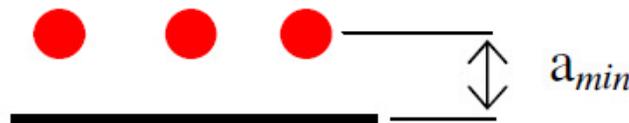


in collaborazione con

**CORSO DI AGGIORNAMENTO IN PREVENZIONE INCENDI FINALIZZATO
AL MANTENIMENTO DELL'ISCRIZIONE DEI PROFESSIONISTI NEGLI
ELENCHI DEL MINISTERO DELL'INTERNO – art. 7 Decr. Min. Int. 5
agosto 2011.**



La risposta strutturale a caldo valutata con metodi tabellari.

Analisi e limiti di impiego delle tabelle del
D.M. 16.02.07, delle tabelle di EC2-1-2 e
del nomogramma di EC3-1-2.

**....COMPAIO SOLO PER
ATTIRARE LA VOSTRA
ATTENZIONE QUANDO
IL CONTENUTO DELLE
SLIDES È OGGETTO DEI
TEST DI VERIFICA.**



Art. 2.

Classificazione di resistenza al fuoco



1. I prodotti e gli elementi costruttivi sono classificati in base alle loro caratteristiche di resistenza al fuoco, secondo i simboli e le classi indicate nelle tabelle dell'allegato A) al presente decreto, in conformità alle decisioni della Commissione dell'Unione europea 2000/367/CE del 3 maggio 2000 e 2003/629/CE del 27 agosto 2003.

2. Con successivi provvedimenti del Ministro dell'interno si aggiornano le tabelle di cui al precedente comma 1, a seguito delle ulteriori decisioni della Commissione dell'Unione europea emanate in materia.

3. Le prestazioni di resistenza al fuoco dei prodotti e degli elementi costruttivi possono essere determinate in base ai risultati di:

- a) prove,
- b) calcoli,
- c) confronti con tabelle.

4. Le modalità per la classificazione di prodotti ed elementi costruttivi in base ai risultati di prove di resistenza al fuoco e di tenuta al fumo sono descritte nell'allegato B) al presente decreto.

5. Le modalità per la classificazione di prodotti ed elementi costruttivi in base ai risultati di calcoli sono descritte nell'allegato C) al presente decreto.

6. Le modalità per la classificazione di elementi costruttivi in base a confronti con tabelle sono descritte nell'allegato D) al presente decreto.



Classificazione a caldo dei prodotti, dei materiali e degli elementi costruttivi

Prodotto o elemento costruttivo con obbligo di marcatura CE

SI

NO

documenti di riferimento

Classificazione (SOLO professionista antincendio) con:

-NORME ARMONIZZATE
con marcatura **CE**
-Regolamento 305.11-CPR
(in vigore dal 01 luglio 2013)
-D.o.P.

PROVE
(EN 13501-1-2-3-4 + norme EN, ENV o prEN)

CALCOLI
(EC 1, 2, 3, 4, 5, 6, 9 parte 1-2)

CONFRONTI CON TABELLE
(SOLO quelle all.to D del D.M. 6.02.07)



«prodotto da costruzione», qualsiasi prodotto o kit fabbricato e immesso sul mercato per essere incorporato in modo permanente in opere di costruzione o in parti di esse e la cui prestazione incide sulla prestazione delle opere di costruzione rispetto ai requisiti di base delle opere stesse;

«opere di costruzione», gli edifici e le opere di ingegneria civile;

“elemento costruttivo”, parte di un’opera di costruzione anche costituita da più prodotti da costruzione non aventi specifici requisiti di resistenza al fuoco.

**DEFINIZIONI DA
REGOLAMENTO
UE 305 / 2011**

metodi “tendenziali” di classificazione

Prodotti	PROVE CALCOLI	metodo sperimentale metodo analitico	Allegato B Allegato C
Elementi costruttivi	PROVE CALCOLI TABELLE	metodo sperimentale metodo analitico metodo tabellare	Allegato B Allegato C Allegato D

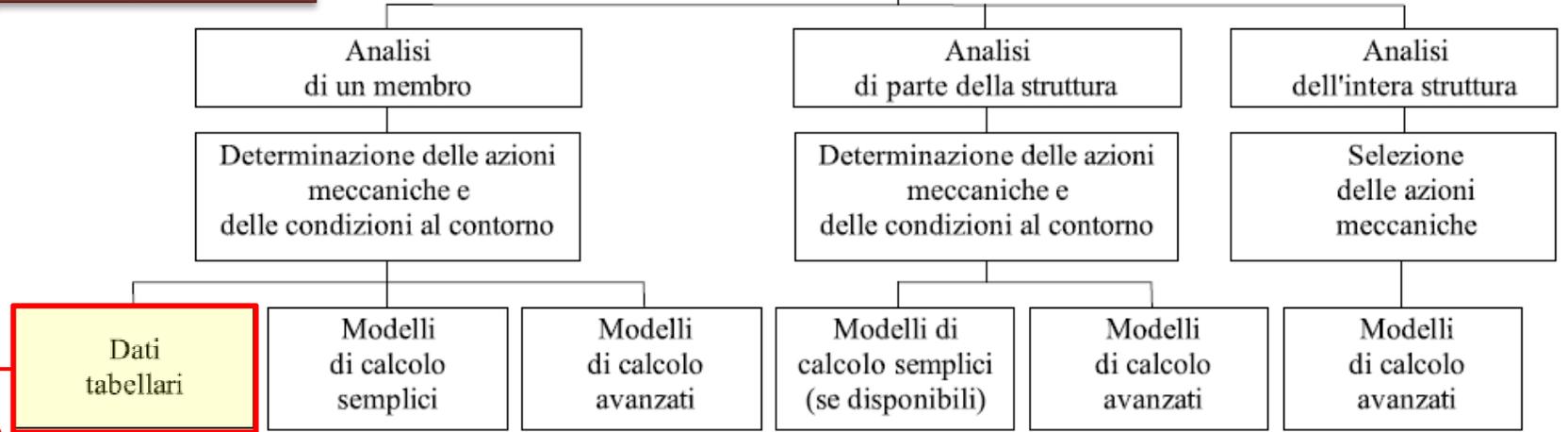
EN 1991-1-2 Procedimenti di progettazione



Procedimenti di progettazione

$$\theta_g = 20 + 345 \log_{10} (8t + 1)$$

Regole prescrittive (azioni termiche fornite dall'incendio nominale)



Dati tabellari

Codice su base prestazionale (azioni termiche basate su modelli fisici)

Selezione di modelli di sviluppo di incendio semplici o avanzati



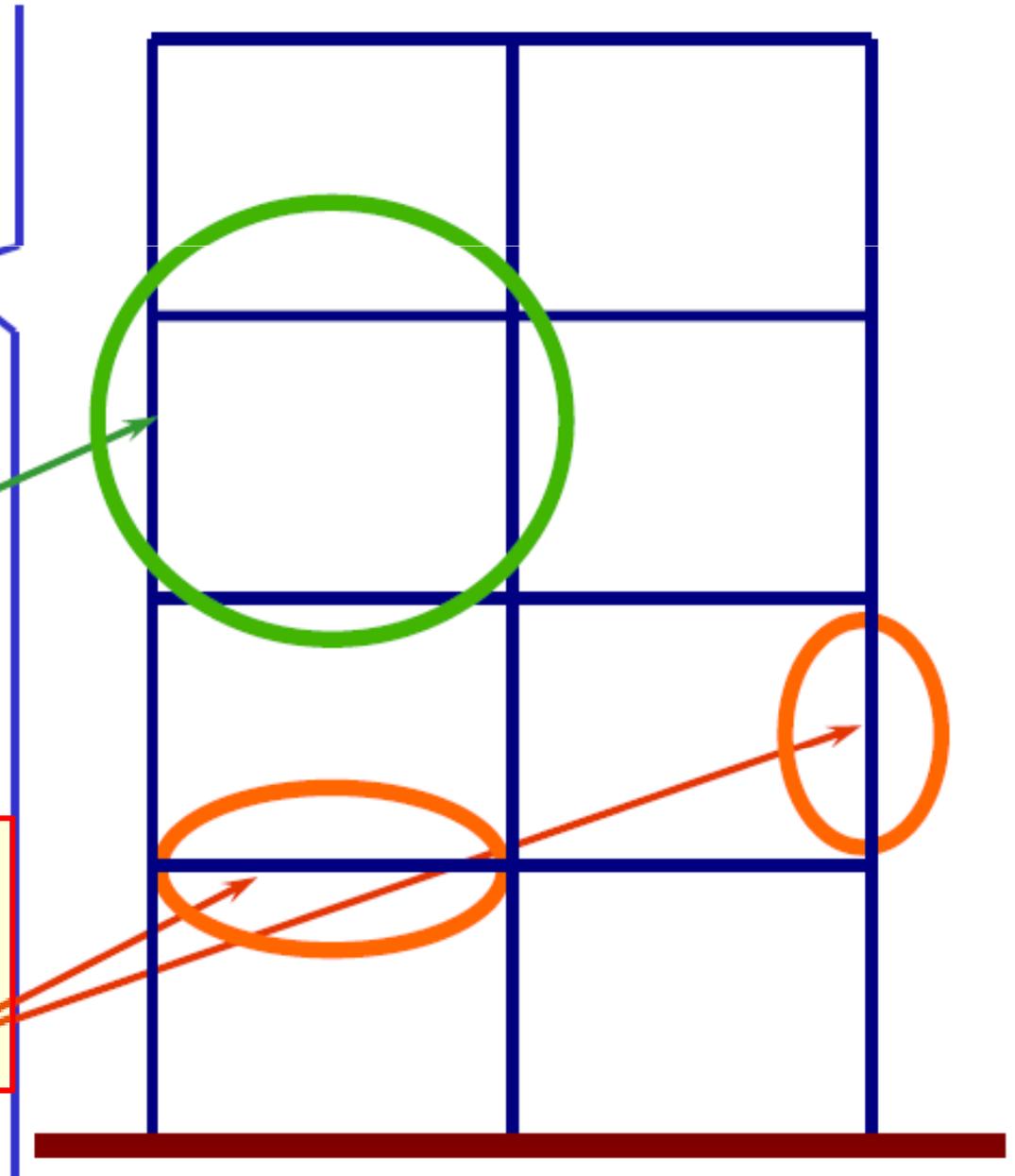
- 1. Allegato D D.M. 16.II.07
- 2. EN 199X-1-2
- 3. Copi.....

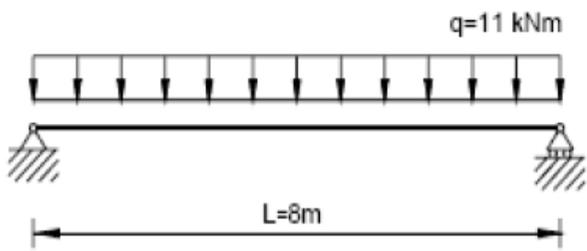


global structural analysis

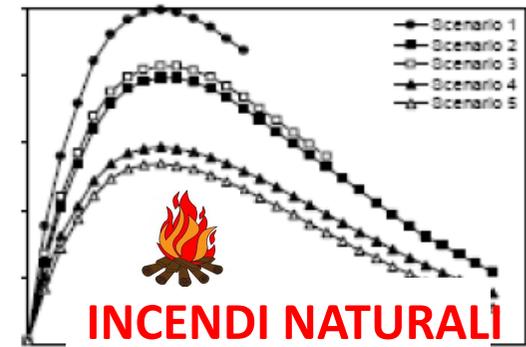
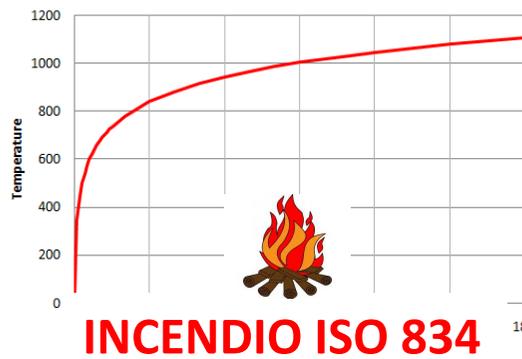
analysis of parts of the structure

member analysis (mainly when verifying standard fire resistance requirements)





member analysis



Sezione	Area	Momento d'inerzia	Raggio di girazione	Modulo di resistenza
	$A = bh$	$I = \frac{bh^3}{12}$	$r = \frac{h}{\sqrt{12}}$	$W = \frac{bh^2}{6}$
	$A = 2bh$	$I = \frac{bh^3}{3}$	$r = \frac{h}{\sqrt{6}}$	$W = \frac{bh^2}{3}$
	$A = \frac{\pi D^2}{4}$	$I = \frac{\pi D^4}{64}$	$r = \frac{D}{4}$	$W = \frac{\pi D^3}{32}$
	$A = h^2$	$I = \frac{h^4}{12}$	$r = \frac{h}{\sqrt{12}}$	$W = \frac{h^3}{6}$
	$A = bh$	$I = \frac{bh^3}{12}$	$r = \frac{h}{\sqrt{12}}$	$W = \frac{bh^2}{6}$
	$A = bh - 4hf$	$I = \frac{bh^3}{12} - 4hf^3$	$r = \frac{h}{\sqrt{12}}$	$W = \frac{bh^2}{6} - 4hf^2$
	$A = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)$	$I = \frac{\pi}{64}(D^4 - d^4)$	$r = \frac{D}{4}$	$W = \frac{\pi}{32}(D^3 - d^3)$
	$A = \pi R t$	$I = \pi R^3 t$	$r = R$	$W = \pi R^2 t$

DATI TABELLARI

APPLICABILI

**NON
APPLICABILI**



MODELLI DI CALCOLO SEMPLICI

APPLICABILI

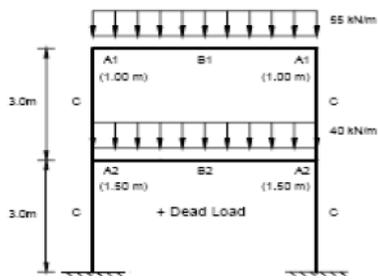
**APPLICABILI
SE DISPONIBILI
E CONSENTITO**



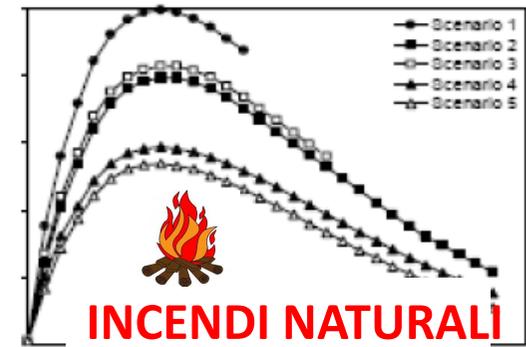
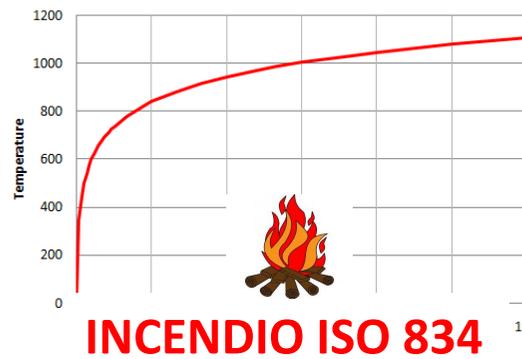
MODELLI DI CALCOLO AVANZATI

APPLICABILI

**APPLICABILI
SE CONSENTITO**



parts of the structure

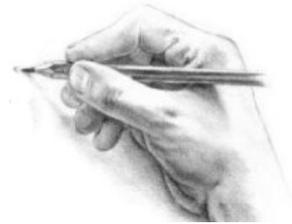


$A = \pi \cdot r^2$	$A = \pi \cdot r^2$	$A = b \cdot h$	$A = b \cdot h$	$A = \pi \cdot r^2$	$A = \pi \cdot r^2$	$A = b \cdot h$	$A = \pi \cdot r^2$	$A = \pi \cdot r^2$
$I = \frac{\pi \cdot r^4}{4}$	$I = \frac{\pi \cdot r^4}{4}$	$I = \frac{b \cdot h^3}{12}$	$I = \frac{b \cdot h^3}{12}$	$I = \frac{\pi \cdot r^4}{4}$	$I = \frac{\pi \cdot r^4}{4}$	$I = \frac{b \cdot h^3}{12}$	$I = \frac{\pi \cdot r^4}{4}$	$I = \frac{\pi \cdot r^4}{4}$
$W = \frac{\pi \cdot r^3}{4}$	$W = \frac{\pi \cdot r^3}{4}$	$W = \frac{b \cdot h^2}{6}$	$W = \frac{b \cdot h^2}{6}$	$W = \frac{\pi \cdot r^3}{4}$	$W = \frac{\pi \cdot r^3}{4}$	$W = \frac{b \cdot h^2}{6}$	$W = \frac{\pi \cdot r^3}{4}$	$W = \frac{\pi \cdot r^3}{4}$

DATI TABELLARI

NON APPLICABILI

NON APPLICABILI



MODELLI DI CALCOLO SEMPLICI

APPLICABILI (SE DISPONIBILI)

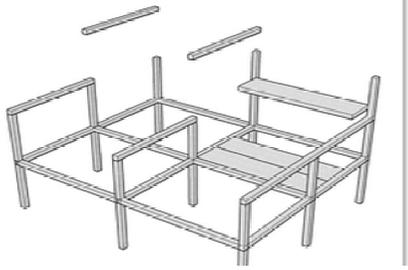
NON APPLICABILI



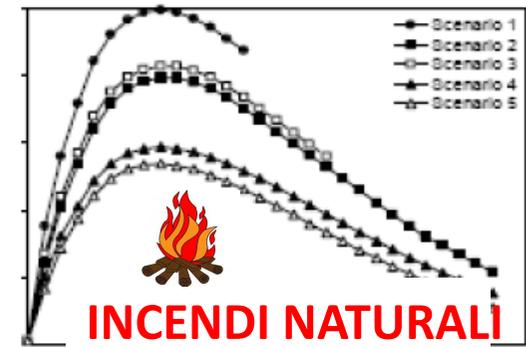
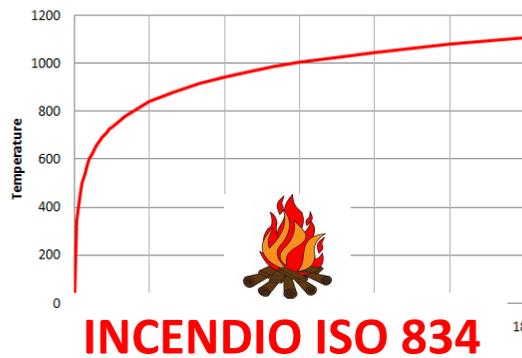
MODELLI DI CALCOLO AVANZATI

APPLICABILI

APPLICABILI SE CONSENTITO



global structural analysis



$I_{x0} = \frac{bh^3}{12}$	$I_{y0} = \frac{b^3h}{12}$								
$I_x = I_{x0} + A \cdot d_y^2$	$I_y = I_{y0} + A \cdot d_x^2$	$I_x = I_{x0} + A \cdot d_y^2$	$I_y = I_{y0} + A \cdot d_x^2$	$I_x = I_{x0} + A \cdot d_y^2$	$I_y = I_{y0} + A \cdot d_x^2$	$I_x = I_{x0} + A \cdot d_y^2$	$I_y = I_{y0} + A \cdot d_x^2$	$I_x = I_{x0} + A \cdot d_y^2$	$I_y = I_{y0} + A \cdot d_x^2$

DATI TABELLARI

NON APPLICABILI

NON APPLICABILI



MODELLI DI CALCOLO SEMPLICI

NON APPLICABILI

NON APPLICABILI



MODELLI DI CALCOLO AVANZATI

APPLICABILI

APPLICABILI SE CONSENTITO

Normativa di riferimento:

EN 13501- EN 1364 – EN 1365 – EN 1366 – EN 1634 – EN 14135 – ENV 13381 – EN 1991-1-2 – EN 1992-1-2 – EN 1993-1-2 – EN 1994-1-2 EN 1995-1-2 – EN 1996-1-2 – (EN1999-1-2) per: materiali, condizioni di esposizione, criteri prestazionali, procedure di classificazione, specifiche dei forni di prova, strumenti di misura, procedure di campionamento, conservazione dei campioni, invecchiamento dei campioni, modalità di stesura del rapporto di prova, rapporto di classificazione.

EN 1363-1, 2 per la redazione dei rapporti di prova.

Allegato C, D.M. 16.02.2007 – Modalità di classificazione in base ai risultati di calcoli

Normativa di riferimento:

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

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

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

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

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

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

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

Le **NTC 08** contemplano l'uso degli **EC** pur non essendone esplicita la facoltà in termini alternativi. Il D.M. 31.07.2012 ha approvato le appendici nazionali, **DAN**.

“istruzioni per l’uso” ufficiali



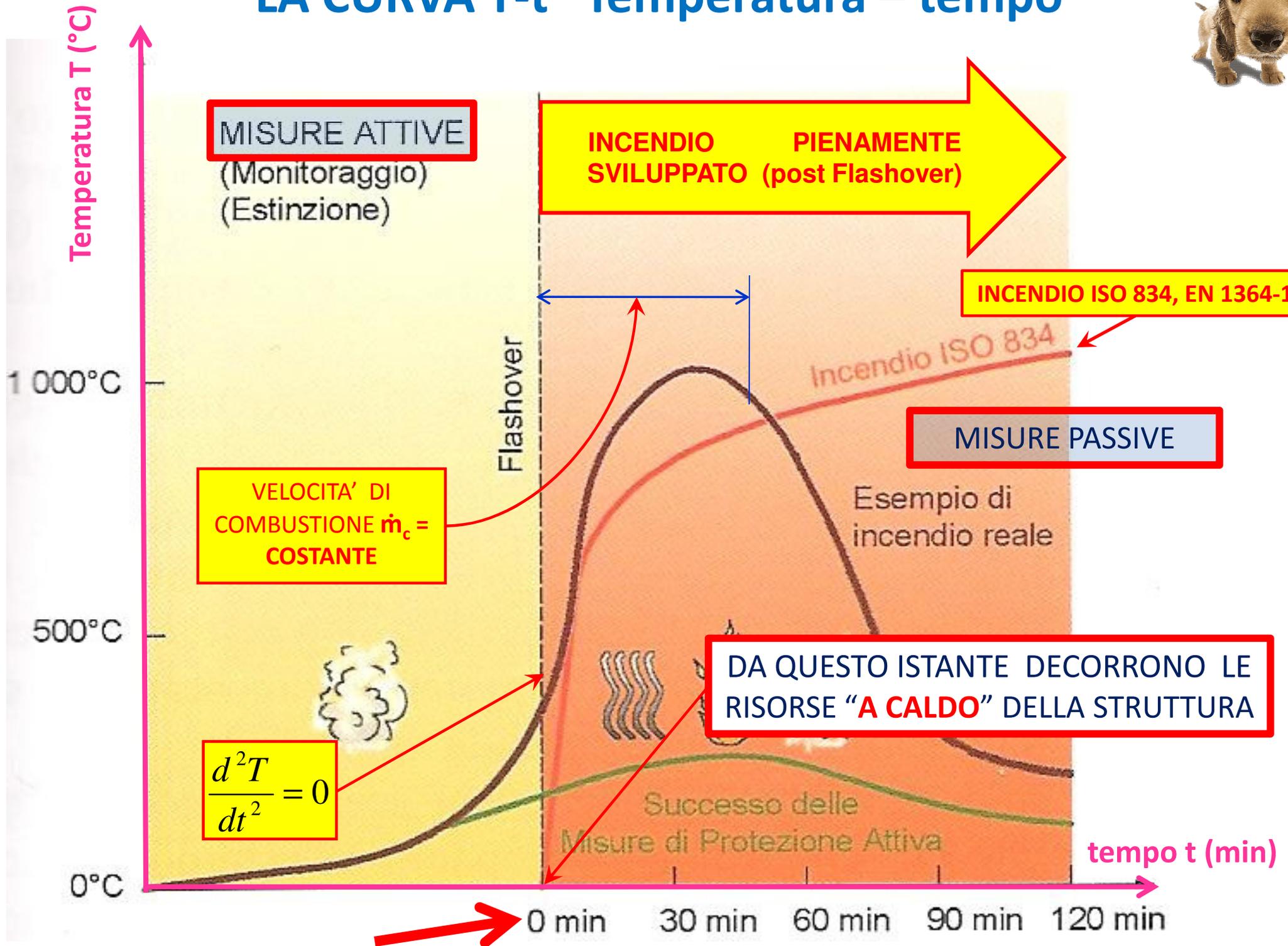
D.1 Le tabelle seguenti propongono delle condizioni sufficienti per la classificazione di elementi costruttivi resistenti al fuoco. Dette condizioni non costituiscono un obbligo qualora si proceda alla determinazione delle prestazioni di resistenza al fuoco secondo gli altri metodi di cui all’articolo 2 commi 4 e 5 del presente decreto. I valori contenuti nelle tabelle sono il risultato di campagne sperimentali e di elaborazioni numeriche e si riferiscono alle tipologie costruttive e ai materiali di maggior impiego. Detti valori pur essendo cautelativi, non consentono estrapolazioni o interpolazioni tra gli stessi ovvero modifiche delle condizioni di utilizzo.

D.2 L’uso delle tabelle è strettamente limitato alla classificazione di elementi costruttivi per i quali è richiesta la resistenza al fuoco nei confronti della curva temperatura-tempo standard e delle altre azioni meccaniche previste in caso di incendio.

D.3 Altre tabelle di natura sperimentale o analitica diverse da quelle sotto esposte non ricadono tra quelle previste all’articolo 2 comma 6 del presente decreto.

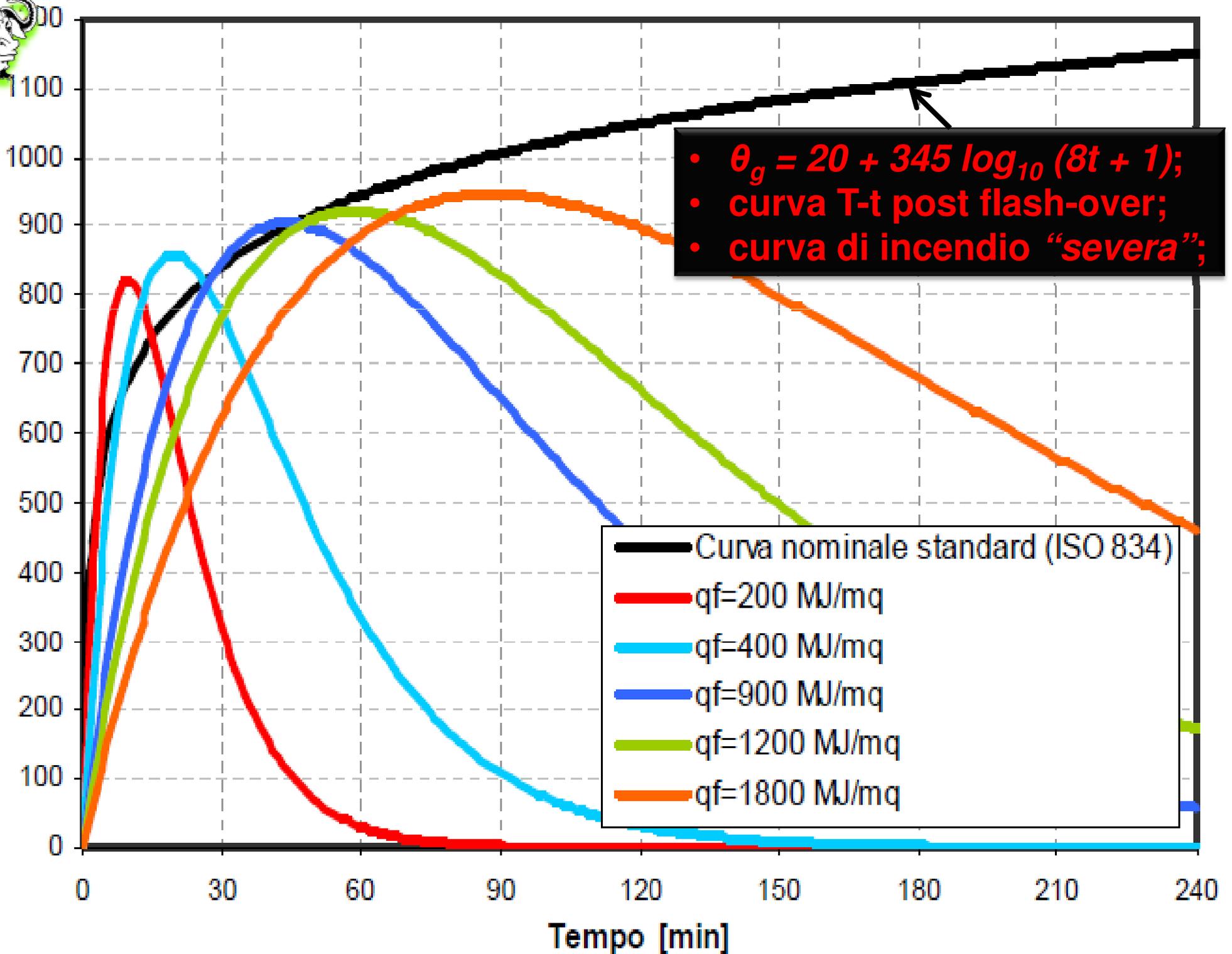
$$\theta_g = 20 + 345 \log_{10} (8t + 1)$$

LA CURVA T-t Temperatura – tempo





Temperatura [°C]



altre “istruzioni per l’uso”

- ❑ La verifica è esclusivamente di tipo sezionale e, pertanto, il riferimento agli “elementi costruttivi” dato nell’all.to D al p.to D.1 potrebbe indurre in errore;
- ❑ Il metodo è rivolto per lo più a sezioni in C.A., ed a murature **esclude le strutture in legno ed in acciaio**;
- ❑ L’umidità del calcestruzzo è assunta pari all’ **1,5%** in peso;



altre “istruzioni per l’uso”

- ❑ Il metodo considera la “membratura” (elemento costruttivo) come staticamente isolata dal contesto ed in condizioni tendenziali di isostaticità. Non vengono pertanto prese in considerazione le azioni indirette indotte dall’incendio quali dilatazioni impedito, coppie indotte da gradienti sezionali di temperatura, coazioni, ecc.;
- ❑ E’ limitato al calcolo di soli componenti considerati uniformemente esposti al fuoco per tutta la loro lunghezza;

altre “istruzioni per l’uso”

- ❑ Non sono automaticamente verificate le capacità resistenti a caldo a taglio ed a torsione ;
- ❑ Tuttavia il rispetto delle dimensioni minime delle sezioni previste nelle tabelle **non richiede di effettuare ulteriori verifiche a taglio, a torsione o all’ancoraggio delle armature** in condizioni di incendio;

altre “istruzioni per l’uso”

- ❑ Il metodo fornisce, a parità di condizioni di carico e di vincolo, risultati **conservativi** rispetto agli altri metodi;
- ❑ L’uso della curva **ISO 834** permette di ridurre il complicato problema di analisi strutturale alla verifica di **un solo elemento strutturale alla volta** trascurando gli effetti delle **deformazioni termiche impedita**;

Effetto dei vincoli – deformazioni termiche impedite



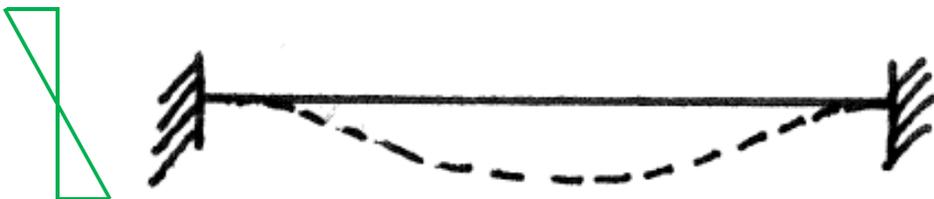
Nessuna variazione dello stato tensionale, solo allungamento.



Elevato stato tensionale di compressione, possono verificarsi fenomeni di instabilità.



Stato tensionale di flessione $M > 0$ anche con isostaticità dell'elemento strutturale.



Stato tensionale di flessione $M > 0$, $M < 0$.



Stato di deformazione elevata per combinazione degli effetti, fenomeni del 2° ordine, plasticizzazione, "effetto catena" (acciaio).

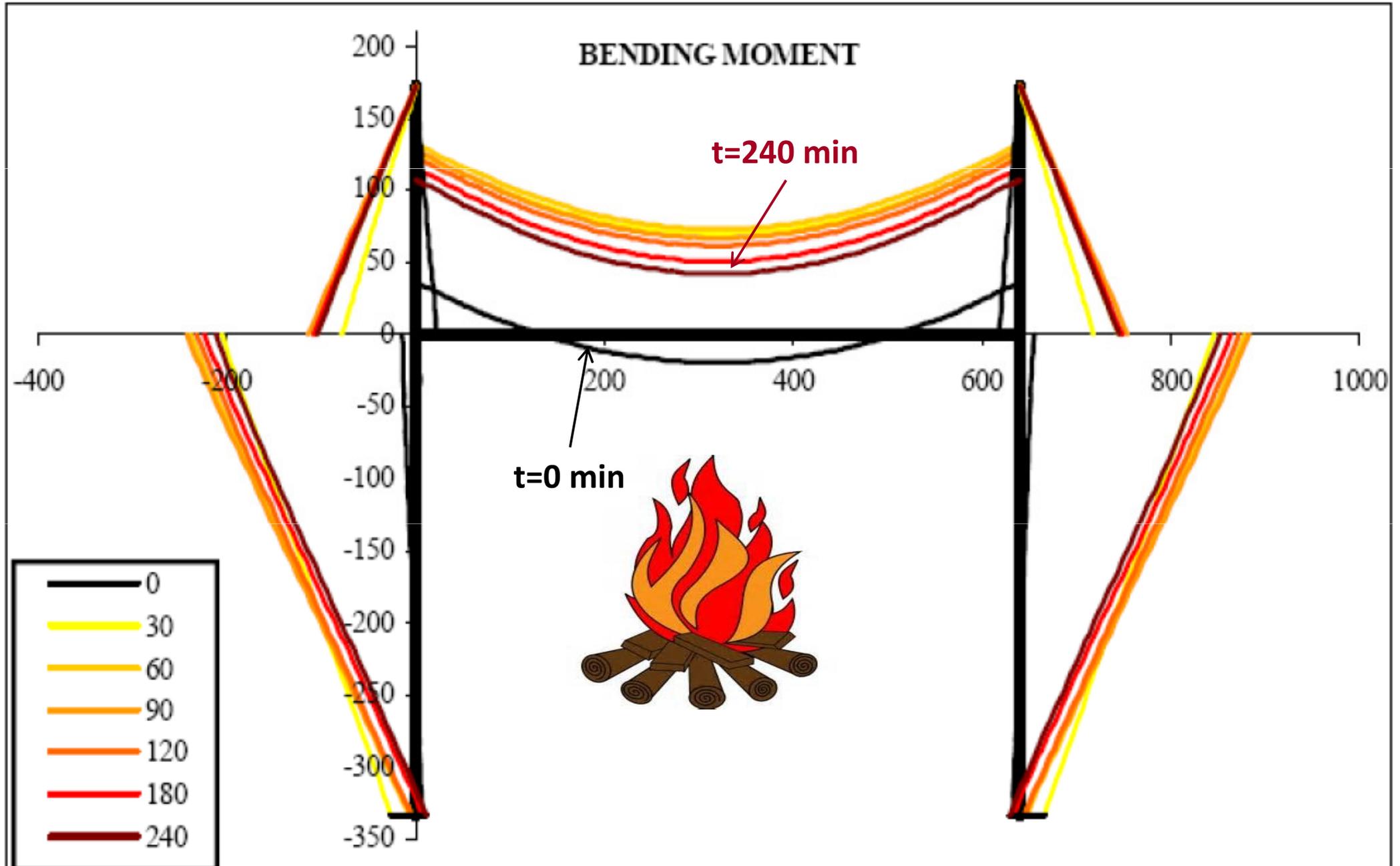
Effetto catena



Effetto catena



Effetto delle coazioni in strutture iperstatiche, si consideri che all'aumento delle temperature diminuiscono i moduli elastici E e G che influenzano direttamente le coazioni.



Allegato D – Modalità per la classificazione in base a confronti con tabelle

altre “istruzioni per l’uso”

- ❑ Le tabelle sono state sviluppate per lo più empiricamente, sulla base della generale esperienza in Europa e sulla base di valutazioni teoriche delle prove.
- ❑ In particolare le tabelle per i pilastri in C.A. sono basate su prove eseguite in Belgio ed in Canada.
- ❑ Si analizza il problema **solo** dal lato resistenza (per lo più per l’acciaio) e non dal lato carichi.



altre “istruzioni per l’uso”

- Si deve quindi utilizzare uno spessore di cls minimo atto a **limitare la temperatura dell’acciaio di armatura a 500°C (350°C per i fili, le trecce, ed i trefoli e 400°C per le barre di pretensione).**
- E’ stata presa in considerazione anche la norma BS 8110 parte 2 orientata a limitare l’aumento di temperatura sulla faccia non esposta e mantenere la stabilità.

2.5.3 COMBINAZIONI DELLE AZIONI

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



- ① – Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU)

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

- ② – 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:

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

- ③ – Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

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

- ④ – Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

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

- ⑤ – Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E (v. § 3.2):

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

- ⑥ – Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali di progetto A_d (v. § 3.6):

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



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

Delle 6 combinazioni, nel calcolo a caldo, interessano la **1** e la **6**



1 combinazione fondamentale
(stato limite ultimo **S L U**)

$$\gamma_{G1} G_1 + \gamma_{G2} G_2 + \gamma_P P + \gamma_{Q1} Q_{k1} + \gamma_{Q2} \psi_{02} Q_{k2} + \dots$$

6 combinazione eccezionale Ad (**incendio**, esplosione, urti....)

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} Q_{k1} + \psi_{22} Q_{k2} + \dots$$



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	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali ⁽¹⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Carichi variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

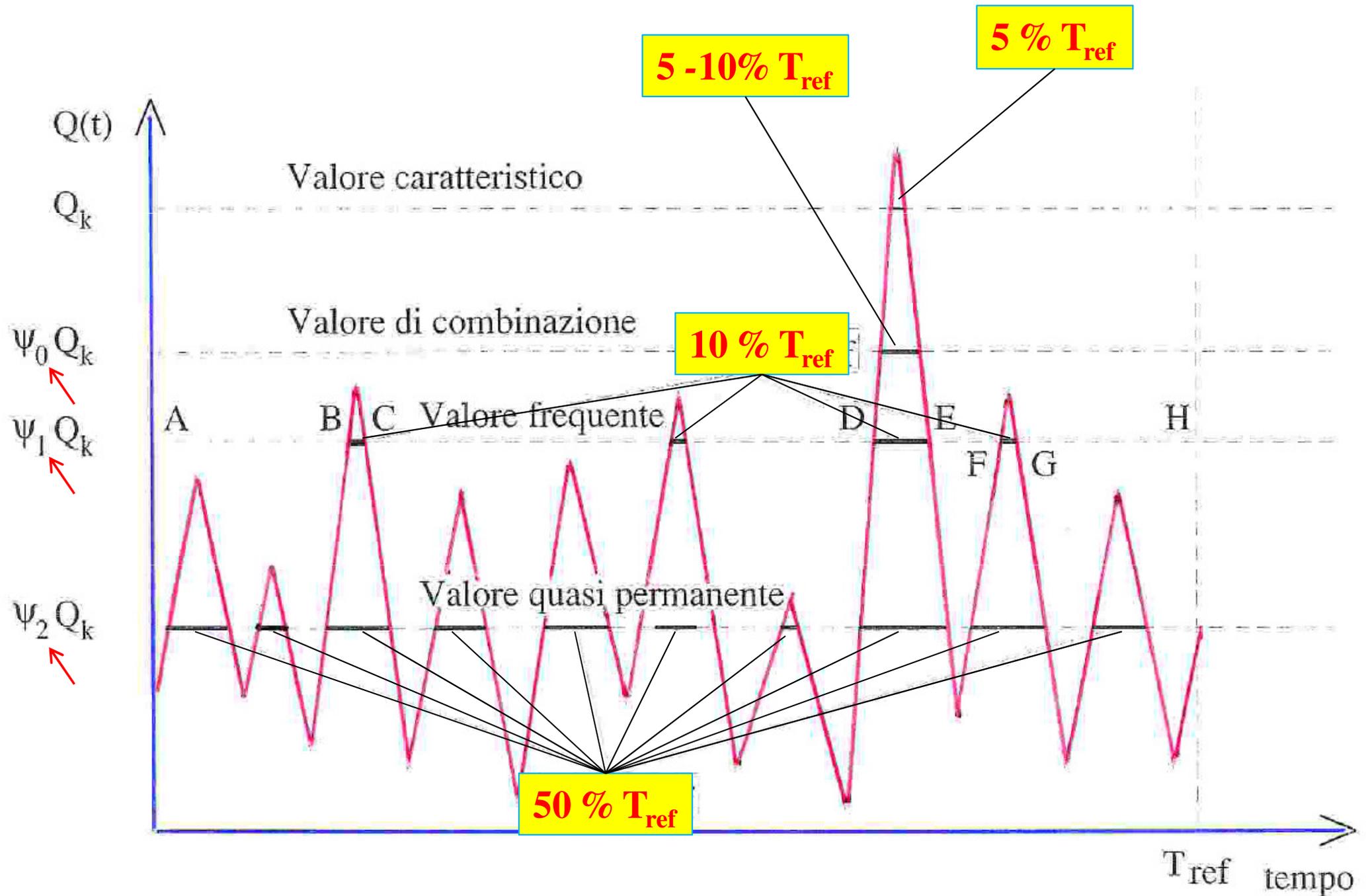
⁽¹⁾Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare per essi gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.



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

Illustrazione schematica dei valori rappresentativi delle azioni variabili $Q(t)$



PER LA COMBINAZIONE ECCEZIONALE DI PROGETTO **INCENDIO**:

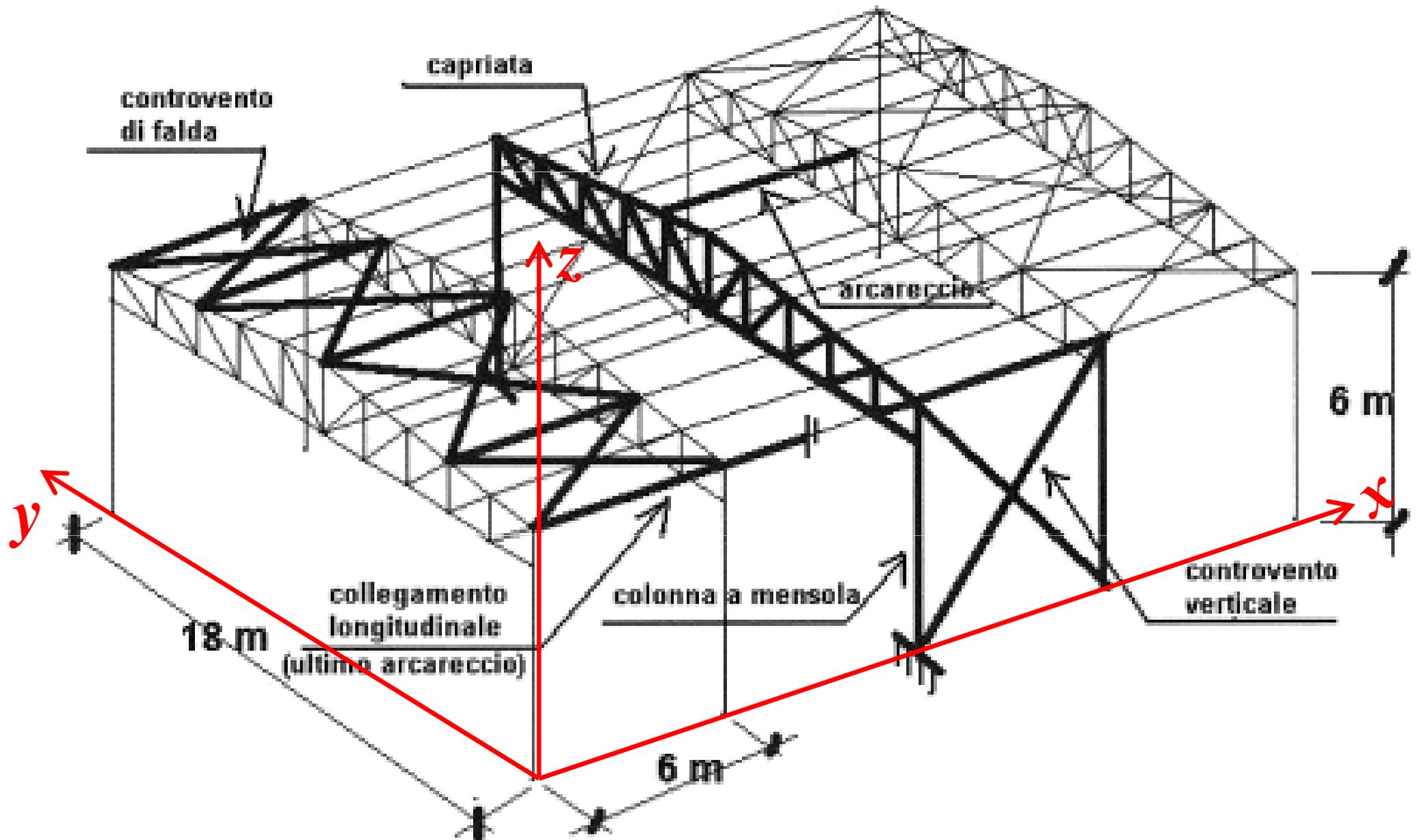
- ❑ $\Psi_{2,wind} = 0 \rightarrow$ *wind action = 0 (così come snow, per quota < 1.000 m. s. l. m.);*
- ❑ *l'azione sismica E non viene contemporaneamente considerata;*

Ne consegue la convinzione molto diffusa e **SBAGLIATA** che le controventature, nelle verifiche strutturali “a caldo”, possono essere “*beatamente*” trascurate.

Nelle verifiche a caldo **NON**
bisogna quindi **sottovalutare il**
problema del controventamento
pur in **assenza** di vento.

Nel caso dell'azione sismica E è
invece logico e razionale
trascurare windaction perché E
prevede anche azioni orizzontali.

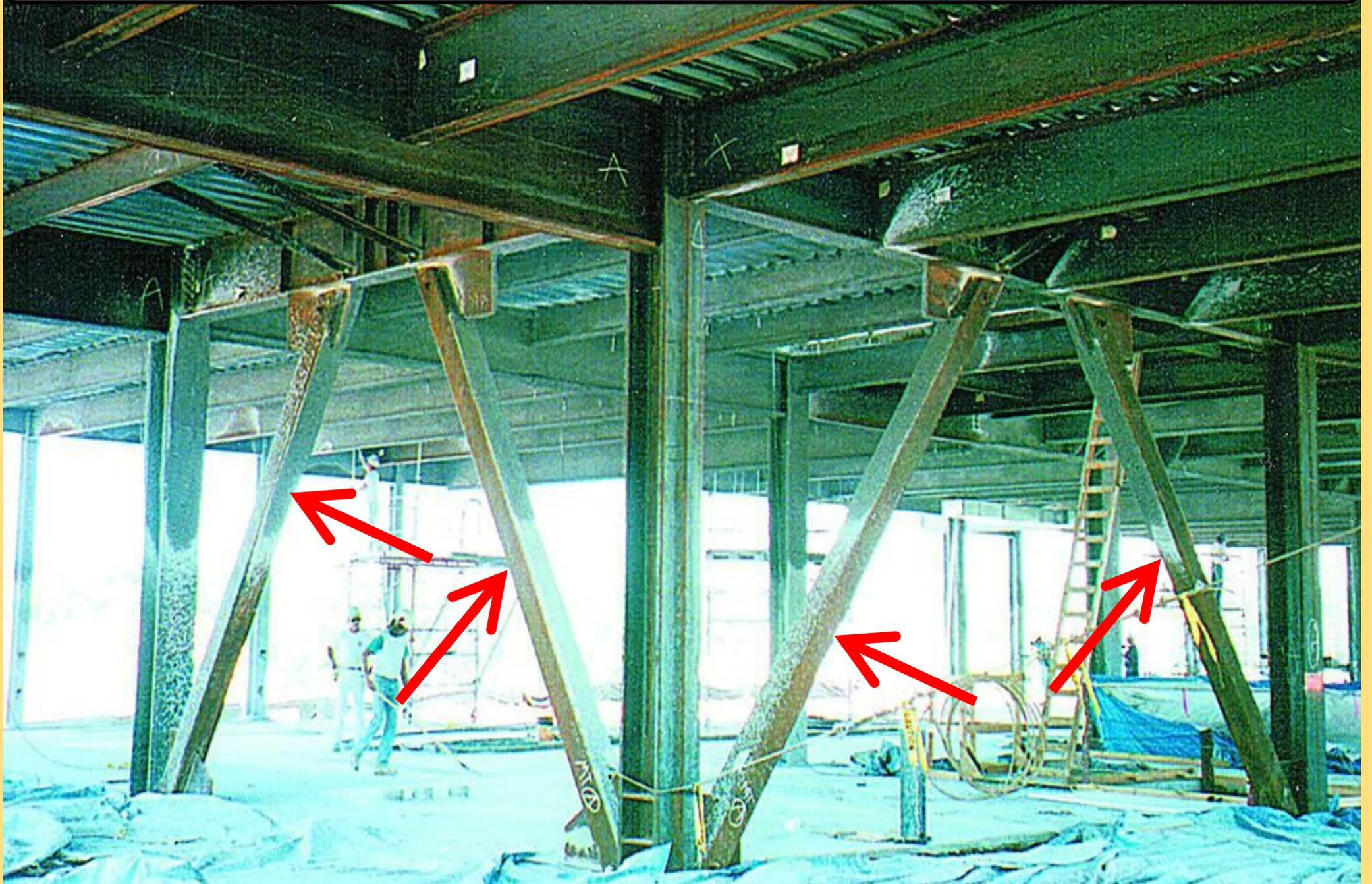
Principali funzioni dei controventi di piano e verticali





Intradosso di solaio in carpenteria metallica con controventi di piano non protetti dall'azione dell'incendio

Suscita una certa...inquietudine trascurare nella verifica a caldo i controventi a K indicati con 



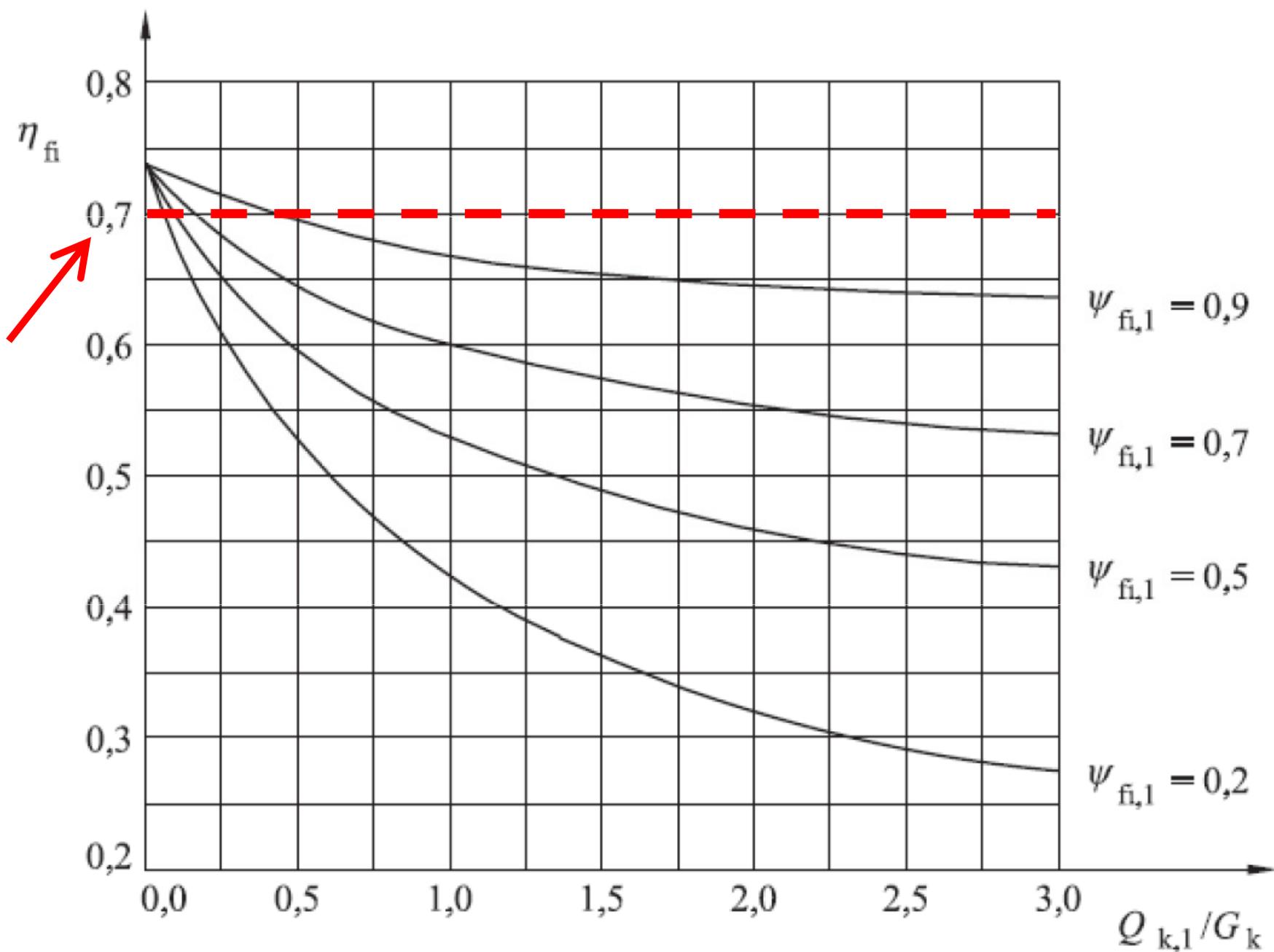


altre “istruzioni per l’uso”

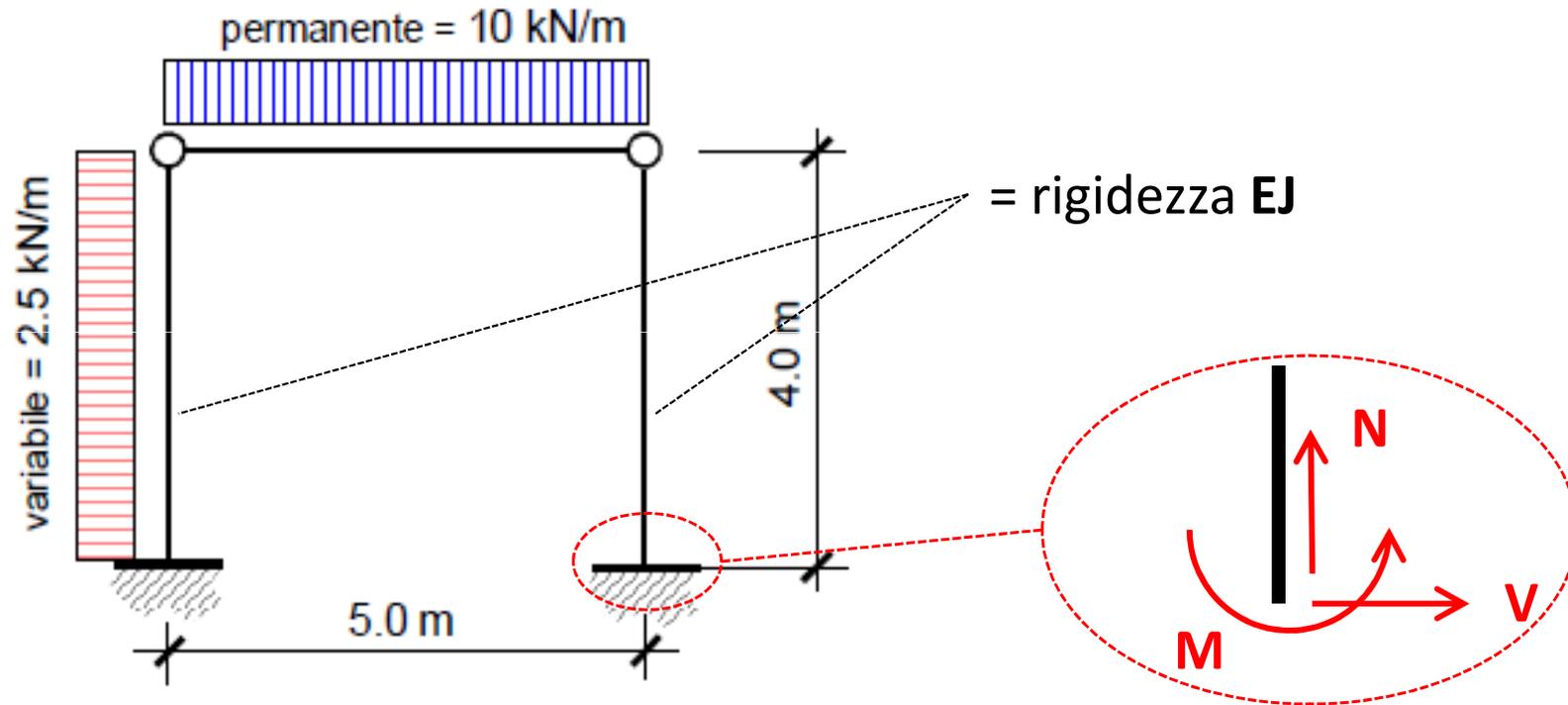
- La modalità presuppone che il fattore di riduzione, ossia la quota percentuale dell’effetto di progetto dei carichi a freddo, utilizzata per gli SLU, da impiegare per la verifica a caldo, sia $\eta_{fi} = 0,7$;
- η_{fi} assume l’espressione:

$$\eta_{fi} = \frac{E_{d,fi}}{E_d} = \frac{\gamma_{GA} G_k + \psi_{2,1} Q_{k1}}{\gamma_G G_k + \gamma_{Q,1} Q_{k1}} \quad \text{con } \gamma_{GA} = 1$$

Variazione del fattore di riduzione η_{fi} ($\psi_{fi,1}, Q_{k,1}/G_k$)



In genere il ricorso al coefficiente di riduzione η_{fi} non è né particolarmente conveniente né “pulito”.



COMBINAZIONE	SOLLECITAZIONI ALLA BASE DELLA COLONNA DESTRA		
	N (kN)	M (kNm)	V (kN)
CARATTERISTICA, K	25,00	10,00	2,50
SLU, con combinazione fondamentale, $\gamma_G=1,3$, $\gamma_Q=1,5$	32,50	15,00	3,75
INCENDIO , con combinazione quasi permanente $\gamma_G=1$, $\psi_{2,1}=0$	25,00	0,00	0,00
INCENDIO , con $\eta_{fi}=0,65$ di SLU	21,12	9,75	2,43

A CALDO LA STRUTTURA BENEFICIA DI DUE CIRCOSTANZE:

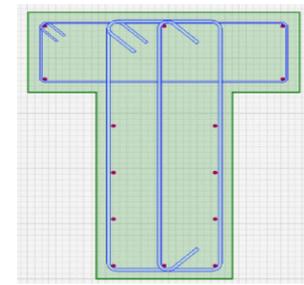
1. Gli effetti dei carichi, vengono ridotti secondo la:

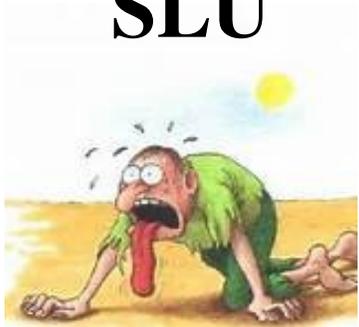
$$\eta_{fi} = \frac{E_{d,fi}}{E_d} = \frac{\gamma_{GA} G_k + \psi_{2,1} Q_{k1}}{\gamma_G G_k + \gamma_{Q,1} Q_{k1}} = \max 0,7$$

2. I coefficienti α_{cc} , γ_s , γ_c assumono, in caso di incendio, il valore **1** al tempo $t=0$;

La struttura, a partire dall'istante $t=0$ dal flash-over, è quindi “sovradimensionata”.

STRUTTURE IN C.A.



<i>coefficiente</i>	SLU 	INCENDIO 
α_{cc}	0,85	1,00
γ_c	1,50	1,00
γ_s	1,15	1,00
γ_G	1,30	1,00
ψ	$\psi_{0,j}$	$\psi_{2,j}$

□ Complessivamente, quindi, la struttura viene impiegata a caldo per un **fattore di utilizzazione** μ_{fi} :



$$\mu_{fi} = \frac{E_{fi,d}}{R_{fi,d,t=0}}$$

Se si ricorre a η_{fi} , è $E_{fi,d} = \eta_{fi} E_d$ e si ottiene:

$$\mu_{fi} = \frac{E_{fi,d}}{R_{fi,d,t=0}} \simeq \frac{\eta_{fi} E_d}{\gamma_s R_d}$$



□ Se $R_d > E_d$ la struttura è sovradimensionata a freddo: μ_{fi} tende a diminuire; più la struttura è sovradimensionata a freddo e più risponde correttamente a caldo.

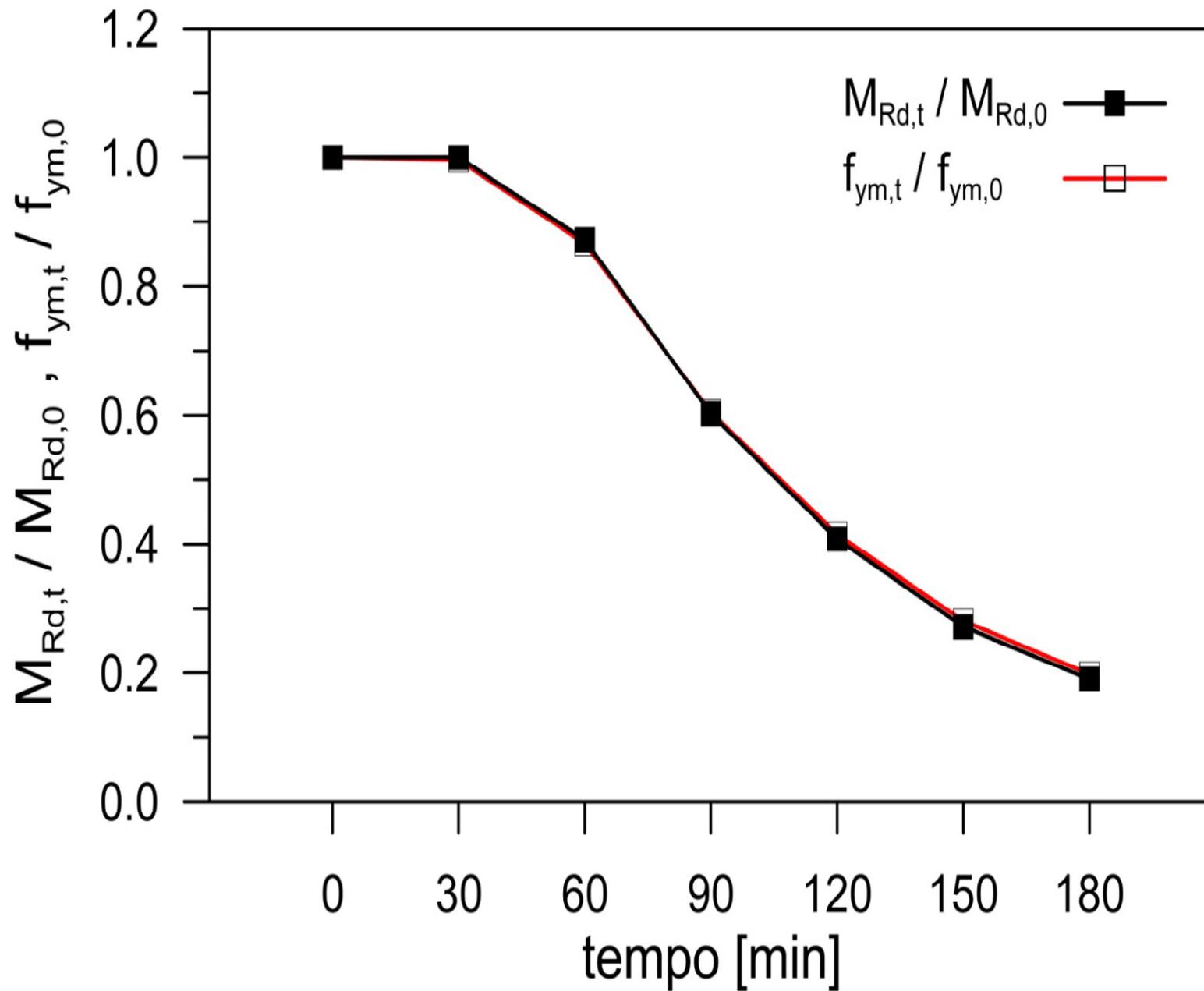
□ Se $R_d < E_d$ la struttura, a freddo, è mal dimensionata; a caldo potrebbe anche rispondere correttamente; bisogna approfondire lo studio.

□ Nel caso in cui sia $E_d = R_d$, la struttura è strettamente dimensionata per E_d , si ottiene il massimo valore di μ_{fi}



□ Il metodo tabellare, per sua natura semplificato e conservativo, assume, per sezioni in C.A., proprio il valore $\mu_{fi} = 0,60$

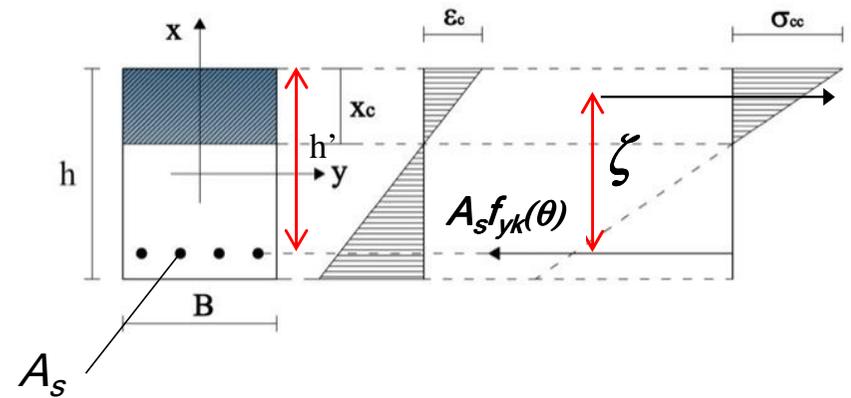
$$\mu_{fi} = \frac{\eta_{fi}}{\gamma_s} = \frac{0,70}{1,15} = 0,60$$



La riduzione di f_y coincide con la riduzione di $M_{Rd,t}$
(da prof. P. Riva UNIBG)

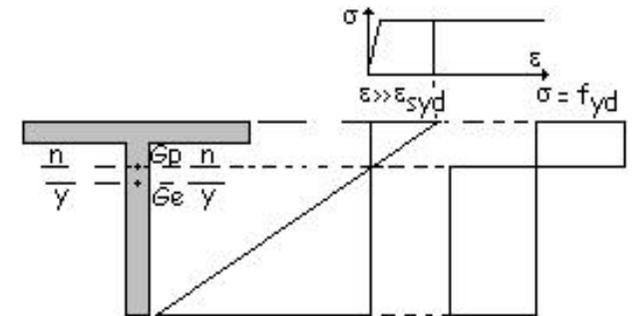
□ per il C.A., lato acciaio

$$M_{fi,t,Rd} = A_s f_{yk}(\theta) \zeta$$



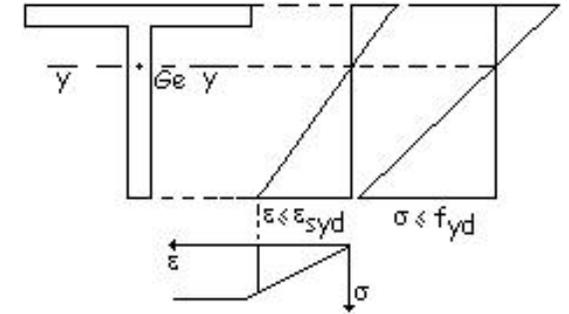
□ per l'acciaio sezioni inflesse cl. duttilità 1 e 2

$$\begin{aligned} M_{fi,t,Rd} &= k_{y,\theta} [\gamma_{M,1} / \gamma_{M,fi}] M_{Rd} = \\ &= k_{y,\theta} [1,05 / 1] f_{yd} W_{pl} = k_{y,\theta} f_{yk} W_{pl} = \\ &= f_{yk}(\theta) W_{pl} \end{aligned}$$



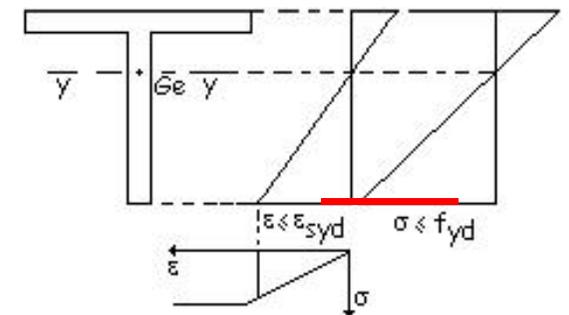
□ per l'acciaio sezioni inflesse cl.
duttilità 3

$$M_{fi,t,Rd} = f_{yk}(\theta) W_{el}$$



□ per l'acciaio sezioni inflesse cl.
duttilità 4

$$M_{fi,t,Rd} = f_{yk}(350) W_{el}$$

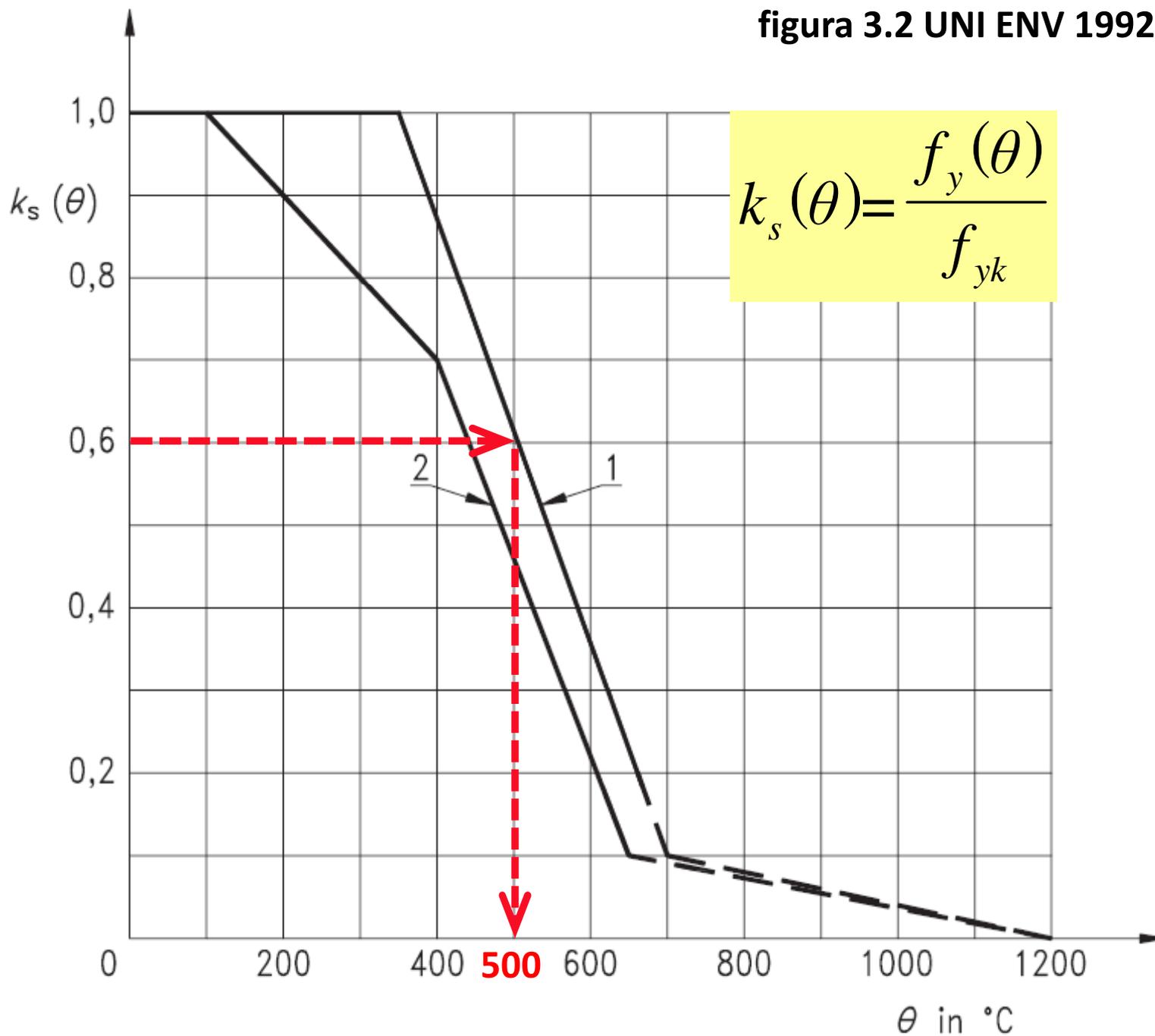




- 1 Curva 1: $k_s(\theta)$ valido per deformazioni $\varepsilon_{s,fi} \geq 2,0\%$
- 2 Curva 2: $k_s(\theta)$ valido per deformazioni $\varepsilon_{s,fi} < 2,0\%$



figura 3.2 UNI ENV 1992-1-2



- 1 Curva 1: barre
- 2 Curva 2: fili e trefoli

figura 3.3 UNI ENV 1992-1-2

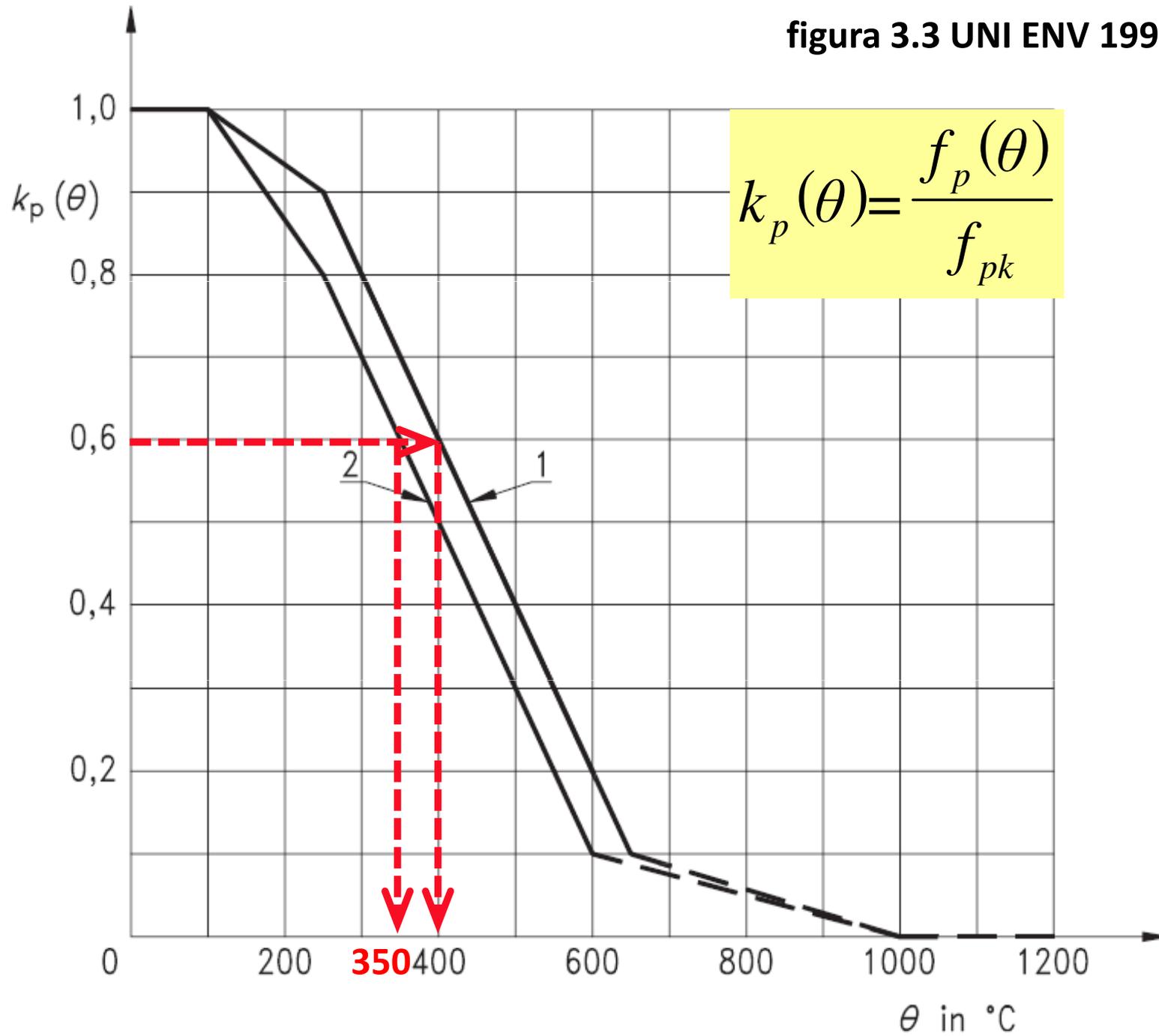
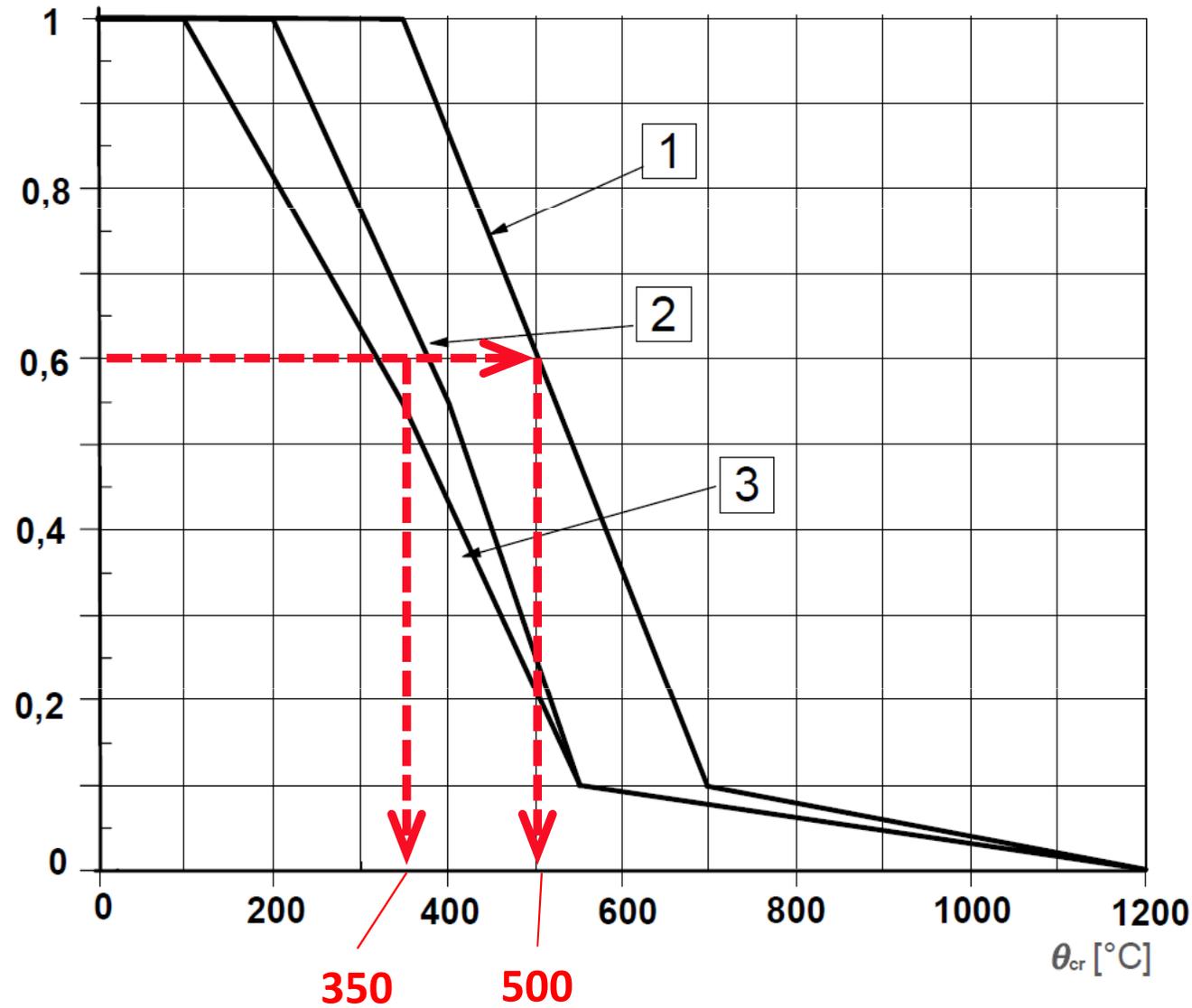




Figure 5.1 prEN 1992-1-2:2003
Tabulated data

$k_s(\theta_{cr}), k_p(\theta_{cr})$



Curve 1 : reinforcing steel

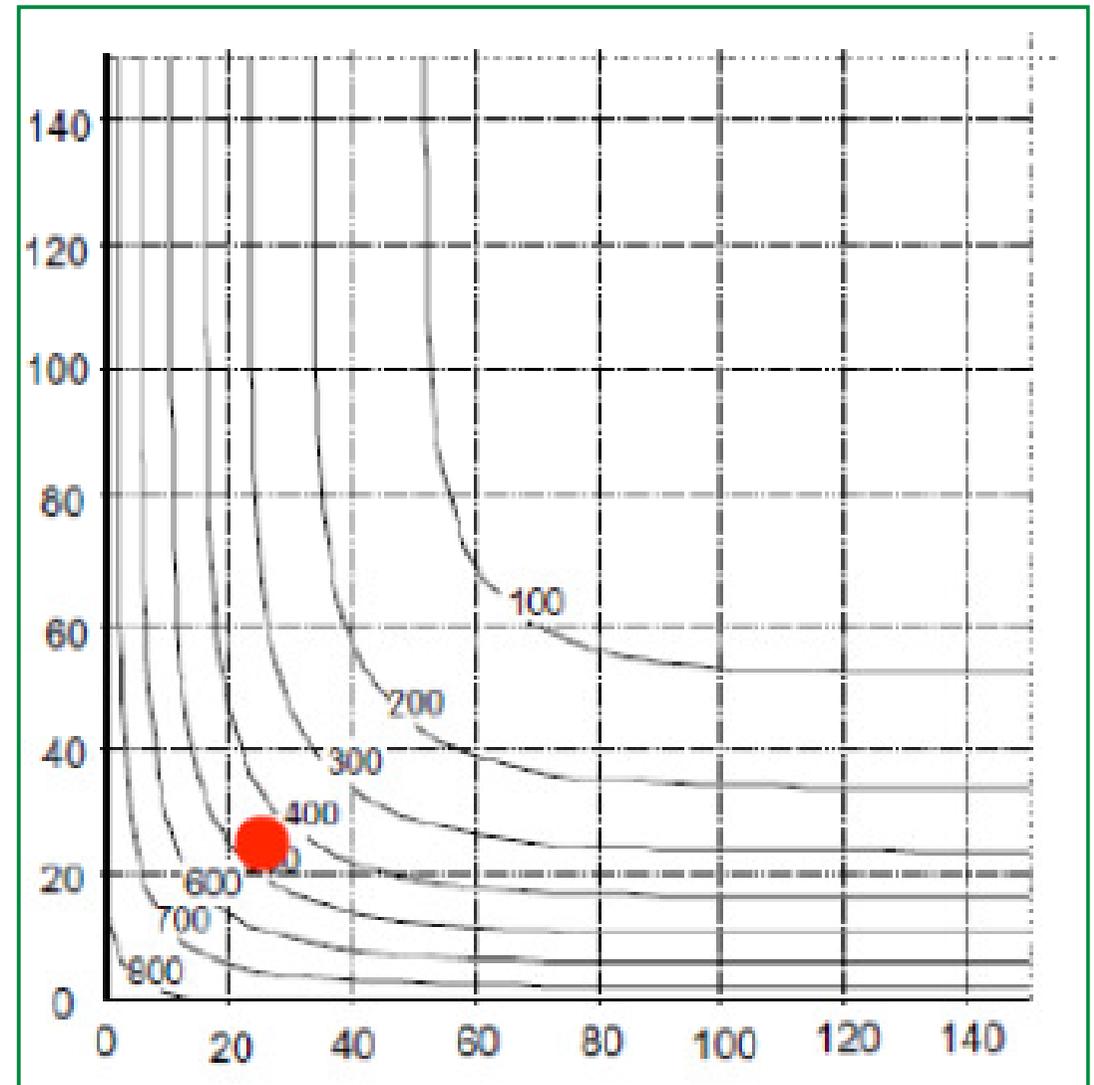
Curve 2 : prestressing steel
(bars: EN 10138 - 4)

Curve 3 : prestressing steel
(wires & strands EN 10138 -2
and -3)

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

Estratto tab. D.6.2 D.M. 16.II.20017

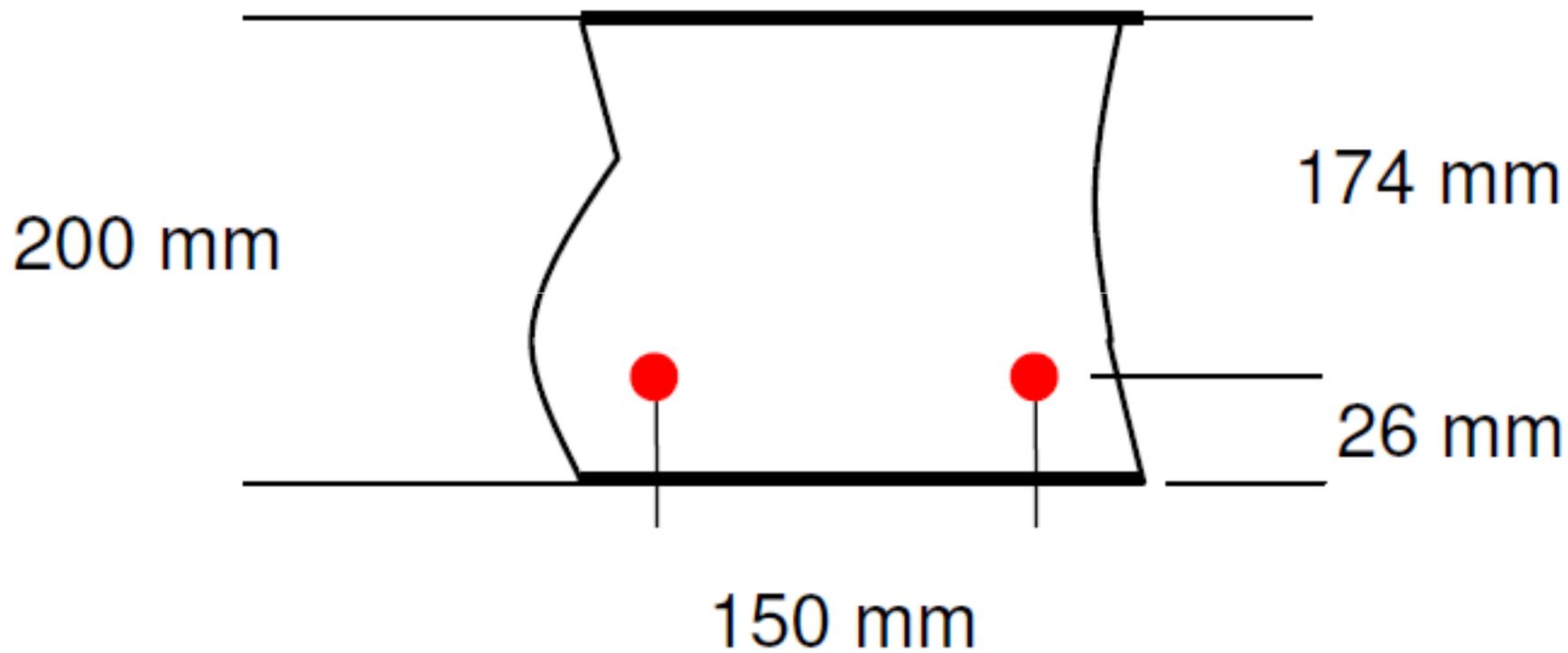
Fig. A.11 Annex A EC2-1-2:2004



Estensione dei criteri su cui si basa il metodo tabellare al metodo analitico

Verifica a caldo di solaio praticabile in getto di C.A. pieno di copertura.

- spessore getto pieno $h = 20$ cm;
- luce netta di calcolo $l = 4,40$ m, vincolo su murature continue;
- carichi permanenti e variabili:
 - permanente da p.p. G_{k1} $5,00 \text{ kN/m}^2$
 - permanente portato (isolante + imperme.) G_{k2} $0,60 \text{ kN/m}^2$
 - permanente portato (pavimentazione) G_{k3} $2,20 \text{ kN/m}^2$
 - variabile, utile di esercizio Q_{k1} $3,00 \text{ kN/m}^2$
 - variabile (snow < 1.000 m s.l.m.) Q_{k2} $1,40 \text{ kN/m}^2$
- calcestruzzo classe C 25/30;
- armatura monodirezionale barre lasche B450C, $f_{yk} = 450$ MPa, $\phi 12$, $A_s = 1,13 \text{ cm}^2$, passo 150 mm con distanza asse barre/superficie esposta a fuoco di 26 mm (2 cm di copriferro + $\phi 12/2$);
- lato esposto a fuoco nominale standard ISO 834: intradosso;
- requisito richiesto **R 90**.





- momento flettente massimo in campata allo SLU, striscia di solaio larga 1 m:

$$\begin{aligned} M_{s,d SLU} &= \frac{[\gamma_G \sum_i G_{ki} + \gamma_{Q1} Q_{k1} + \sum_{j=2}^n \gamma_{Qj} \psi_{0j} Q_{kj}] l^2}{8} = \\ &= \frac{[1,30(5,00 + 0,6 + 2,20) + 1,50(3,00 + 0,5 \cdot 1,4)] 4,40^2}{8} = 37,96 \text{ kNm} \end{aligned}$$

- momento resistente, lato acciaio, striscia di solaio larga 1 m:

$$M_{r,d} = \frac{10^2}{15} A_s f_{y,d} \cdot 0,89 \cdot 0,174 = \frac{10^2}{15} \cdot 1,13 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{450 \cdot 10^3}{1,15} \cdot 0,89 \cdot 0,174 = 45,64 \text{ kNm}$$

- essendo $M_{r,d} > M_{s,d SLU}$ la sezione, a freddo, risulta verificata.

- momento flettente massimo in campata, azione eccezionale incendio, striscia di solaio larga 1 m:

$$M_{s,d,fi} = \frac{(\sum_i G_{ki} + \sum_j \psi_{2,j} Q_{k,j})l^2}{8} = \frac{(5,00 + 0,6 + 2,2 + 0,3 \cdot 3,00 + 0 \cdot 1,4)4,40^2}{8} =$$
$$= 21,05 \text{ kNm}$$

- fattore di utilizzazione della sezione:

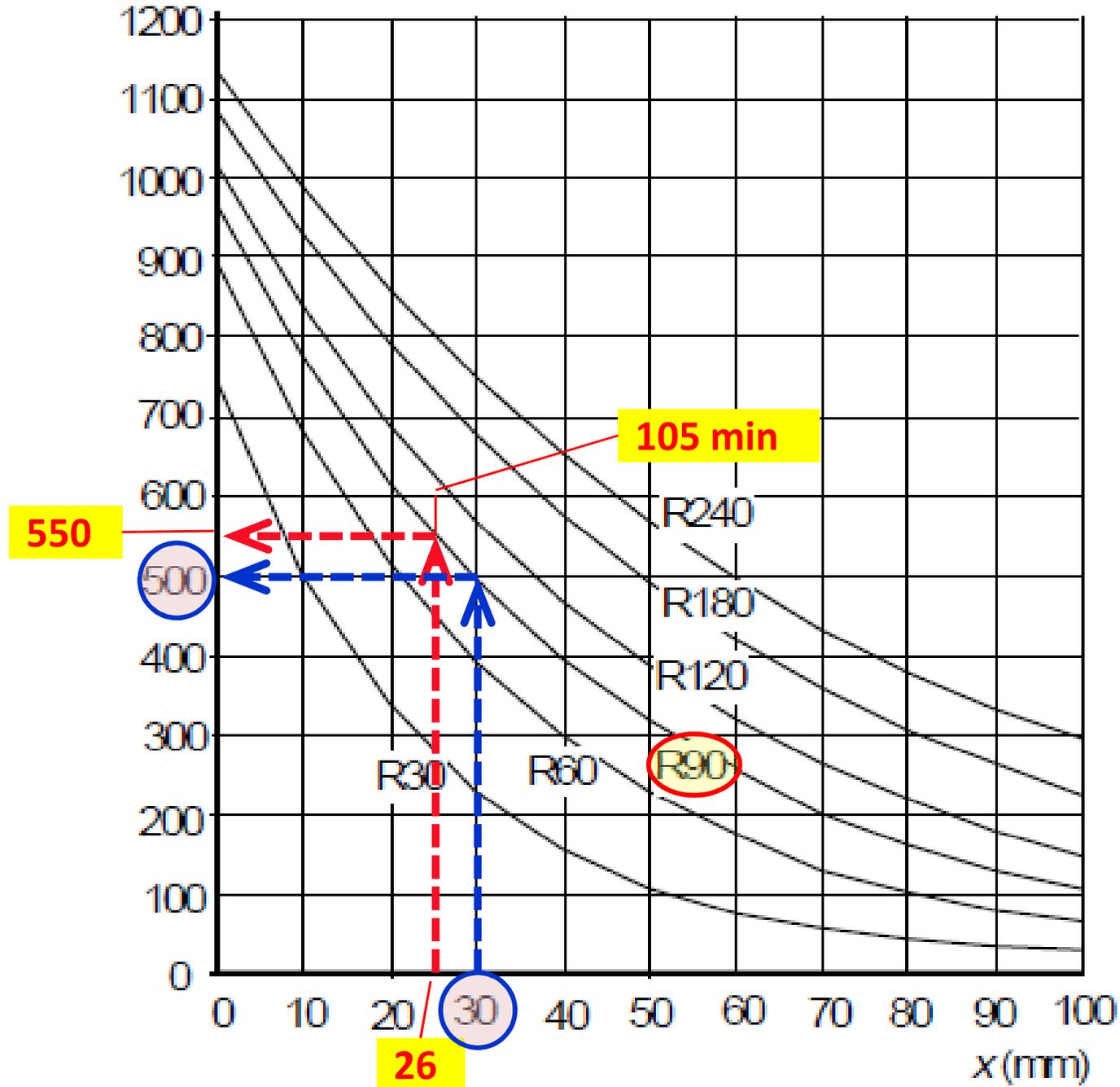
$$\mu_{fi} = \frac{E_{fi,d}}{R_{fi,d,t=0}} = \frac{M_{s,d,fi}}{\gamma_s M_{r,d}} = \frac{21,05}{1,15 \cdot 45,64} \simeq 0,40$$



Estratto tab. 3.2a prEN 1992-1-1:2003 (figure 4.2a)

Temperatura Acciaio θ [°C]	$f_{sy,\theta} / f_{yk}$	
	laminato a caldo	trafilato a freddo
1	2	3
20	1,00	1,00
100	1,00	1,00
200	1,00	1,00
300	1,00	1,00
400	1,00	0,94
500	0,78	0,67
600	0,47	0,40
700	0,23	0,12

$\theta(^{\circ}\text{C})$ Figure A.2 Annex A EN 1992-1-2



x is the distance from the exposed surface

Figure A.2: Temperature profiles for slabs (height $h = 200$) for R60 - R240



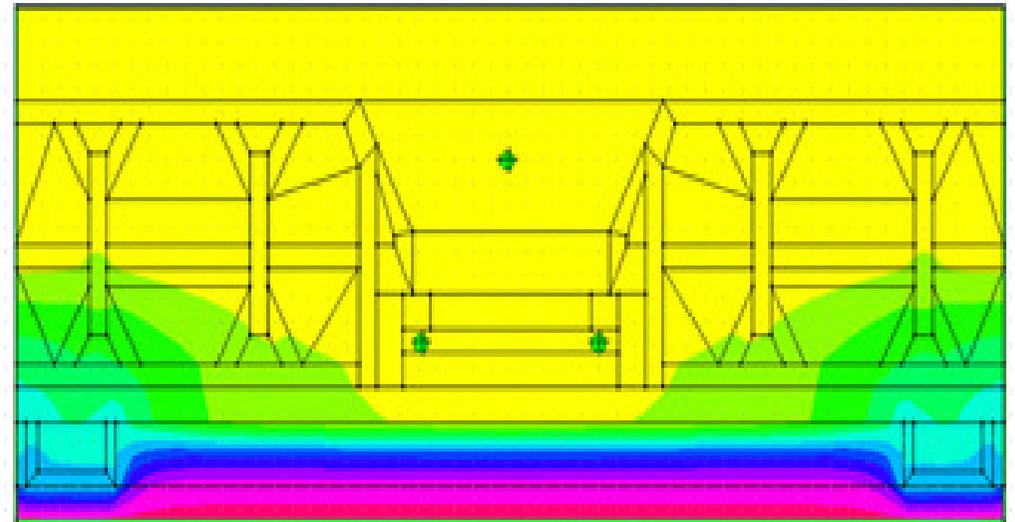
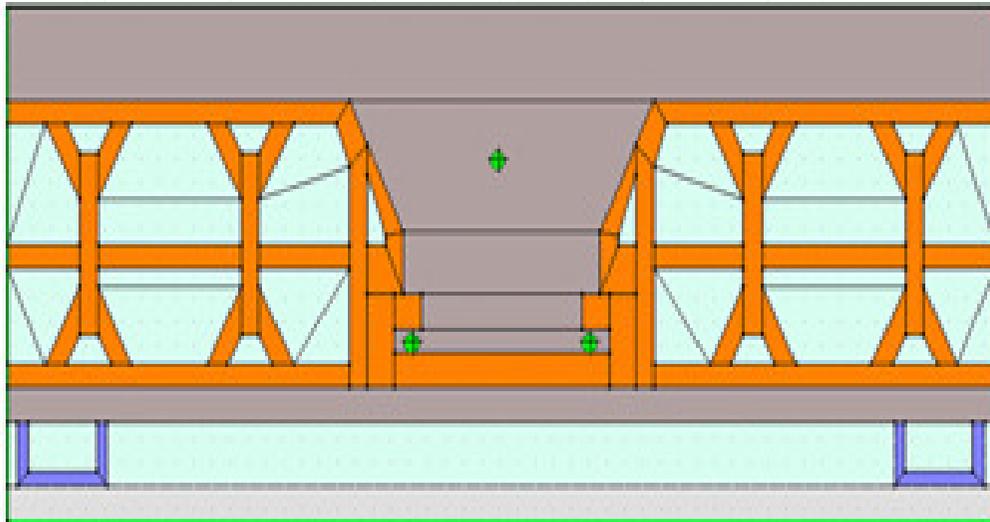
D.5.1 La tabella seguente riporta i valori minimi (mm) dello spessore totale H di solette e solai, della distanza a dall'asse delle armature alla superficie esposta sufficienti a garantire il requisito R per le classi indicate.

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

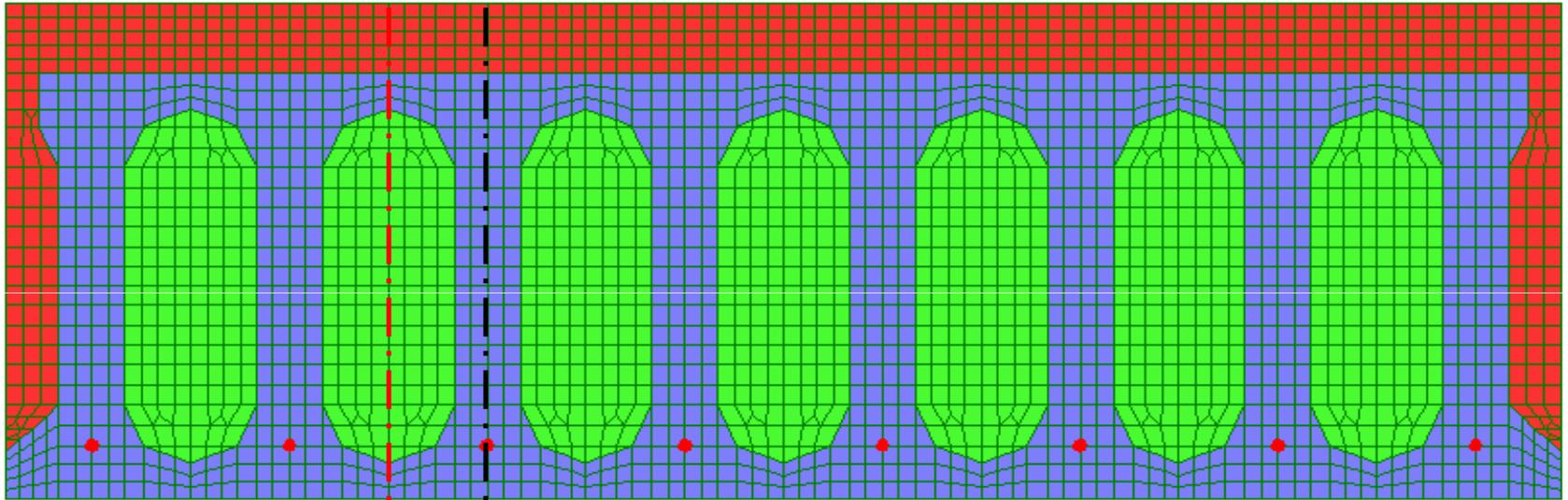
Il solaio non può essere classificato R90 perché, pur essendo rispettato lo spessore totale $H = 200 > 120$ mm, non viene verificata la distanza $a_{min} = 30$ mm.

Il solaio, con il metodo tabellare, deve essere necessariamente classificato R60, in quanto $H = 200 > 120$ mm ed $a = 26$ mm $> a_{min} = 20$ mm, a conferma, come si è già avuto modo di osservare, della natura conservativa del metodo rispetto a quello analitico.

**Mappatura termica solaio laterocementizio 20+5 cm,
protezione: lastra cartongesso 25 mm – curva
esposizione ISO 834**



Analisi mappatura termica tegolo solaio alveolare 100x(36+6) cm- curva esposizione ISO 834



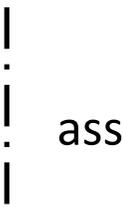
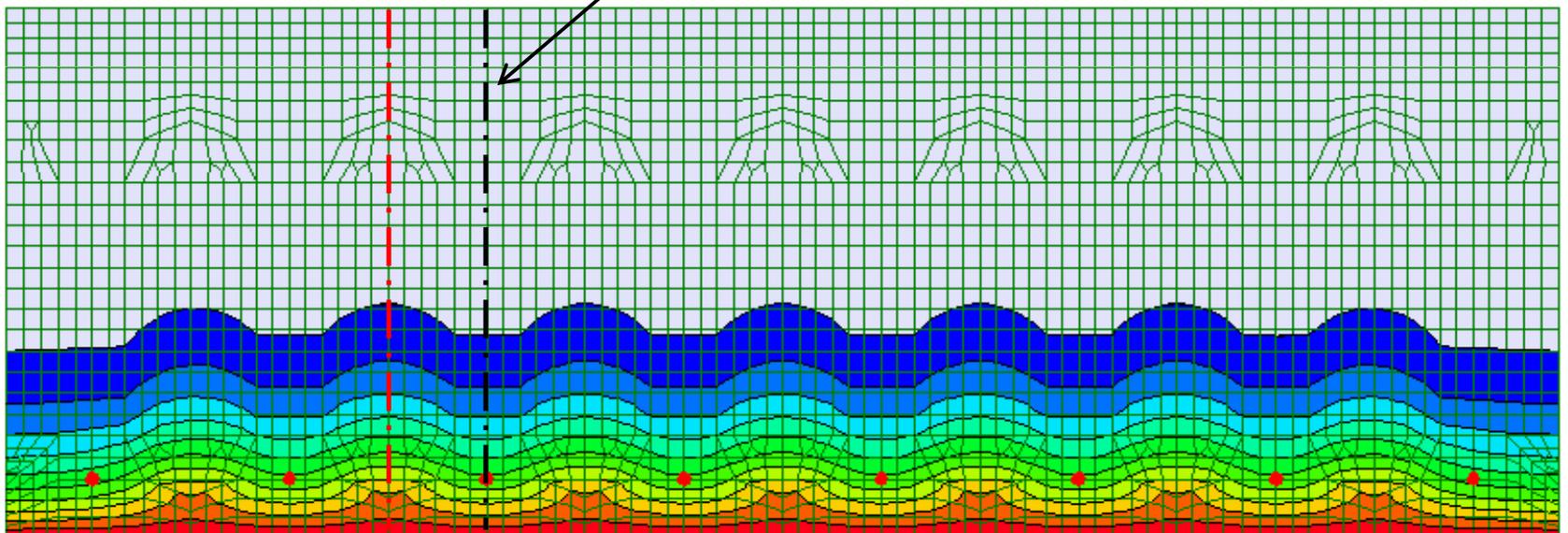
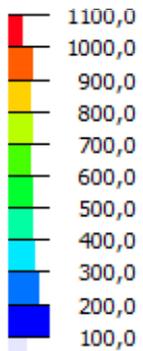
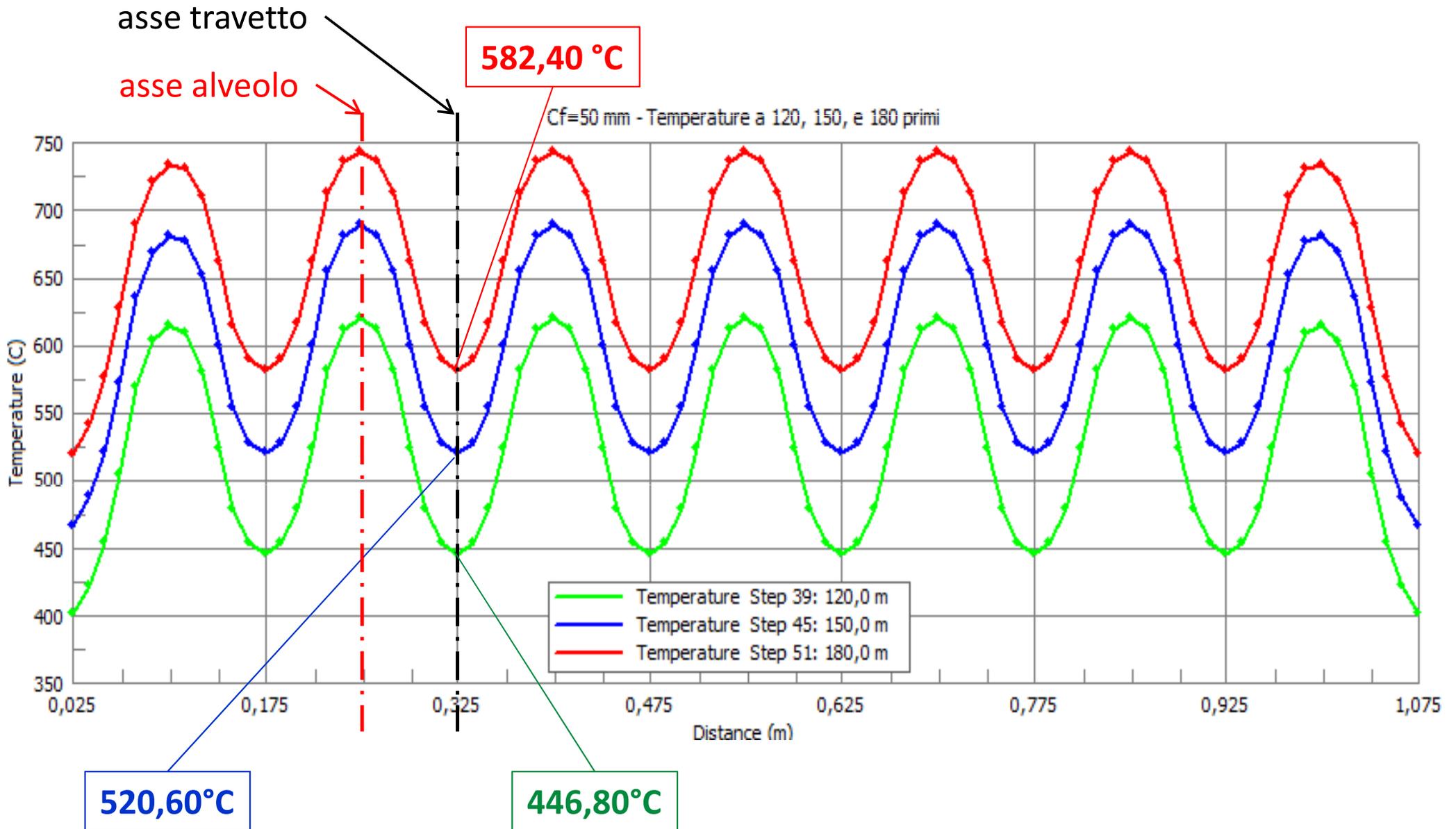
asse alveolo  asse travetto  

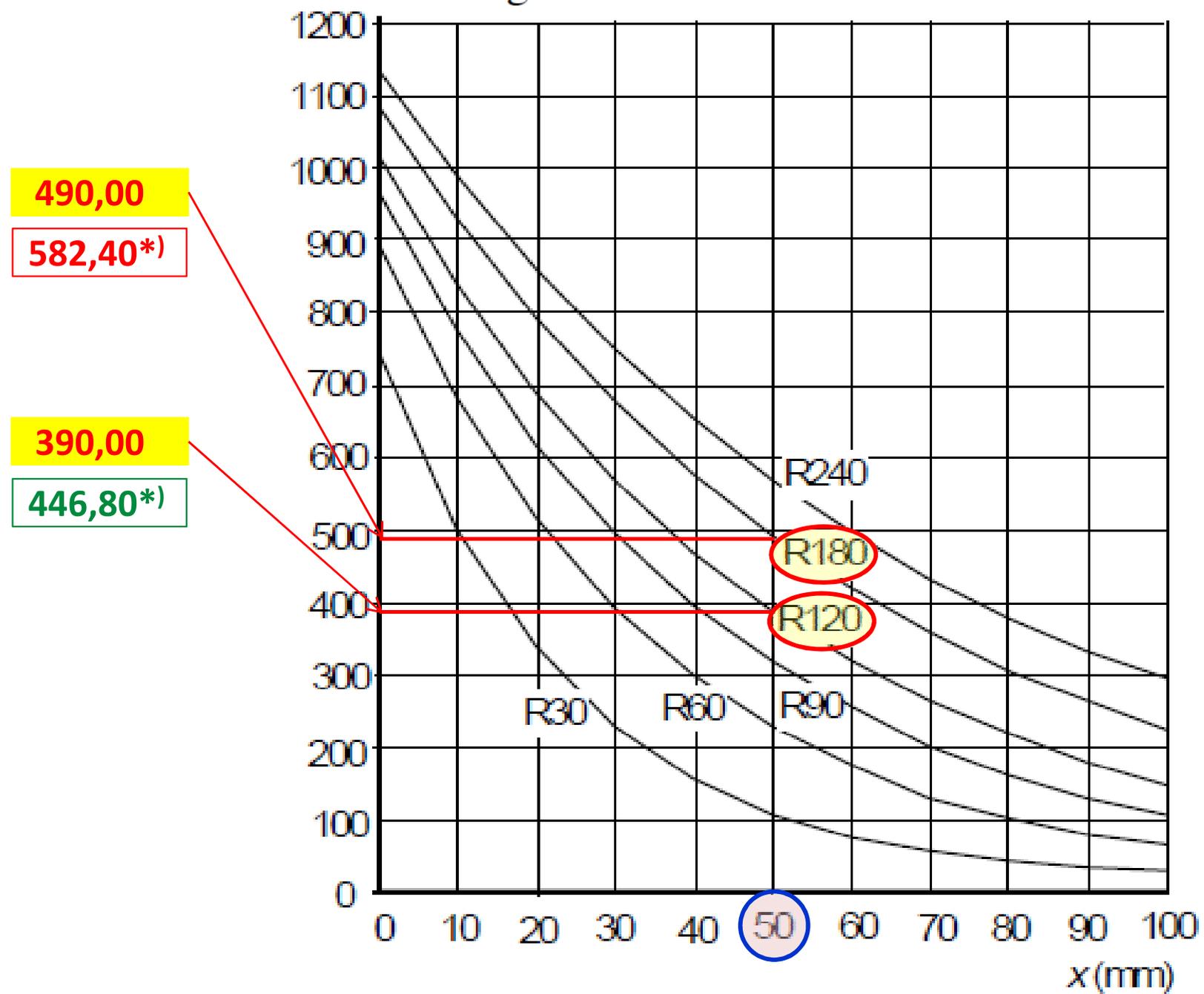
Plate Temperature (C)



Analisi mappatura termica tegolo solaio alveolare 100x(36+6) cm- curva esposizione ISO 834 - diagramma delle temperature quota centro acciaio, a 50 mm dal lembo inferiore esposto: dopo 120 min Ttr 446,80 °C; dopo 150 min Ttr 520,60 °C; dopo 180 min Ttr 582,40 °C



$\theta(^{\circ}\text{C})$ Figure A.2 Annex A EN 1992-1-2



x is the distance from the exposed surface

Figure A.2: Temperature profiles for slabs (height $h = 200$) for R60 - R240

Analisi mappatura termica tegolo solaio alveolare
100x(36+6) cm- curva esposizione ISO 834 -
CONCLUSIONI

***) *)** I valori di temperatura determinati con l'analisi FEM del solaio alveolare sono $>$ di quelli relativi ad un solaio in getto pieno.

Il metodo tabellare per solai alveolari **non è impiegabile.**

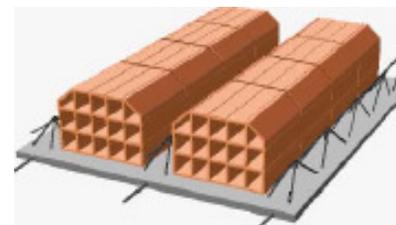


Le tabelle del D.M. 16 febbraio 2007 riguardano

murature non portanti



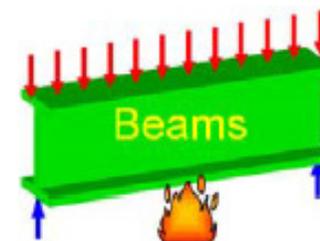
solai



elementi in C.A. e C.A.P.

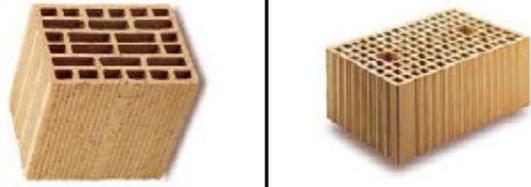


elementi in acciaio



MURATURE NON PORTANTI (EI)

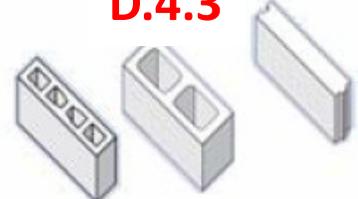
D.4.1 BLOCCHI DI LATERIZIO

Classe				
	Blocco con percentuale di foratura > 55 %			
	Intonaco normale	Intonaco protettivo antincendio		
30	s = 120	80	100	80
60	s = 150	100	120	80
90	s = 180	120	150	100
120	s = 200	150	180	120
180	s = 250	180	200	150
240	s = 300	200	250	180

Intonaco normale: intonaco tipo sabbia e cemento, sabbia cemento e calce, sabbia calce e gesso e simili caratterizzato da una massa volumica compresa tra 1000 e 1400 kg/m³

Intonaco protettivo antincendio: Intonaco tipo gesso, vermiculite o argilla espansa e cemento o gesso, perlite e gesso e simili caratterizzato da una massa volumica compresa tra 600 e 1000 kg/m³

D.4.2 BLOCCHI DI CALCESTRUZZO NORMALE

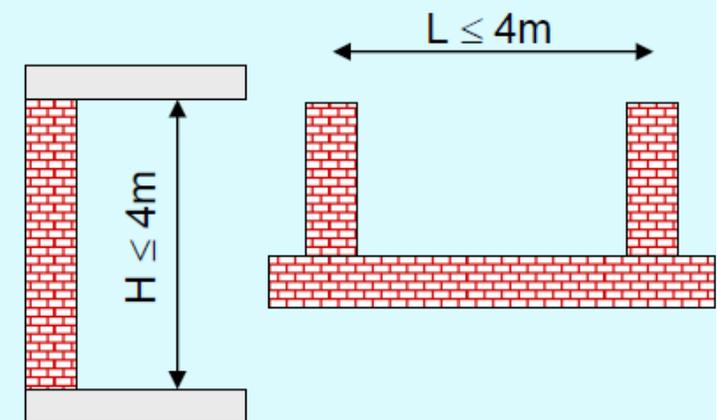
Classe					D.4.3 	
	Blocco con fori monocamera	Blocco con fori multicamera o pieno	Blocco con fori mono o multicamera o pieno		Blocco con fori monocamera	Blocco con fori multicamera o pieno
			Intonaco normale	Intonaco protettivo antincendio		
30	s = 120	100 (*)	100 (*)	80 (*)	s = 100	80 (*)
60	s = 150	120 (*)	120 (*)	100 (*)	s = 120	80 (*)
90	s = 180	150	150	120 (*)	s = 150	100 (*)
120	s = 240	180	200	150	s = 200	150
180	s = 280	240	250	180	s = 240	200
240	s = 340	300	300	200	s = 300	240

(*) Solo blocchi pieni (percentuale foratura < 15%)

D.4.4

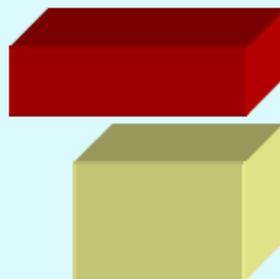
BLOCCHI DI PIETRA SQUADRATA

Classe	Blocco pieno
30	S = 150
60	S = 150
90	S = 250
120	S = 250
180	S = 360
240	S = 360



ISO 834

su un lato !!!





- ❑ Attività logistica esistente, **70 2 C**, di 3.000 m², unico compartimento separato da altri con pareti compartimentanti **REI 90**;
- ❑ Pareti compartimentanti h=7,50 m realizzate con blocchi di calcestruzzo s.pieno s=20 cm, “*libere*” in sommità;

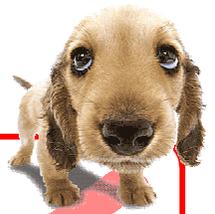


Tabella lett. circ. 1968 del 15 febbraio 2008

Muratura portante in blocchi

La seguente tabella riporta i valori minimi (mm) dello spessore s di murature portanti di blocchi (escluso l'intonaco) sufficienti a garantire i requisiti REI per le classi indicate, esposte su un lato, con le seguenti limitazioni che dovranno comunque essere rispettate:

- rapporto $h / s \leq 20$
- $h \leq 8 \text{ m}$

dove h è l'altezza della parete fra due solai (o elementi di irrigidimento con equivalente funzione di vincolo dei solai)

Materiale	Tipo blocco	Classi					
		30	60	90	120	180	240
Laterizio	Pieno (foratura $\leq 15\%$)	120	150	170	200	240	300
Laterizio (*)	Semipieno e forato ($15\% < \text{foratura} \leq 55\%$)	170	170	200	240	280	330
Calcestruzzo	Pieno, semipieno e forato (foratura $\leq 55\%$)	170	170	170	200	240	300
Calcestruzzo leggero (**)	Pieno, semipieno e forato (foratura $\leq 55\%$)	170	170	170	200	240	300
Pietra squadrata	Pieno (foratura $\leq 15\%$)	170	170	250	280	360	400



LIMITAZIONI

- ❑ $h = 7,50 \text{ m} < 8,00 \text{ m}$; 😊
- ❑ $h/s = 7,50/0,20 = 37,50 \gg 20$; 😞
- ❑ vincolo in sommità **equivalente a quello garantito da un solaio?** 😞

Murature portanti di blocchi

1. La tabella S.2-41 riporta i valori minimi (mm) dello spessore s di murature portanti di blocchi (escluso l'intonaco) esposte su un lato, sufficienti a garantire i requisiti REI o REI-M per le classi indicate, con le seguenti limitazioni:
 - a. rapporto $h/s \leq 20$;
 - b. per i requisiti REI:
 - i. $h \leq 8$ m (dove h è l'altezza della parete fra due solai o elementi di irrigidimento con equivalente funzione di vincolo dei solai);
 - ii. presenza di 10 mm di intonaco su ambedue le facce ovvero 20 mm sulla sola faccia esposta al fuoco.
 - c. per i requisiti REI-M:
 - i. $h \leq 4$ m (dove h è l'altezza della parete fra due solai o elementi di irrigidimento con equivalente funzione di vincolo dei solai);
 - ii. presenza di 10 mm di intonaco su ambedue le facce.



La tabella S.2-41 del co.p.i. 130 – 18.XII.2014

Materiale	Tipo blocco	REI 30	REI 60	REI 90	REI 120	REI 180	REI 240	REI 90-M	REI 120-M	REI 180-M	REI 240-M
Laterizio [1]	Pieno (foratura $\leq 15\%$)	120	150	170	200	240	300	-	200)	240	300
Laterizio [1]	Semipieno e forato ($15\% < \text{foratura} \leq 55\%$)	170	170	200	240	280	330	-	240	280	330
Calcestruzzo	Pieno, semipieno e forato (foratura $\leq 55\%$)	170	170	170	200	240	300	-	200	240	300
Calcestruzzo leggero [2]	Pieno, semipieno e forato (foratura $\leq 55\%$)	170	170	170	200	240	300	-	-	240	300
Calcestruzzo aerato autoclavato	Pieno, semipieno e forato (foratura $\leq 55\%$)	170	170	170	200	240	300	-	-	240	300
Pietra squadrata	Pieno	170	170	250	280	360	400	250	280	360	400

[1] i valori in tabella si riferiscono agli elementi di laterizio sia normale che alleggerito in pasta.

[2] massa volumica netta non superiore a 1700 kg/m^3 .

Tabella S.2-41: Murature portanti in blocchi (Requisiti R, E, I, M)

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.

Anche per travi in spessore di solaio

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 sovrappressioni.



Lastra tipo Predalles in opera da certificare REI120





Determinazione del ricoprimento “a” su lastra tipo Predalles in opera
 $H = 50 + 200 + 50 = 300 \text{ mm}$

$a = 39 \text{ mm} + \phi 14/2 = 46 \text{ mm}$

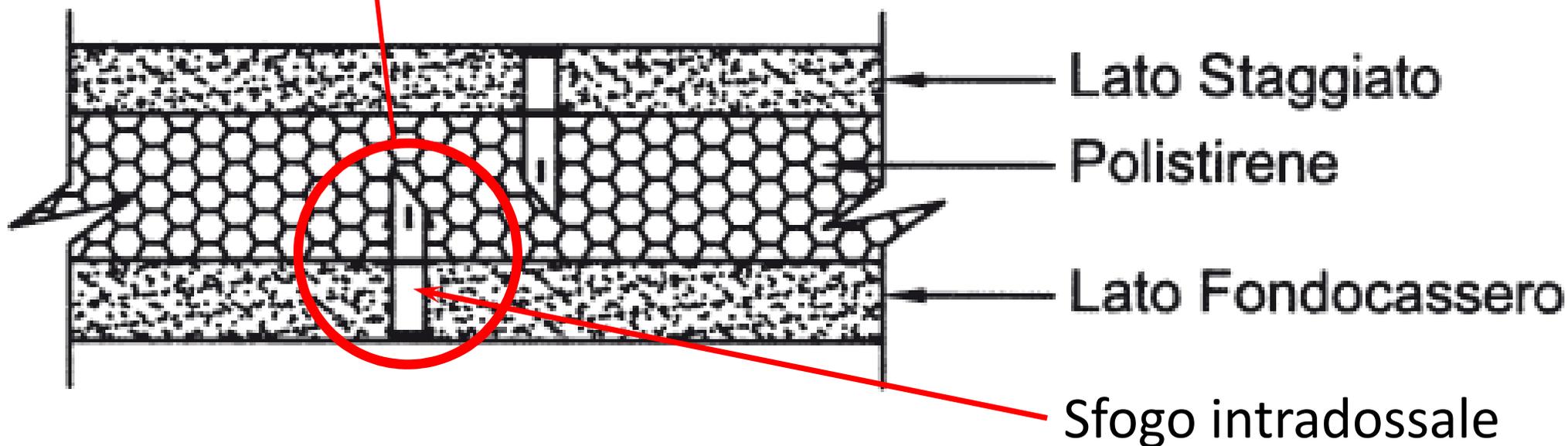
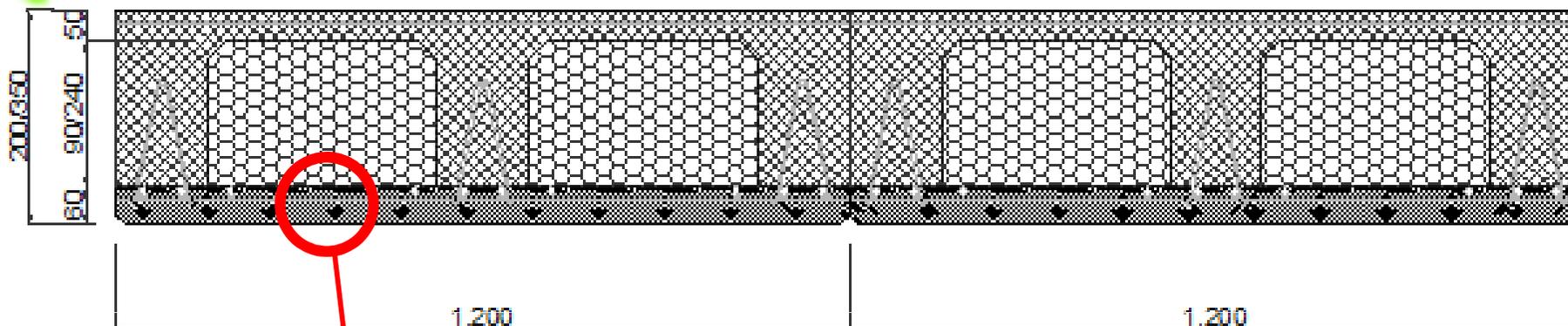
La lastra rientra nella classificazione **R120 della tab. D.5.1 del D.M. 16 febbraio 2007**

$H > 240 \text{ mm}$

$a > 45 \text{ mm}$



sfoghi delle sovrappressioni



Il polistirene a bassa densità (polistirolo):

- è costituito da aria e da materiale plastico massa volumica 10 -12 kg/m³;
- a c.ca 110 °C - 20÷30 min di fuoco ISO 834 - il polistirolo subisce un processo di transizione vetrosa e inizia a fondere (la temperatura di fusione completa è di 270°C);
- dopo questa fase il volume occupato inizialmente dai blocchi di polistirolo è, al 98%, aria, il resto (2%) è idrocarburo sinterizzato.

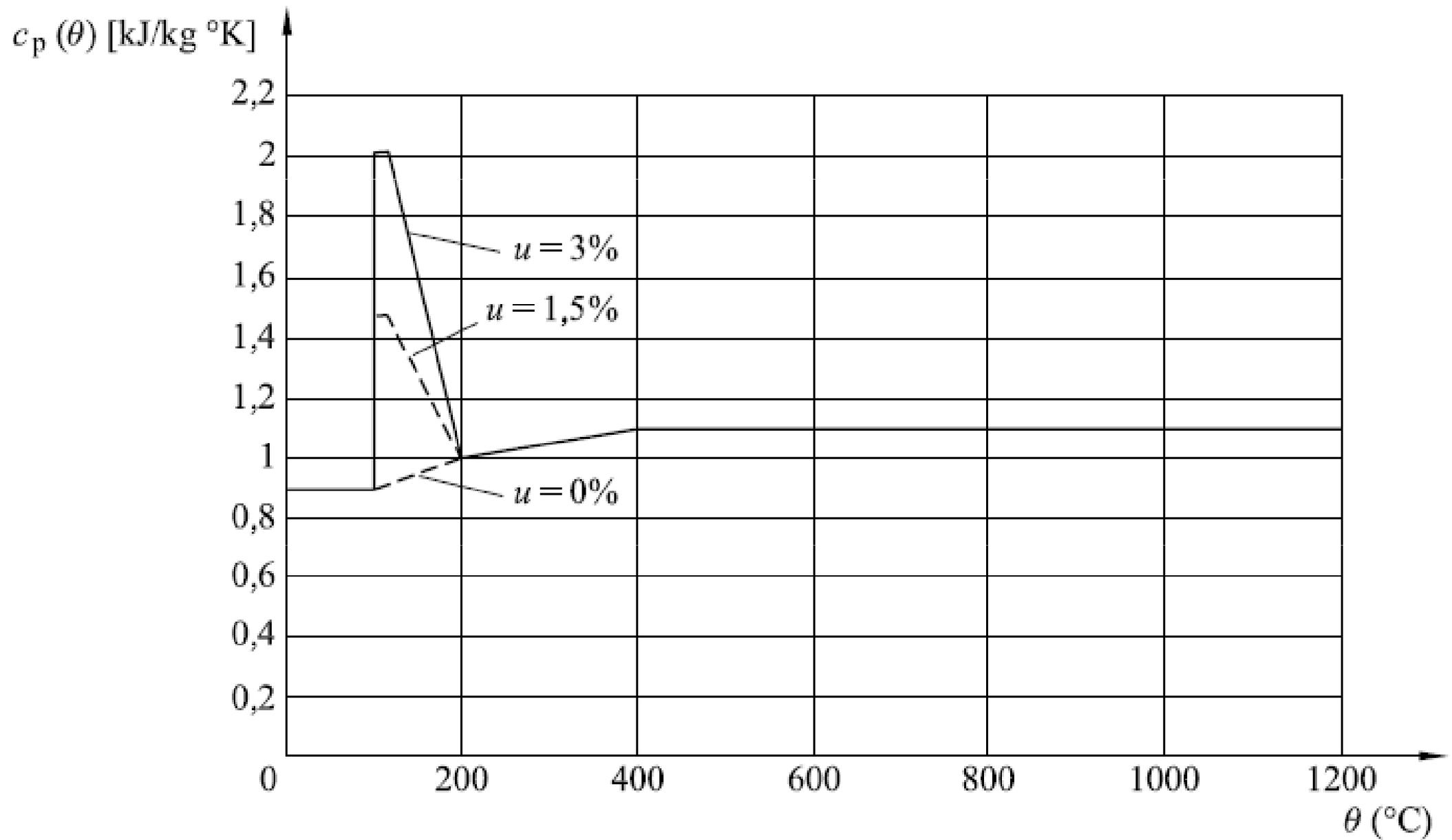


- dall'equazione di stato $p V = n R T$, essendo V , n e R costanti, il rapporto tra le pressioni (assolute) è pari al rapporto delle temperature (in °K);
- $p_{(110\text{ °C})} / p_{(20\text{ °C})} = (273+110)/(273+20)=1,30$;
- la lastra intradossale è teoricamente sottoposta, sul lato non esposto a fuoco, ad una pressione massima di $\sim 0,30\text{ daN/cm}^2 = 3.000,00\text{ daN/m}^2$;

- in realtà i rischi da collasso strutturale per esplosione sono stati **sperimentalmente esclusi**.
- si verificano infatti fessurazioni, spalling, surface pitting, e cedimenti localizzati (distacco lento) dopo 30÷60 min di fuoco ISO 834 che accentuano l'esposizione dell'armatura.
- La previsione degli sfoghi è prevista solo per il metodo tabellare e non per gli altri metodi.

Temperatura ° C	Trasformazioni chimiche e fisiche	Colorazione	Resistenza
< 95 -100	Emissione di H ₂ O (vapore), a volte anche con modalità esplosiva (steam boiler effect)	Inalterato	Inalterata
135	Decomposizione e disidratazione dell'ettringite $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot3\text{CaSO}_4\cdot32\text{H}_2\text{O}$	Inalterato	Praticamente inalterata
135 – 350	Disidratazione del gel di silicato idrato $n\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2\cdot m\text{H}_2\text{O}$	Inalterato	Modesta riduzione progressiva
450 – 520	Disidratazione dell'idrossido di calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{CaO} + \text{H}_2\text{O}$	Rosa/rosso	Progressiva riduzione con la temperatura
560	Trasformazione del quarzo dalla forma α alla forma β (aggregati silicei)	Rosa/rosso	Ulteriore riduzione e disgregazione dell'aggregato
700 – 900	Decomposizione del carbonato di calcio (aggregati calcarei) $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$	Grigio chiaro	Molto ridotta
900 - 1200		Marrone	Praticamente nulla

$c_p(\theta)$ per cls con tre diversi contenuti di umidità





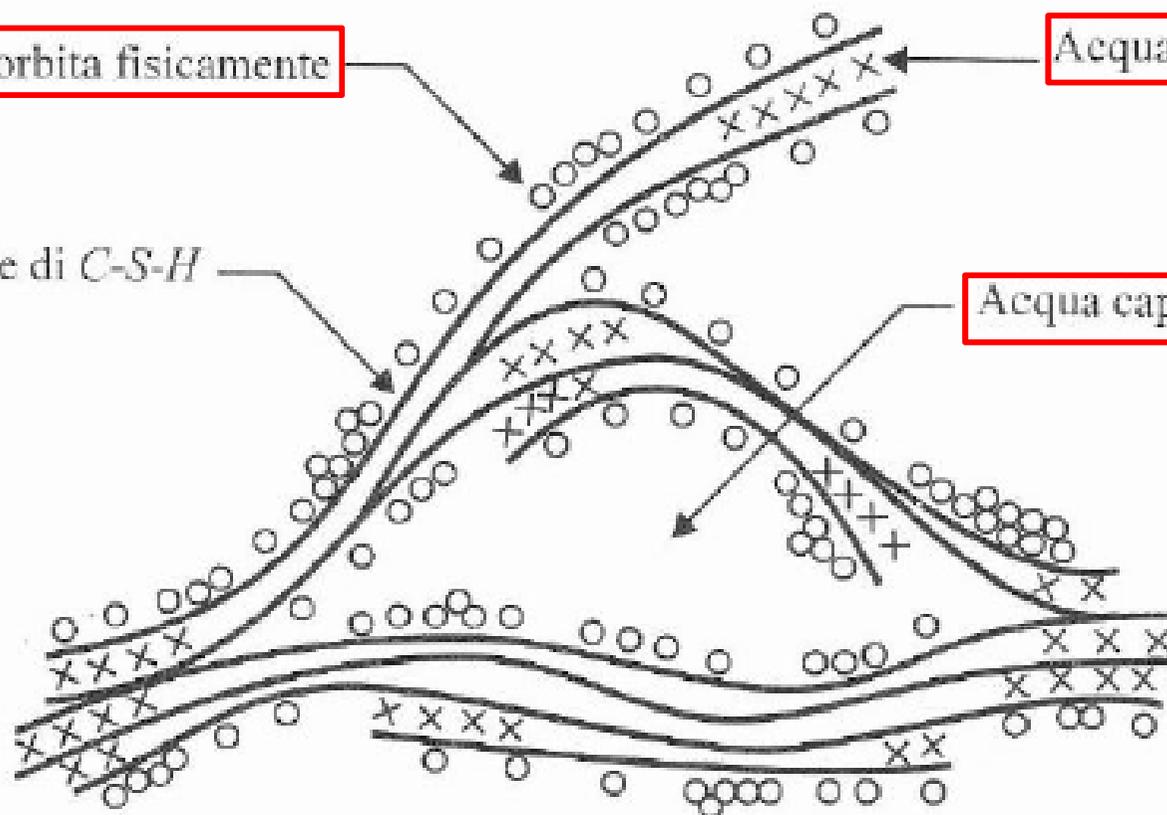
Forme di H₂O presenti nel calcestruzzo

Acqua adsorbita fisicamente

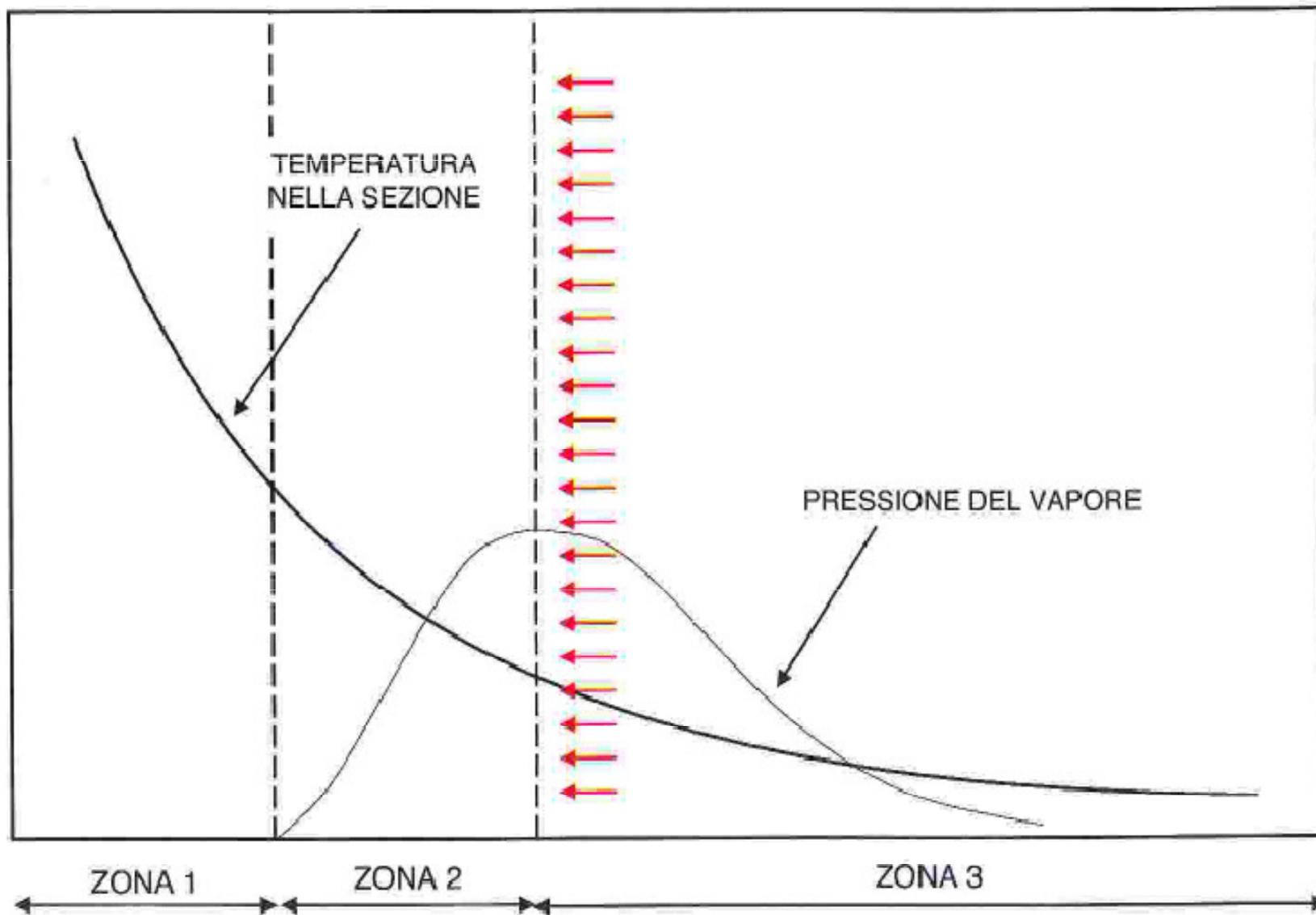
Acqua interstrati

Lamelle di C-S-H

Acqua capillare



Andamento della tensione di vapore in un elemento di cls. soggetto ad incendio.





- I cls **HPC** e **UHPC** risentono maggiormente dell'effetto spalling a causa della < permeabilità all'espulsione di H₂O e della < connettività tra i pori;
- **EN 1992-1-2** suggerisce di non ricorrere a particolari misure di contrasto dello spalling a condizione di impiegare cls. con contenuto di umidità < 3%. Alle nostre latitudini il cls contiene c.ca il 2 – 2,5 % in peso di umidità;

- **EN 1992-1-2** prevede l'utilizzo di fibre di polipropilene in misura dello 0,1% in volume. La bassa temperatura di fusione di queste fibre, c.ca 170 °C, favorisce l'espulsione dell'acqua.



FOTOGRAFIE TRATTE DALL' ARTICOLO ING. ANDREA FRANCHI – IL GIORNALE DELL'EDILIZIA dicembre 2007



**FOTOGRAFIA TRATTA DALL' ARTICOLO ING. INNOCENZO MASTRONARDI
IN CONCRETO - ATECAP ottobre 2013**



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 d **(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

(mm)

Per stabilire se il solaio a lastra possiede il requisito EI della tab. D.5.2 del D.M. 16 febbraio 2007 non si può fare affidamento sull'isolante costituito dal polistirolo di alleggerimento della lastra.

Si deve verificare la presenza di un sottofondo con $\lambda < \lambda_c$.

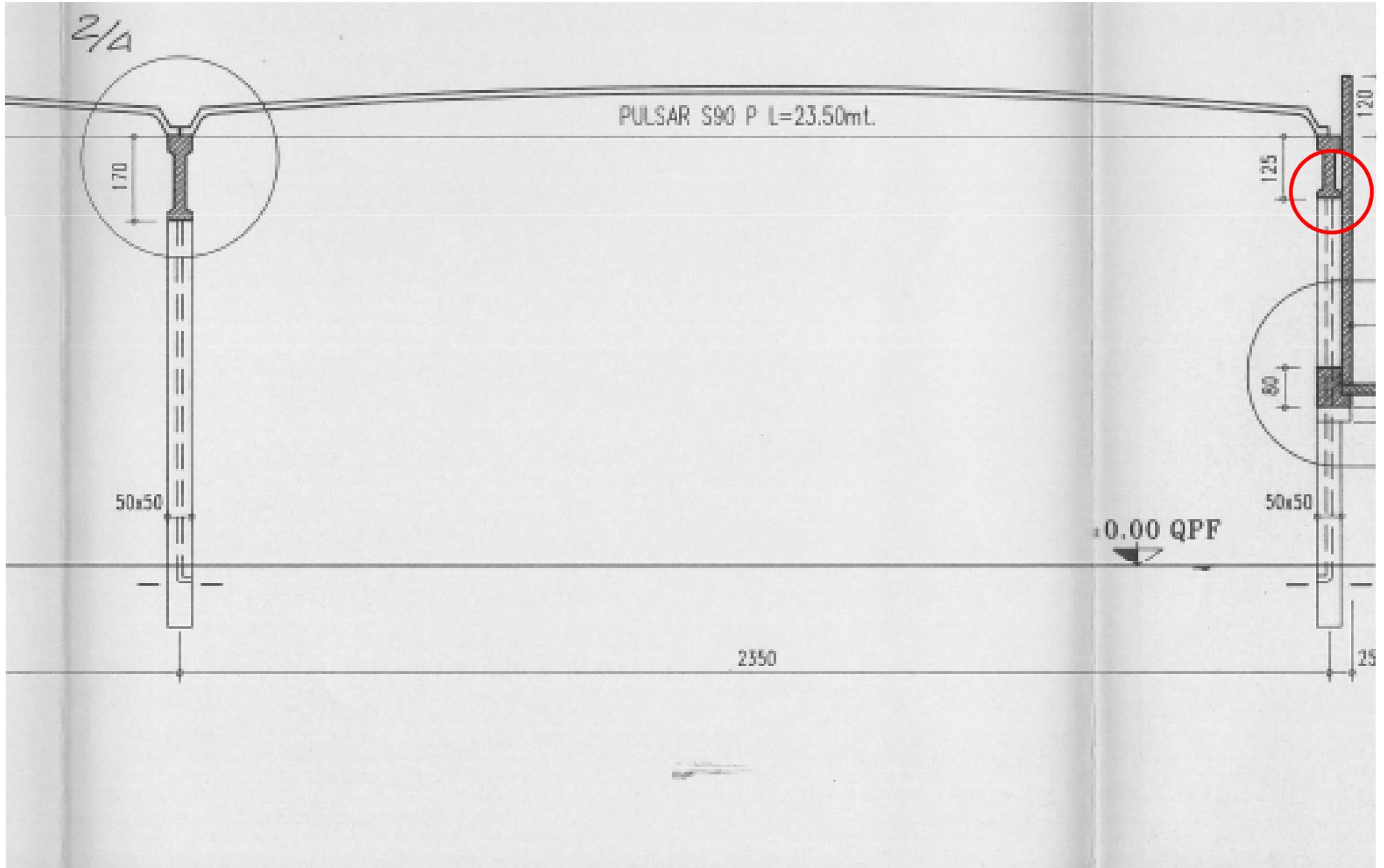
d = 100 mm > 50 mm

h = 62 mm di cls cellulare << 100 mm

Il solaio a lastra Predalles può quindi essere classificato con il metodo tabellare:

- 1. per la sola capacità portante: R 120**
- 2. per la capacità compartimentante: REI 60**

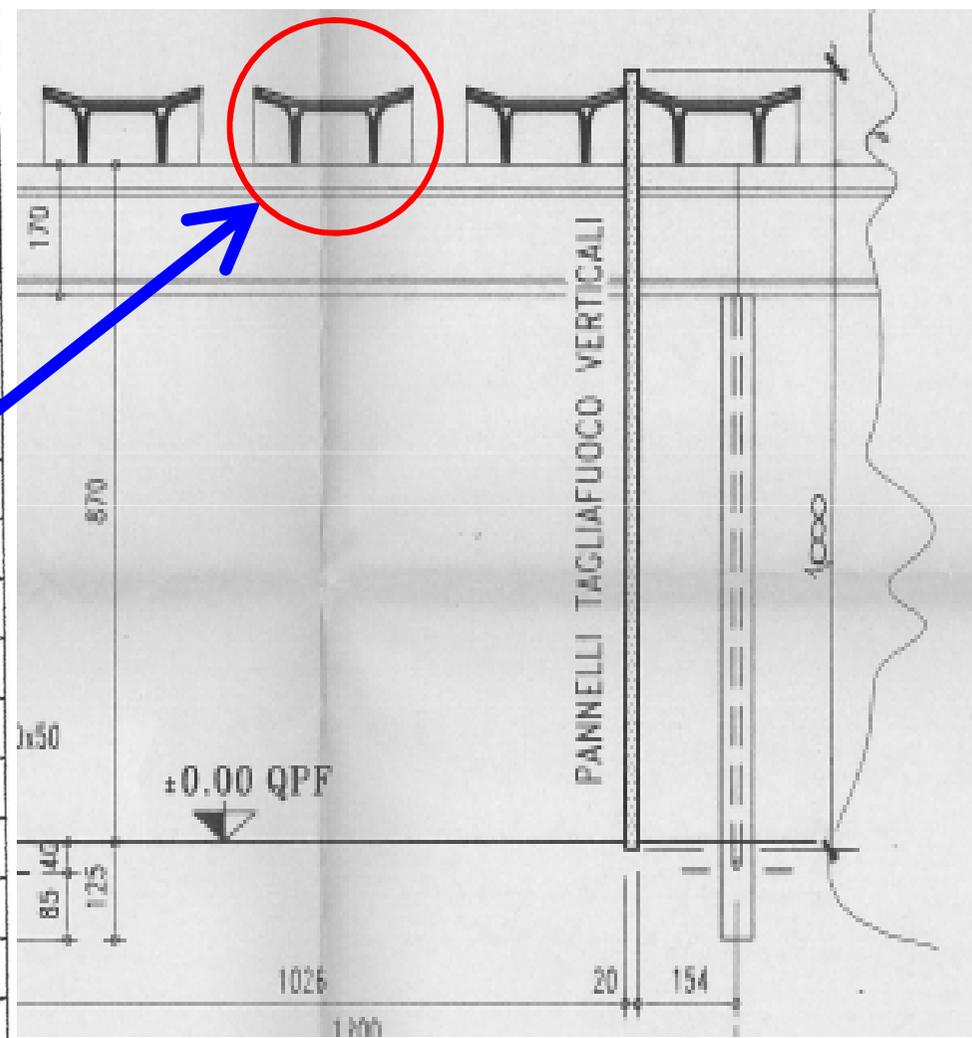
verifica di un tegolo π l = 23,50 m con metodo tabellare



ELENCO E DESCRIZIONI DEGLI ELEMENTI CERTIFICATI AI FINI DELLA RESISTENZA AL FUOCO

Numero identificativo	Elemento tipo e sua posizione	Sigla tipo di valutazione S = Sperimentale T = Tabellare A = Analitica V = Valutazioni ulteriori	Caratteristiche R - RE - REI e classe di resistenza al fuoco
1	FASE 1		
2	PILASTRI	T	R = 90'
3	TRAVI	T	R = 90'
4	PULSAR	T	R = 90'
5	PANNELLI DI SOLAIO	T	R = 90'
6	PANNELLI COIBENTATI (ESCLUSI FISSAGGI)	T	R = 60'
7	PANNELLI PIENI (ESCLUSI FISSAGGI)	T	R = 120'
8			
9	FASE 2		
10	PILASTRI	T	R = 90'
11	TRAVI	T	R = 90'
12	TEGOLO π	T	R = 90'
13	PANNELLI DI SOLAIO	T	R = 90'
14	PANNELLI COIBENTATI (ESCLUSI FISSAGGI)	T	R = 60'
15	PANNELLI PIENI (<u>ESCLUSI FISSAGGI</u>)	T	R = 120'
16			
17	FASE 3		
18	PILASTRI	T	R = 90'
19	TRAVI	T	R = 90'
20	PULSAR	T	R = 90'
21	PANNELLI COIBENTATI (ESCLUSI FISSAGGI)	T	R = 60'

CERT REI di tegolo π rilasciata con il metodo tabellare della circ. 91/61



Schema tratto da documento DPC RELUIS – maggio 2007 – strutture prefabbricate, schedario dei collegamenti.

ANGOLARE POSTO SUL TEGOLO
A CONTRASTO DI ANGOLARI POSTI
SULLA TRAVE IN CORRISPONDENZA DELLA
NERVATURA DEI TEGOLI AI TERZI DELLA TRAVE

TRATTENUTA INTERMEDIA CON BAIONETTA ZIGR.
CON RONDELLA ZIGRINATA BULLONE A TESTA DI
MARTELLO ZINC. COMPLETO DI DADO E RONDELLA

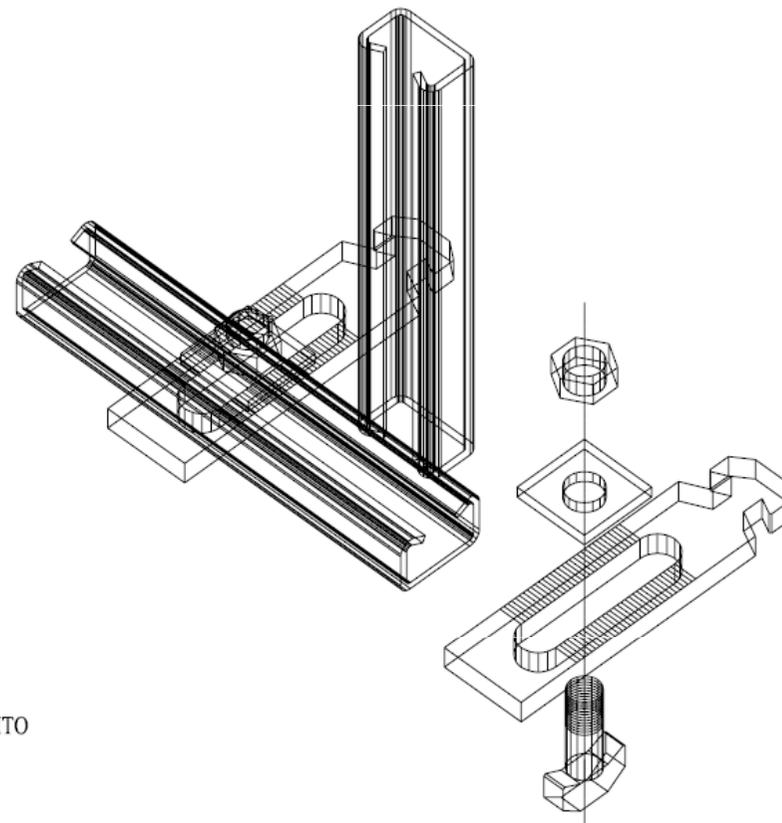
NEOPRENE PER APPOGGIO
"TEGOLO FIGRECO"

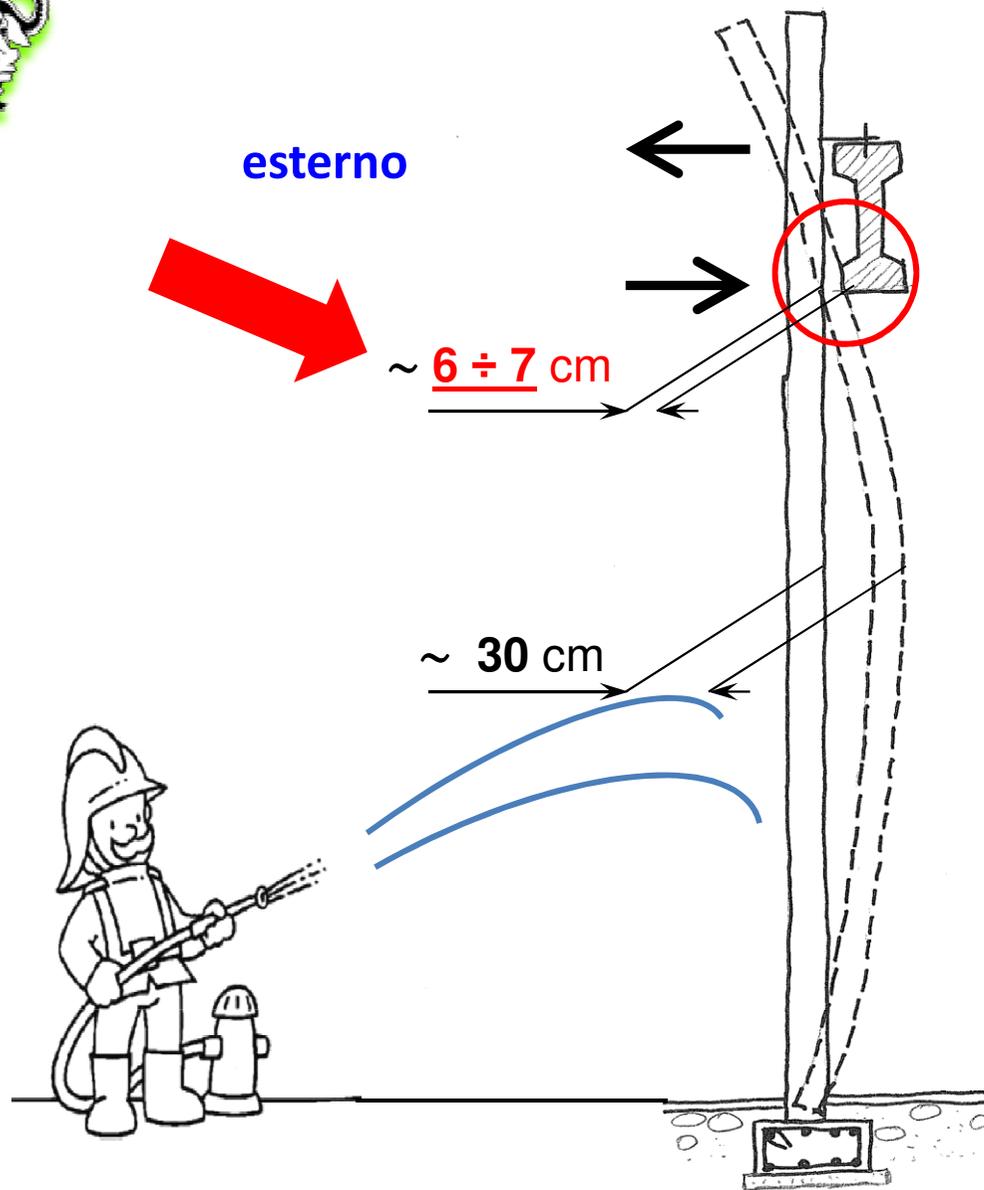
APPOGGIO TRAVE A "L"
IN NEOPRENE

PROFILO A "C" PREINSERITO

NEOPRENE APPOGGIO PANNELLO
ORIZZONTALE SU MENSOLA METALLICA

MENSOLA METALLICA REALIZZATA CON
PROFILI A "L" E FAZZOLETTI





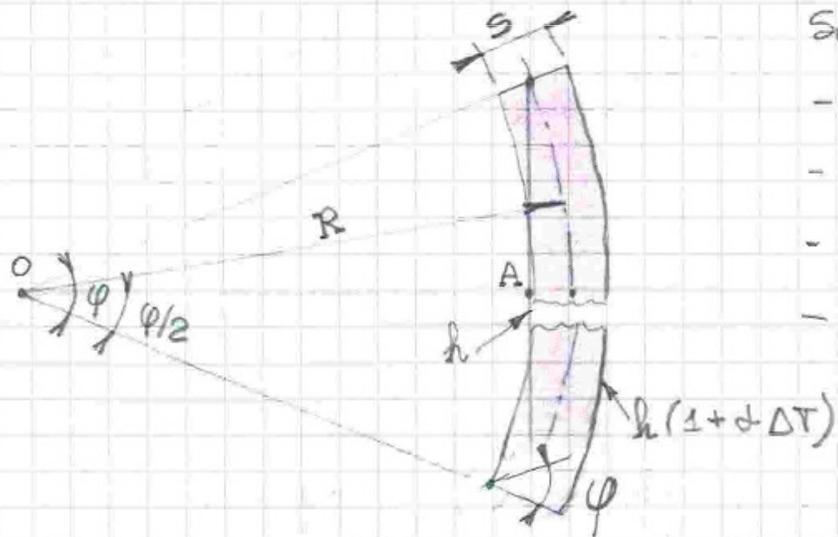
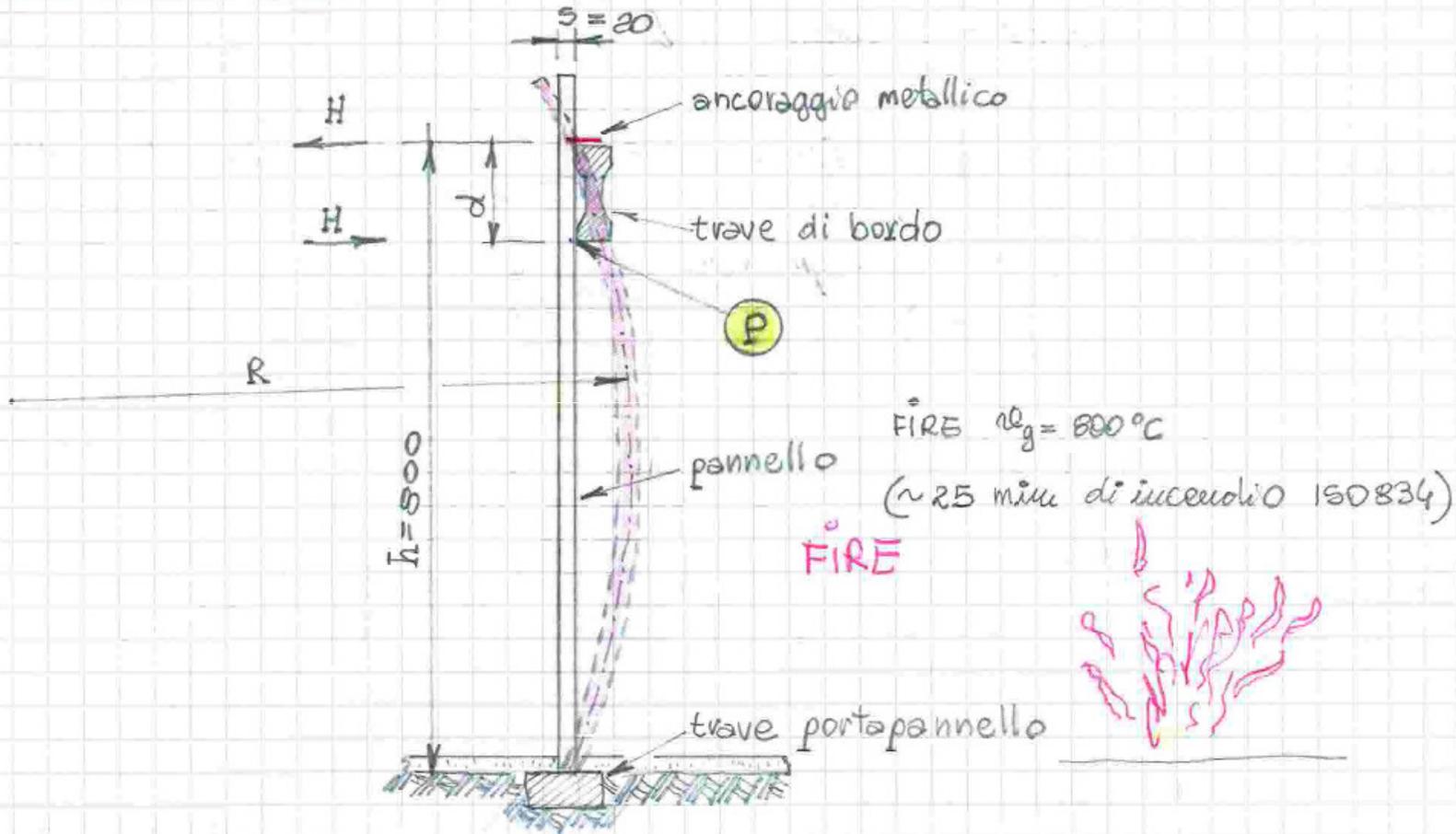
interno

dopo c.ca 25 min di fuoco
ISO 834 la freccia max del
pannello è di ~ 30 cm



Meccanismo di collasso dei pannelli prefabbricati di tamponamento esterno sottoposti a incendio.

Pannello di tamponamento di capannone sottoposto a incendio interno



Si suppone:

- $T_g = 800^\circ\text{C}$
- $\delta_T = 10 \cdot 10^{-6}$
- $h = 800 \text{ cm}$
- $s = 20 \text{ cm}$

$E_b = 3053 \text{ N/mm}^2$

- La fibra esposta al fuoco subisce un allungamento $\Delta h (20 - 20) =$

$$= 10 \cdot 10^{-6} \cdot 800 \cdot 780 = 6,24 \text{ cm}$$

- $\text{tg} \varphi = \frac{6,24}{20} = 0,312 \rightarrow \varphi = 0,302429 \text{ rad}$; si noti che $\text{tg} \varphi \approx \varphi$! (angolo piccolo)

$$\begin{aligned} - \varphi \left(R + \frac{s}{2} \right) &= h (1 + \alpha \Delta T) \rightarrow R = \frac{h (1 + \alpha \Delta T) - \varphi \frac{s}{2}}{\varphi} = \frac{800 (1 + 10^{-5} \cdot 780) - 0,302429 \cdot 10}{0,302429} \\ &= 2.655 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$- OA = R \cos \frac{\varphi}{2} = 2.655 \cdot \cos \frac{0,302429}{2} = 2.624 \text{ cm}$$

- il pannello si sposta verso l'interno di $2.655 - 2.624 = 31 \text{ cm}$

Se lo spostamento verso l'interno è impedito perché il pannello "punta" sulla trave di bordo in **(P)** il tiro $H = \frac{M}{d}$ provoca la rottura dell'ancoraggio metallico con conseguente collasso del pannello verso l'esterno.

Il fenomeno è accentuato dal raffreddamento della parete esterna con acqua come tipicamente avviene in caso di intervento delle squadre di soccorso.

Su punta approssimativa se $d = 80 \text{ cm}$, la distanza del pannello dalle trave di bordo dovrebbe essere $s = 31 \frac{9,8}{4} \approx 6 \text{ cm}$ e cioè 5:6 cm di zinc sono sufficienti a prevenire il collasso⁴ del pannello per rottura dell'incoraggio metallico.

$$\text{Dalla } \frac{1}{R} = \frac{M}{EI} \quad \text{di cui } M = \frac{EI}{R} = \frac{30EI \cdot \frac{1}{12} 100 \cdot 20^3}{2,655} = \frac{30EI \cdot 66,66 \cancel{EI}}{2,655 \cancel{EI}}$$

= 7.532 daN·cm per ogni m di sviluppo lineare del pannello.

da cui $H = \frac{75.820}{0,8} = \underline{94.150 \text{ daN}}$ per ogni m di sviluppo lineare di pannello.

Ho personalmente osservato che le rotture dell'incoraggio metallico avviene in prossimità dei plinti. ciò è giustificato dal fatto che in tali zone la rigidezza allo spostamento orizzontale è più elevata che in campo.



Prospetto D.6.1 D.M. 16.feb.07

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.

Prospetto 5.5 EN 1992-1-2

prospetto 5.5

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

Resistenza al fuoco <u>normalizzata</u>	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	$b_{min} = 80$ $a = 25$	120 20	160 15 ^{*)}	200 15 ^{*)}	80	80	80
R60	$b_{min} = 120$ $a = 40$	160 35	200 30	300 25	100	80	100
R90	$b_{min} = 150$ $a = 55$	200 45	300 40	400 35	110	100	100
R120	$b_{min} = 200$ $a = 65$	240 60	300 55	500 50	130	120	120
R180	$b_{min} = 240$ $a = 80$	300 70	400 65	600 60	150	150	140
R240	$b_{min} = 280$ $a = 90$	350 80	500 75	700 70	170	170	160

$a_{sd} = a + 10$ mm (vedere nota sotto)

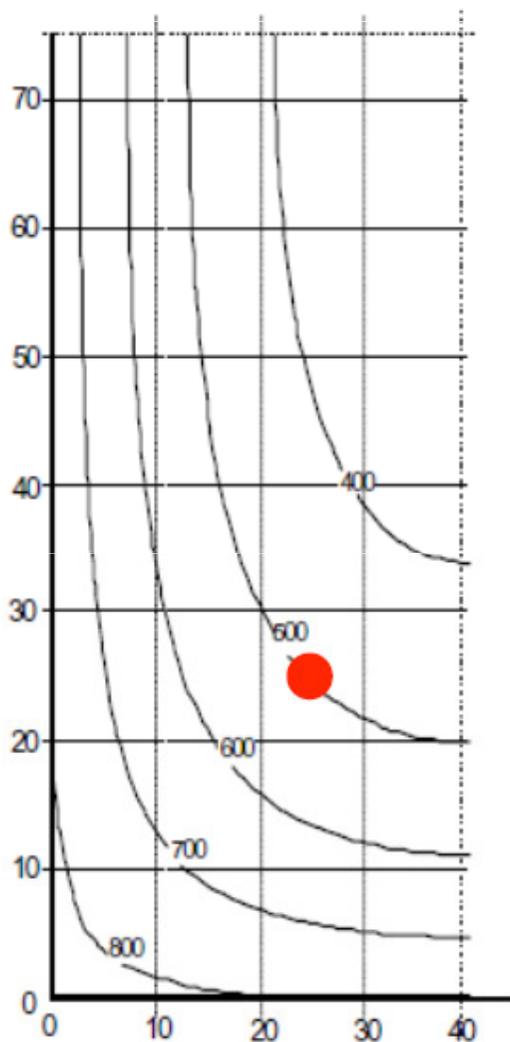
Per travi di calcestruzzo armato precompresso si raccomanda di porre attenzione all'incremento della distanza dell'asse secondo il punto 5.2(5).

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} .

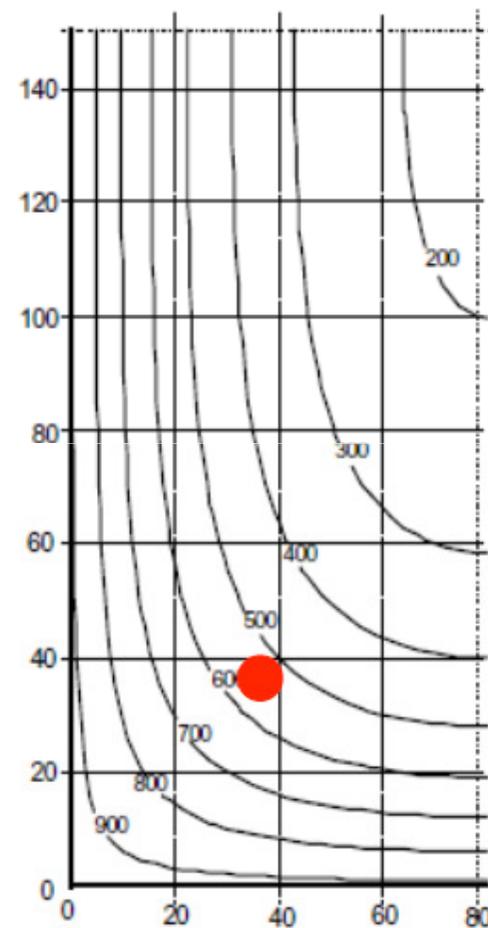
*) Generalmente si controlla il copriferro richiesto dalla EN 1992-1-1.

Giustificazione dei dati del prospetto D.6.1 D.M. 16.feb.07

Per **R30** deve essere:
 $b = 80 \text{ mm}$, $a = 25 \text{ mm}$



Per **R60** deve essere:
 $b = 160 \text{ mm}$, $a = 35 \text{ mm}$

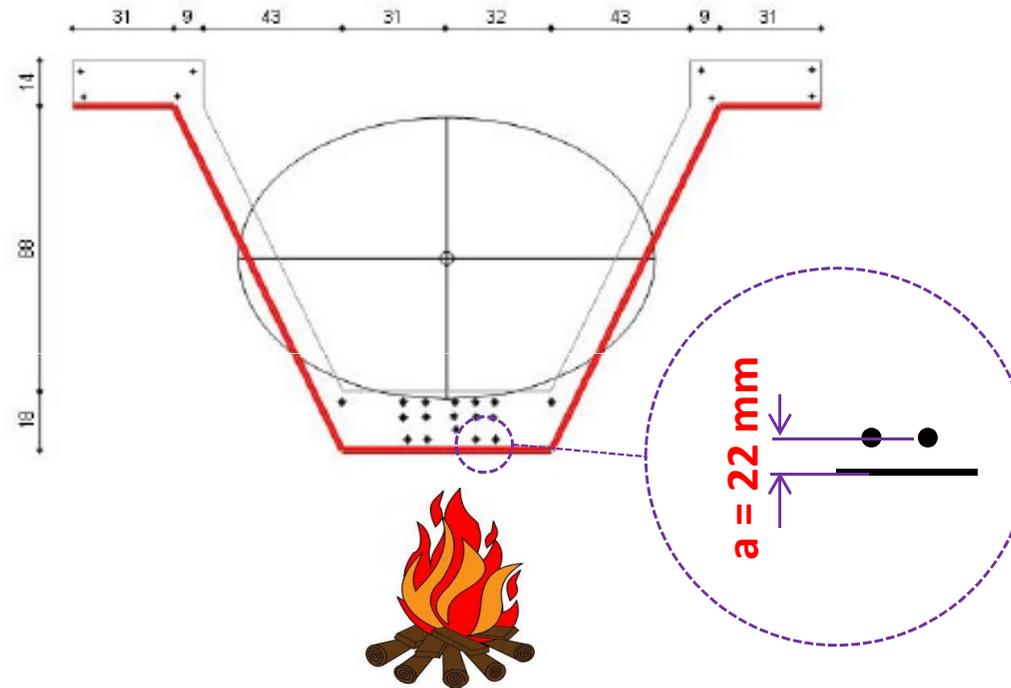


Verifica di un tegolo a V con metodo tabellare



Luce di calcolo 18,00 m, capacità portante richiesta **R 90**

Verifica di un tegolo a V con metodo tabellare



estratto tab. D.6.1

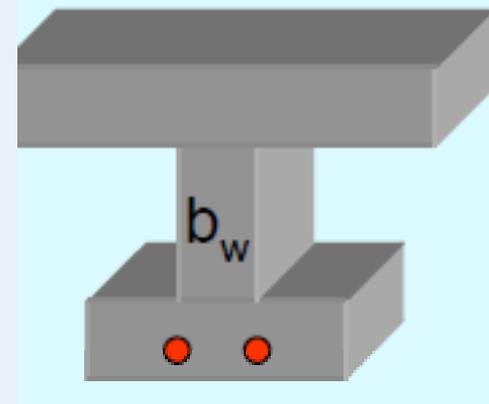
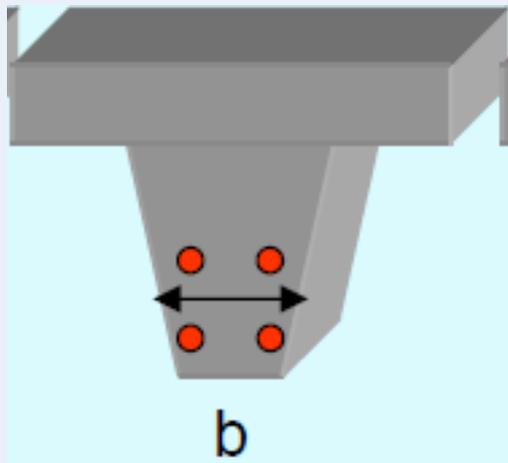
Classe	Combinazioni possibili di b e a				b_w
90	b = 150 / a = 55	200 / 45	300 / 40	400 / 35	100

$\mathbf{b} = 604 > 400$, $\mathbf{b}_w = 200 > 100$, $\mathbf{a} = 22 \text{ mm} \ll 35 + 15 = 50 \text{ mm}$

$\Delta = 50 - 22 = 28 \text{ mm}$

Per ottenere classe **R90** bisogna proteggere la base del tegolo a V con 15 mm di “intonaco protettivo antincendio” che viene computato con spessore doppio, vedi **D.4.1**.

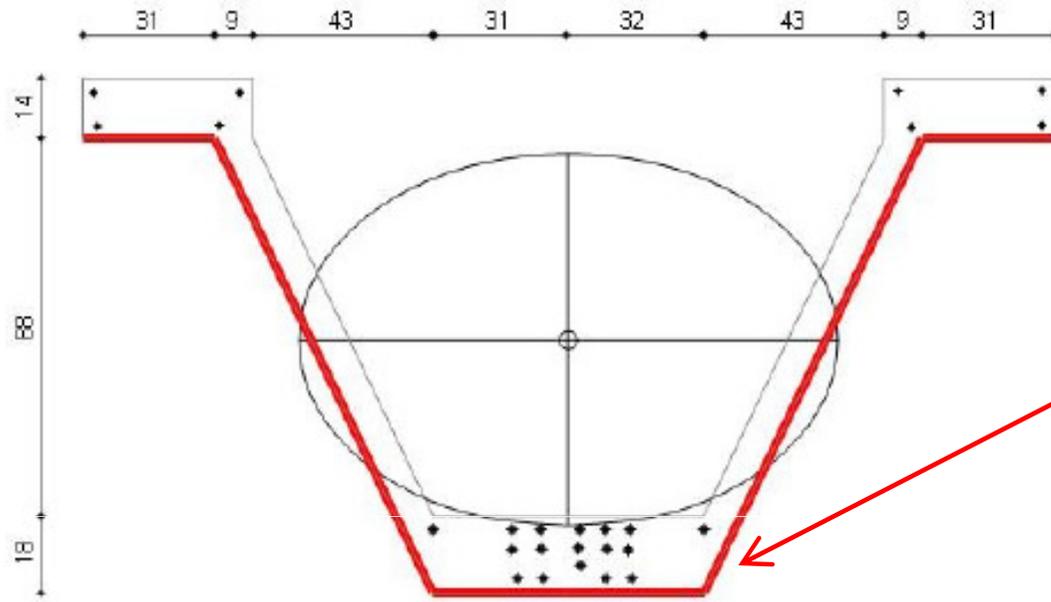
Verifica di un tegolo a V con metodo tabellare



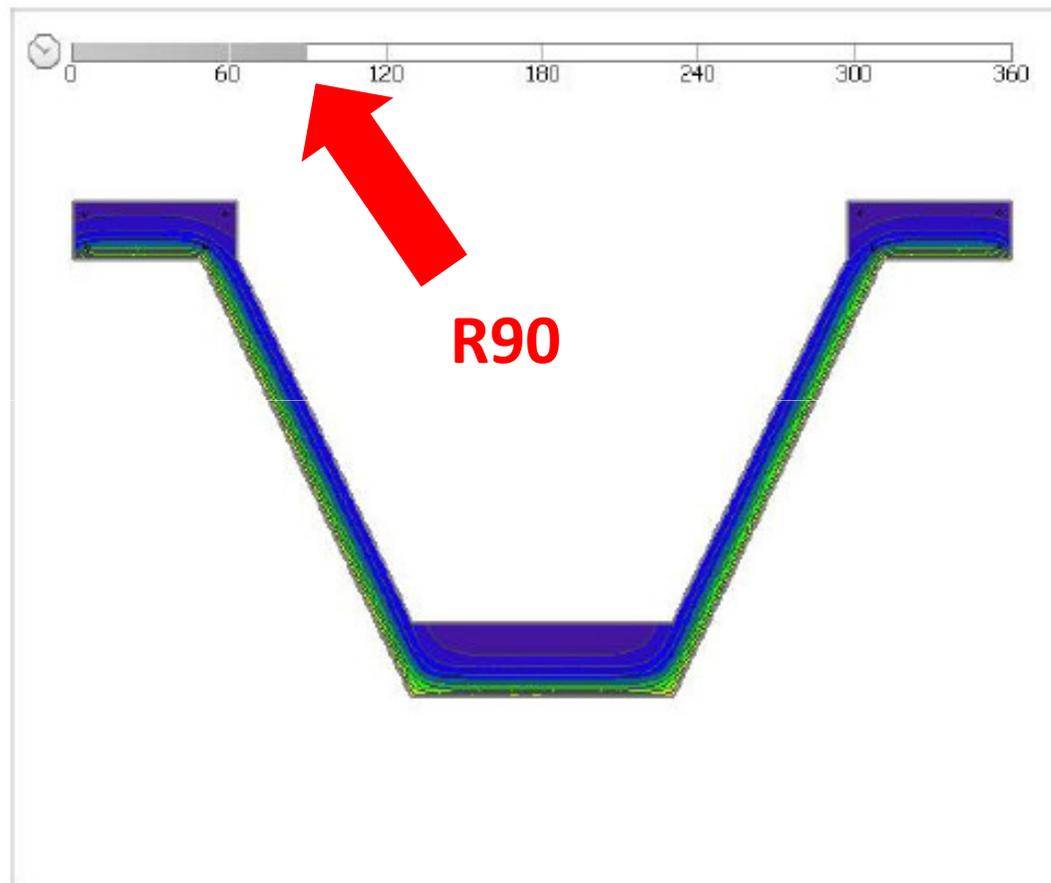
VERIFICA R 90

parametri tabellari tab. D.6.1 D.M. 16.02.2007	richiesto	in opera
b (mm)	400	604 > 400
a (mm)	35+15=50	22+(15x2) > 50
b_w (mm)	100	80+80=160 > 100

N.B.: con il metodo analitico il requisito **R90** è garantito senza nessun intervento



Trefoli distanziati dalle pareti laterali del tegolo



**Il tegolo a V ha una risposta termica generalmente migliore di quella del tegolo π .
Essendo $\eta_{fi} = 0,57$ si ottiene, con il risultato di calcoli, nel caso specifico, R 90.**

Prospetto 5.6 EN 1992-1-2



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 <u>normalizzata</u>	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	$b_{min} = 80$ $a = 15^*)$	160 12 ^{*)}			80	80	80
R60	$b_{min} = 120$ $a = 25$	200 12 ^{*)}			100	80	100
R90	$b_{min} = 150$ $a = 35$	250 25			110	100	100
R120	$b_{min} = 200$ $a = 45$	300 35	450 35	500 30	130	120	120
R180	$b_{min} = 240$ $a = 60$	400 50	550 50	600 40	150	150	140
R240	$b_{min} = 280$ $a = 75$	500 60	650 60	700 50	170	170	160

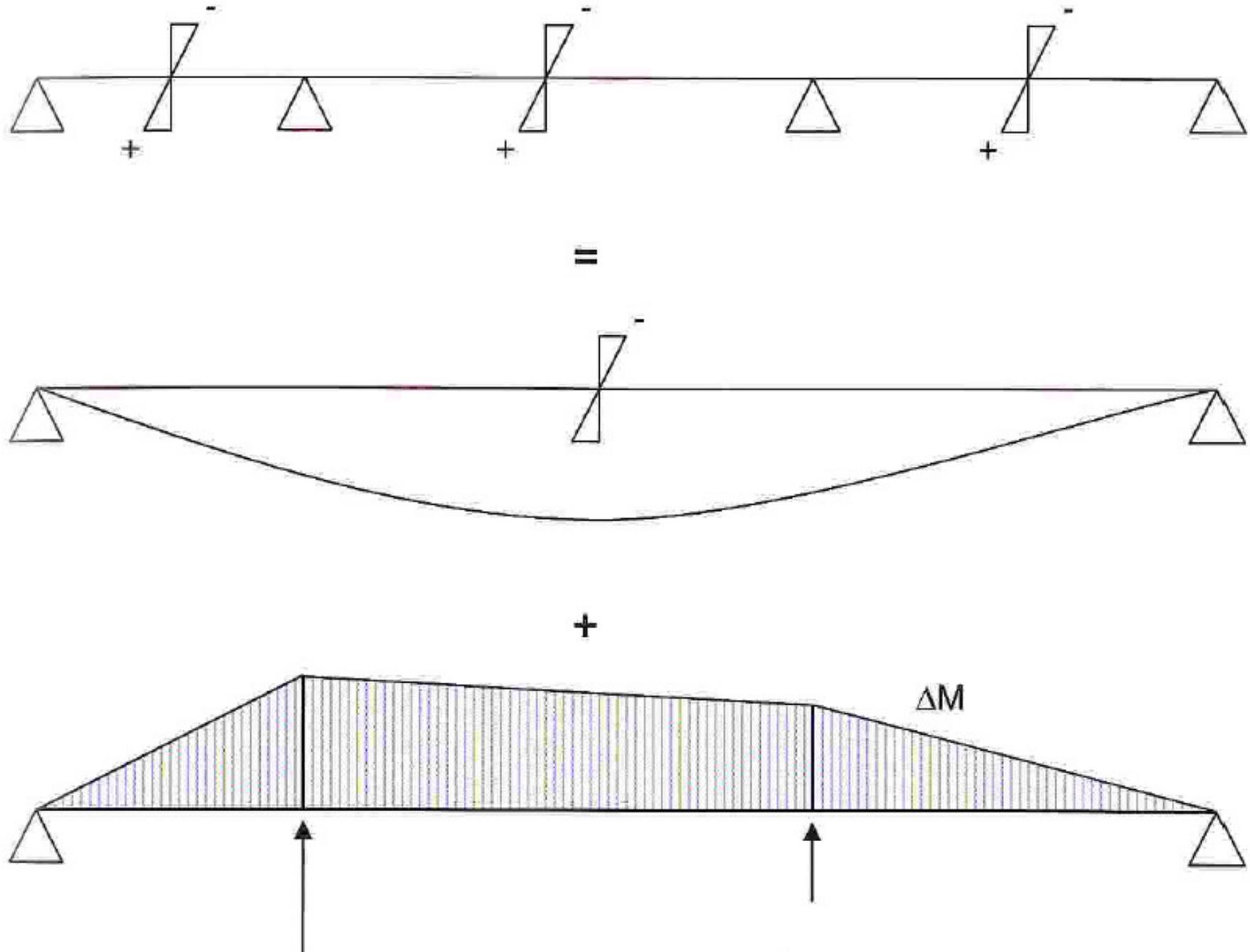
$a_{sd} = a + 10$ mm (vedere nota sotto)

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} .

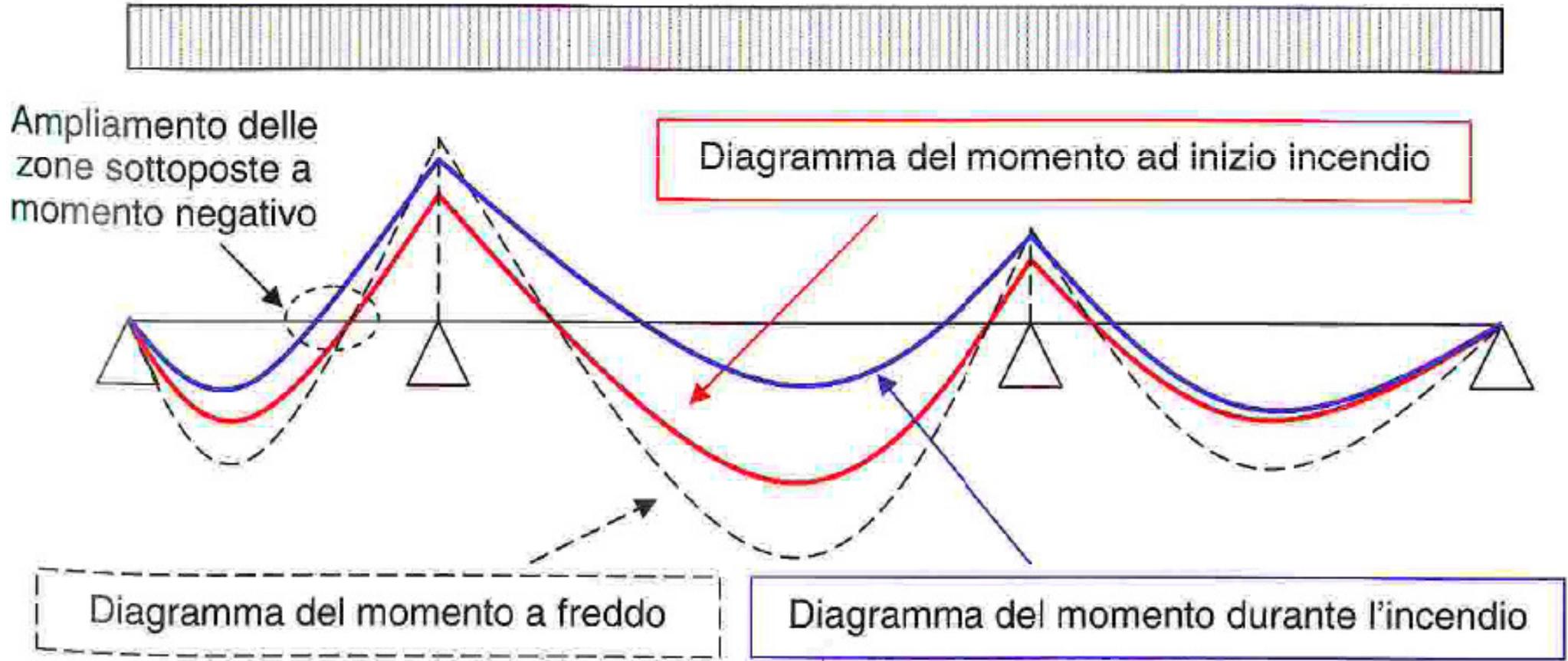
*) Generalmente si controlla il copriferro richiesto dalla EN 1992-1-1.

La migrazione del diagramma dei momenti flettenti nelle travi iperstatiche



La migrazione del diagramma dei momenti flettenti

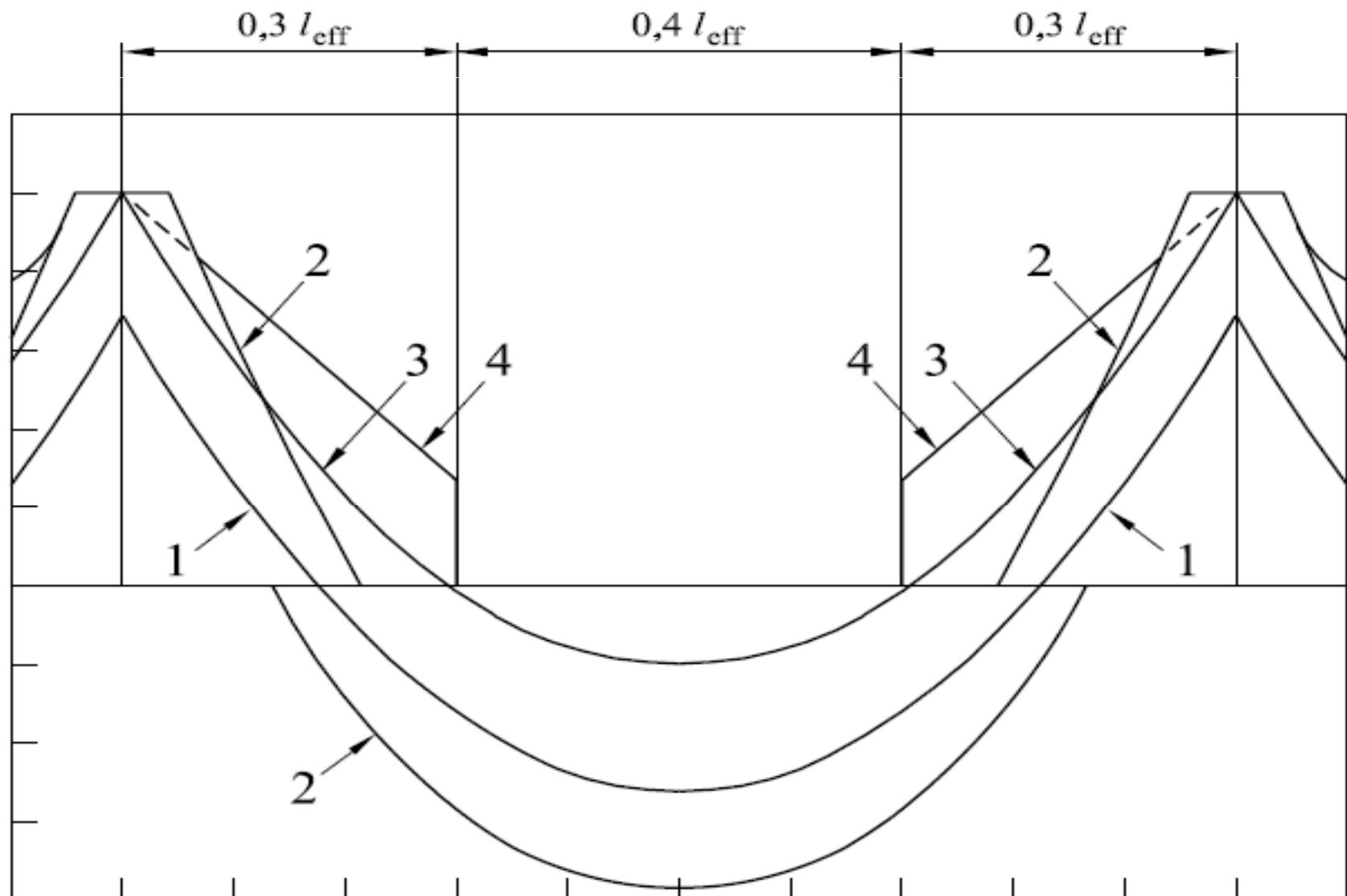
$$q_{fi} = 0,7 \cdot q$$



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)





Prospetto 5.6 EN 1992-1-2

$$A_{s,req}(x) = A_{s,req}(0) \left(1 - 2,5 \frac{x}{l_{eff}} \right) \quad (5.11)$$

x ascissa misurata a partire dall'appoggio;

$A_{s, req}(x)$ area armatura necessaria alla distanza x dall'appoggio a $M < 0$ a **caldo**;

$A_{s, req}(0)$ area armatura necessaria a $M < 0$ a **freddo**;

l_{eff} luce efficace della trave (interasse appoggi).

Prospetto D.6.2 D.M. 16.feb.07

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:

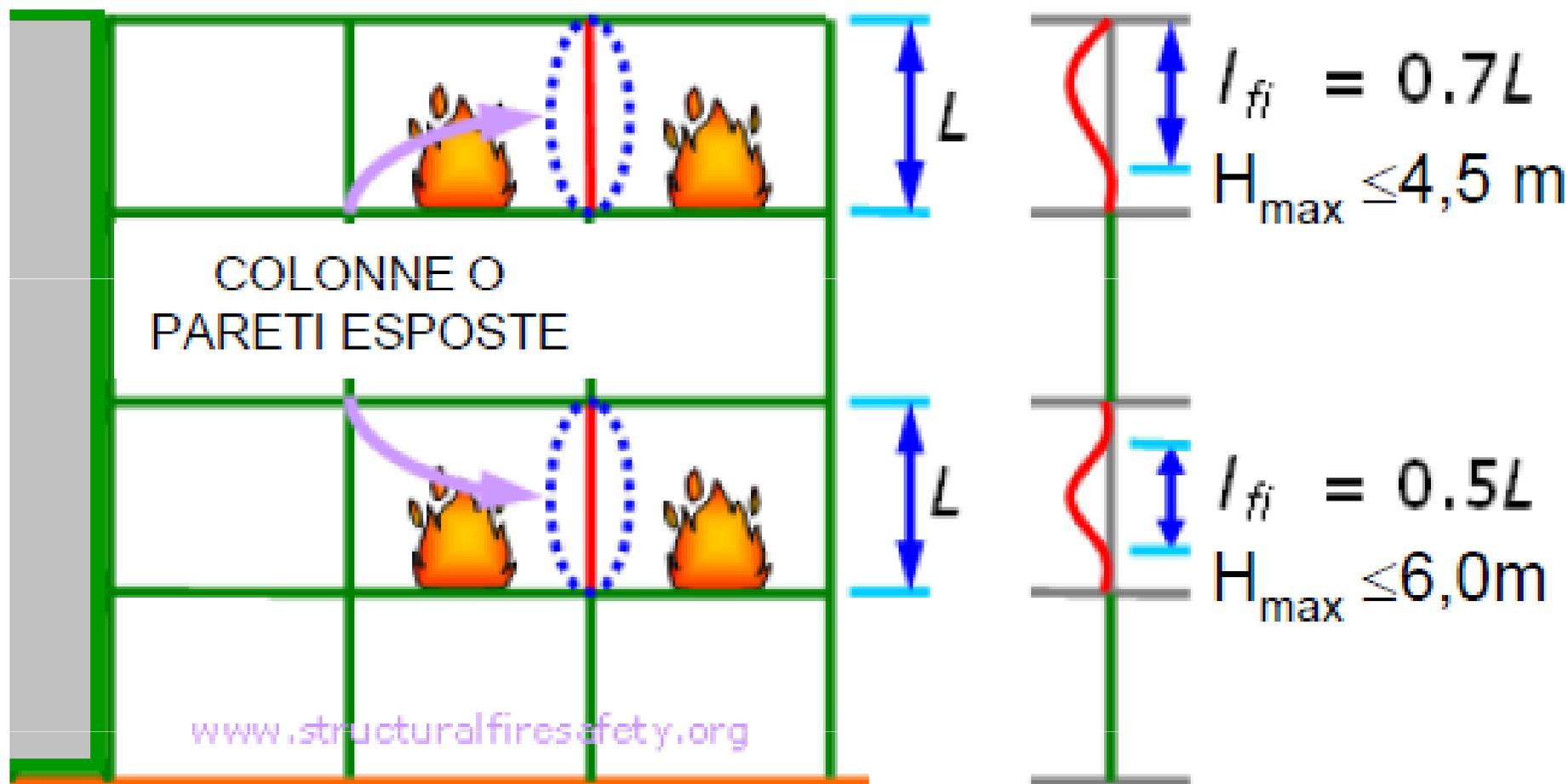
- lunghezza effettiva del pilastro (da nodo a nodo) ≤ 6 m (per pilastri di piani intermedi) ovvero $\leq 4,5$ m (per pilastri dell'ultimo piano);

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.



Il rapporto 6/4,5 corrisponde all'incirca al rapporto $0,7/0,5 = 1,4$



Prospetto 5.2a EN 1992-1-2

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: $l_{0,fi} \leq 3 \text{ m}$;
 - 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 $0,5 l \leq l_{0,fi} \leq 0,7 l$ 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.

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

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.

Prospetto 5.2a EN 1992-1-2

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	200/32 300/27	155/25
R60	200/25	200/36 300/31	250/46 350/40	155/25
R90	200/31 300/25	300/45 400/38	350/53 450/40 ^{**)}	155/25
R120	250/40 350/35	350/45 ^{**)} 450/40 ^{**)}	350/57 ^{**)} 450/51 ^{**)}	175/35
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).



Prospetto 5.2a EN 1992-1-2

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

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

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

dove:

$$R_a = 1,60 (a - 30)$$

$$R_l = 9,60 (5 - l_{0,fi})$$

$$R_b = 0,09 b'$$

$$R_n = 0 \quad \text{per } n = 4 \text{ (solo barre d'angolo)}$$

$$= 12 \quad \text{per } n > 4$$

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

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

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

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

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).

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 $0,7 N_{0Ed}$ ($\eta_{fi} = 0,7$, 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).



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.

Prospetto D.7 D.M. 16.feb.07 (non riproposto nel copi)

D.7 Travi, tiranti e colonne di acciaio

D.7.1 La tabella seguente riporta i valori minimi (mm) dello spessore s di alcune tipologie di rivestimento protettivo sufficienti a garantire il requisito R per le classi indicate di travi semplicemente appoggiate, tiranti e colonne al variare del fattore di sezione S/V (m^{-1}) con esclusione dei profili di classe IV e potendo trascurare improvvisi fenomeni di instabilità. Per le colonne valgono le seguenti limitazioni ulteriori:

- lunghezza effettiva della colonna (da nodo a nodo) $\leq 4,5$ m (per colonne di piani intermedi) ovvero $\leq 3,0$ m (per colonne dell'ultimo piano).

Il contributo dei rivestimenti protettivi, presenti nelle tabelle, può essere considerato nell'ambito del presente metodo, purché il produttore, sulla base di idonee esperienze sperimentali, dichiari sotto la propria responsabilità, che il sistema protettivo garantisce le prestazioni definite in dette tabelle, nonché aderenza e coesione per tutto il tempo necessario e ne fornisca le indicazioni circa i cicli di posa o di installazione.

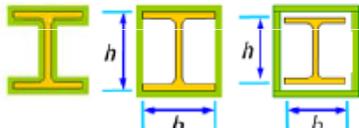
Tale possibilità decade con l'obbligo della marcatura CE dei sistemi protettivi, prevista in conformità alla pertinenti specificazioni tecniche ovvero dopo 3 anni dall'entrata in vigore del presente decreto.

s_t è lo spessore in mm del rivestimento di travi e tiranti

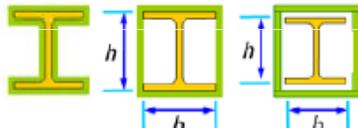
s_c è lo spessore in mm del rivestimento di colonne



ELEMENTI IN ACCIAIO (R) 1/3

INTONACO NORMALE						
Classe	Fattore di sezione (m ⁻¹)					
	$\frac{P_{\text{profilo}}}{A}$ oppure $\frac{2(b+h)}{A}$ 					
	< 50	< 100	< 150	< 200	< 250	< 300
30	s _t = 10 s _c = 10	10 15	10 20	15 25	20 25	20 30
60	s _t = 10 s _c = 15	20 25	25 35	35 45	40 55	45 65
90	s _t = 15 s _c = 25	30 40	45 55	55 75	65 -	75 -
120	s _t = 20 s _c = 30	45 55	60 -	75 -	- -	- -
180	s _t = 35 s _c = 50	65 -	- -	- -	- -	- -
240	s _t = 50 s _c = 70	- -	- -	- -	- -	- -

Intonaco tipo sabbia e cemento, sabbia cemento e calce, sabbia calce e gesso e simili caratterizzato da una massa volumica compresa tra 1000 e 1400 kg/m³

INTONACO PROTETTIVO ANTINCENDIO						
Classe	Fattore di sezione (m ⁻¹)					
	$\frac{P_{\text{profilo}}}{A}$ oppure $\frac{2(b+h)}{A}$ 					
	< 50	< 100	< 150	< 200	< 250	< 300
30	s _t = 10 s _c = 10	10 10	10 15	10 15	15 20	20 25
60	s _t = 10 s _c = 10	10 20	20 30	25 35	30 40	40 50
90	s _t = 15 s _c = 20	25 35	35 45	45 60	55 75	65 -
120	s _t = 15 s _c = 25	35 45	50 65	65 -	75 -	- -
180	s _t = 25 s _c = 35	55 65	75 -	- -	- -	- -
240	s _t = 35 s _c = 50	70 -	- -	- -	- -	- -

Intonaco tipo gesso, vermiculite o argilla espansa e cemento o gesso, perlite e gesso e simili caratterizzato da una massa volumica compresa tra 600 e 1000 kg/m³

s_t = spessore in mm del rivestimento di travi e tiranti

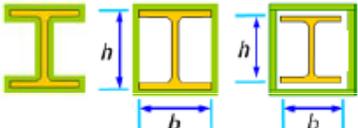
s_c = spessore in mm del rivestimento delle colonne

H_{max} = 4,5 m per colonne di piani intermedi

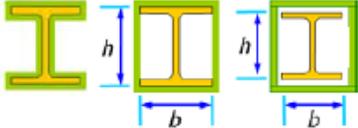
H_{max} = 3,0 m per colonne dell'ultimo piano



ELEMENTI IN ACCIAIO (R) 2/3

INTONACO PROTETTIVO ANTINCENDIO LEGGERO						
Classe	Fattore di sezione (m ⁻¹)					
	$\frac{P_{\text{profilo}}}{A}$ oppure $\frac{2(b+h)}{A}$ 					
	< 50	< 100	< 150	< 200	< 250	< 300
30	s _t = 10 s _c = 10	10 10	10 10	10 15	10 15	15 20
60	s _t = 10 s _c = 10	10 15	15 20	20 25	25 35	25 35
90	s _t = 10 s _c = 15	20 25	25 35	30 40	35 45	40 50
120	s _t = 15 s _c = 20	25 30	35 45	40 55	45 60	50 65
180	s _t = 20 s _c = 30	35 50	50 65	60 -	65 -	70 -
240	s _t = 30 s _c = 40	50 70	65 -	- -	- -	- -

Intonaco leggero a base di fibre o inerti minerali espansi e leganti, caratterizzato da una massa volumica compresa tra 300 e 600 kg/m³

PANNELLI DI FIBRE MINERALI						
Classe	Fattore di sezione (m ⁻¹)					
	$\frac{P_{\text{profilo}}}{A}$ oppure $\frac{2(b+h)}{A}$ 					
	< 50	< 100	< 150	< 200	< 250	< 300
30	s _t = 15 s _c = 15	15 15	15 15	15 20	15 25	20 30
60	s _t = 15 s _c = 15	15 25	25 35	35 45	40 50	45 55
90	s _t = 15 s _c = 20	25 40	40 55	50 65	55 75	65 -
120	s _t = 20 s _c = 30	40 55	55 75	65 -	75 -	- -
180	s _t = 35 s _c = 50	60 -	- -	- -	- -	- -
240	s _t = 45 s _c = 65	- -	- -	- -	- -	- -

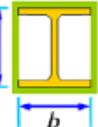
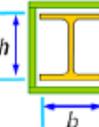
Pannello composto da fibre di silicati, lana di roccia, lana minerale e simili fibre incombustibili (con esclusione della fibra di vetro) caratterizzato da una massa volumica compresa tra 150 e 300 kg/m³

s_t = spessore in mm del rivestimento di travi e tiranti
s_c = spessore in mm del rivestimento delle colonne

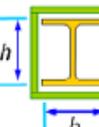
H_{max} = 4,5 m per colonne di piani intermedi
H_{max} = 3,0 m per colonne dell'ultimo piano



ELEMENTI IN ACCIAIO (R) 3/3

LASTRE DI GESSO RIVESTITO						
Classe	Fattore di sezione (m ⁻¹)					
	$\frac{P_{\text{profilo}}}{A}$	oppure $\frac{2(b+h)}{A}$				
						
	< 50	< 100	< 150	< 200	< 250	< 300
30	$s_t = 10$ $s_c = 10$	10 15	10 15	15 20	15 20	20 25
60	$s_t = 10$ $s_c = 15$	15 20	20 25	25 30	25 35	30 40
90	$s_t = 20$ $s_c = 25$	25 30	30 35	35 40	35 45	40 50
120	$s_t = 25$ $s_c = 30$	35 40	40 45	45 50	45 55	50 60
180	$s_t = 35$ $s_c = 45$	45 55	55 65	55 65	60 70	65 -
240	$s_t = 45$ $s_c = 55$	55 70	65 -	70 -	- -	- -

Lastra di gesso rivestito tipo antincendio caratterizzata da una massa volumica compresa tra 750 e 900 kg/m³

LASTRE DI CALCIO SILICATO						
Classe	Fattore di sezione (m ⁻¹)					
	$\frac{P_{\text{profilo}}}{A}$	oppure $\frac{2(b+h)}{A}$				
						
	< 50	< 100	< 150	< 200	< 250	< 300
30	$s_t = 10$ $s_c = 10$	10 10	10 15	10 15	15 20	15 20
60	$s_t = 10$ $s_c = 10$	15 20	15 25	20 25	25 30	25 35
90	$s_t = 15$ $s_c = 20$	25 30	25 35	30 35	35 40	35 45
120	$s_t = 20$ $s_c = 25$	30 35	35 45	40 50	45 55	45 55
180	$s_t = 30$ $s_c = 40$	40 55	50 60	55 65	60 65	60 70
240	$s_t = 40$ $s_c = 50$	55 70	60 75	65 -	65 -	70 -

Lastra di calcio silicato caratterizzata da una massa volumica compresa tra 800 e 900 kg/m³

s_t = spessore in mm del rivestimento di travi e tiranti

s_c = spessore in mm del rivestimento delle colonne

$H_{\text{max}} = 4,5$ m per colonne di piani intermedi

$H_{\text{max}} = 3,0$ m per colonne dell'ultimo piano

Diagramma f, ε acciaio

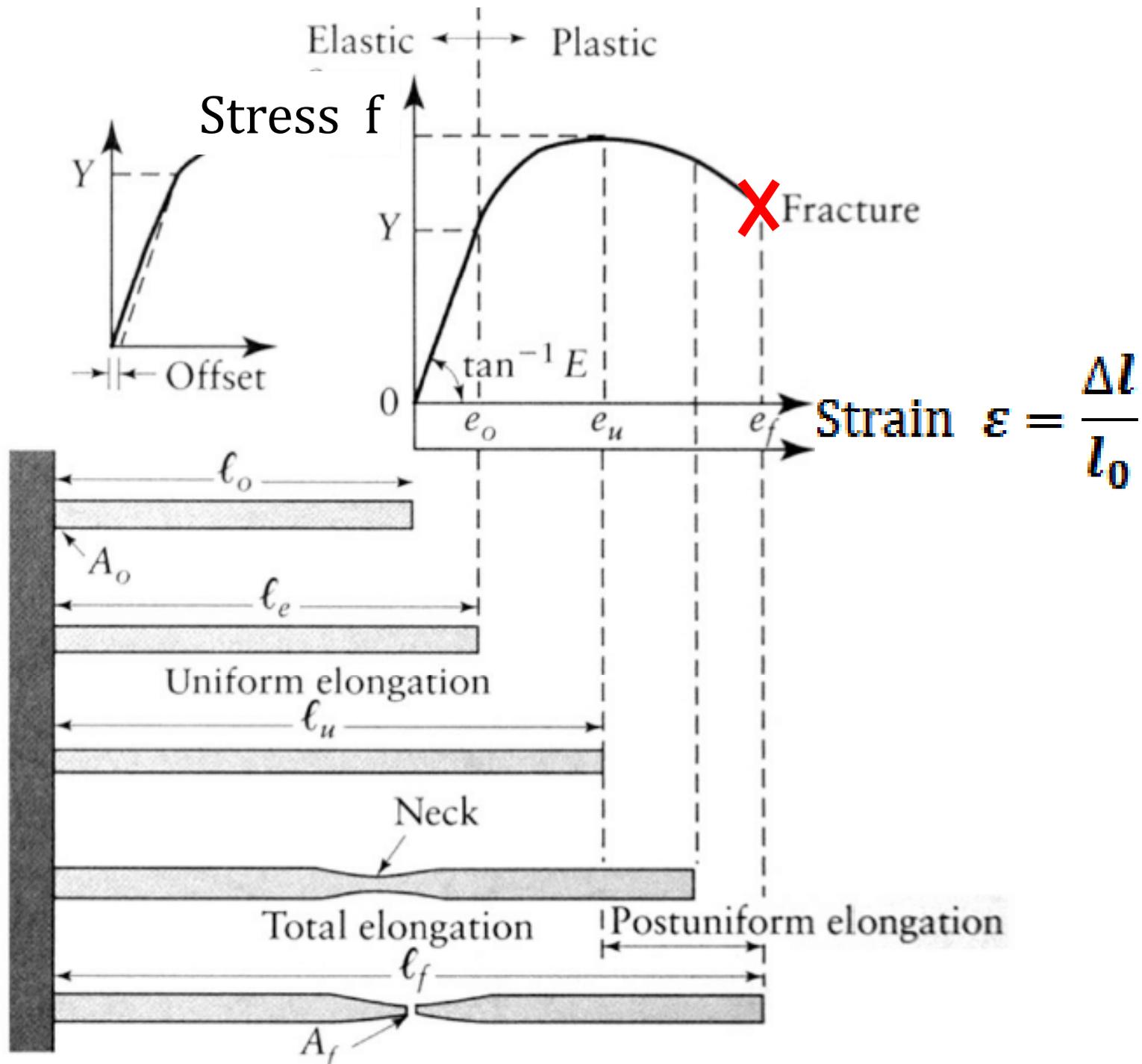
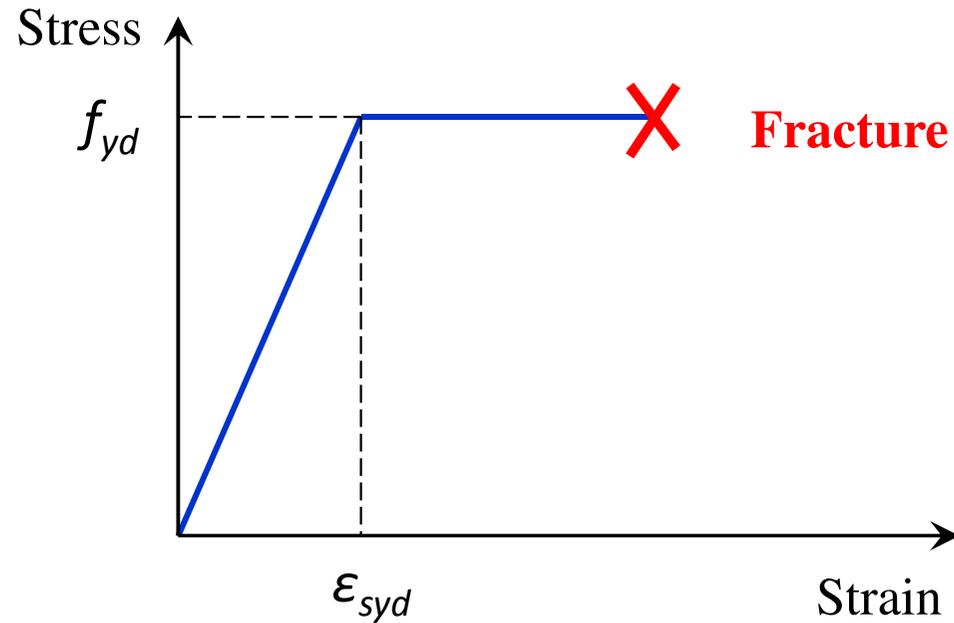
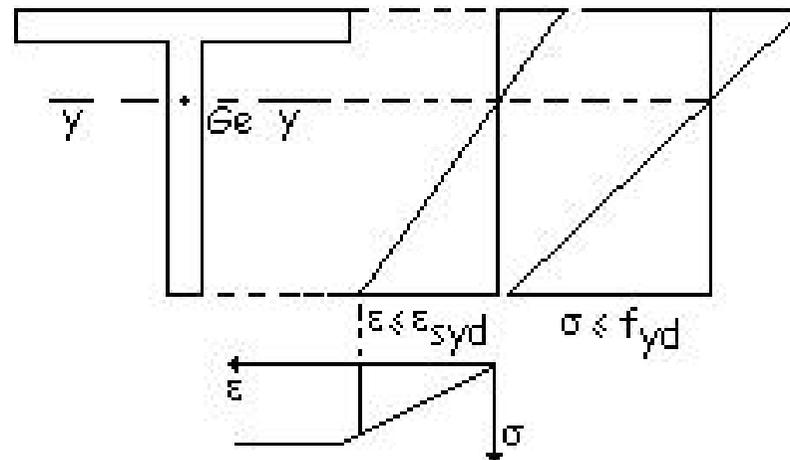


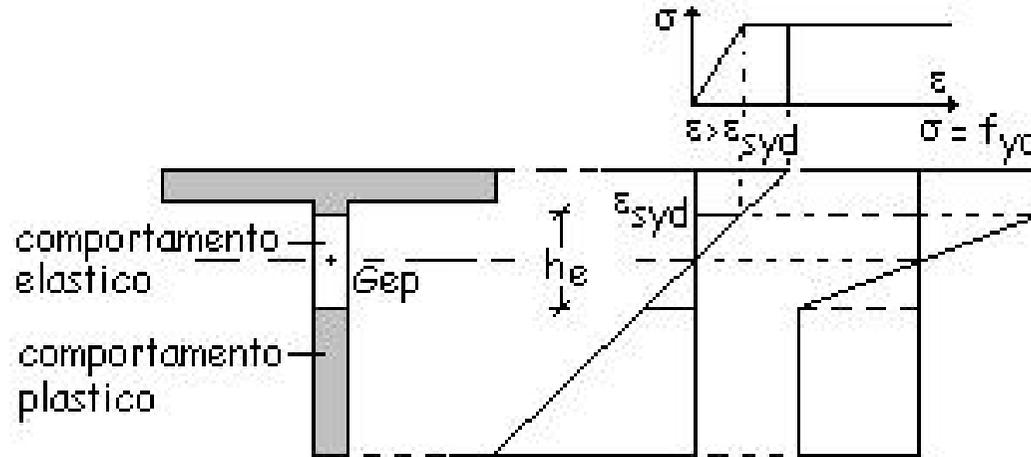
Diagramma f, ϵ acciaio



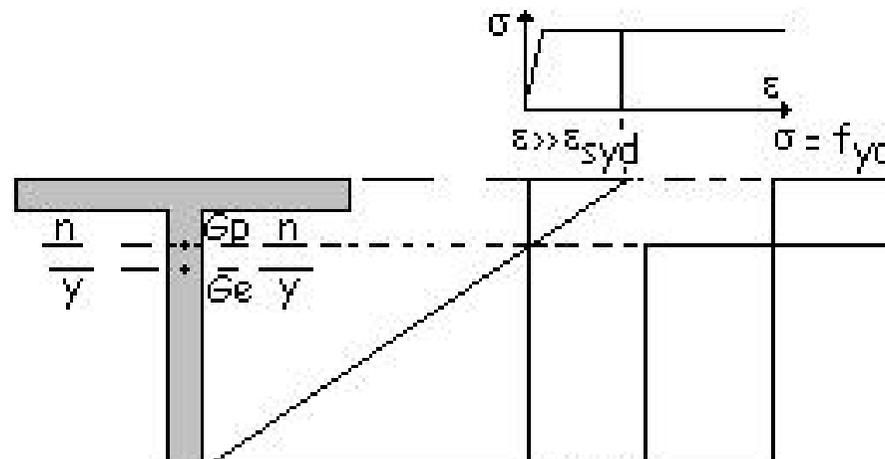
Se $\epsilon < \epsilon_{yd}$ la sezione ha un comportamento elastico, ad essa compete W_{el}



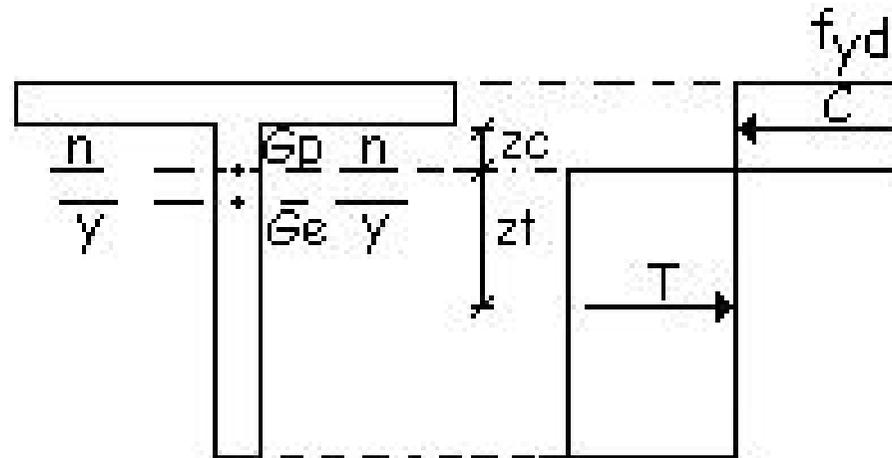
Se $\varepsilon > \varepsilon_{yd}$ la sezione ha un comportamento elastico nella sua parte centrale h_e ed un comportamento plastico nelle due parti superiore ed inferiore



Se $\varepsilon \gg \varepsilon_{yd}$ la sezione ha un comportamento totalmente plastico, $h_e \rightarrow 0$, e ad essa corrisponde il modulo di resistenza plastico W_{pl}



In regime plastico le tensioni sono costanti, di valore f_{yd} ; per l'equilibrio alla traslazione orizzontale deve essere $C = T$; per l'equilibrio alla rotazione il momento delle due forze rispetto all'asse neutro deve essere uguale a M_{sd} .



Indicando con A_C l'area compressa e con A_T l'area tesa si ottiene:

$$A_C f_{yd} = A_T f_{yd}$$

da cui:

$$A_C = A_T$$

L'asse neutro plastico divide l'area delle sezioni tesa e compressa in parti uguali mentre l'asse neutro elastico divide, invece, la sezione in due parti di egual momento statico.

Imponendo l'equilibrio alla rotazione:

$$C z_c + T z_t = M_{sd}$$

$$A_c f_{yd} z_c + A_t f_{yd} z_t = M_{sd}$$

$$(A_c z_c + A_t z_t) f_{yd} = M_{sd}$$

Il termine entro parentesi tonda è la somma dei momenti statici delle aree compresse e tese rispetto al baricentro plastico G_p .

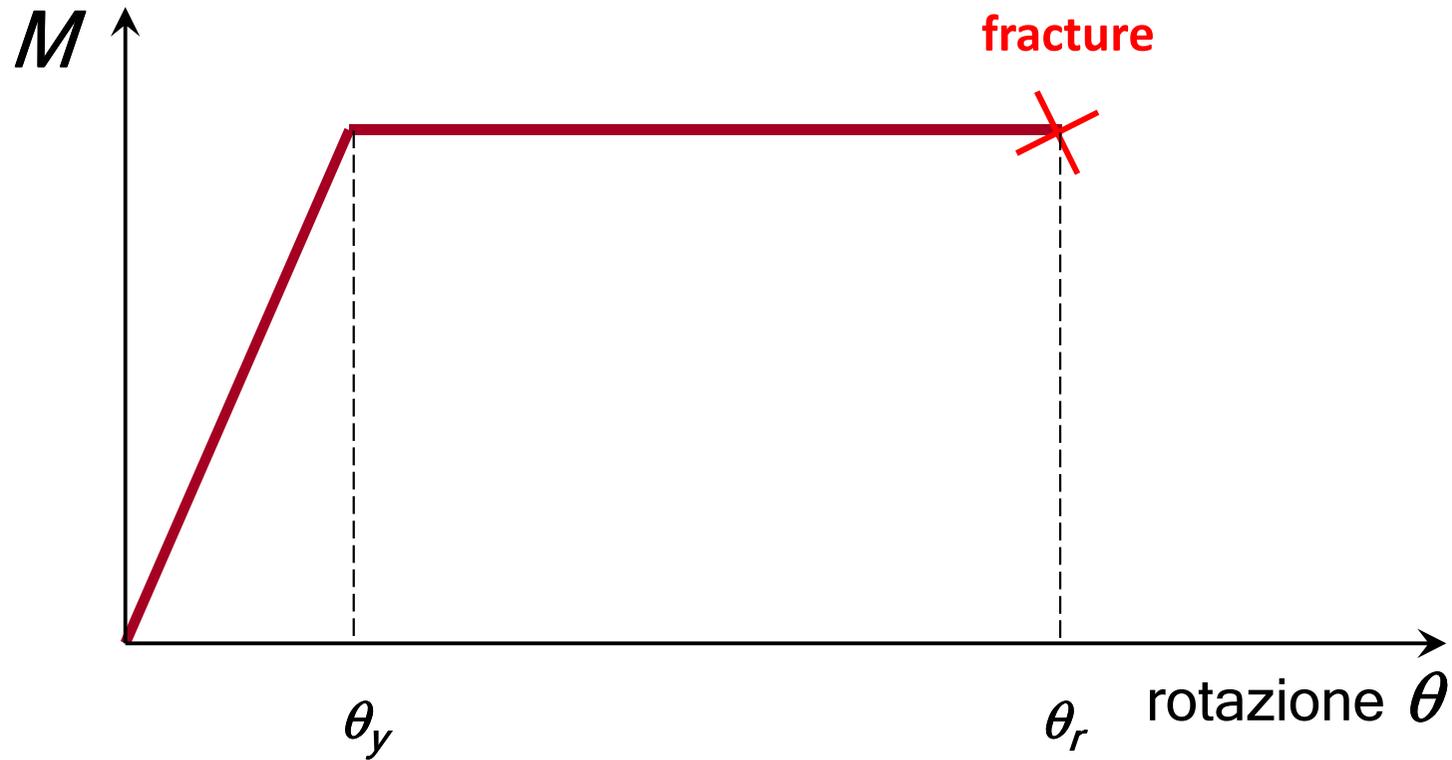
Posto tale termine $A_c z_c + A_t z_t = W_{pl}$ - **modulo di resistenza plastico** - si ricava in modo analogo al calcolo elastico:

$$W_{pl} = \frac{M_{sd}}{f_{yd}}$$

Se la sezione è simmetrica il baricentro elastico e quello plastico coincidono.

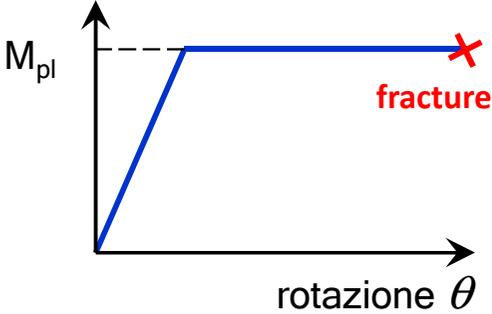
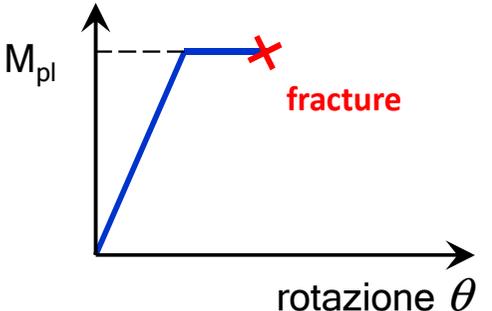
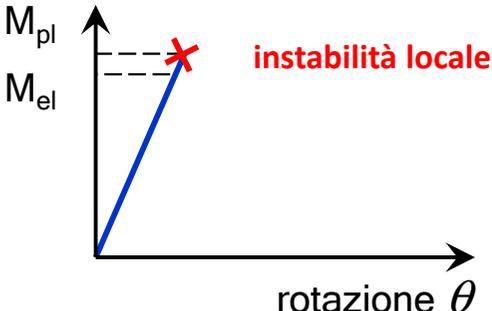
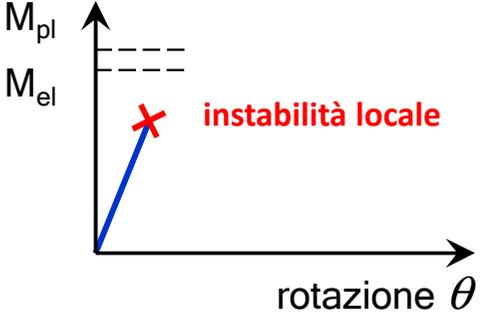
W_{pl} può allora essere calcolato raddoppiando il momento statico di una delle due parti rispetto all'asse baricentrico.

Diagramma M , rotazione θ , sezioni acciaio

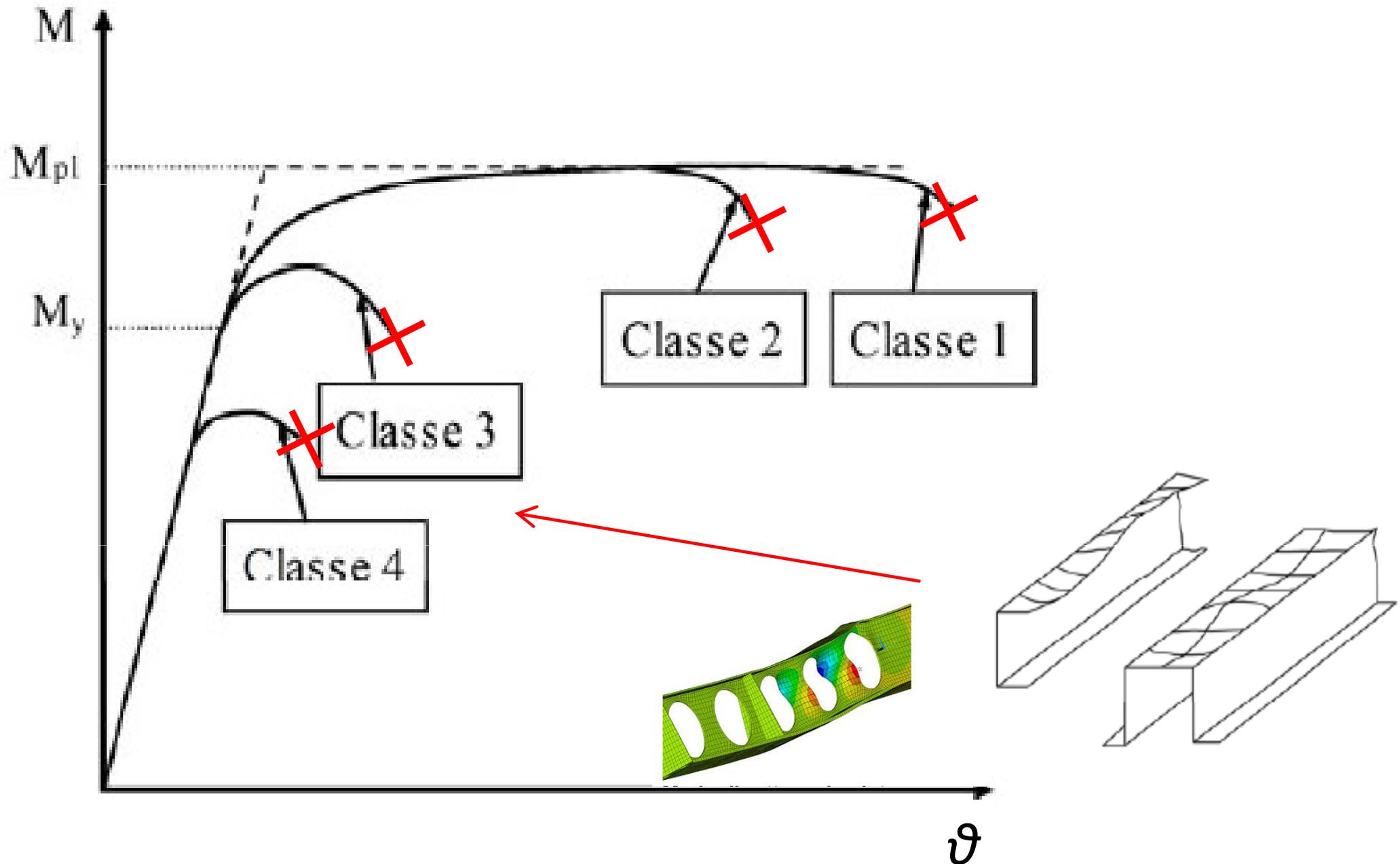


capacità rotazionale della sezione

$$C_{\theta} = \frac{\theta_r}{\theta_y} - 1 = \frac{\theta_r - \theta_y}{\theta_y} = \frac{\varepsilon_r - \varepsilon_y}{\varepsilon_y}$$

CLASSE SEZIONE	TIPO DI SEZIONE	DESCRIZIONE
1		<p>La sezione è in grado di sviluppare una cerniera plastica con la massima capacità rotazionale. $C_\theta \geq 3,00$.</p>
2		<p>La sezione è in grado di sviluppare il momento resistente plastico ma con capacità rotazionale limitata. $C_\theta \geq 1,50$.</p>
3		<p>Le tensioni nelle fibre estreme, <u>compresse</u>, possono raggiungere la tensione di snervamento ma l'instabilità locale impedisce lo sviluppo del momento resistente plastico.</p>
4		<p>Per determinare la resistenza flettente, tagliante o normale è necessario tenere conto degli effetti dell'instabilità locale in fase elastica nelle parti <u>compresse</u> della sezione.</p>

Classi di duttilità di sezioni in acciaio



La classe di duttilità si determina in base a rapporti dimensionali limite per le parti di sezione soggette a compressione e flessione secondo **EN 1993-1-1**. (tabb. 1, 2, 3) – profilari.

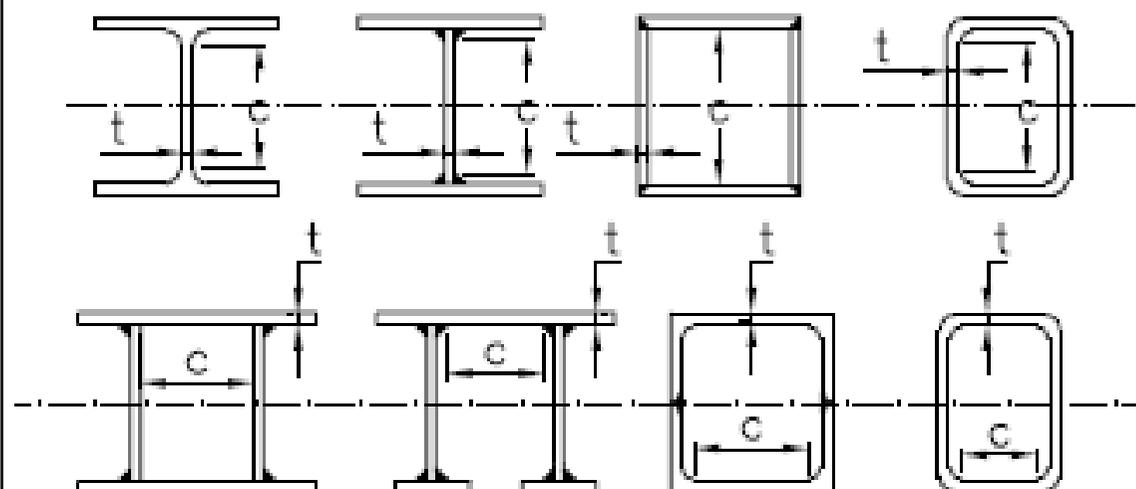
Un elemento che non soddisfa i limiti per la classe 3 è, automaticamente, di classe 4.

Per la classificazione delle sezioni a caldo si adotta il valore:

$$\varepsilon = 0,85 \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

f_y	S235	S275	S355	S460
ε	0,85	0,79	0,69	0,61
ε^2	0,72	0,62	0,48	0,37

tab. 1

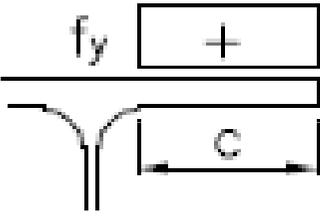


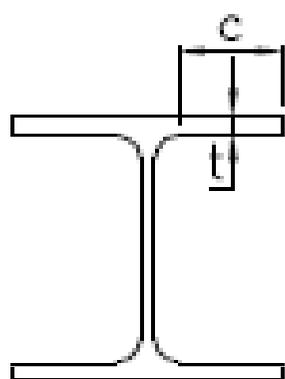
Asse di flessione

Asse di flessione

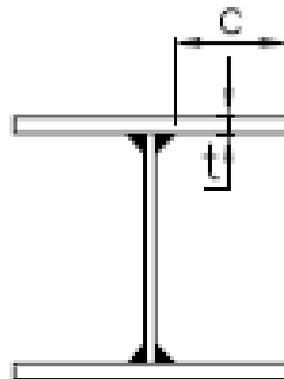
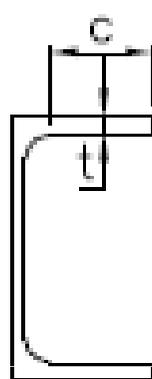
Classe	Parti soggette a flessione	Parti soggette a compressione
Distribuzione delle tensioni (positivo se di compressione)		
1	$c/t \leq 72 \epsilon$	$c/t \leq 33 \epsilon$
2	$c/t \leq 83 \epsilon$	$c/t \leq 38 \epsilon$
Distribuzione delle tensioni (positivo se di compressione)		
3	$c/t \leq 124 \epsilon$	$c/t \leq 42 \epsilon$

tab. 2

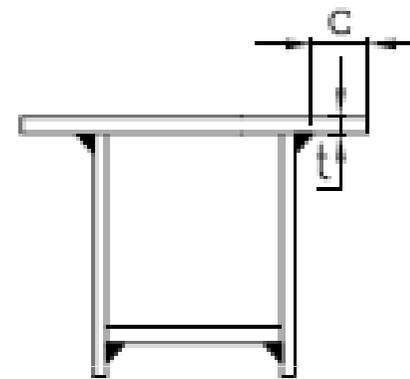
Classe	Parti soggette a compressione
Distribuzione delle tensioni (positivo se di compressione)	
1	$c/t \leq 9 \epsilon$
2	$c/t \leq 10 \epsilon$
3	$c/t \leq 14 \epsilon$

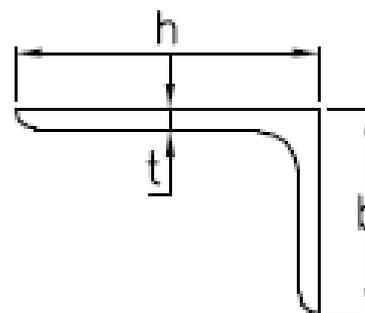


Sezioni laminate

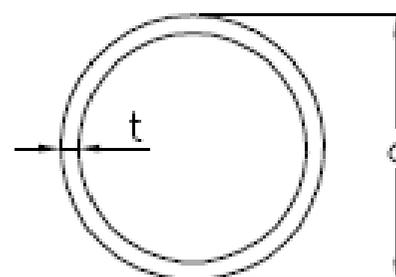


Sezioni saldate





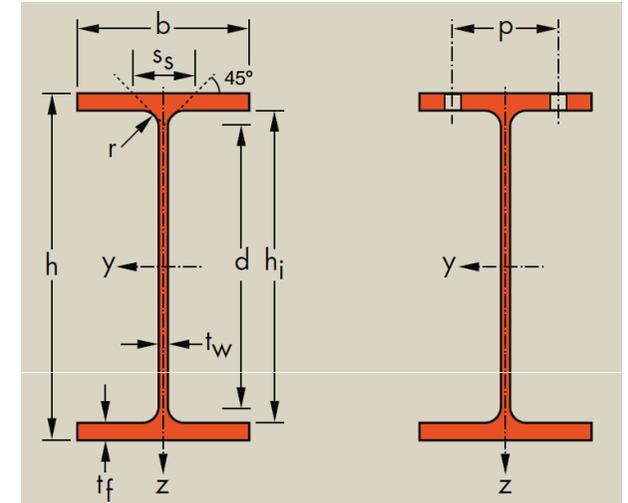
Classe	Parti soggette a compressione
Distribuzione delle tensioni (positivo se di compressione)	<p>The diagram shows the L-section with a '+' sign in a box on the top flange and another '+' sign in a box on the inner side of the web, indicating the regions under compression.</p>
3	$h/t \leq 15 \epsilon$; $(b+h)/(2t) \leq 11,5 \epsilon$



Classe	Sezione in flessione e compressione
1	$d/t \leq 50 \epsilon^2$
2	$d/t \leq 70 \epsilon^2$
3	$d/t \leq 90 \epsilon^2$
Nota: per $d/t > 90 \epsilon^2$ vedi EN 1993-1-6	

Estratto di profilario, classi di duttilità di sezioni in acciaio

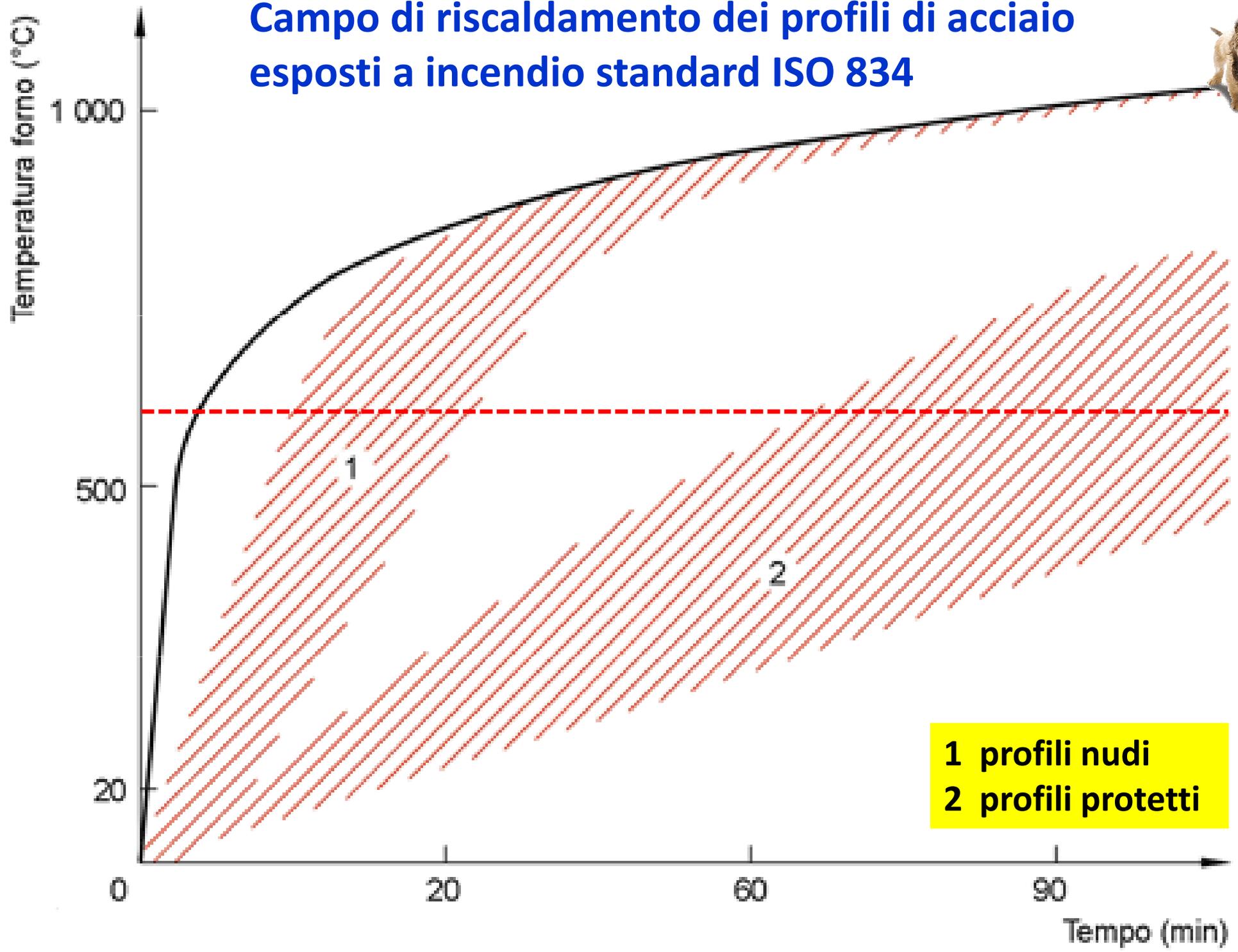
ArcelorMittal Europe - Long Products

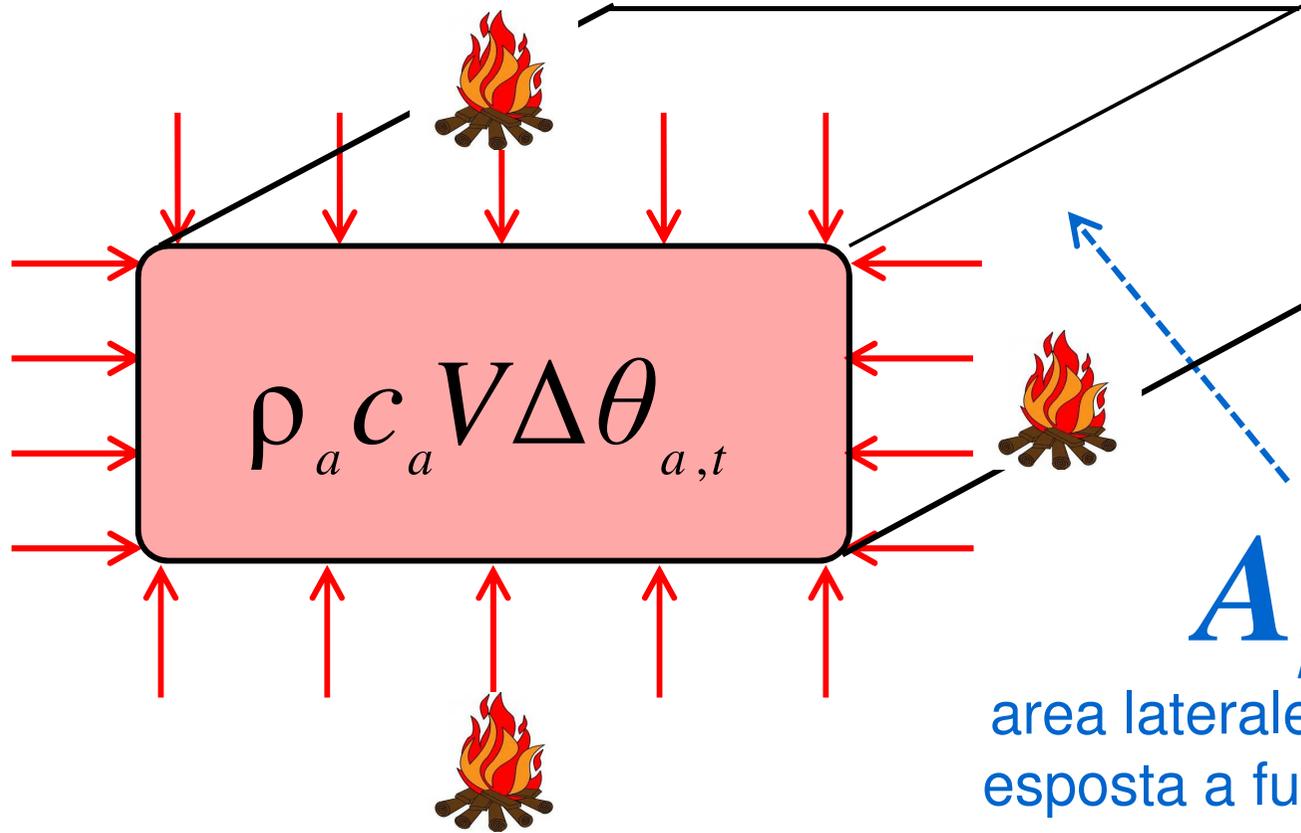


Denominación Designation Designazione	Propiedades del perfil / Section properties / Proprietà geometriche del profilo												Classification EN 1993-1-1: 2005					
	eje fuerte y-y strong axis y-y asse forte y-y					eje débil z-z weak axis z-z asse debole z-z					Pure bending y-y			Pure compression				
	G	I_y	$W_{el,y}$	$W_{ply}\blacklozenge$	i_y	A_z	I_z	$W_{el,z}$	$W_{pl,z}\blacklozenge$	i_z	s_s	I_t	I_w	S235	S355	S460	S235	S355
kg/m	mm ⁴ x10 ⁴	mm ³ x10 ³	mm ³ x10 ³	mm x10	mm ² x10 ²	mm ⁴ x10 ⁴	mm ³ x10 ³	mm ³ x10 ³	mm x10	mm	mm ⁴ x10 ⁴	mm ⁶ x10 ⁹						

IPE AA 240	24,9	3154	267	298	9,97	15,3	231	38,6	60,0	2,70	38,4	7,33	30,1	1	1	-	3	4	-
IPE A 240	26,2	3290	278	312	9,94	16,3	240	40,0	62,4	2,68	39,4	8,35	31,3	1	1	1	2	4	4
IPE 240	30,7	3892	324	367	9,97	19,1	284	47,3	73,9	2,69	43,4	12,9	37,4	1	1	1	1	2	4
IPE O 240	34,3	4369	361	410	10,0	21,4	329	53,9	84,4	2,74	46,2	17,2	43,7	1	1	1	1	2	3
IPE A 270	30,7	4917	368	413	11,2	18,8	358	53,0	82,3	3,02	40,5	10,3	59,5	1	1	1	3	4	4
IPE 270	36,1	5790	429	484	11,2	22,1	420	62,2	97,0	3,02	44,6	15,9	70,6	1	1	1	2	3	4
IPE O 270	42,3	6947	507	575	11,4	25,2	514	75,5	118	3,09	49,5	24,9	87,6	1	1	1	1	2	3

Campo di riscaldamento dei profili di acciaio esposti a incendio standard ISO 834



\dot{h}_{net} 

$$\rho_a c_a V d\theta_{a,t} = A_m \dot{h}_{net} k_{sh} dt$$

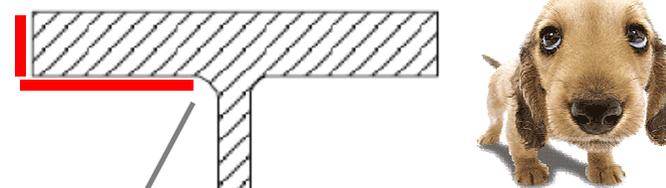
$$\Delta\theta_{a,t} = k_{sh} \frac{A_m}{V} \frac{1}{\rho_a c_a} \dot{h}_{net} \Delta t$$

- ρ_a massa volumica acciaio, **7.850,00 kg/m³** - p.to 3.2.2 EN 1993-1-2;
- c_a calore specifico acciaio, **J/kg °C**, funzione della temperatura θ_a dell'acciaio - p.to 3.2.2 EN 1993-1-2;
- V volume dell'elemento per unità di lunghezza, **m³/m**;
- $\Delta\theta_{a,t}$ incremento di temperatura dell'acciaio al tempo t, **°C**;
- A_m area laterale del profilo investita dai gas caldi per unità di lunghezza, **m²/m**;
- A_m/V fattore di sezione, **m⁻¹**; per profili a sez. costante è il rapporto tra "perimetro bagnato" dal fuoco ed area_{cross} metallica;
- \dot{h}_{net} flusso netto di calore di progetto per unità di superficie investita dai gas caldi, **W/m²**;
- k_{sh} fattore di correzione (adimensionale) per "*shadow effect*"
- Δt intervallo di tempo, **s**.

si suppone che $\lambda_{steel} \rightarrow \infty$

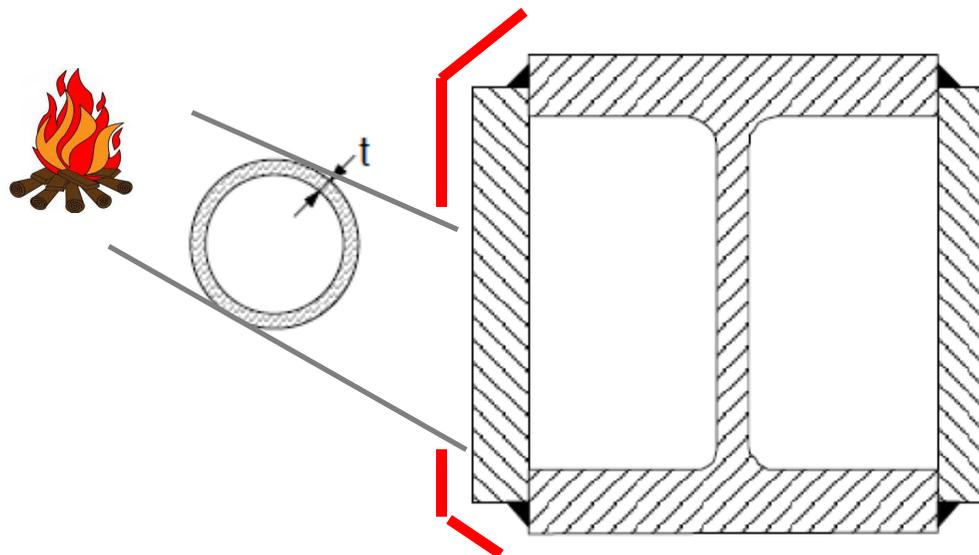
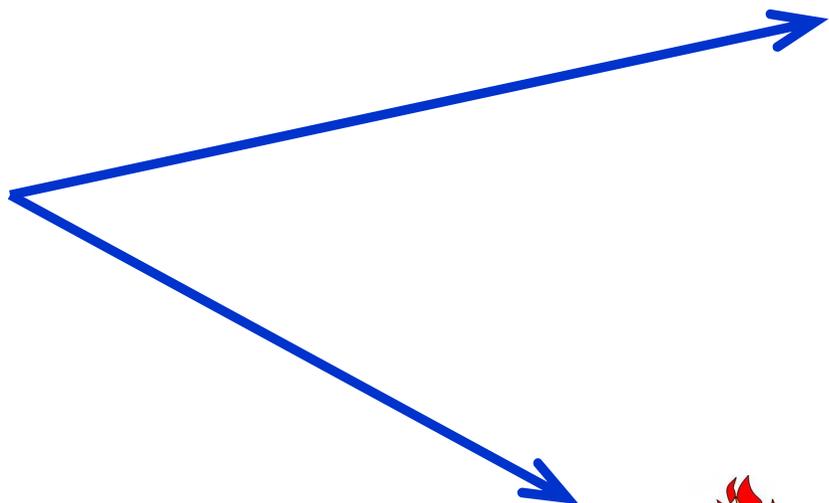


shadow effect



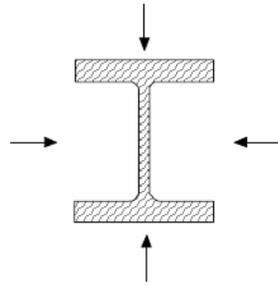
— esposizione a flusso termico radiativo

k_{sh}



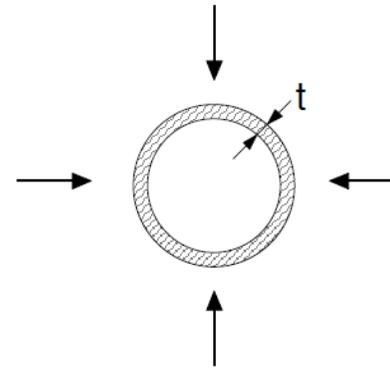
Open section exposed to fire on all sides:

$$\frac{A_m}{V} = \frac{\text{perimeter}}{\text{cross-section area}}$$



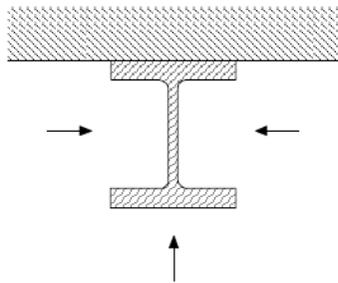
Tube exposed to fire on all sides:

$$A_m/V = 1/t$$



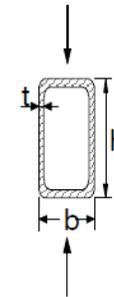
Open section exposed to fire on three sides:

$$\frac{A_m}{V} = \frac{\text{surface exposed to fire}}{\text{cross-section area}}$$



Hollow section (or welded box section of uniform thickness) exposed to fire on all sides:

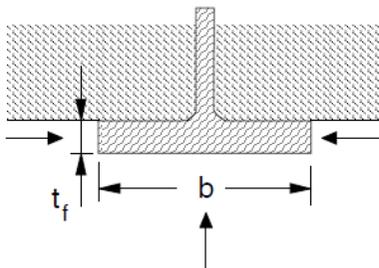
If $t \ll b$: $A_m/V \approx 1/t$



I-section flange exposed to fire on three sides:

$$A_m/V = (b + 2t_f)/(bt_f)$$

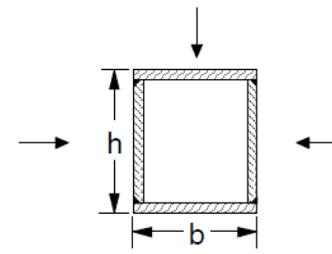
If $t \ll b$: $A_m/V \approx 1/t_f$



Welded box section exposed to fire on all sides:

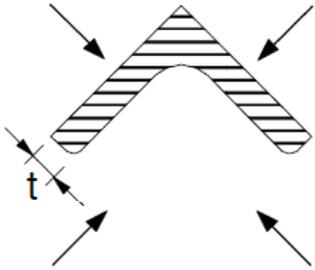
$$\frac{A_m}{V} = \frac{2(b + h)}{\text{cross-section area}}$$

If $t \ll b$: $A_m/V \approx 1/t$



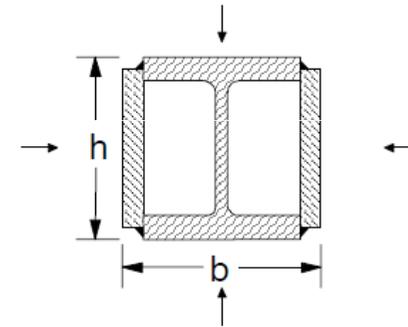
Angle exposed to fire on all sides:

$$A_m/V = 2/t$$



I-section with box reinforcement, exposed to fire on all sides:

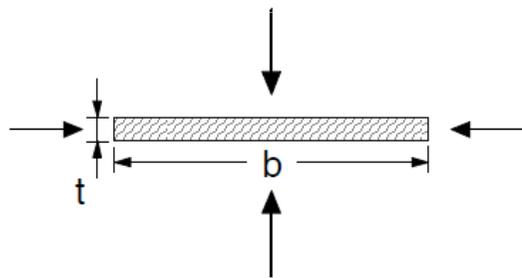
$$\frac{A_m}{V} = \frac{2(b+h)}{\text{cross-section area}}$$



Flat bar exposed to fire on all sides:

$$A_m/V = 2(b+t)/(bt)$$

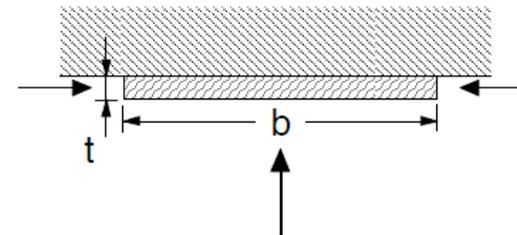
If $t \ll b$: $A_m/V \approx 2/t$

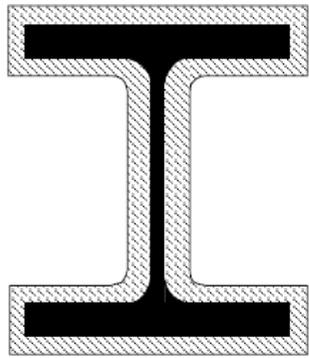


Flat bar exposed to fire on three sides:

$$A_m/V = (b+2t)/(bt)$$

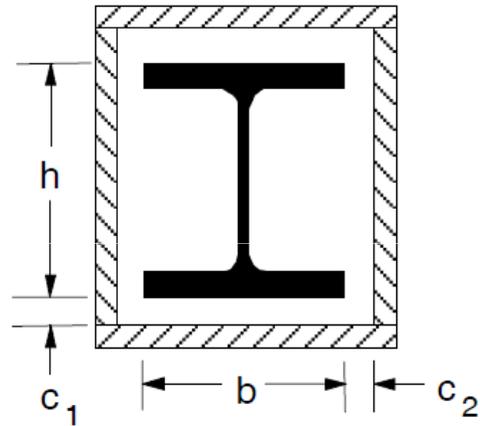
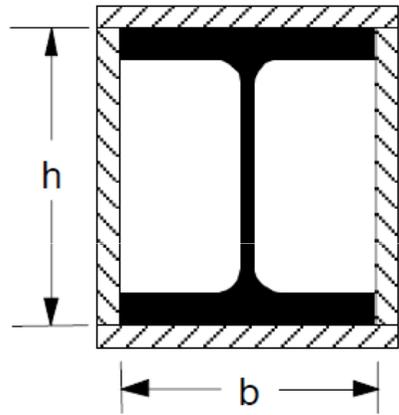
If $t \ll b$: $A_m/V \approx 1/t$





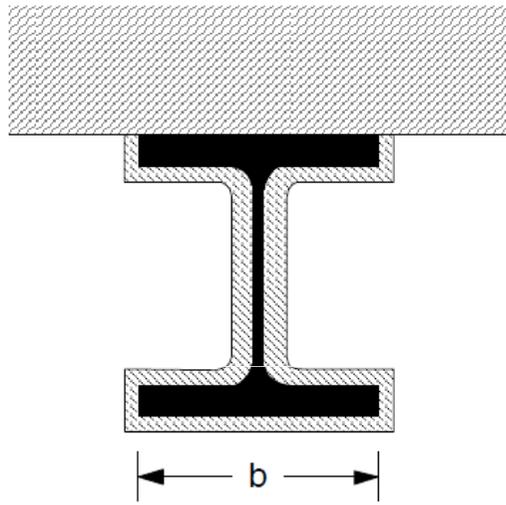
Contour encasement
of uniform thickness

$$\frac{\text{steel perimeter}}{\text{steel cross-section area}}$$



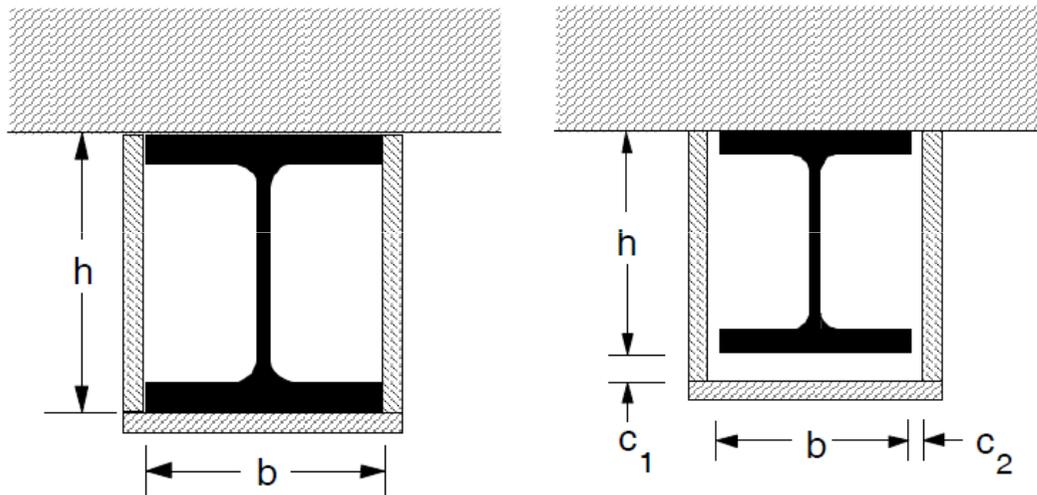
Hollow encasement
of uniform thickness)¹

$$\frac{2(b + h)}{\text{steel cross-section area}}$$



Contour encasement
of uniform thickness,
exposed to fire
on three sides

$$\frac{\text{steel perimeter} - b}{\text{steel cross-section area}}$$



Hollow encasement
of uniform thickness,
exposed to fire
on three sides)¹

$$\frac{2h + b}{\text{steel cross-section area}}$$

Estratto di profilario, fattore di sezione $A_{m,p}/V$ (m⁻¹)

Coefficienti del profilato A_m/V e A_p/V [m⁻¹]

Coefficienti utilizzati nella progettazione antincendio in conformità con EN 1993-1-2: 2005

IPE				
-----	---	---	---	---

IPE				
-----	---	---	---	---

HE				
----	---	---	---	---

IPE AA 80	442	515	320	393
IPE 80 A	437	509	317	389
IPE 80	369	429	270	330
IPE AA 100	398	463	292	357
IPE A 100	389	452	286	349
IPE 100	334	387	247	300
IPE AA 120	382	442	280	340
IPE A 120	370	428	271	329
IPE 120	311	360	230	279
IPE AA 140	369	426	270	327
IPE A 140	354	409	260	314
IPE 140	291	335	215	259
IPE AA 160	350	403	256	309
IPE A 160	332	382	245	295
IPE 160	269	310	200	241
IPE AA 180	316	364	233	281

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
IPE 750 x 134	131	147	103	119
IPE 750 x 147	120	134	94	109
IPE 750 x 173	102	114	81	93
IPE 750 x 196	91	102	72	83

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

$$\dot{h}_{net} = \dot{h}_{net,c} + \dot{h}_{net,r}$$

flusso termico netto totale (W/m²)

$$\dot{h}_{net,c} = \alpha_c (\theta_g - \theta_m)$$

flusso termico netto convettivo (W/m²)

α_c (W/m²K) =

- 4 lato non esposto;
- 9 lato non esposto includendo l'irraggiamento;
- 25 lato esposto ad incendio ISO 834 ed esterno;
- 50 lato esposto ad incendio idrocarburi;
- 35 incendio parametrico, modelli a zone.

flusso termico netto radiativo (W/m²)

$$\dot{q}_{\nu\epsilon\tau,\rho} = \Phi_{\mu} \epsilon_{\phi} \sigma [(\theta_{\rho} + 273)^4 - (\theta_{\mu} + 273)^4]$$

\mathcal{E}_f emissività fiamme = 1;

\mathcal{E}_m emissività materiale = 0,8 in genere; 0,7 acciaio al C; 0.4 stainless steel;

Φ fattore di configurazione (cfr. termine correttivo per *shadow effect*);

σ costante di *Stephan-Boltzmann* (5,67 E-8 W/m²K⁴).

Acciaio – nomogramma EC3

metodo analitico semplificato di valutazione della resistenza al fuoco di strutture in acciaio



- il nomogramma è valido come metodo semplificato di calcolo a caldo di singoli elementi di acciaio;
- la curva di esposizione a fuoco è la curva nominale standard ISO 834;
- la temperatura ha, in ogni istante, uniforme distribuzione sull'elemento strutturale;
- si trascurano gli effetti delle dilatazioni termiche;
- per le sezioni in **classe di duttilità 4** la temperatura critica è pari a 350°C

Acciaio – nomogramma EC3

metodo analitico semplificato di valutazione della resistenza al fuoco di strutture in acciaio



- ❑ il metodo è applicabile solo a:
 - Elementi semplicemente tesi;
 - Elementi semplicemente compressi;
 - Elementi semplicemente inflessi.

- ❑ il metodo non è applicabile a:
 - elementi con sollecitazioni composte;
 - elementi inflessi soggetti a fenomeni di svergolamento.

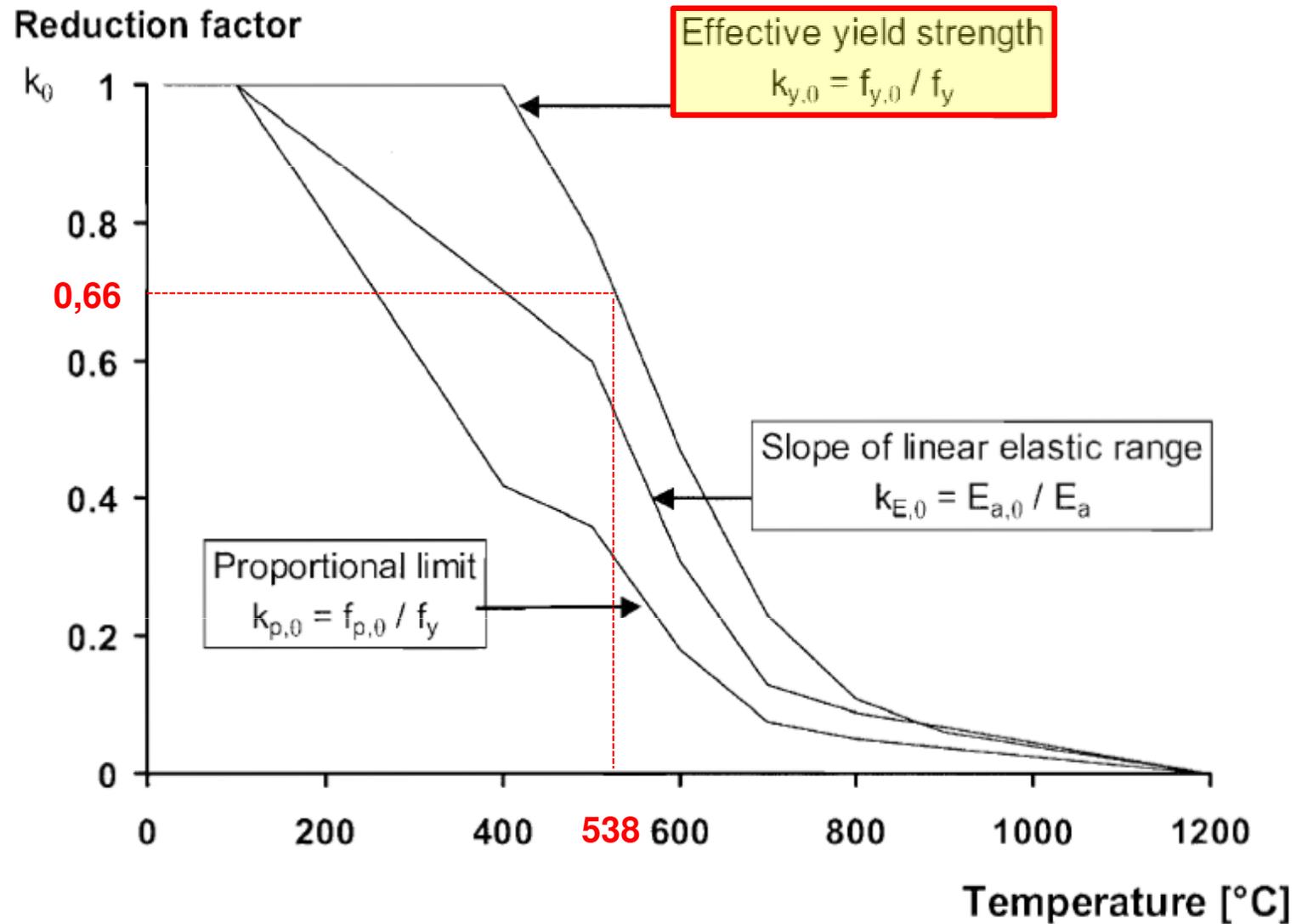


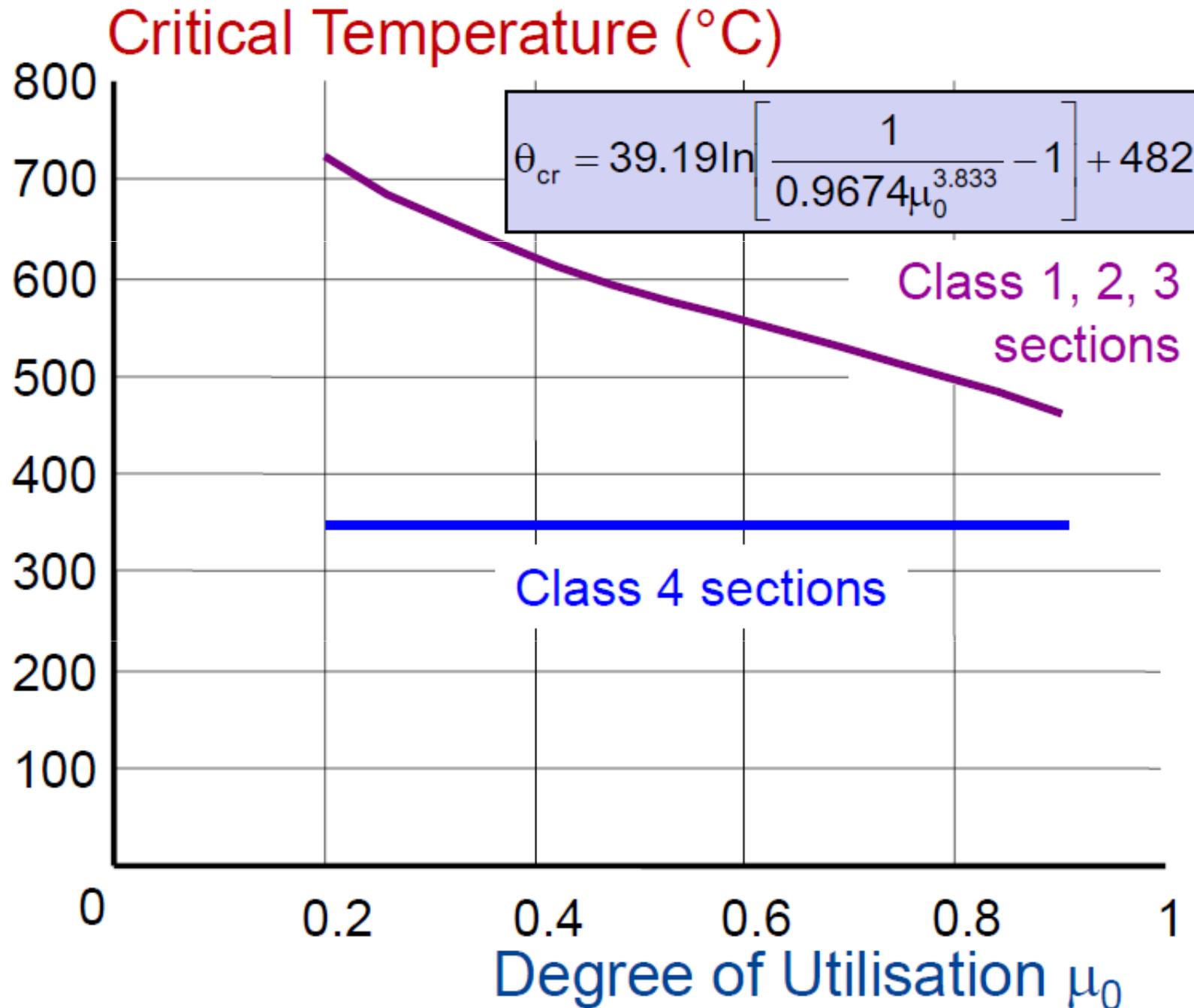
Figure 3.2: Reduction factors for the stress-strain relationship of carbon steel at elevated temperatures

Steel Temperature θ_a	Reduction factors at temperature θ_a relative to the value of f_y or E_a at 20°C		
	Reduction factor (relative to f_y) for effective yield strength $k_{y,\theta} = f_{y,\theta}/f_y$	Reduction factor (relative to f_y) for proportional limit $k_{p,\theta} = f_{p,\theta}/f_y$	Reduction factor (relative to E_a) for the slope of the linear elastic range $k_{E,\theta} = E_{a,\theta}/E_a$
20°C	1,000	1,000	1,000
100°C	1,000	1,000	1,000
200°C	1,000	0,807	0,900
300°C	1,000	0,613	0,800
400°C	1,000	0,420	0,700
500°C	0,780	0,360	0,600
600°C	0,470	0,180	0,310
700°C	0,230	0,075	0,130
800°C	0,110	0,050	0,090
900°C	0,060	0,0375	0,0675
1000°C	0,040	0,0250	0,0450
1100°C	0,020	0,0125	0,0225
1200°C	0,000	0,0000	0,0000

per $k_{y,\theta} = 0,66$
 $\theta_a = 538,70^\circ\text{C}$

NOTE: For intermediate values of the steel temperature, linear interpolation may be used.

Determinazione semplificata della temperatura critica



Determinazione semplificata della temperatura critica

Table 4.1: Critical temperature $\theta_{a,cr}$ for values of the utilisation factor μ_0

μ_0	$\theta_{a,cr}$	μ_0	$\theta_{a,cr}$	μ_0	$\theta_{a,cr}$
0,22	711	0,42	612	0,62	549
0,24	698	0,44	605	0,64	543
0,26	685	0,46	598	0,66	537
0,28	674	0,48	591	0,68	531
0,30	664	0,50	585	0,70	526
0,32	654	0,52	578	0,72	520
0,34	645	0,54	572	0,74	514
0,36	636	0,56	566	0,76	508
0,38	628	0,58	560	0,78	502
0,40	620	0,60	554	0,80	496

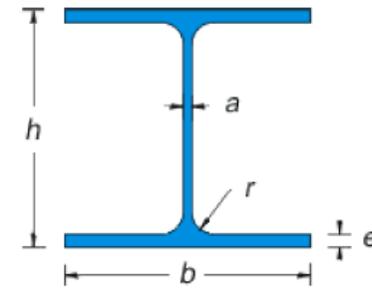
VALGONO LE CONSIDERAZIONI GENERALI GIA' FATTE PER LE SEZIONI IN C.A.:

1. Gli effetti dei carichi, vengono ridotti secondo la:

$$\eta_{fi} = \frac{E_{d,fi}}{E_d} = \frac{\gamma_{GA} G_k + \psi_{2,1} Q_{k1}}{\gamma_G G_k + \gamma_{Q,1} Q_{k1}} = \max 0,7$$

2. Il coefficienti γ_s assume, in caso di incendio, il valore 1 al tempo $t=0$;

La struttura, a partire dall'istante $t=0$ dal flash-over, è quindi “sovradimensionata”.



STRUTTURE IN ACCIAIO

	SLU	INCENDIO
<i>coefficiente</i>		
γ_s	1,05	1,00
γ_G	1,30	1,00
ψ	$\psi_{0,j}$	$\psi_{2,j}$

□ Complessivamente, quindi, la struttura viene impiegata a caldo per un fattore di utilizzazione:

$$\mu_0 = \frac{E_{fi,d}}{R_{fi,d,t=0}}$$



Se si ricorre a η_{fi} , è $E_{fi,d} = \eta_{fi} E_d$ e si ottiene:

$$\mu_0 = \frac{E_{fi,d}}{R_{fi,d,t=0}} = \frac{\eta_{fi} E_d}{\gamma_s R_d}$$

□ Se $R_d > E_d$ la struttura è sovradimensionata a freddo: μ_o tende a diminuire; più la struttura è sovradimensionata a freddo e più risponde correttamente a caldo.

□ Se $R_d < E_d$ la struttura è mal dimensionata a freddo; a caldo potrebbe anche rispondere correttamente; bisogna approfondire lo studio.

□ Nel caso in cui sia $E_d = R_d$, la struttura è strettamente dimensionata per E_d , si ottiene il massimo valore di μ_o per entrare nel nomogramma.

$$\mu_o = \frac{\eta_{fi}}{\gamma_s} = \frac{0,70}{1,05} = 0,66$$

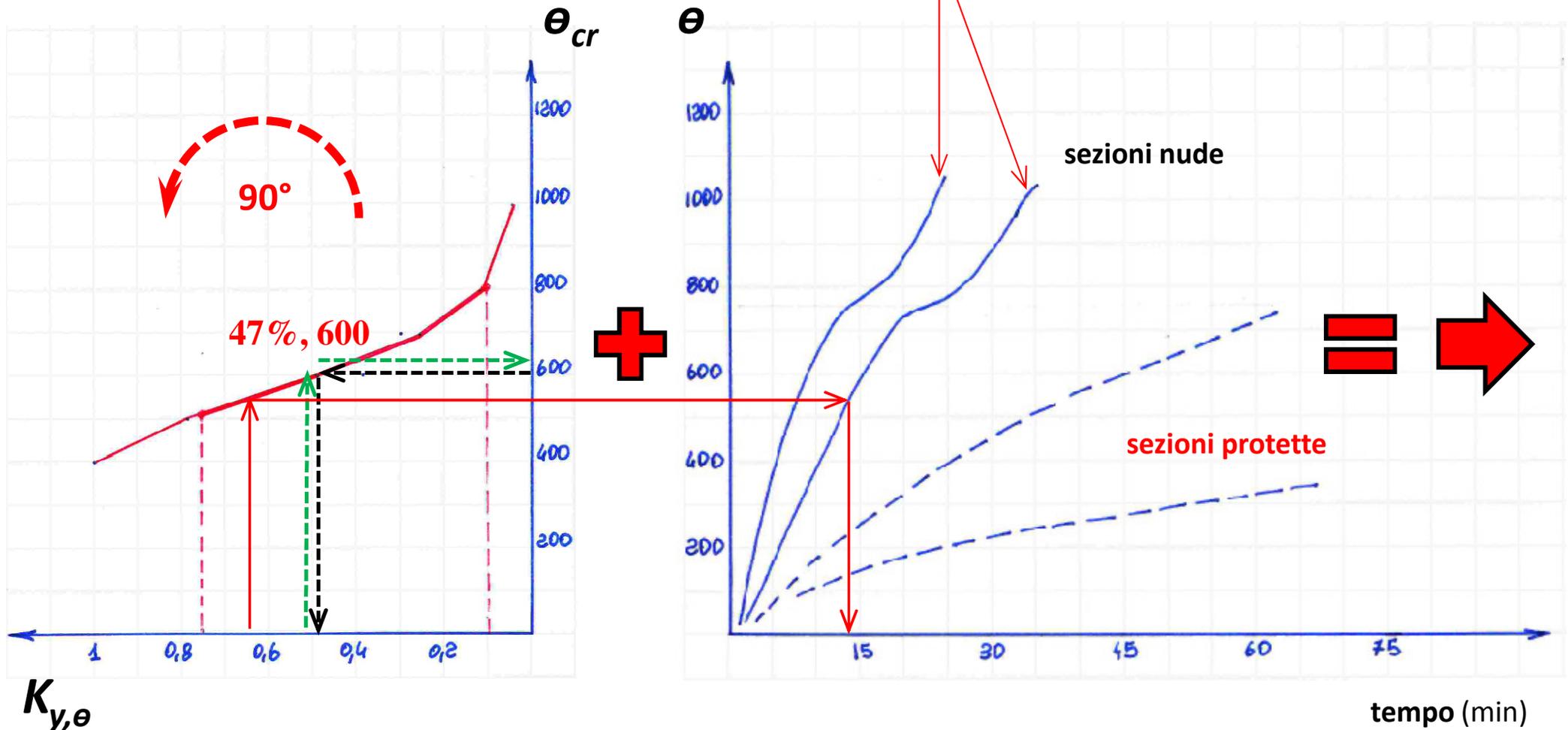
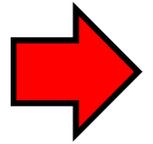
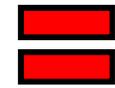
Acciaio – nomogramma EC3

metodo analitico semplificato di valutazione della resistenza al fuoco di strutture in acciaio

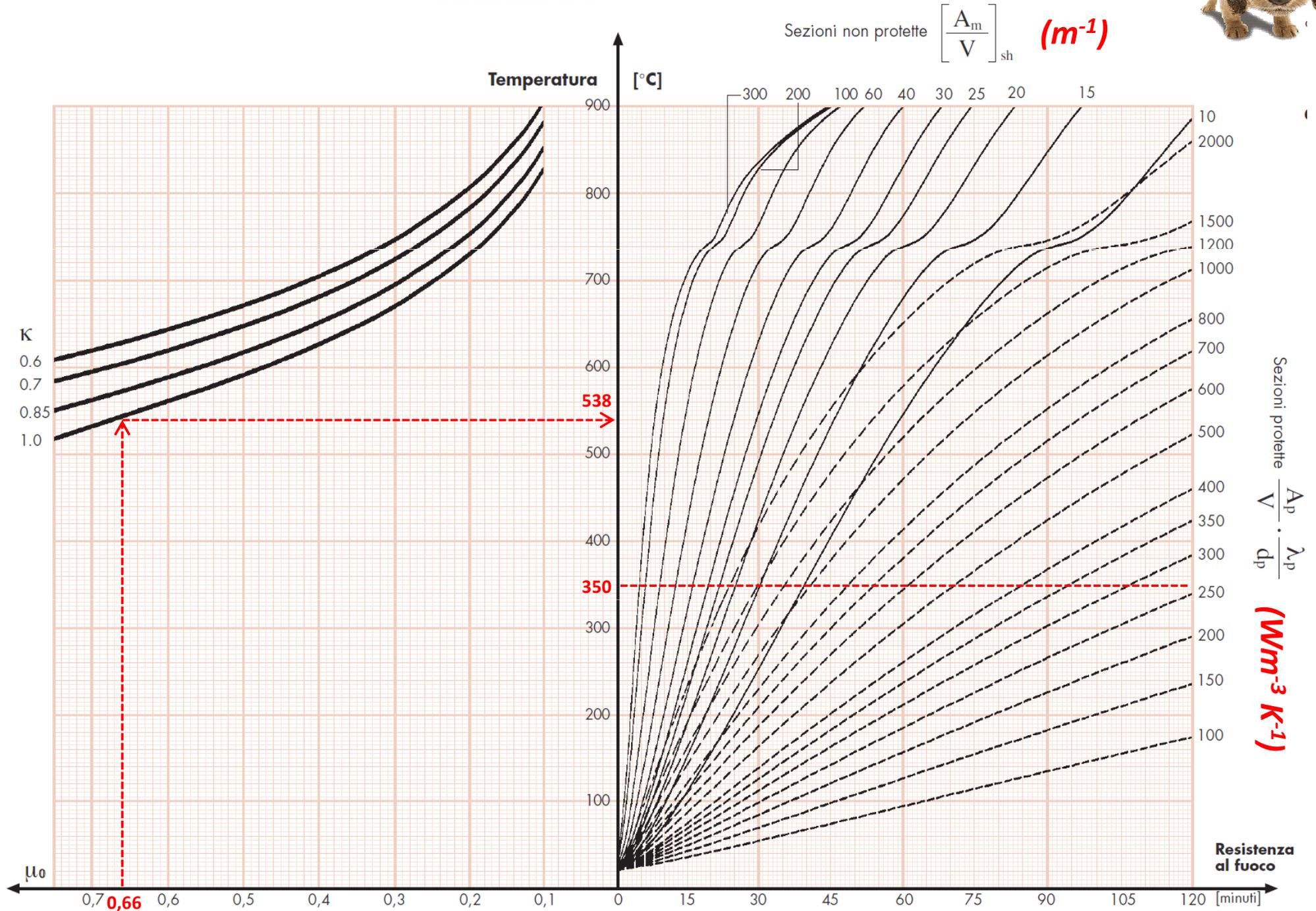
$$f_{y,\theta} = k_{y,\theta} f_y$$



$$\Delta\theta_{a,t} = k_{sh} \frac{A_m}{V} \frac{1}{\rho_a c_a} \dot{h}_{net} \Delta t$$

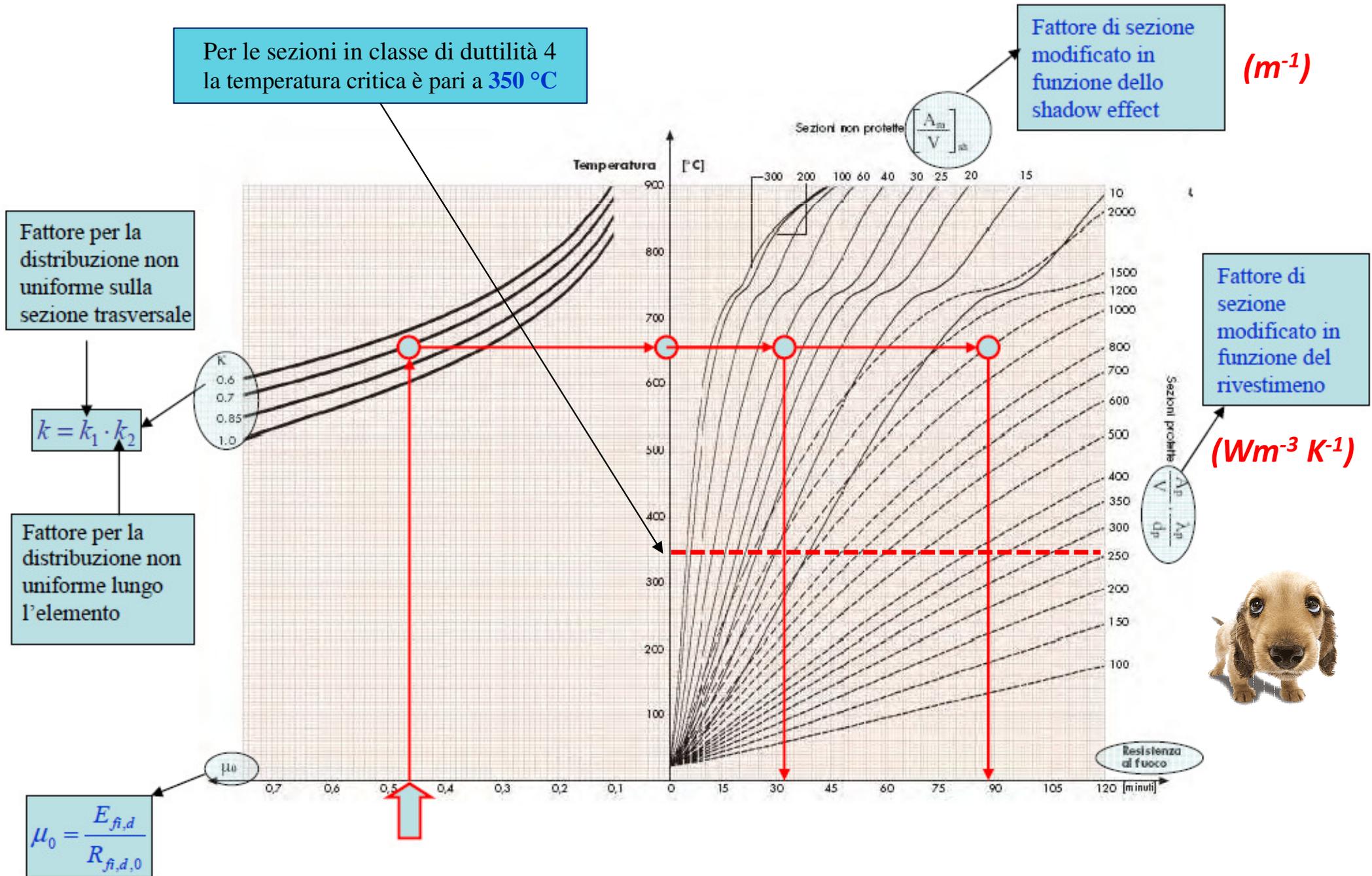


Nomogramma EC3



Acciaio – nomogramma EC3

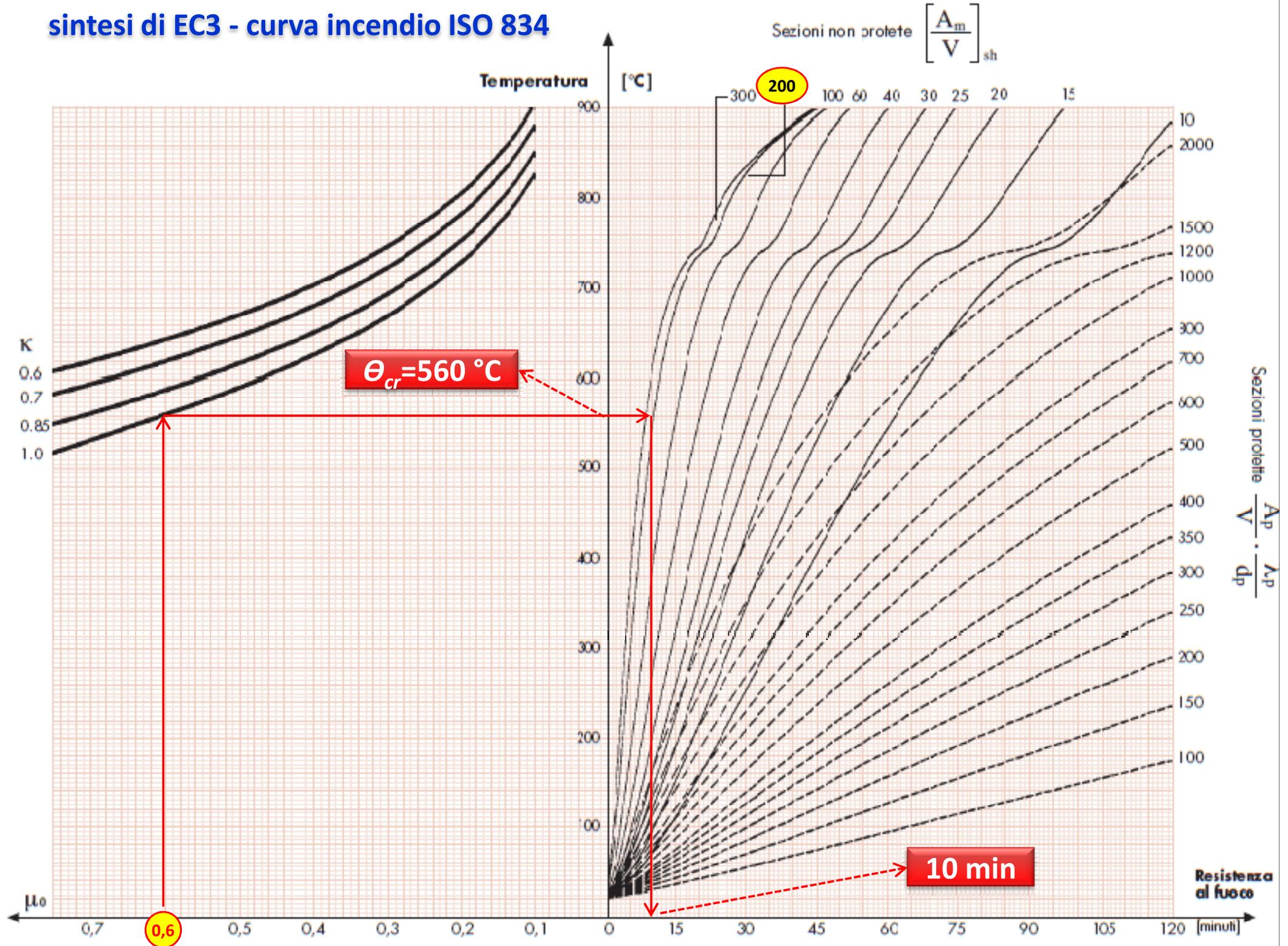
metodo analitico semplificato di valutazione della resistenza al fuoco di strutture in acciaio





- ❑ Attività logistica esistente, **70 2 C**, superficie 45.000 m² suddivisa in 4 compartimenti classificati **120**;
- ❑ Pareti compartimentanti **(R)EI 120**, struttura di copertura in carpenteria metallica, tubi di acciaio spessore $t_{\max} = 5 \text{ mm} \rightarrow \text{S.F.} \approx 1/t = 1/5\text{E-}3 = \underline{\underline{200 \text{ m}^{-1}}}$;

sintesi di EC3 - curva incendio ISO 834



Procedimento di calcolo per elementi compressi in acciaio - determinazione della temperatura critica.

La resistenza all'instabilità di progetto $N_{b,fi,Rd}$ di elementi di classe 1, 2 o 3 con temperatura uniforme θ , può essere definita come segue:

$$N_{b,fi,Rd} = \chi_{fi} \cdot A \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y = f'_{y,\theta,\bar{\lambda}} \cdot A \quad [3.2]$$

dove

A area della sezione

$f'_{y,\theta,\bar{\lambda}} = \chi_{fi} \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y$ tensione critica di compressione alla temperatura θ e per snellezza adimensionale $\bar{\lambda}$.

Procedimento di calcolo per elementi compressi in acciaio

- Determinazione della snellezza adimensionale dell'elemento:

$$\bar{\lambda}_{(20^{\circ}\text{C})} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{l_{fi}}{i \cdot \lambda_1} \quad [3.3]$$

dove:

l_{fi} lunghezza di libera inflessione

i raggio di inerzia della sezione

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} \quad f_y \text{ [N/mm}^2\text{]} \quad [3.4]$$

Procedimento di calcolo per elementi compressi in acciaio

- Calcolo della tensione critica di compressione, per la quale la resistenza diventa uguale al carico applicato:

$$f'_{y,\theta,\bar{\lambda}} = \frac{N_{fi,Ed}}{A} \quad [3.5]$$

dove

$N_{fi,Ed}$ sollecitazione di progetto in caso di incendio

A area della sezione

- Determinazione della temperatura critica in accordo alla tabella Tab. 5 per S235, Tab. 6 per S275, Tab. 7 per S355 e Tab. 8 per S460.

Tab. 5 - determinazione della temperatura critica per S 235

Temperatura critica θ_a - S235

	400°C	500°C	600°C	700°C	800°C	900°C
$\bar{\lambda}_{(20^\circ\text{C})}$	$f'_{y,\theta,\bar{\lambda}} \text{ [N/mm}^2\text{]}$					
0,0	235	183	110	54	26	14
0,1	218	171	102	50	24	13
0,2	202	159	94	46	22	13
0,3	187	147	87	42	21	12
0,4	171	136	80	38	19	11
0,5	156	124	72	34	18	10
0,6	140	113	65	30	16	10
0,7	126	102	58	26	15	9
0,8	112	91	51	23	13	8
0,9	99	81	45	20	12	7
1,0	88	73	40	18	11	7
1,1	78	65	35	16	9	6
1,2	70	58	31	14	8	6
1,3	62	52	28	12	8	5
1,4	56	47	25	11	7	5
1,5	50	42	22	10	6	4
1,6	45	38	20	9	6	4
1,7	41	35	18	8	5	4
1,8	37	31	17	7	5	3
1,9	34	29	15	7	4	3
2,0	31	26	14	6	4	3

Tab. 6 - determinazione della temperatura critica per S 275Temperatura critica θ^a - S275

	400°C	500°C	600°C	700°C	800°C	900°C
$\bar{\lambda}_{(20^\circ\text{C})}$	$f'_{y,\theta,\bar{\lambda}} \cdot [\text{N/mm}^2]$					
0,0	275	215	129	63	30	17
0,1	256	201	120	58	28	16
0,2	239	188	112	54	27	15
0,3	222	175	103	50	25	14
0,4	204	162	95	45	23	13
0,5	187	149	86	41	21	12
0,6	169	135	78	36	19	11
0,7	151	122	69	32	18	11
0,8	135	110	62	28	16	10
0,9	120	98	54	24	14	9
1,0	106	87	48	21	13	8
1,1	94	78	42	19	11	7
1,2	83	69	38	16	10	7
1,3	74	62	33	15	9	6
1,4	67	56	30	13	8	6
1,5	60	50	27	12	7	5
1,6	54	45	24	10	7	5
1,7	49	41	22	9	6	4
1,8	45	38	20	9	6	4
1,9	41	34	18	8	5	4
2,0	37	32	17	7	5	3

Tab. 7 - determinazione della temperatura critica per S 355Temperatura critica θ_a - S355

	400°C	500°C	600°C	700°C	800°C	900°C
$\bar{\lambda}_{(20^\circ\text{C})}$	$f'_{y,\theta,\bar{\lambda}} \cdot [\text{N/mm}^2]$					
0,0	355	277	167	82	39	21
0,1	334	261	157	76	37	20
0,2	313	246	147	71	35	19
0,3	293	231	137	66	33	18
0,4	272	215	126	60	31	17
0,5	250	199	116	54	28	16
0,6	227	182	105	49	26	15
0,7	204	165	94	43	24	14
0,8	182	148	83	38	21	13
0,9	161	132	73	33	19	12
1,0	143	118	65	29	17	11
1,1	126	105	57	25	15	10
1,2	112	93	51	22	14	9
1,3	100	83	45	19	12	8
1,4	89	75	40	17	11	8
1,5	80	67	36	15	10	7
1,6	72	61	32	14	9	6
1,7	65	55	29	13	8	6
1,8	59	50	26	11	7	5
1,9	54	46	24	10	7	5
2,0	49	42	22	9	6	4

Tab. 8 - determinazione della temperatura critica per S 460Temperatura critica θ_a - S460

	400°C	500°C	600°C	700°C	800°C	900°C
$\bar{\lambda}_{(20^\circ\text{C})}$	$f_{y,\theta,\bar{\lambda}}^2 \cdot [\text{N/mm}^2]$					
0,0	460	359	216	106	51	28
0,1	435	341	204	100	48	26
0,2	412	323	193	93	46	25
0,3	388	305	181	87	43	24
0,4	362	286	169	80	41	23
0,5	335	266	155	73	38	22
0,6	305	245	141	66	35	21
0,7	276	222	127	58	32	19
0,8	246	200	112	51	29	18
0,9	218	179	99	44	26	16
1,0	193	159	87	39	23	15
1,1	170	142	77	34	21	14
1,2	151	126	68	30	19	12
1,3	134	112	60	26	17	11
1,4	119	100	54	23	15	10
1,5	107	90	48	21	13	9
1,6	96	81	43	18	12	8
1,7	87	73	39	17	11	8
1,8	79	67	35	15	10	7
1,9	72	61	32	14	9	6
2,0	66	56	29	12	8	6

Determinazione della temperatura critica per elementi compressi – tripla interpolazione lineare.

acciaio

S235

elemento ritto HEB 200

θ_{cr} (°C)

500,00	542,54	600,00
--------	--------	--------

$f'_{y,\theta,\bar{\lambda}}$ (N/mm²)



$\bar{\lambda}$

0,5000	124,00	72,00
0,5740	115,86	66,82
0,6000	113,00	65,00

1
2

3

valori tabellari da EC3

	400°C	500°C	600°C
$\bar{\lambda}$ (20°C)			$f'_{y,\theta,\bar{\lambda}}$
0,0	235	183	110
0,1	218	171	102
0,2	202	159	94
0,3	187	147	87
0,4	171	136	80
0,5	156	124	72
0,6	140	113	65

Let. circ. Min. Int. Dip. VV.F. prot. n 0001681 del 11.02.2014

Legenda:

Simbolo	Descrizione
T	Metodo tabellare di cui al DM 16/2/2007 ed alla circolare prot.1968 del15/2/2008 per i muri portanti
S	Metodo sperimentale di cui al DM 16/2/2007 (allegato B)
A	Metodo analitico con gli Eurocodici
C	Modello CERT.REI
D	Modello DICH.PROD
DC	Dichiarazione di conformità dell'impianto di cui al DM 37/08
DI/CI	Modello DICH.IMP o CERT.IMP

Categoria del DM 16/2/2007		Prodotto / elemento costruttivo	Metodo di classificazione			Note
Generale	Id. Prodotto Elem. costrutt.		T	A	S	
A.1 Elementi portanti	A.1.1	Muri, Solai, travi, colonne	C	C	C	-
	A.1.1	Tetti, balconi, scale, passerelle	-	C	C	
A.2 Elementi portanti e compartim.ti	A.2.1	Muri	C	C	C	
	A.2.2	Solai	C	C	C	
	A.2.2	Tetti	-	C	C	
A.3 Protettivi	A.3.1	Controsoffitti privi di intrinseca resistenza al fuoco	-	D	-	
	A.3.2	Rivestimenti, pannelli, intonaci, vernici e schermi protettivi dal fuoco	-	D	-	

Categoria del DM 16/2/2007		Prodotto / elemento costruttivo	Metodo di classificazione			Note
Generale	Id. Prodotto Elem. costrutt.		T	A	S	
A.4 Elementi non portanti	A.4.1	Pareti divisorie (comprese quelle che presentano parti non isolate)	C	C	C	-
	A.4.2	Controsoffitti dotati di intrinseca resistenza al fuoco	-	-	C	-
	A.4.3	Facciate (curtain walls) e muri esterni (che includono parti vetrate)	-	C	C	-
	A.4.4	Pavimenti sopraelevati	-	-	C	-
	A.4.5	Sistemi di sigillatura di fori passanti e di giunti lineari	-	-	D	-
	A.4.6	Porte e chiusure resistenti al fuoco (comprese quelle che includono parti vetrate e accessori), e rispettivi sistemi di chiusura	-	-	D	
	A.4.7	Porte a prova di fumo	-	-	D	
	A.4.8	Chiusure dei passaggi destinati ai nastri trasportatori e ai sistemi di trasporto su rotaia	-	-	D	
	A.4.9	Canalizzazioni di servizio e cavedi	-	-	D	
	A.4.10	Camini	-	-	D	
	A.4.11	Rivestimenti per pareti e soffitti	-	-	D	

A.5 Ventil.	A.5.1	Condotte di ventilazione	-	-	D	-
	A.5.2	Serrande tagliafuoco	-	-	D	
A.6 Installazioni tecniche	A.6.1	Cavi elettrici e in fibre ottiche e accessori; Condotte e sistemi di protezione dal fuoco per cavi elettrici	-	-	DC	Nota 1
	A.6.2	Cavi e sistemi di cavi elettrici o per la trasmissione di segnali di diametro ridotto (diametro inferiore a 20 mm e muniti di conduttori inferiori a 2,5 mm ²)	-	-	DC	

Categoria del DM 16/2/2007		Prodotto / elemento costruttivo	Metodo di classificazione			Note
Generale	Id. Prodotto Elem. costrutt.		T	A	S	
A.7 Sistemi di controllo dei fumi e del calore	A.7.1	Condotti di estrazione del fumo per comparto singolo	-	-	DI/CI	Nota 2
	A.7.2	Condotti di estrazione del fumo resistenti al fuoco per comparti multipli	-	-	DI/CI	
	A.7.3	Serrande per il controllo del fumo di un comparto singolo	-	-	DI/CI	
	A.7.4	Serrande per il controllo del fumo di comparti multipli	-	-	DI/CI	
	A.7.5	Barriere al fumo	-	-	DI/CI	
	A.7.6	Evacuatori motorizzati di fumo e calore (ventilatori), giunti di connessione	-	-	DI/CI	
	A.7.7	Evacuatori naturali di fumo e calore	-	-	DI/CI	

Biblioteca Tecnica Hoepli

ANDREW H. BUCHANAN

Progetto delle strutture resistenti al fuoco

Edizione italiana aggiornata agli Eurocodici
a cura di *Pietro Gambarova* e *Roberto Felicetti*



HOEPLI

**ANTINCENDIO
E SICUREZZA 1**



Corpo Nazionale Vigili del Fuoco



Luca Ponticelli - Mauro Caciolai

RESISTENZA AL FUOCO DELLE COSTRUZIONI

a cura di
Claudio De Angelis

UTET
Edizioni e pubblicazioni

Project DIF I SEK

Dissemination of Fire Safety Engineering Knowledge

- Part 1 Thermal & Mechanical Actions
- Part 2 Thermal Response
- Part 3 Mechanical Response of Structures in Fire
- Part 4 Software for Fire Design
- Part 5a Worked Examples
Fire Resistance of Steel Structures

Finanziato dalla CECA



**CRITERI DI
CRITERI DI
SECUREZZA
SECUREZZA
PER EDIFICI
PER EDIFICI
BASATI SUGLI
BASATI SUGLI
INCENDI NATURALI
INCENDI NATURALI**



E D I L I Z I A
Quaderni per la progettazione

Roberto Lenzi

Resistenza al fuoco delle strutture

Approccio ingegneristico e prestazionale in conformità
con gli Eurocodici, le norme UNI EN e le norme CNR



Biblioteca Tecnica Hoepli

EMIDIO NIGRO
GIUSEPPE CEFARELLI

SANDRO PUSTORINO
PAOLA PRINCI

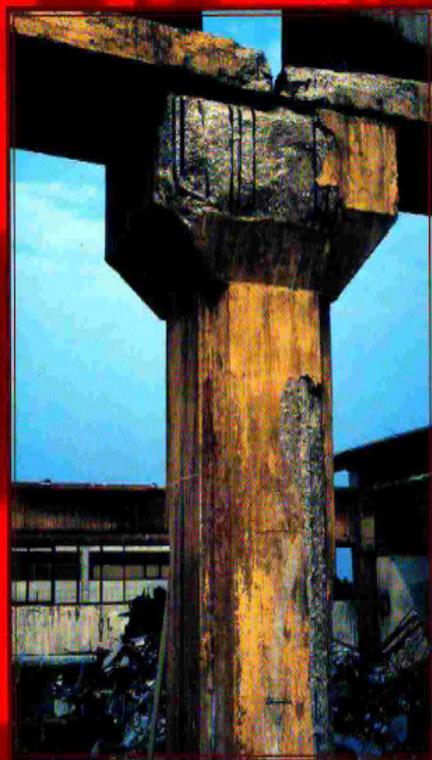
Progettazione di strutture in acciaio e composte acciaio-calcestruzzo in caso di incendio

secondo gli Eurocodici
e le Norme Tecniche per le costruzioni



P. CONTINI M. TALIANO

Progettare il cemento armato contro il fuoco



DESIGNERS'
GUIDES TO THE
EUROCODES

GUIDA AGLI EUROCODICI 1, 2, 3 e 4

RESISTENZA AL FUOCO
DELLE STRUTTURE:
EN 1991-1.2, EN 1992-1.2,
EN 1993-1.2 E EN 1994-1.2

T. LENNON, D.B. MOORE, Y.C. WANG e C.G. BAILEY

Traduzione di S. TEDESCHI, C. DE DOMENICO

Collana a cura di H. GULVANESSIAN

EPC
EDITORE

thomas telford

Mi scuso per avere abusato della Vostra pazienza...



DOTT. ING. BORTOLO BALDUZZI

4, MALJ TABAJANI
24121 BERGAMO

TEL. 035 399 752
FAX 035 399 588

e-mail: bbalduzzi@comune.bg.it