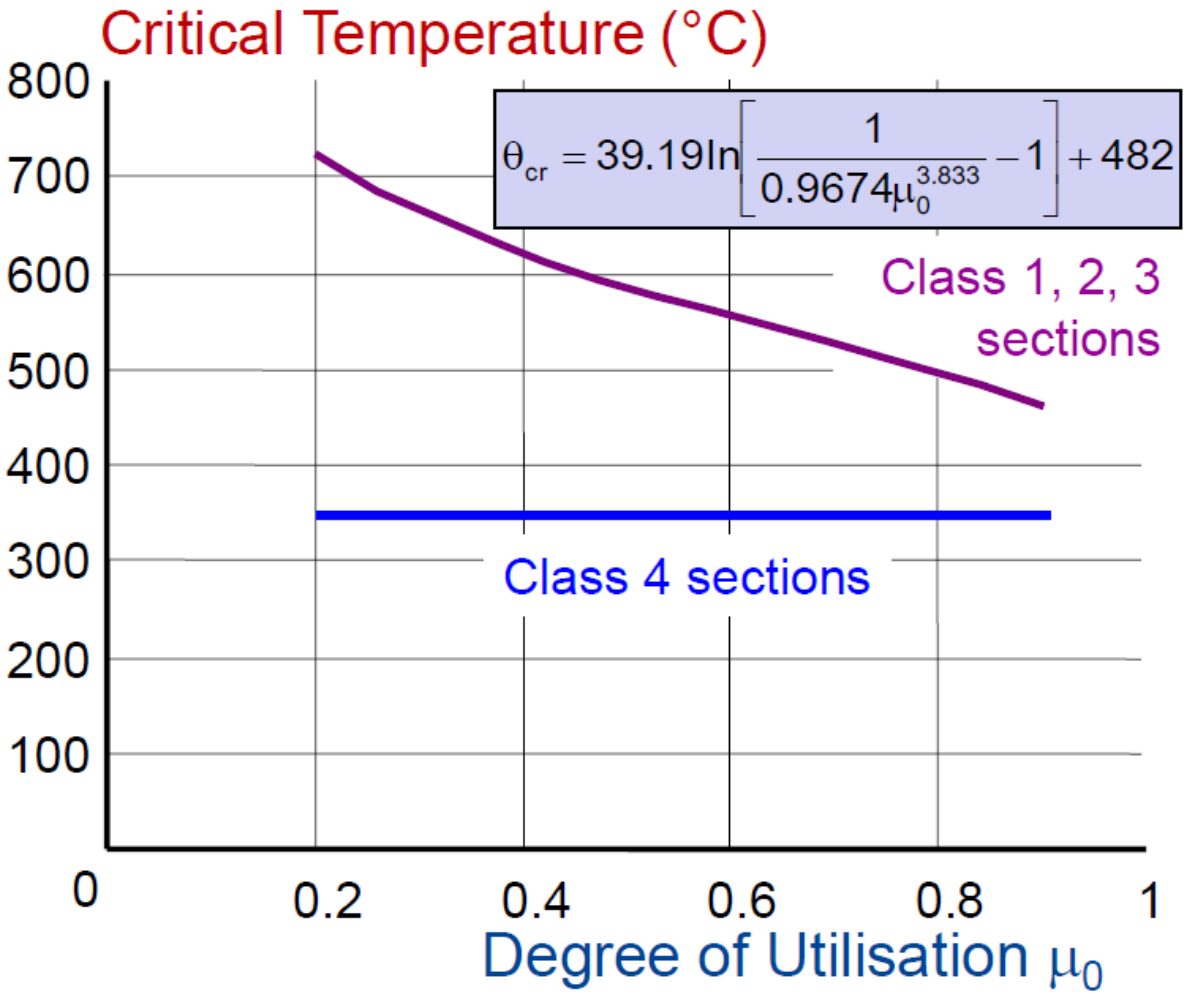
- the method is only valid when LTB is prevented
- the temperature increase follows the standard fire curve (ISO 834, EN1364-1)
- uniform heating of the steel member. A non-uniform heat distribution is considered by the factor $\kappa = \kappa_1 \cdot \kappa_2$ (Section 3.1)
- steel grades according to EN 10025 parts 1 to 6 (S235, S355, S460) [3]
- for non protected members the shadow effect is taken into account through $(A_m/V)_{sh}$ that is equal to $0.9 \cdot (A_m/V)_b$ for I-sections and $1.0 \cdot (A_m/V)_b$ for all other cases, with $(A_m/V)_b$ as the boxed section factor (see section 5.
- for member analysis, the effects of thermal expansion of the member may be neglected

Proprietà dei materiali – Acciaio strutturale (EN 1993-1-2)
Determinazione semplificata della temperatura critica

- κ_1 for a non-uniform temperature distribution across a cross-section :
  - for a beam exposed on all four sides : κ_1=1.0
  - for an unprotected beam exposed on three sides, with a composite or concrete slab on side four : κ_1=0.70
  - for a protected beam exposed on three sides, with a composite or concrete slab on side four : κ_1=0.85
- κ_2 for a non-uniform temperature along a beam:
  - at the supports of a statically indeterminate beam : κ_2=0.85
  - in all other cases : κ_2=1.0



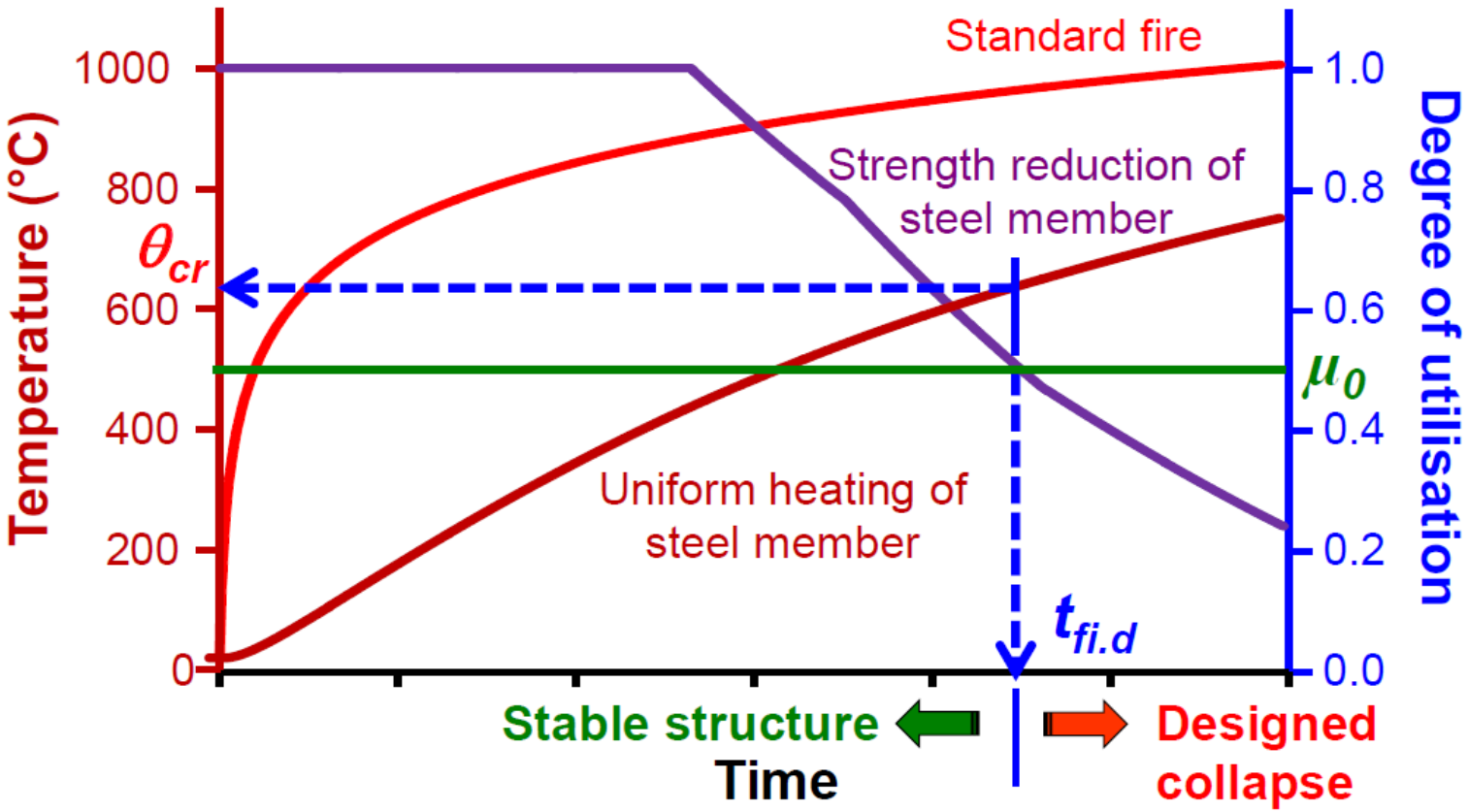
Proprietà dei materiali – Acciaio strutturale (EN 1993-1-2)
Determinazione semplificata della temperatura critica



Proprietà dei materiali – Acciaio strutturale (EN 1993-1-2)
Determinazione semplificata della temperatura critica

Critical temperature of steel members

•Basic assumption: uniform temperature of steel member



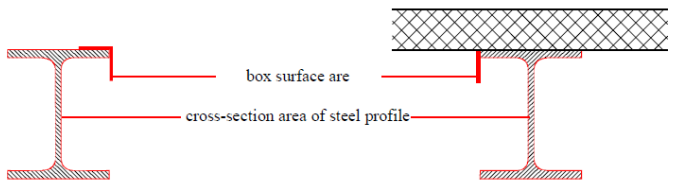
Proprietà dei materiali – Acciaio strutturale (EN 1993-1-2)
Coefficienti di sezione per acciaio nudo incluso l'effetto ombra

5.1 Section factor for unprotected steel members

Section factor including shadow effect for I-sections: $\left[\frac{A_m}{V}\right]_{sh} = 0.9 \cdot \left[\frac{A_m}{V}\right]_b$

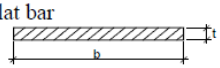
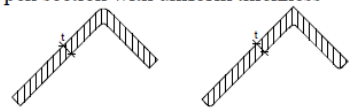
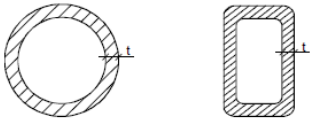
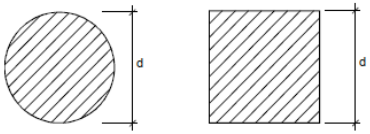
with $\left[\frac{A_m}{V}\right]_b = \left[\frac{\text{box surface area per unit length}}{\text{volume of the member per unit length}}\right]$

Figure 5-1 : Section factor for I-sections



For any sections else then I-sections, the section factor is to be taken as $\left[\frac{A_m}{V}\right]_{sh} = 1.0 \cdot \left[\frac{A_m}{V}\right]_b$

Figure 5-2 : Approximated section factor for different shapes

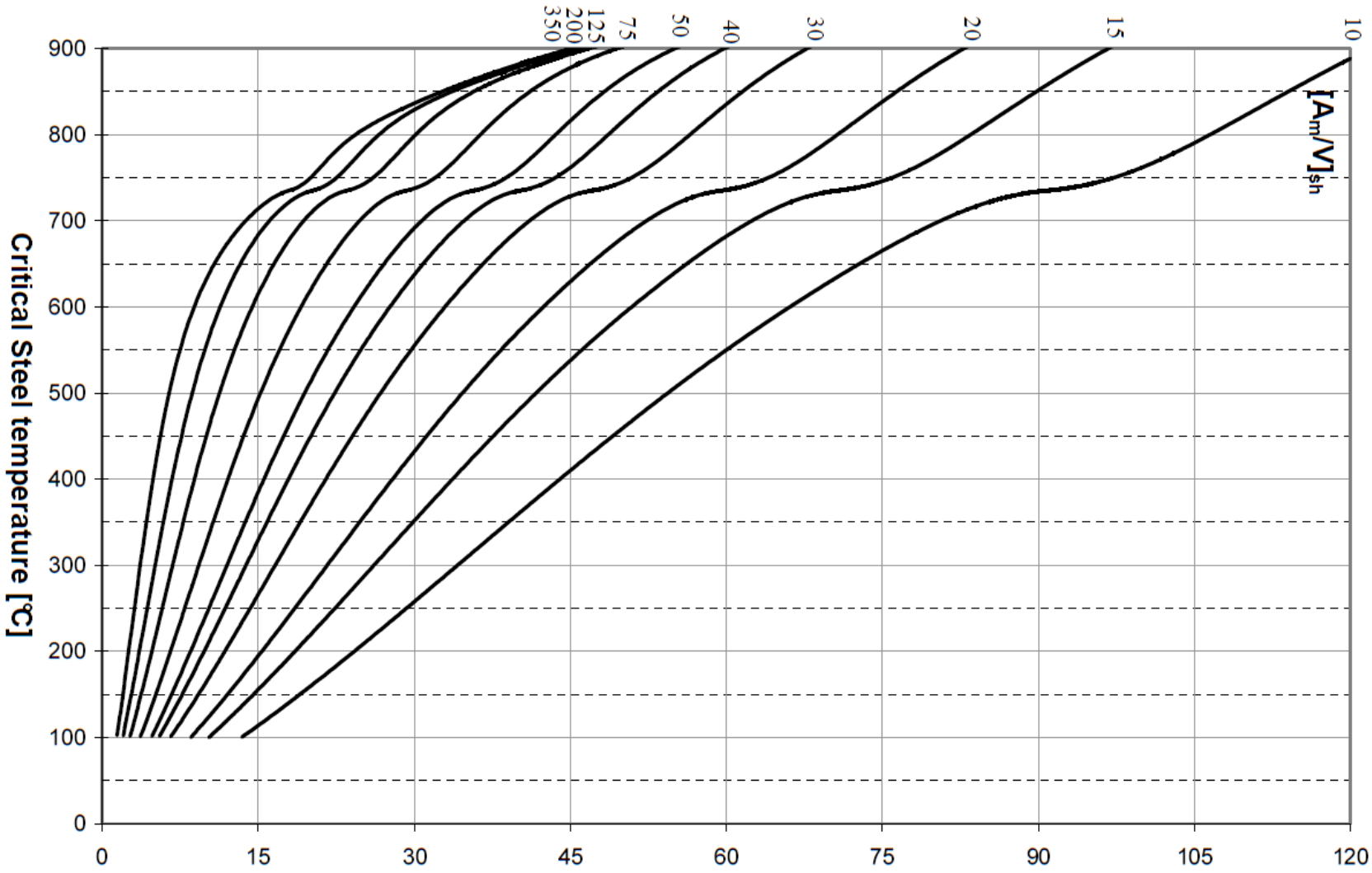
Description	$[A_m/V]_{sh}$
Flat bar 	exposed to fire on all sides : ≈ 2/t exposed to fire on one sides : ≈ 1/t
Open section with uniform thickness 	exposed to fire on all sides : ≈ 2/t (the calculation of the boxed value would give more accurate value)
Hollow section with uniform thickness 	exposed to fire from outside : ≈ 1/ t (for width >> t and the assumption of no radiation between the internal surfaces)
Solid section 	exposed to fire on all sides : = 4/d

$[A_m/V]_{sh}$ $[m^{-1}]$

HE		
HE 100 AA	163	221
HE 100 A	124	167
HE 100 B	104	139
HE 100 M	59	77
HE 120 AA	164	222
HE 120 A	123	167
HE 120 B	95	127
HE 120 M	55	72
HE 140 AA	155	210
HE 140 A	116	157
HE 140 B	88	117
HE 140 M	52	68
HE 160 AA	135	183
HE 160 A	108	145
HE 160 B	79	106
HE 160 M	49	64
HE 180 AA	127	171
HE 180 A	104	140
HE 180 B	75	99
HE 180 M	47	61
HE 200 AA	117	158
HE 200 A	97	131
HE 200 B	69	92
HE 200 M	44	59
HE 220 AA	110	149
HE 220 A	89	121
HE 220 B	65	87
HE 220 M	42	56
HE 240 AA	103	139
HE 240 A	82	110
HE 240 B	61	82
HE 240 M	35	47
HE 260 AA	97	131
HE 260 A	79	105
HE 260 B	59	79
HE 260 M	35	46
HE 280 AA	94	125
HE 280 A	76	102
HE 280 B	58	77
HE 280 M	34	45
HE 300 AA	87	118
HE 300 A	70	95
HE 300 B	54	72
HE 300 M	30	39
HE 320 AA	86	114
HE 320 A	67	88
HE 320 B	52	69
HE 320 M	30	39
HE 340 AA	85	111
HE 340 A	65	85
HE 340 B	51	68
HE 340 M	31	39
HE 360 AA	83	108
HE 360 A	63	82
HE 360 B	50	66
HE 360 M	31	40
HE 400 AA	81	104
HE 400 A	61	78
HE 400 B	50	64
HE 400 M	32	41
HE 450 AA	82	103
HE 450 A	59	75
HE 450 B	50	62
HE 450 M	34	42
HE 500 AA	82	102
HE 500 A	59	72
HE 500 B	49	60
HE 500 M	35	43
HE 550 AA	79	97
HE 550 A	59	71
HE 550 B	50	60
HE 550 M	37	45
HE 600 AA	79	95
HE 600 A	59	71
HE 600 B	50	60
HE 600 M	38	46
HE 600 x 337	33	40
HE 600 x 399	29	34

IPE		
IPE 80 A	285	350
IPE 80	243	297
IPE A 100	257	314
IPE 100	222	270
IPE A 120	244	296
IPE 120	207	251
IPE A 140	234	283
IPE 140	194	233
IPE A 160	221	266
IPE 160	180	217
IPE A 180	204	247
IPE 180	169	203
IPE O 180	151	182
IPE A 200	189	228
IPE 200	158	190
IPE O 200	142	171
IPE A 220	174	208
IPE 220	149	178
IPE O 220	134	161
IPE A 240	160	193
IPE 240	138	166
IPE O 240	125	150
IPE A 270	154	185
IPE 270	132	158
IPE O 270	114	137
IPE A 300	144	173
IPE 300	125	150
IPE O 300	109	131
IPE A 330	134	160
IPE 330	118	141
IPE O 330	103	123
IPE A 360	124	149
IPE 360	110	131
IPE O 360	96	114
IPE A 400	120	142
IPE 400	104	123
IPE O 400	93	110
IPE A 450	114	134
IPE 450	99	117
IPE O 450	85	99
IPE A 500	106	124
IPE 500	94	109
IPE O 500	80	94
IPE A 550	100	116
IPE 550	87	102
IPE O 550	77	88
IPE A 600	93	107
IPE 600	82	95
IPE O 600	66	77
750 x 137	91	104
750 x 147	85	98
750 x 173	73	84
750 x 196	65	75

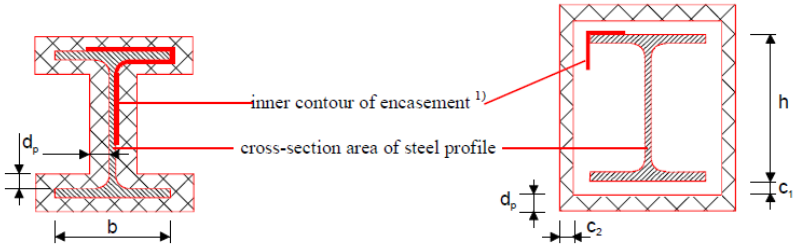
Proprietà dei materiali – Acciaio strutturale (EN 1993-1-2)
Nomogramma per la determinazione della resistenza al fuoco
Acciaio nudo

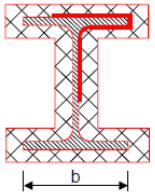
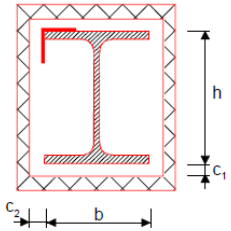
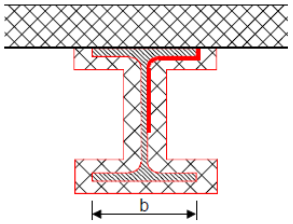
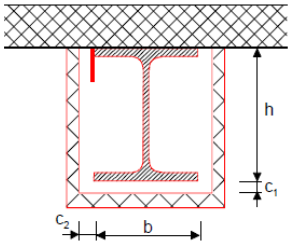


Proprietà dei materiali – Acciaio strutturale (EN 1993-1-2)
Coefficienti di sezione per acciaio protetto

6.1 Section factor for protected steel members

$$\text{Section factor}: \frac{A_p}{V} = \frac{\text{inner contour of encasement}}{\text{steel cross section area}}$$

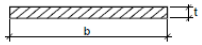
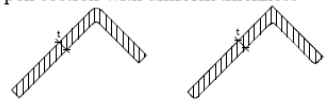
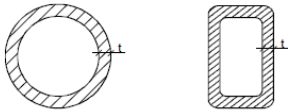
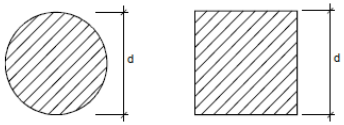


Description		A_p/V
Contour encasement of uniform thickness 	Hollow encasement 1) of uniform thickness 	Contour encasement : $\frac{\text{steel perimeter}}{\text{steel cross-section area}}$ Hollow encasement 1): $\frac{2(b+h)}{\text{steel cross-section area}}$
Contour encasement of uniform thickness, exposed to fire on three sides 	Hollow encasement 1) of uniform thickness, exposed to fire on three sides 	Contour encasement 1): $\frac{\text{steel perimeter - b}}{\text{steel cross-section area}}$ Hollow encasement : $\frac{(2h+b)}{\text{steel cross-section area}}$

1) The clearance dimensions c_1 and c_2 should normally not exceed h/4

Legend : insulation (with thickness d_p)
steel cross-section
inner contour A_p

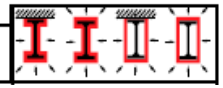
Figure 6-1 : Approximated section factor for different shapes

Description	A_p/V
Flat bar 	exposed to fire on all sides : ≈ 2/t exposed to fire on one sides : ≈ 1/t
Open section with uniform thickness 	exposed to fire on all sides : ≈ 2/t
Hollow section with uniform thickness 	exposed to fire from outside : ≈ 1/ t (for width >> t and the assumption of no radiation between the internal surfaces)
Solid section 	exposed to fire on all sides : = 4/d

Proprietà dei materiali – Acciaio strutturale (EN 1993-1-2)
Coefficienti di sezione per acciaio protetto

A_p/V [m^{-1}]

IPE



For a uniform temperature distribution in a cross-section, the temperature increase $\Delta\Theta_{a,t}$ of an insulated steel member during a time interval Δ_t is given by:

$$\Delta\Theta_{a,t} = \frac{A_p}{V}\cdot\frac{\lambda_p}{d_p}\cdot\frac{1}{1+\phi/3}\cdot\left[\frac{(\Theta_{g,t}-\Theta_{a,t})}{c_a\cdot\rho_a}\cdot\Delta_t\right]-\left(e^{\phi/10}-1\right)\cdot\Delta\Theta_{g,t} \quad ; \text{ with } \quad \phi=\frac{c_p\cdot d_p\cdot\rho_p\cdot A_p}{c_a\cdot\rho_a\cdot V}$$

As simplification ϕ may be taken equal to 0 (safe-sided approach), which results in a modified section factor, the thermal section factor:

$$\frac{A_p}{V}\cdot\frac{\lambda_p}{d_p}$$

IPE A 330	199	228	149	178
IPE 330	175	200	131	157
IPE O 330	152	175	114	137
IPE A 360	185	211	138	165
IPE 360	163	186	122	146
IPE O 360	142	162	107	127
IPE A 400	176	200	133	158
IPE 400	152	174	116	137
IPE O 400	135	154	103	122
IPE A 450	165	187	127	149
IPE 450	143	162	110	130
IPE O 450	122	138	94	110
IPE A 500	152	172	118	138
IPE 500	134	151	104	121
IPE O 500	114	129	89	104
IPE A 550	142	160	111	129
IPE 550	124	140	97	113
IPE O 550	108	121	85	98
IPE A 600	131	147	103	119
IPE 600	115	129	91	105
IPE O 600	93	104	73	85
750 x 137	128	144	101	116
750 x 147	120	134	94	109
750 x 173	102	114	81	93
750 x 196	91	102	72	83

HE

HE 100 AA	290	355	181	245
HE 100 A	217	264	138	185
HE 100 B	180	218	115	154
HE 100 M	96	116	65	85
HE 120 AA	296	361	182	247
HE 120 A	220	267	137	185
HE 120 B	167	202	106	141
HE 120 M	92	111	61	80
HE 140 AA	281	342	172	233
HE 140 A	208	253	129	174
HE 140 B	155	187	98	130
HE 140 M	88	106	58	76
HE 160 AA	244	297	150	203
HE 160 A	192	234	120	161
HE 160 B	140	169	88	118
HE 160 M	83	100	54	71
HE 180 AA	229	279	141	190
HE 180 A	187	226	115	155
HE 180 B	131	159	83	110
HE 180 M	80	96	52	68
HE 200 AA	211	256	130	175
HE 200 A	174	211	108	145
HE 200 B	122	147	77	102
HE 200 M	76	92	49	65
HE 220 AA	200	242	122	165
HE 220 A	161	195	99	134
HE 220 B	115	140	72	97
HE 220 M	73	88	47	62
HE 240 AA	185	225	114	154
HE 240 A	147	178	91	122
HE 240 B	108	131	68	91
HE 240 M	61	73	39	52
HE 260 AA	176	214	108	146
HE 260 A	141	171	88	117
HE 260 B	105	127	66	88
HE 260 M	59	72	39	51
HE 280 AA	168	204	104	139
HE 280 A	136	165	84	113
HE 280 B	102	123	64	85
HE 280 M	59	71	38	50
HE 300 AA	158	192	97	131
HE 300 A	126	153	78	105
HE 300 B	96	116	60	80
HE 300 M	50	60	33	43
HE 320 AA	152	184	95	127
HE 320 A	117	141	74	98
HE 320 B	91	110	58	77
HE 320 M	50	60	33	43
HE 340 AA	147	177	94	123
HE 340 A	112	134	72	94
HE 340 B	88	106	57	75
HE 340 M	50	60	34	43
HE 360 AA	142	170	92	120
HE 360 A	107	128	70	91
HE 360 B	86	102	56	73
HE 360 M	51	61	34	44
HE 400 AA	135	161	90	115
HE 400 A	101	120	68	87
HE 400 B	82	97	56	71
HE 400 M	52	62	36	45
HE 450 AA	133	156	91	114
HE 450 A	96	113	66	83
HE 450 B	79	93	55	69
HE 450 M	53	62	38	47
HE 500 AA	130	152	91	113

Proprietà dei materiali – Acciaio strutturale (EN 1993-1-2)
Coefficienti di sezione per acciaio protetto

For a uniform temperature distribution in a cross-section, the temperature increase $\Delta\Theta_{a,t}$ of an insulated steel member during a time interval Δ_t is given by:

$$\Delta\Theta_{a,t} = \frac{A_p}{V}\cdot\frac{\lambda_p}{d_p}\cdot\frac{1}{1+\phi/3}\cdot\left[\frac{(\Theta_{g,t}-\Theta_{a,t})}{c_a\cdot\rho_a}\cdot\Delta_t\right]-\left(e^{\phi/10}-1\right)\cdot\Delta\Theta_{g,t}\ ;\ \text{with}\quad \phi=\frac{c_p.d_p.\rho_p.A_p}{c_a.\rho_a.V}$$

As simplification ϕ may be taken equal to 0 (safe-sided approach), which results in a modified section factor, the thermal section factor:

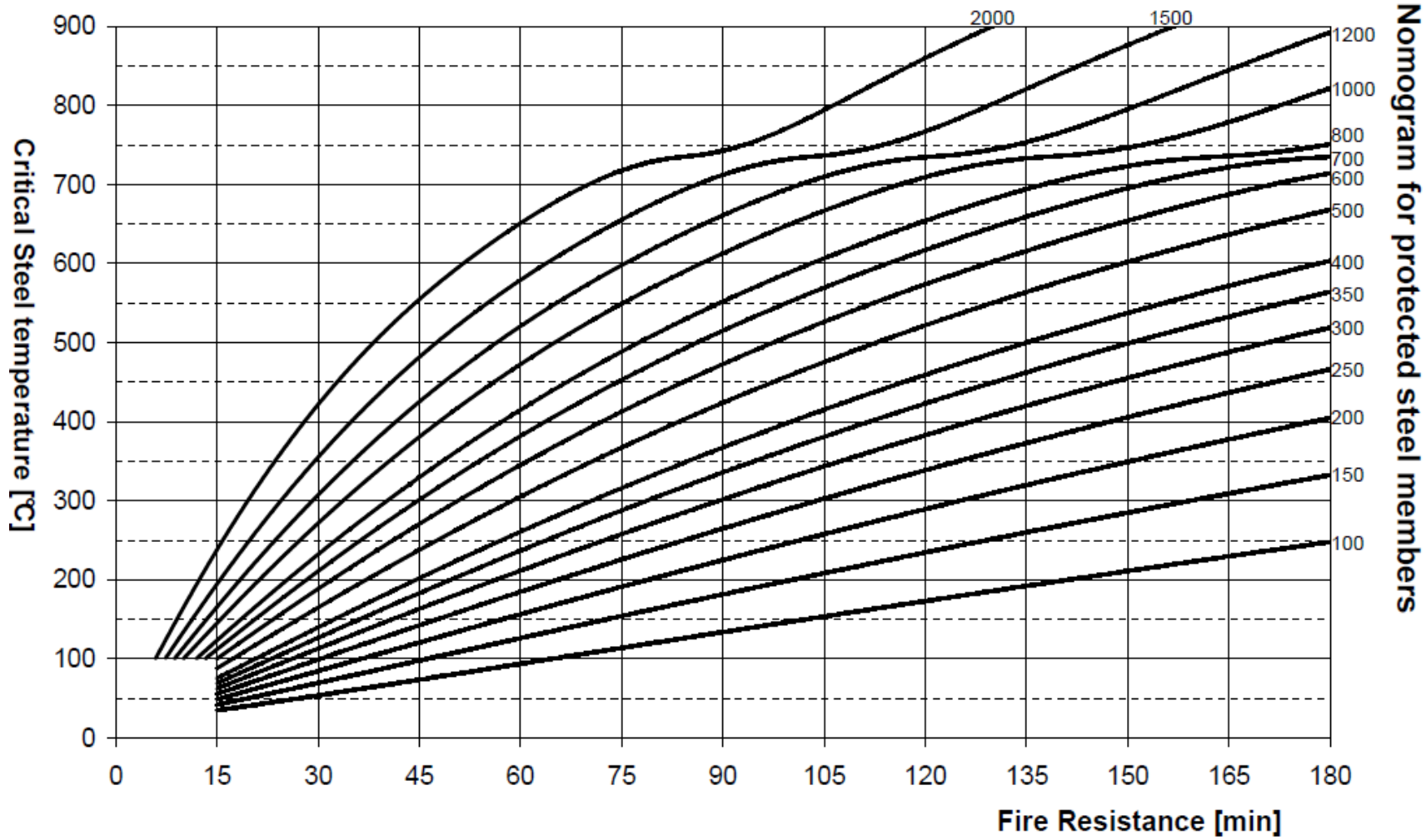
$$\frac{A_p}{V}\cdot\frac{\lambda_p}{d_p}$$

Table 6.1 : General properties for preliminary design.

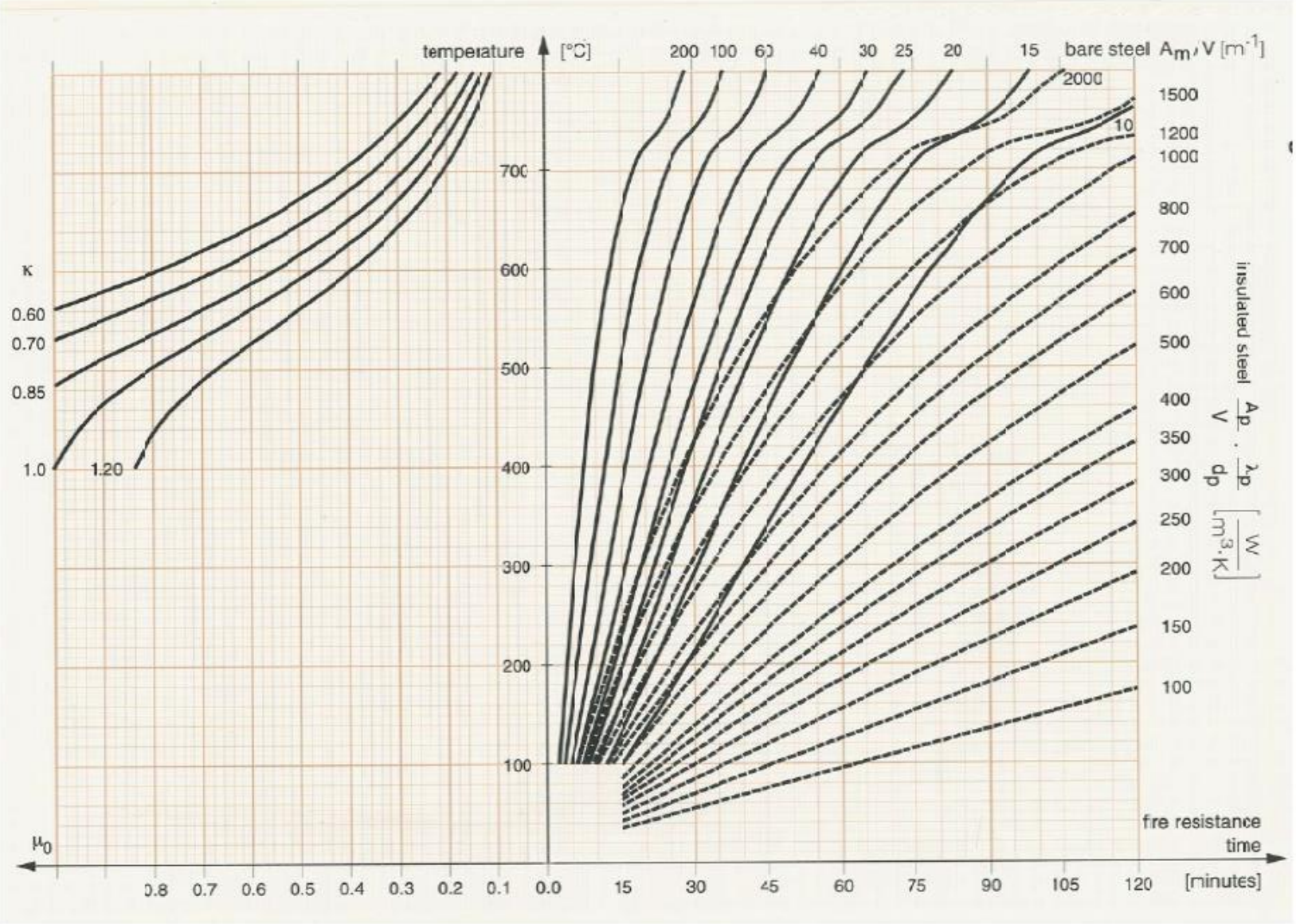
Material	Unit mass ρ_p [kg/m^3]	Thermal conductivity λ_p [W/(m.K)]	Specific heat c_p [J/(kg.K)]
Sprays			
- mineral fibre	300	0.12	1200
- vermiculite cement	350	0.12	1200
- perlite	350	0.12	1200
High-density sprays			
- vermiculite (or perlite) and cement	550	0.12	1100
- vermiculite (or perlite) and gypsum	650	0.12	1100
Boards			
- vermiculite (or perlite) and cement	800	0.2	1200
- fibre-silicate or fibre calcium-silicate	600	0.15	1200
- fibre-cement	800	0.15	1200
- gypsum board	800	0.20	1700
Compressed fibre boards			
- fibre-silicate, mineral-wool stone-wool	150	0.2	1200
Concrete	2300	1.60	1000
Light weight concrete	1600	0.80	840
Concrete bricks	2200	1.00	1200
Bricks with holes	1000	0.40	1200
Solid bricks	2000	1.20	1200

Proprietà dei materiali – Acciaio strutturale (EN 1993-1-2)

Nomogramma per la determinazione della resistenza al fuoco di acciaio protetto



Proprietà dei materiali – Acciaio strutturale (EN 1993-1-2)
Nomogramma per la determinazione della resistenza al fuoco



Grazie per l’attenzione