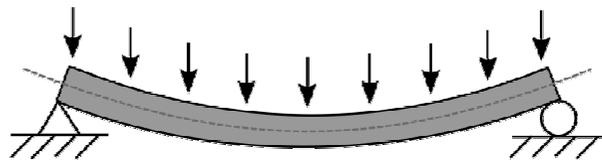
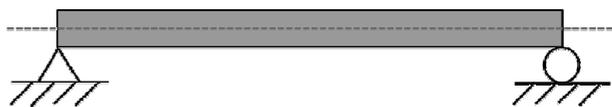


in collaborazione con



Consulta Regionale Ordini Ingegneri Lombardia

**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.**



**Due metodi di 1° livello per la
determinazione del requisito R
capacità portante a caldo –
strutture in C.A., C.A.P. e
acciaio.**

**Analisi e limiti di impiego dei metodi, D.M.
16.02.07, cap. S.2 D.M. 03.08.15, EC2-1-2,
e nomogramma secondo EC3-1-2.**

19-20 luglio 2016

bortolobalduzzi@alice.it

***.....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.

La Tabella S.2-9 del D.M. 3 agosto 2015



Simbolo	Prestazione	Descrizione
R	Capacità portante	Capacità di un elemento strutturale di portare i carichi presenti in <u>condizioni di incendio normalizzato</u> , per un certo periodo di tempo
E	Tenuta	Capacità di un elemento costruttivo o strutturale di impedire il passaggio di fumi e <u>gas caldi</u> per un certo periodo di tempo, in condizioni di incendio normalizzate
I	Isolamento	Capacità di un elemento costruttivo o strutturale di impedire il passaggio calore di un incendio normalizzato per un certo periodo di tempo. A seconda dei limiti più o meno severi al trasferimento di calore, il requisito si specializza in I_1 o I_2 . L'assenza di indicazione al pedice sottintende il requisito I_2 .
W	Irraggiamento	Capacità di un elemento costruttivo o strutturale di limitare, per un certo periodo di tempo, l'irraggiamento termico da parte della superficie non esposta in condizioni di incendio normalizzate.
M	Azione meccanica	Capacità di un elemento costruttivo o strutturale di resistere all'impatto da parte di altri elementi senza perdere i requisiti di resistenza al fuoco.
C	Dispositivo automatico di chiusura	Capacità di chiusura di un varco da parte di un elemento costruttivo in condizioni normalizzate di incendio e di sollecitazione meccanica.

SEGUE →

Simbolo	Prestazione	Descrizione
S	Tenuta di fumo	Capacità di un elemento di chiusura di limitare o ridurre il passaggio di <u>gas o fumi freddi</u> in condizioni di prova normalizzate. Il requisito si specializza in: <ul style="list-style-type: none"> • S_a: se la tenuta al passaggio dei gas o fumi è garantita a temperatura ambiente; • S_m (o S₂₀₀): se la tenuta al passaggio dei gas o fumi è garantita sia a temperatura ambiente che a 200°C.
P o PH	Continuità di corrente o capacità di segnalazione	Capacità di funzionamento di un cavo percorso da corrente o da segnale ottico in condizioni di incendio normalizzate
G	Resistenza all'incendio della fuliggine	Capacità di condotto di passaggio di fumi di resistere all'incendio di fuliggine in condizioni di incendio normalizzate, garantendo la tenuta al passaggio di gas caldi e l'isolamento termico.
K	Capacità di protezione al fuoco	Capacità di rivestimenti a parete o a soffitto di proteggere i materiali o gli elementi costruttivi o strutturali su cui sono installati dalla carbonizzazione, dall'accensione o da altro tipo di danneggiamento, per un certo periodo di tempo in condizioni di incendio normalizzate.
D	Durata della stabilità a temperatura costante	Capacità delle barriere al fumo di conservare i requisiti di resistenza al fuoco in condizioni di incendio normalizzate.
DH	Durata della stabilità lungo la curva standard tempo-temperatura	
F	Funzionalità degli evacuatori motorizzati di fumo e calore	Capacità degli evacuatori di fumo motorizzati (F) o naturali (B) di conservare i requisiti di funzionamento in condizioni di incendio normalizzate.
B	Funzionalità degli evacuatori naturali di fumo e calore	

La Tabella S.2-1 del D.M. 3 agosto 2015

Livello di prestazione	Descrizione
I	Assenza di conseguenze esterne per collasso strutturale
II	Mantenimento dei requisiti di resistenza al fuoco per un periodo sufficiente all'evacuazione degli occupanti in luogo sicuro all'esterno della costruzione.
III	Mantenimento dei requisiti di resistenza al fuoco per un periodo congruo con <u>la durata dell'incendio</u> .
IV	Requisiti di resistenza al fuoco tali da garantire, dopo la fine dell'incendio, un limitato danneggiamento della costruzione.
V	Requisiti di resistenza al fuoco tali da garantire, dopo la fine dell'incendio, il mantenimento della totale funzionalità della costruzione stessa.

Tabella S.2-1: Livelli di prestazione per la resistenza al fuoco

... la gestione dell'emergenza.
Decr. Min. Int. 9 marzo 2007

La Tabella S.2-2 del D.M. 3 agosto 2015

Livello di prestazione	Criteri di attribuzione
I	<p>Opere da Costruzione, comprensive di eventuali manufatti di servizio adiacenti nonché dei relativi impianti tecnologici di servizio, dove sono verificate <i>tutte</i> le seguenti condizioni:</p> <ul style="list-style-type: none"> • compartimentate rispetto ad altre opere da costruzione eventualmente adiacenti e strutturalmente separate da esse e tali che l'eventuale cedimento strutturale non arrechi danni ad altre opere da costruzione; • adibite ad attività afferenti ad un solo <i>responsabile dell'attività</i> e con i seguenti profili di rischio: <ul style="list-style-type: none"> ○ R_{beni} pari a 1; ○ $R_{ambiente}$ non significativo; • non adibite ad attività che comportino presenza di occupanti, ad esclusione di quella occasionale e di breve durata di personale addetto.
II	<p>Opere da Costruzione o porzioni di opere da costruzione, comprensive di eventuali manufatti di servizio adiacenti nonché dei relativi impianti tecnologici di servizio, dove sono verificate <i>tutte</i> le seguenti condizioni:</p> <ul style="list-style-type: none"> • compartimentate rispetto ad altre opere da costruzione eventualmente adiacenti; • strutturalmente separate da altre opere da costruzione o comunque tali che l'eventuale cedimento strutturale della porzione non arrechi danni alle medesime; • adibite ad attività afferenti ad un solo <i>responsabile dell'attività</i> e con i seguenti profili di rischio: <ul style="list-style-type: none"> ○ R_{vita} compresi in A1, A2, A3, A4; ○ R_{beni} pari a 1; ○ $R_{ambiente}$ non significativo; • densità di affollamento non superiore a 0,2 persone/m²; • non prevalentemente destinate ad occupanti con disabilità; • aventi piani situati a quota compresa tra -5 m e 12 m.
III	Opere da costruzione non ricomprese negli altri criteri di attribuzione.
IV, V	Su specifica richiesta del committente, previsti da capitolati tecnici di progetto, richiesti dalla autorità competente per costruzioni destinate ad attività di particolare importanza.

Soluzioni conformi - Tabella S.2-3 del D.M. 3 agosto 2015

curve nominali di incendio par. S.2.7

S.2.4.3

Soluzioni conformi per il livello di prestazione III

1. Devono essere verificate le prestazioni di resistenza al fuoco delle costruzioni in base agli incendi convenzionali di progetto come previsto al paragrafo S.2.5.
2. La *classe minima di resistenza al fuoco* è ricavata per compartimento in relazione al carico di incendio specifico di progetto $q_{f,d}$ come indicato in tabella S.2-3.

Carico di incendio specifico di progetto	Classe minima di resistenza al fuoco
$q_{f,d} \leq 200 \text{ MJ/m}^2$	Nessun requisito
$q_{f,d} \leq 300 \text{ MJ/m}^2$	15
$q_{f,d} \leq 450 \text{ MJ/m}^2$	30
$q_{f,d} \leq 600 \text{ MJ/m}^2$	45
$q_{f,d} \leq 900 \text{ MJ/m}^2$	60
$q_{f,d} \leq 1200 \text{ MJ/m}^2$	90
$q_{f,d} \leq 1800 \text{ MJ/m}^2$	120
$q_{f,d} \leq 2400 \text{ MJ/m}^2$	180
$q_{f,d} > 2400 \text{ MJ/m}^2$	240

S.2.7

Curve nominali d'incendio

1. Ai fini della definizione delle soluzioni conformi di resistenza al fuoco, le classi di resistenza al fuoco sono di norma riferite all'incendio convenzionale rappresentato dalla curva nominale standard seguente:

$$\theta_g = 20 + 345 \log_{10}(8 \cdot t + 1) \quad \text{S.2-1}$$

dove:

θ_g temperatura media dei gas di combustione [°C]

t tempo [minuti]

2. Nel caso di incendi di quantità rilevanti di idrocarburi o altre sostanze con equivalente velocità di rilascio termico, ed esclusivamente per la determinazione della capacità portante delle strutture, la curva di incendio nominale standard deve essere sostituita con la curva nominale degli idrocarburi seguente:

$$\theta_g = 1080 (1 - 0,325 \cdot e^{-0,167t} - 0,675 \cdot e^{-2,5t}) + 20 \quad \text{S.2-2}$$

dove:

θ_g temperatura media dei gas di combustione [°C]

t tempo [minuti]

3. Nel caso di incendi sviluppatisi all'interno del compartimento, ma che coinvolgono strutture poste all'esterno, per queste ultime la curva di incendio nominale standard può essere sostituita con la curva nominale esterna seguente:

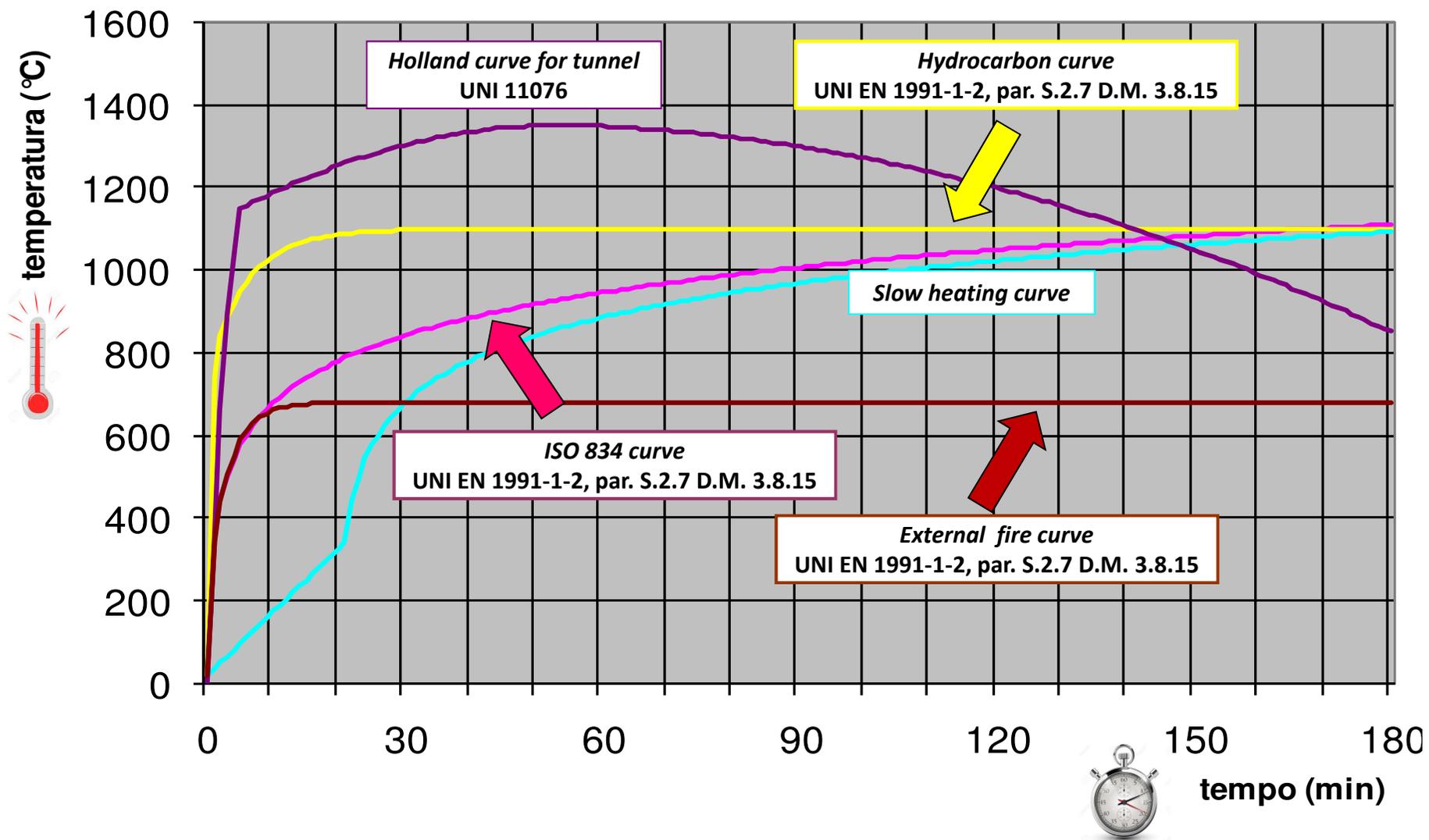
$$\theta_g = 660 (1 - 0,687 \cdot e^{-0,32t} - 0,313 \cdot e^{-3,8t}) + 20 \quad \text{S.2-3}$$

dove:

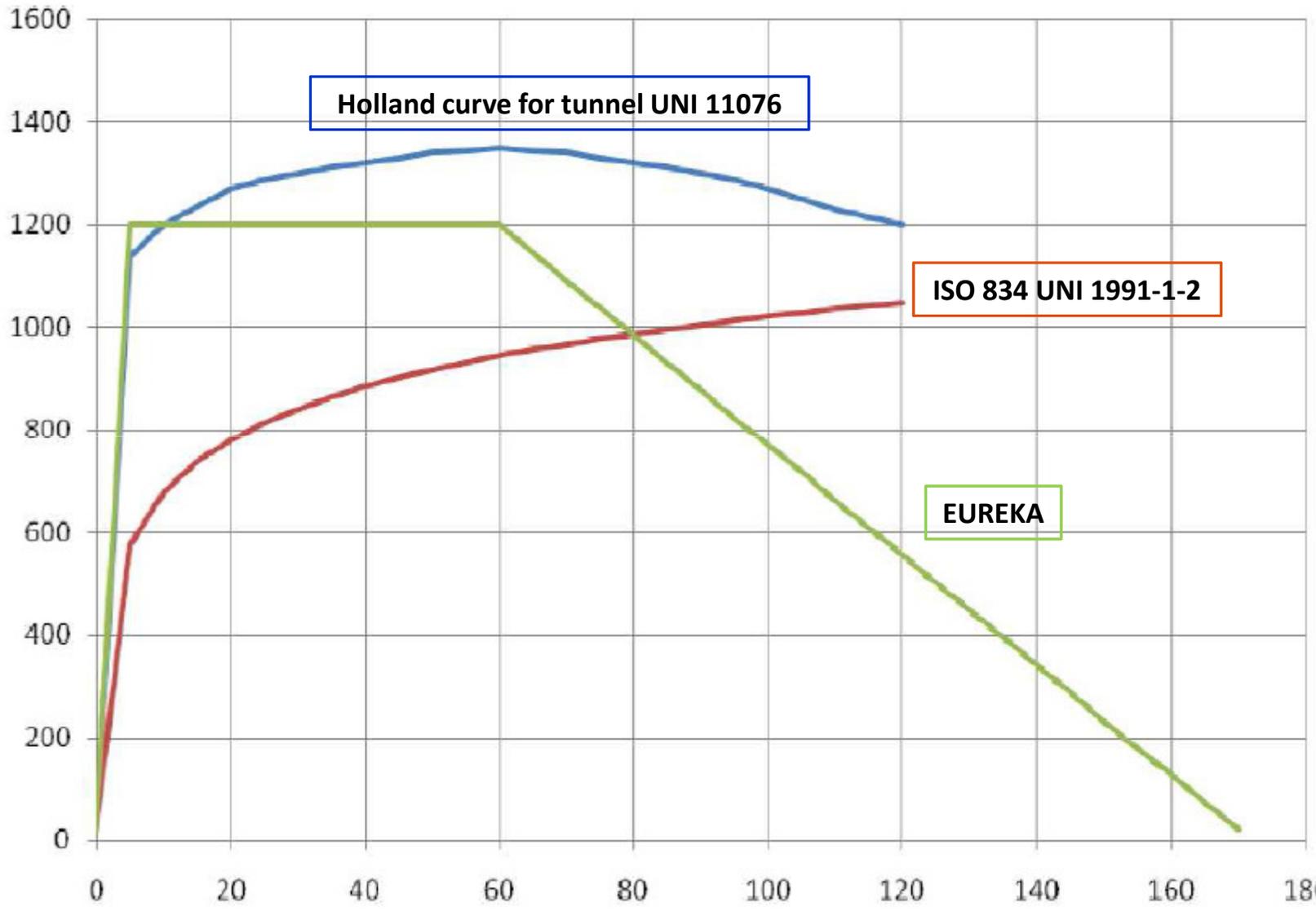
θ_g temperatura media dei gas di combustione [°C]

t tempo [minuti]

CURVE NOMINALI T-t (post Flashover) Temperatura - tempo
In evidenza, indicate dalle frecce, le curve nominali previste dal D. M. 09.03.2007, dal D. M. 14.01.2008, da UNI EN 1991-1-2 (EC 1) e dal D.M. 3.08.2015.



CURVE T-t per la verifica a caldo di gallerie ferroviarie – la curva UNI 11076 (RWS) corrisponde all'incendio in galleria di 45 m³ di petrolio.



Holland curve for tunnel UNI 11076

ISO 834 UNI 1991-1-2

EUREKA

UNI 11076 DM9/03/07 EUREKA

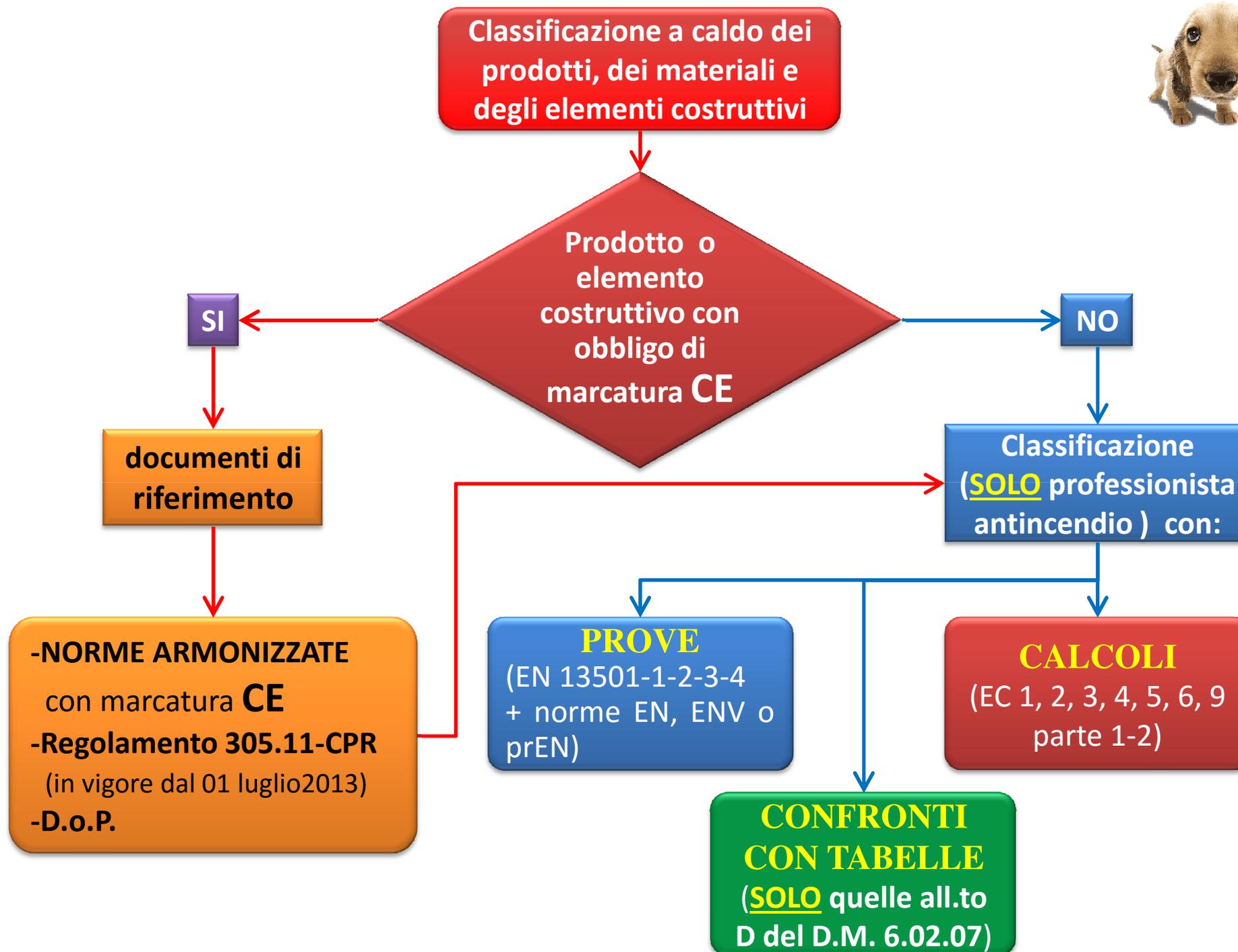


Soluzioni alternative per il livello di prestazione III

1. Sono ammesse *soluzioni alternative*.
2. Le soluzioni alternative per il livello di prestazione III si ottengono verificando le prestazioni di resistenza al fuoco delle costruzioni in base agli scenari di incendio di progetto ed ai relativi incendi convenzionali di progetto rappresentati da curve naturali di incendio secondo il paragrafo S.2.6.
3. Per la verifica della *capacità di compartimentazione* all'interno dell'attività non si forniscono soluzioni alternative.
4. Al fine di dimostrare il raggiungimento del collegato *livello di prestazione* il progettista deve impiegare uno dei metodi di cui al paragrafo G.2.6.

Verifica delle prestazioni di resistenza al fuoco con curve naturali di incendio

1. L'andamento delle temperature negli elementi è valutato in riferimento a una curva naturale d'incendio, tenendo conto della durata dello scenario di incendio indicata nel capitolo M.2.
2. Il processo di individuazione degli scenari di incendio di progetto deve essere conforme a quanto indicato nel capitolo M.2.
3. Le curve naturali di incendio possono essere determinate mediante:
 - a. modelli di incendio sperimentali,
 - b. modelli di incendio numerici semplificati dell'Eurocodice UNI EN 1991-1-2,
 - c. modelli di incendio numerici avanzati.



«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.

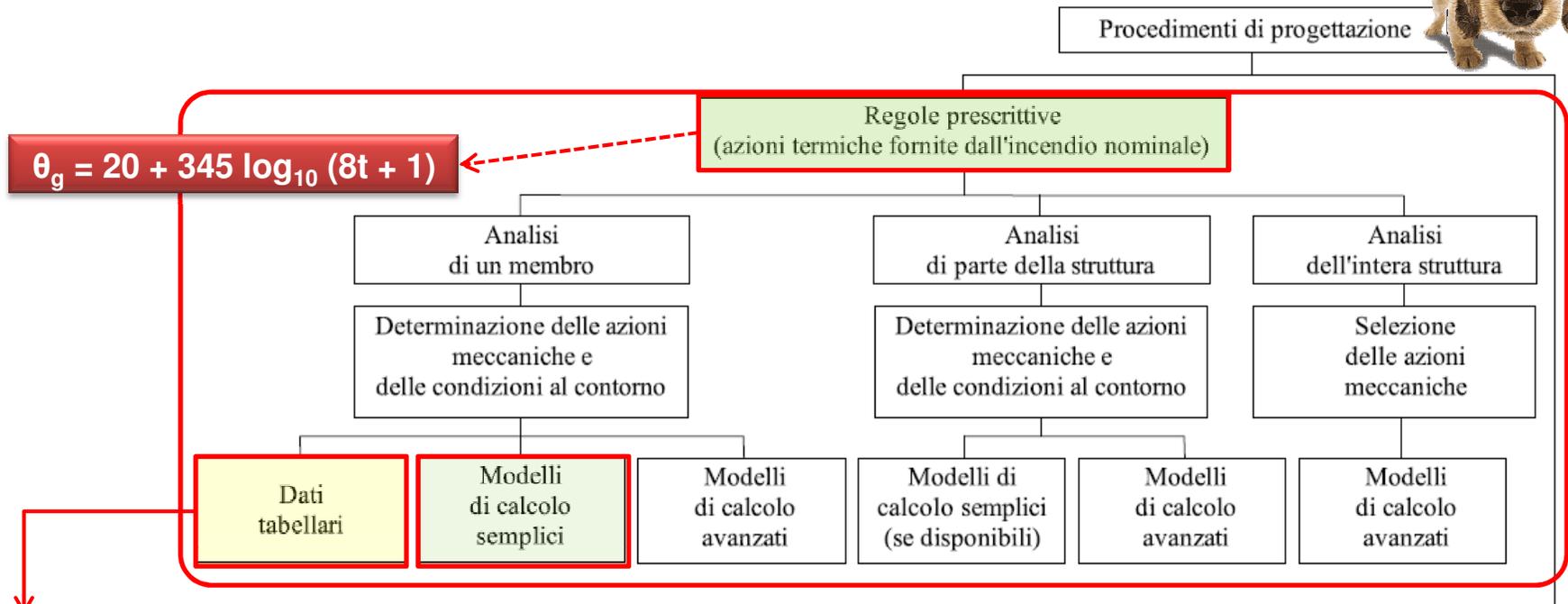


**DEFINIZIONI DA
REGOLAMENTO
UE 305 / 2011**

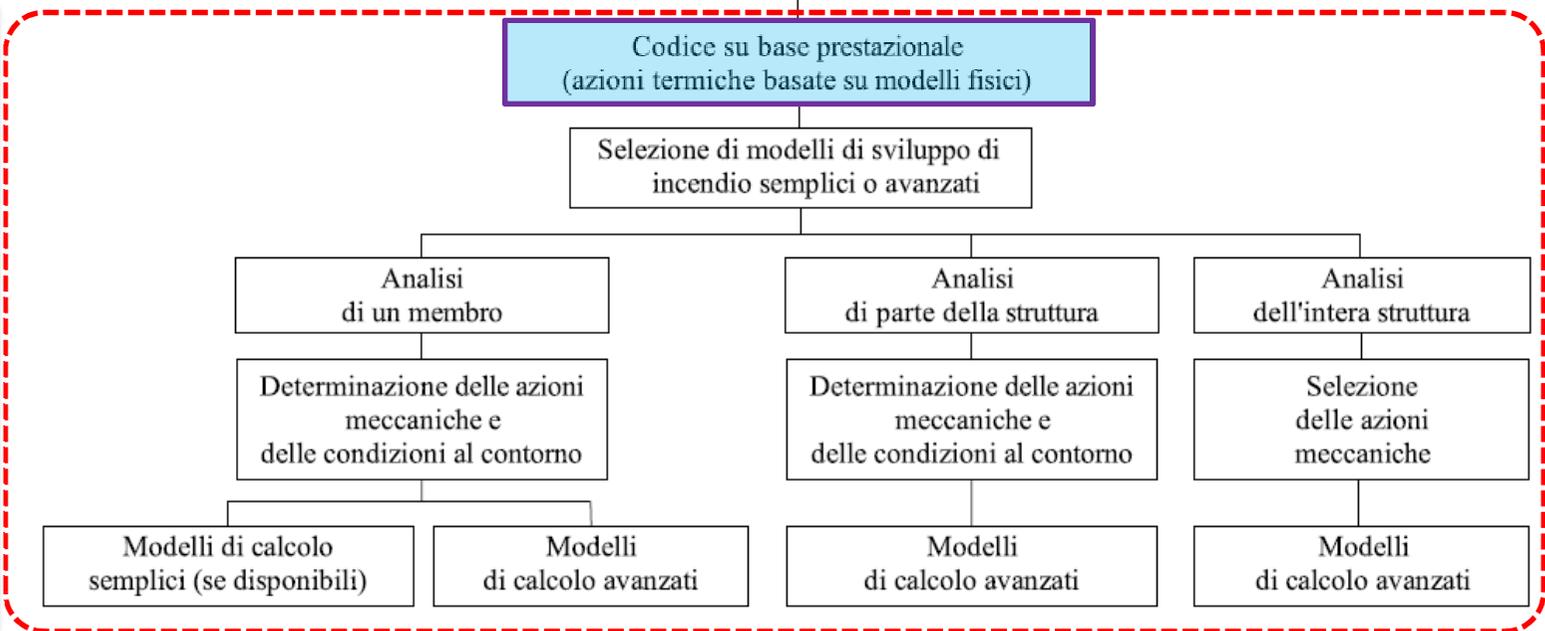
metodi “tendenziali” di classificazione

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



- 1. Allegato D
- D.M. 16.II.07
- 2. EN 199X-1-2
- 3. D.M. 3.VIII.15
- S.2.12
- S.2.13
- S.2.13
- S.2.14
- S.2.15

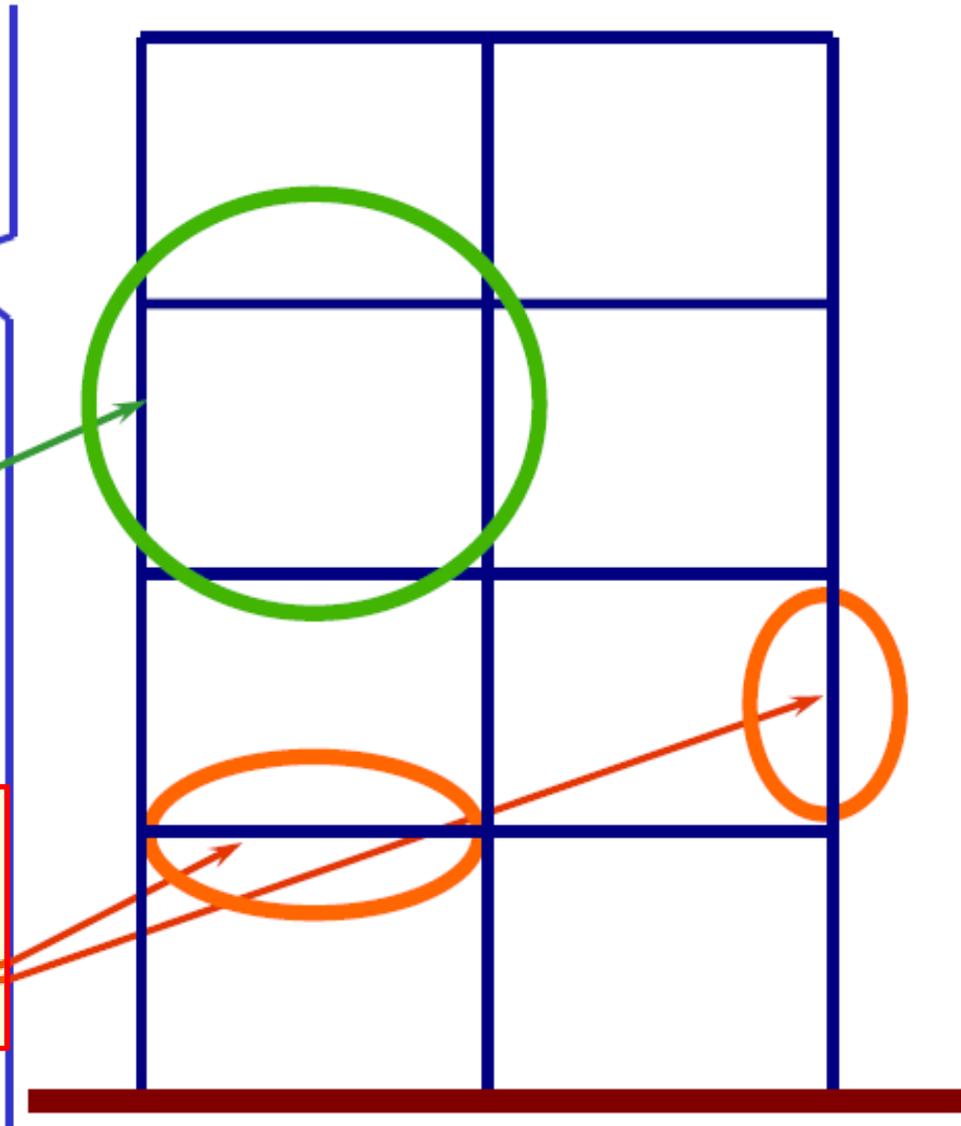


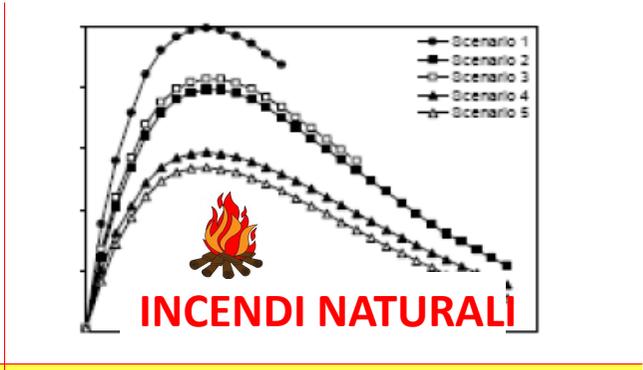
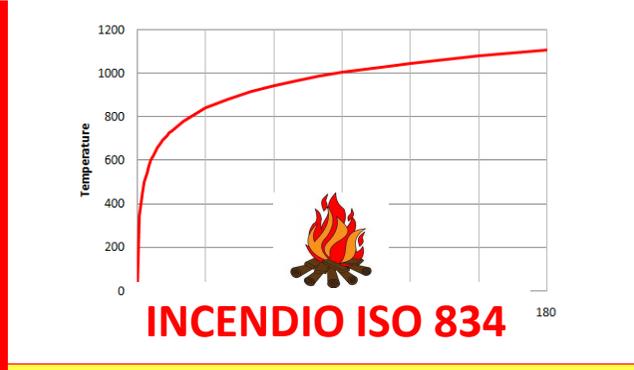
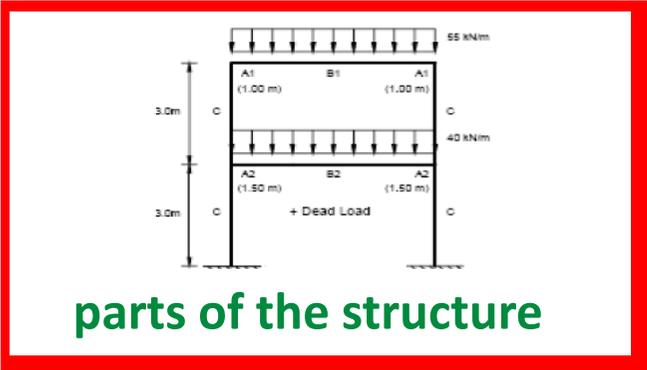


global structural analysis

analysis of parts of the structure

member analysis (mainly when verifying standard fire resistance requirements)





~~DATI TABELLARI~~

**NON
APPLICABILI**

**NON
APPLICABILI**



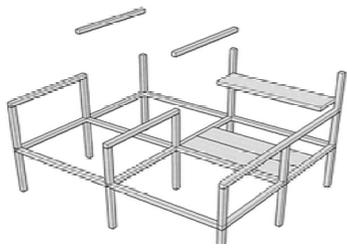
**APPLICABILI
(SE DISPONIBILI)**

**NON
APPLICABILI**



APPLICABILI

**APPLICABILI
SE CONSENTITO**



global structural analysis

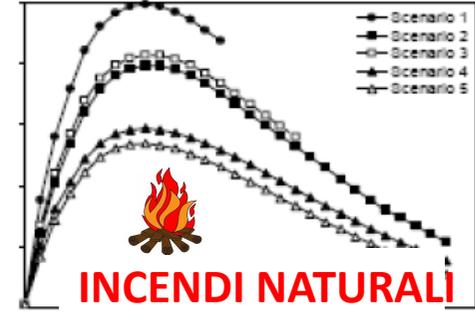


Diagram	Equation	Equation	Equation	Equation	Equation	Equation	Equation
	$\sigma = \frac{N}{A}$	$\tau = \frac{V}{A \cdot b}$	$\sigma_c = \frac{N}{A_c}$	$\tau_c = \frac{V}{A_c \cdot b_c}$	$\sigma_s = \frac{N}{A_s}$	$\tau_s = \frac{V}{A_s \cdot b_s}$	$\sigma_{cs} = \frac{N}{A_{cs}}$
	$\sigma = \frac{N}{A}$	$\tau = \frac{V}{A}$	$\sigma_c = \frac{N}{A_c}$	$\tau_c = \frac{V}{A_c}$	$\sigma_s = \frac{N}{A_s}$	$\tau_s = \frac{V}{A_s}$	$\sigma_{cs} = \frac{N}{A_{cs}}$
	$\sigma = \frac{N}{A}$	$\tau = \frac{V}{A}$	$\sigma_c = \frac{N}{A_c}$	$\tau_c = \frac{V}{A_c}$	$\sigma_s = \frac{N}{A_s}$	$\tau_s = \frac{V}{A_s}$	$\sigma_{cs} = \frac{N}{A_{cs}}$
	$\sigma = \frac{N}{A}$	$\tau = \frac{V}{A}$	$\sigma_c = \frac{N}{A_c}$	$\tau_c = \frac{V}{A_c}$	$\sigma_s = \frac{N}{A_s}$	$\tau_s = \frac{V}{A_s}$	$\sigma_{cs} = \frac{N}{A_{cs}}$
	$\sigma = \frac{N}{A}$	$\tau = \frac{V}{A}$	$\sigma_c = \frac{N}{A_c}$	$\tau_c = \frac{V}{A_c}$	$\sigma_s = \frac{N}{A_s}$	$\tau_s = \frac{V}{A_s}$	$\sigma_{cs} = \frac{N}{A_{cs}}$
	$\sigma = \frac{N}{A}$	$\tau = \frac{V}{A}$	$\sigma_c = \frac{N}{A_c}$	$\tau_c = \frac{V}{A_c}$	$\sigma_s = \frac{N}{A_s}$	$\tau_s = \frac{V}{A_s}$	$\sigma_{cs} = \frac{N}{A_{cs}}$

DATI TABELLARI

**NON
APPLICABILI**

**NON
APPLICABILI**



MODELLI DI CALCOLO SEMPLICI

**NON
APPLICABILI**

**NON
APPLICABILI**

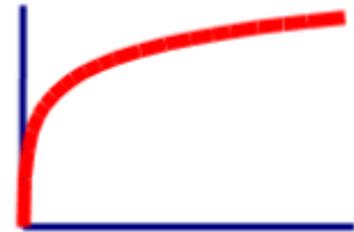


MODELLI DI CALCOLO AVANZATI

APPLICABILI

**APPLICABILI
SE CONSENTITO**

□ Azione termica definita con incendi nominali (regole prescrittive)



Tipi di analisi	Dati tabellati	Modelli di calcolo semplificati	Modelli di calcolo avanzati
Analisi per elementi	Si <u>ISO-834 incendio standard</u>	Si	Si
Analisi di parti della struttura	Non applicabile	Si (se disponibile)	Si
Analisi strutturale globale	Non applicabile	Non applicabile	Si

Allegato B, D.M. 16.02.2007 – Modalità di classificazione in base ai risultati di prove

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»

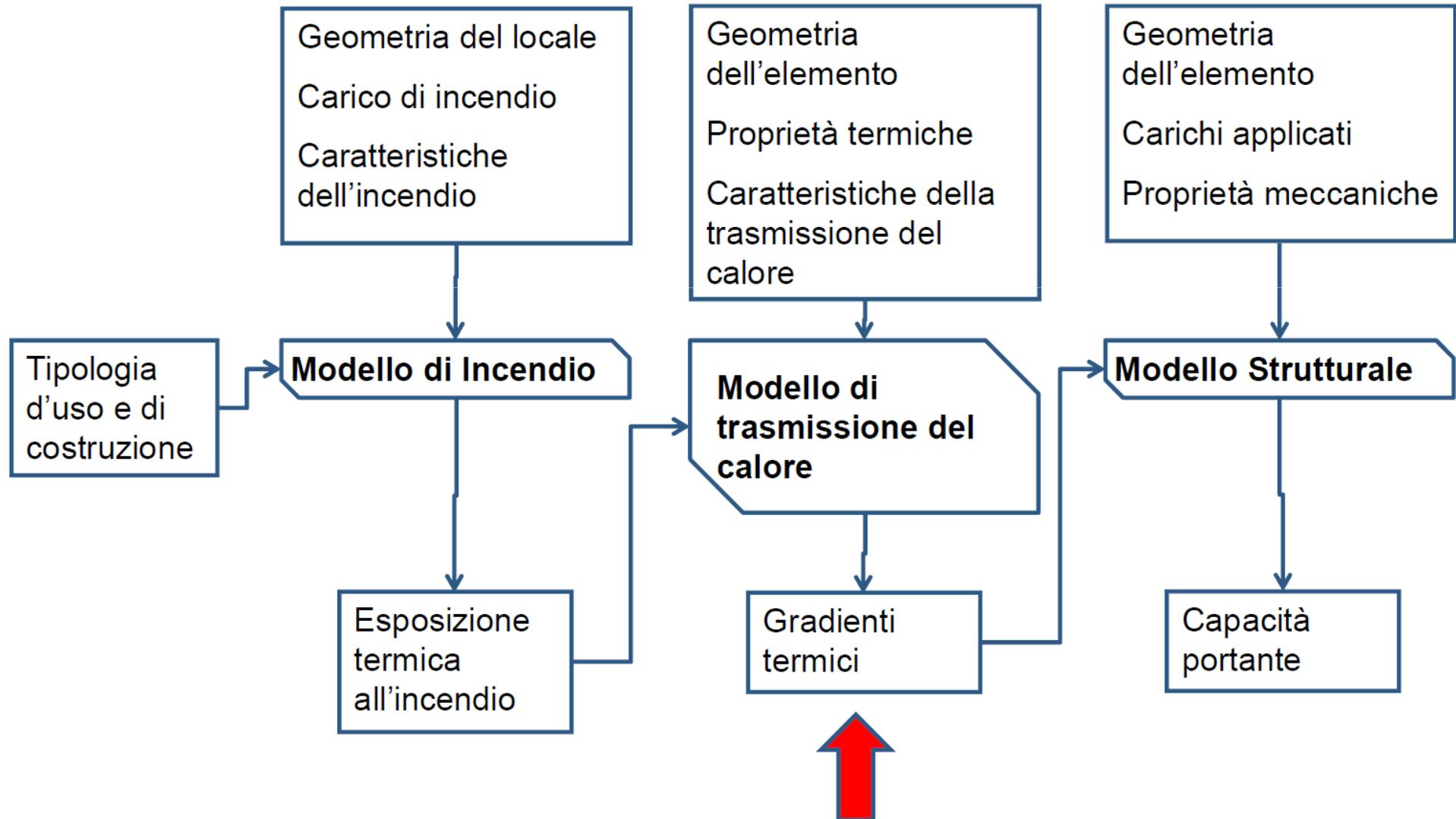
EN 1995-1-2 «Progettazione delle strutture di legno – Parte 1-2: Regole generali – Progettazione strutturale contro l'incendio»

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**.

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



Allegato D, D.M. 16.02.2007 – Modalità di classificazione in base confronti con tabelle o modalità similari.

“istruzioni per l’uso” ufficiali



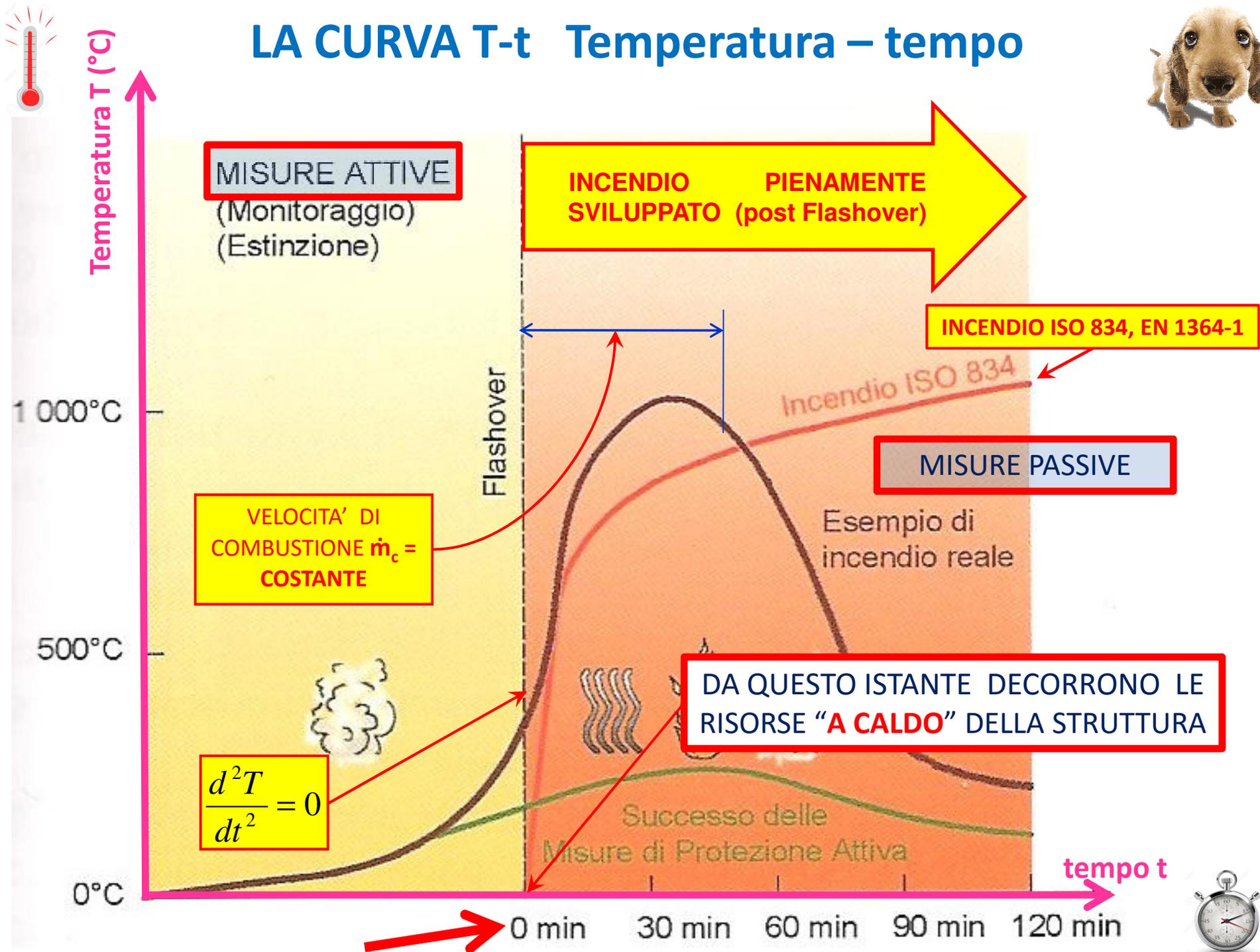
D.1 Le tabelle seguenti propongono delle condizioni sufficienti per la classificazione di elementi costruttivi resistenti al fuoco. Dette condizioni non costituiscono un obbligo qualora si proceda alla determinazione delle prestazioni di resistenza al fuoco secondo gli altri metodi di cui all’articolo 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.

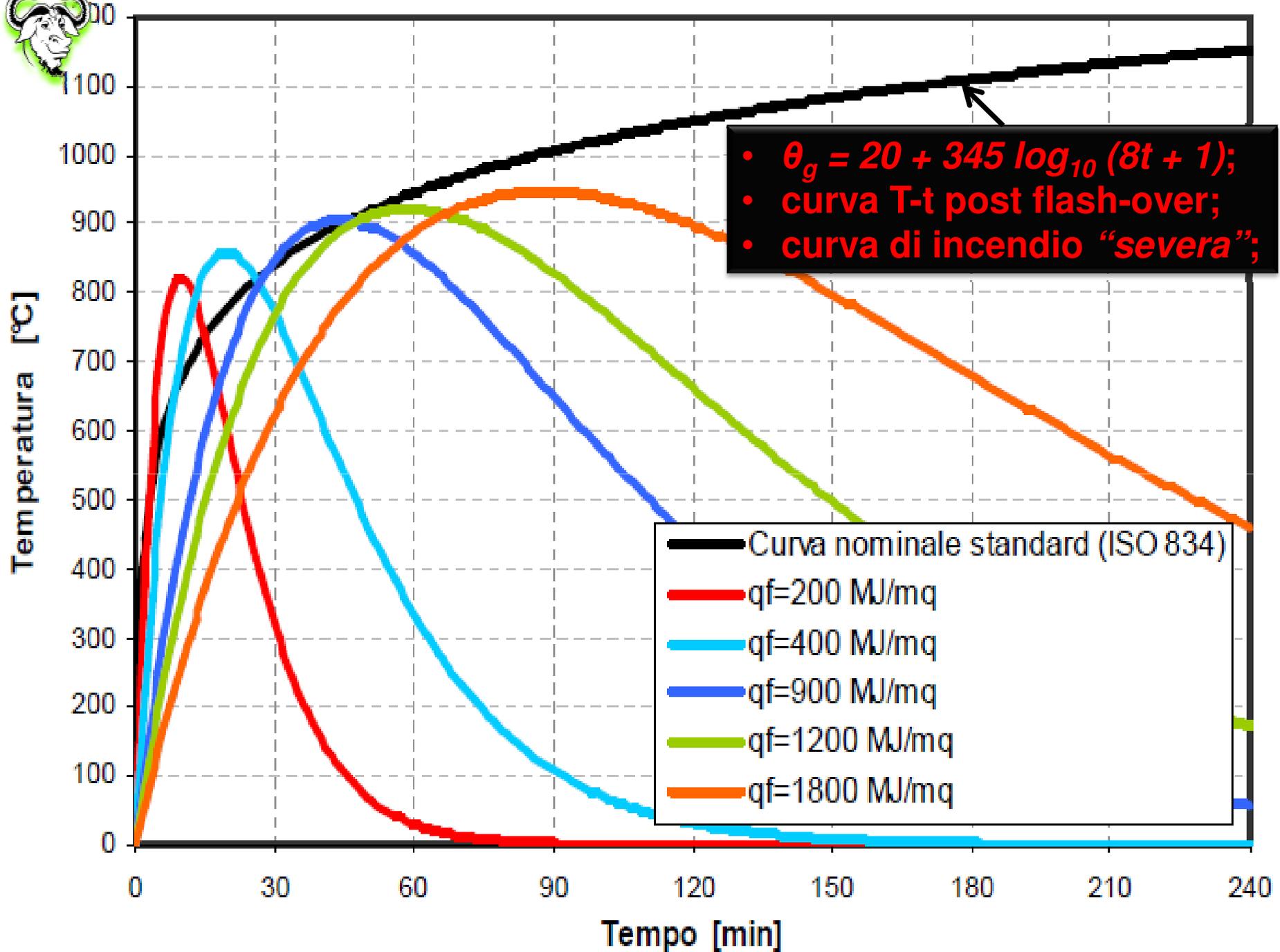
D.2 L’uso delle tabelle è strettamente limitato alla classificazione di elementi costruttivi per i quali è richiesta la resistenza al fuoco nei confronti della curva temperatura-tempo standard e delle altre azioni meccaniche previste in caso di incendio.

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





Allegato D, D.M. 16.02.2007 – Modalità di classificazione in base confronti con tabelle o modalità similari.

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;

Allegato D, D.M. 16.02.2007 – Modalità di classificazione in base confronti con tabelle o modalità similari.

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 con fuoco **b→a** oppure **i →o**

Allegato D, D.M. 16.02.2007 – Modalità di classificazione in base confronti con tabelle o modalità similari.

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;

Allegato D, D.M. 16.02.2007 – Modalità di classificazione in base confronti con tabelle o modalità similari.

altre “istruzioni per l’uso”

- Le tabelle sono state sviluppate anche in base al risultato di prove, 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.

Allegato D, D.M. 16.02.2007 – Modalità di classificazione in base confronti con tabelle o modalità similari.



altre “istruzioni per l’uso”

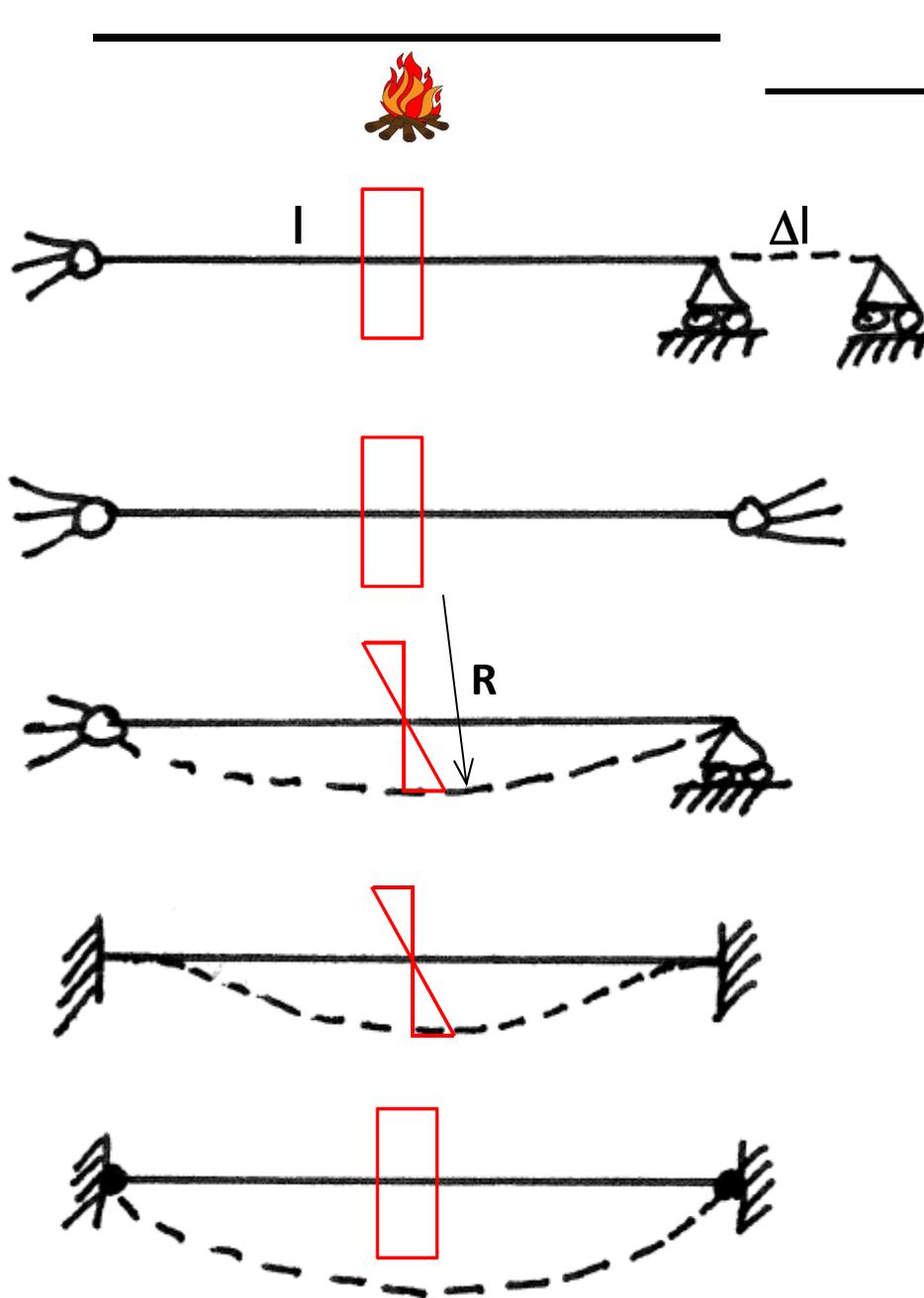
- ❑ Nel caso di sezioni in C.A. o C.A.P. si analizza il problema solo dal lato resistenza (per lo più per l’acciaio) e non dal lato carichi.
- ❑ Ne consegue che si deve prevedere uno spessore di cls minimo atto a **limitare la temperatura dell’acciaio di armatura a 500°C (350°C per i fili, le trecce, ed i trefoli e 400°C per le barre di pretensione).**

Allegato D, D.M. 16.02.2007 – Modalità di classificazione in base confronti con tabelle o modalità similari.

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 post flashover **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 impedito**; si considera **solo la fase di riscaldamento**

Effetto dei vincoli – deformazioni termiche impedite



Nessuna variazione dello stato tensionale, solo allungamento Δl .

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

Nessuna variazione dello stato tensionale, solo curvatura $1/R$.

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

Grandi spostamenti per combinazione degli effetti, fenomeni del 2° ordine, plasticizzazione, "effetto catena" "effetto membrana" (solo acciaio).

Effetto catena – struttura in acciaio in forno di prova

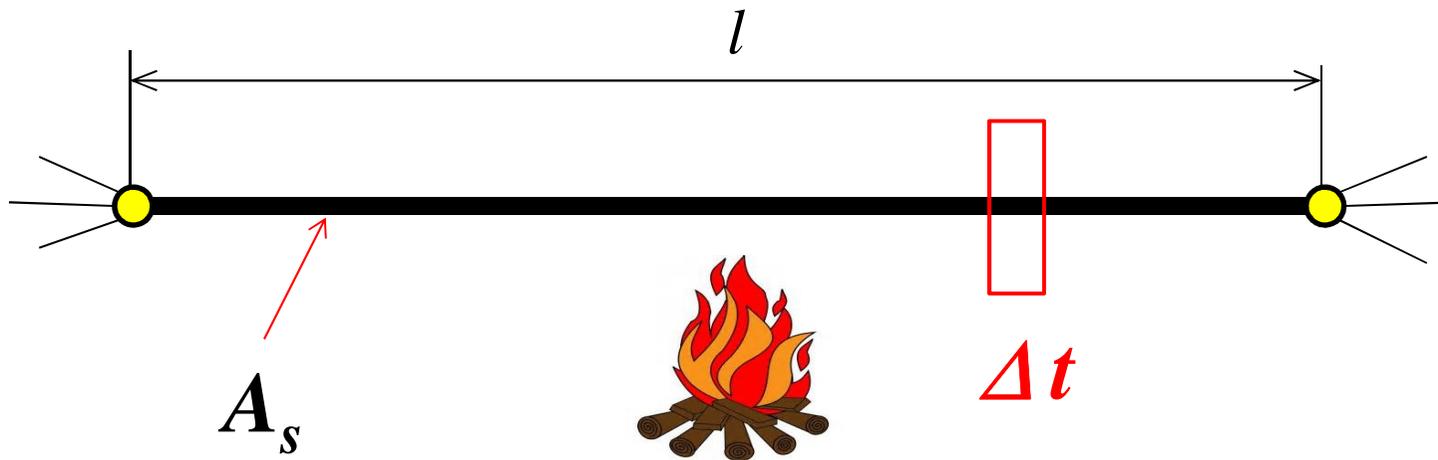


Effetto catena – incendio reale



Effetto dei vincoli – deformazioni termiche impedito

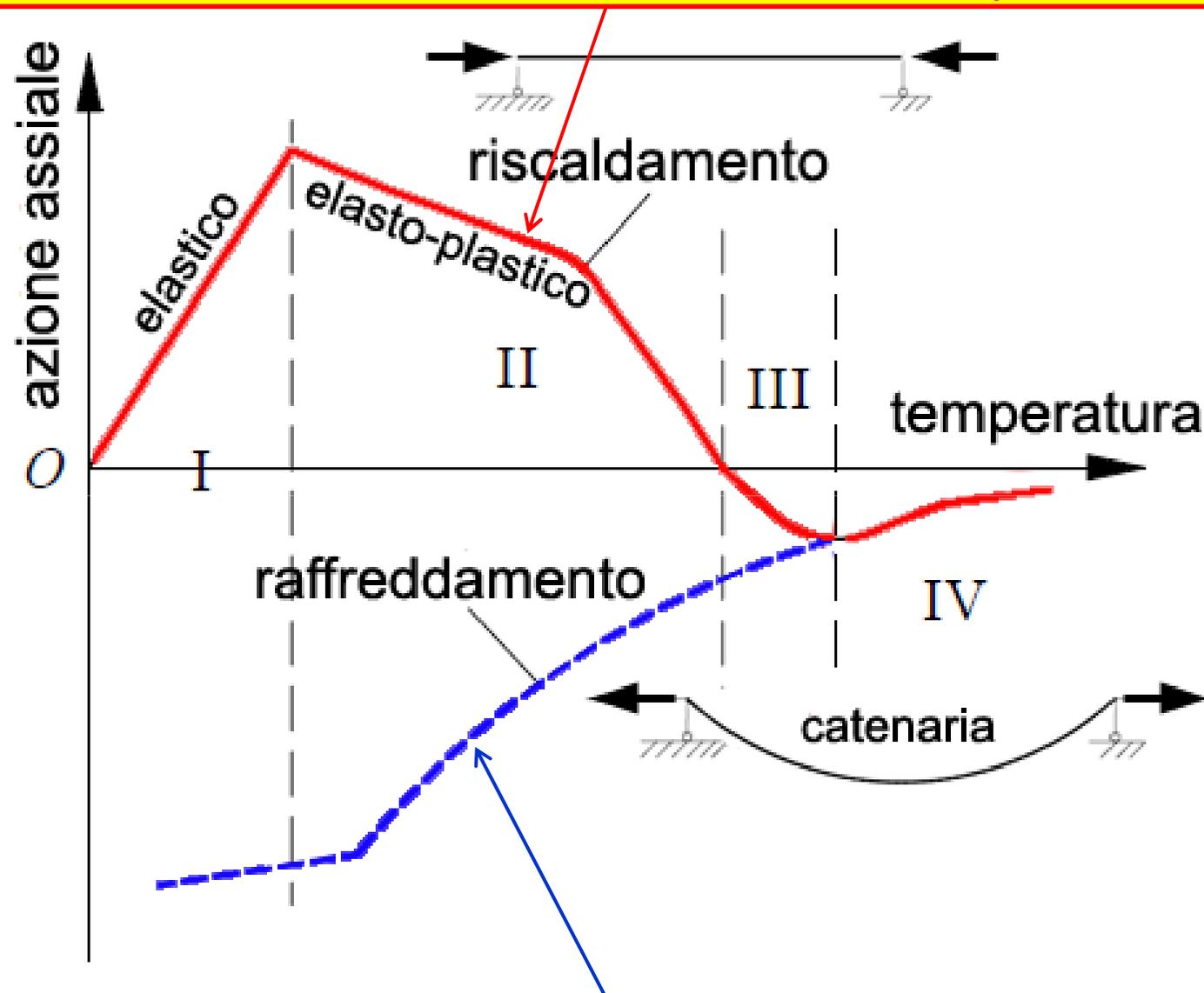
Il tema delle dilatazioni impedito e quello delle coazioni è MOLTO COMPLESSO, specie per le strutture in acciaio.



Incremento di azione assiale ΔN

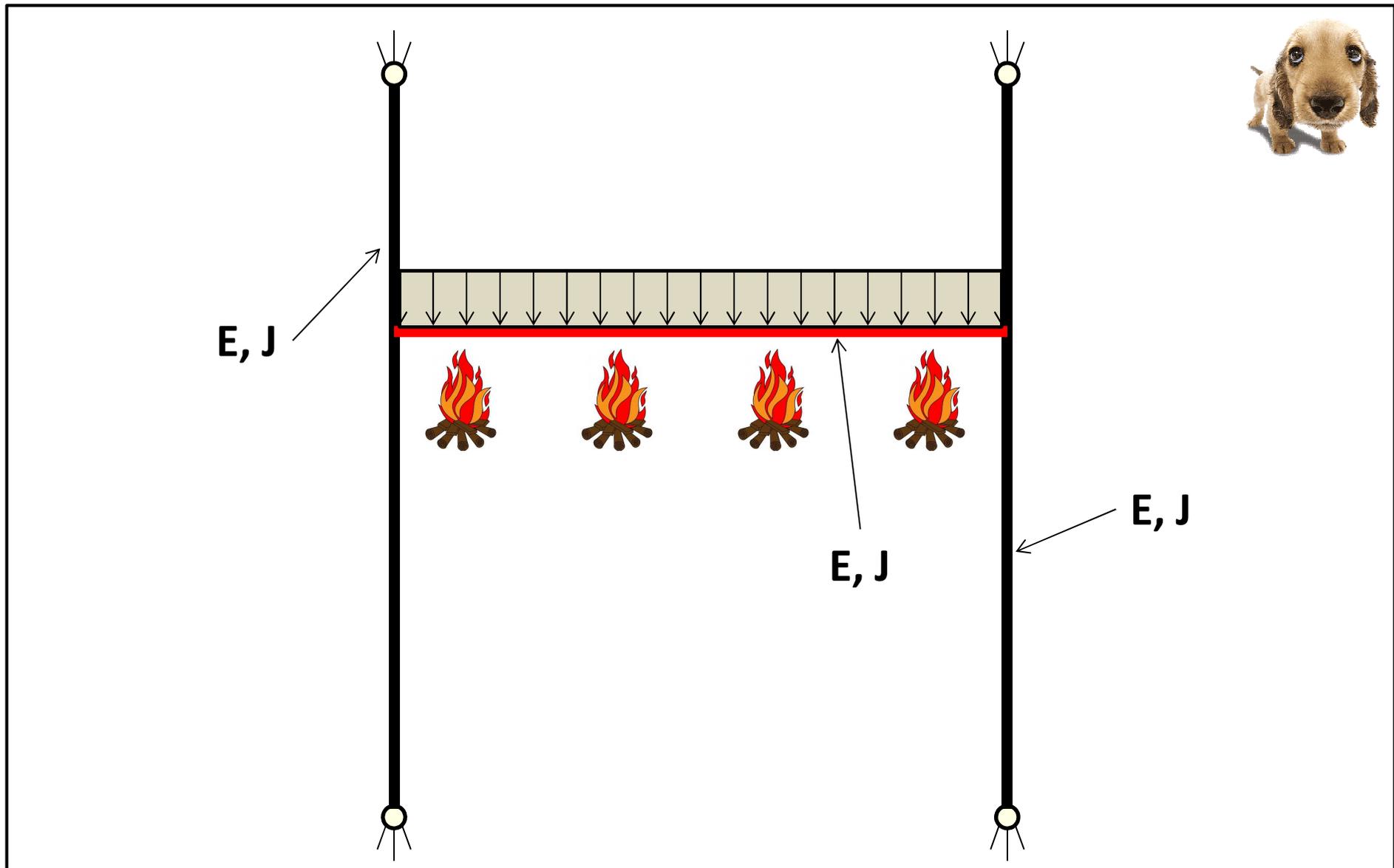
$$\Delta N = E_s(\theta) A_s \varepsilon = E_s(\theta) A_s \frac{\Delta l}{l} = E_s(\theta) A_s \frac{\alpha_s(\theta) \Delta t}{l}$$

Durante il riscaldamento l'effetto delle dilatazioni impedito è ATTENUATO dalla diminuzione del modulo elastico $E_s(\theta)$ e dalla diminuzione di f_y

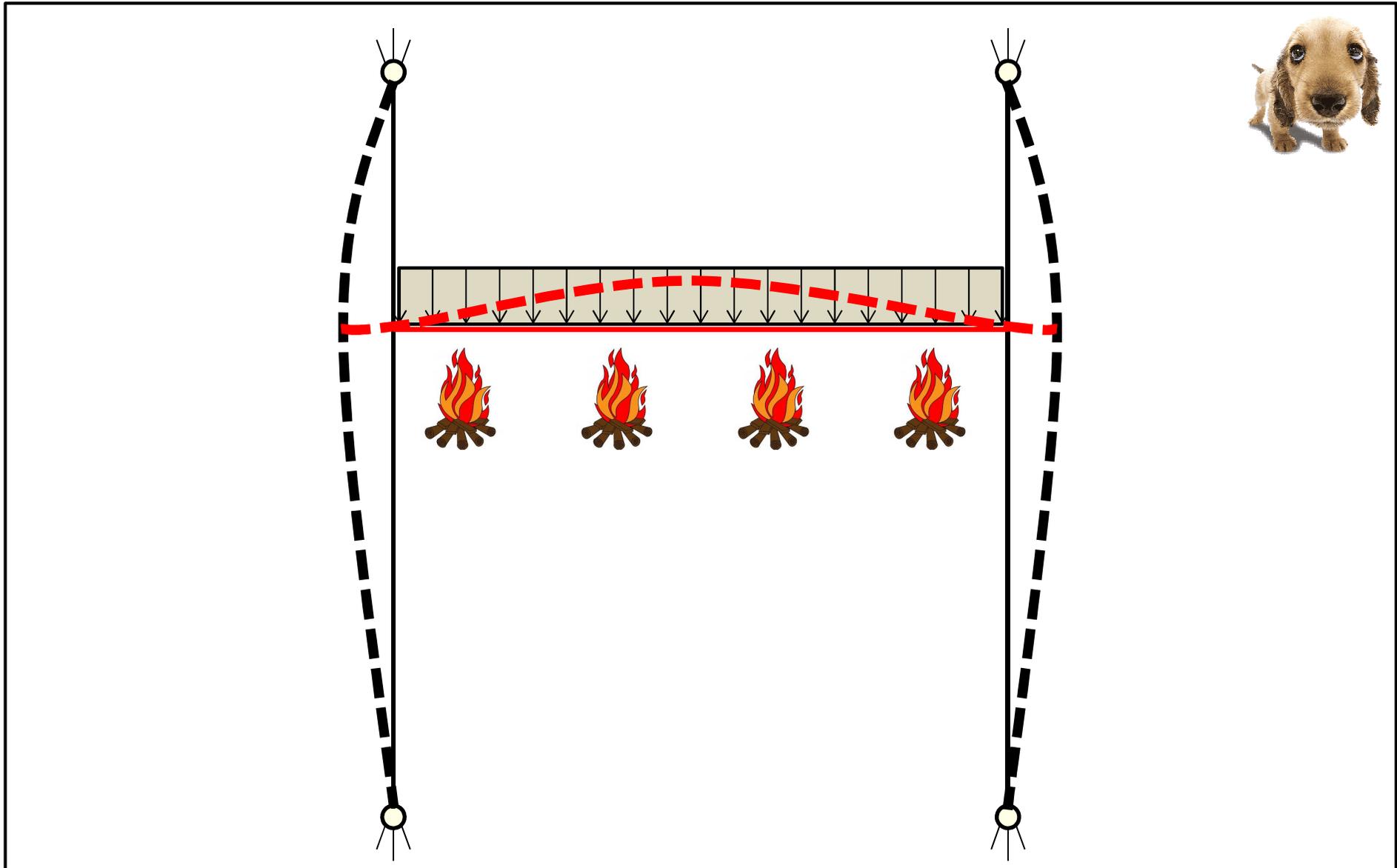


Durante il raffreddamento l'effetto delle contrazioni termiche è ACCENTUATO dall'aumento di $E_s(\theta)$ e dall'aumento della resistenza allo snervamento f_y

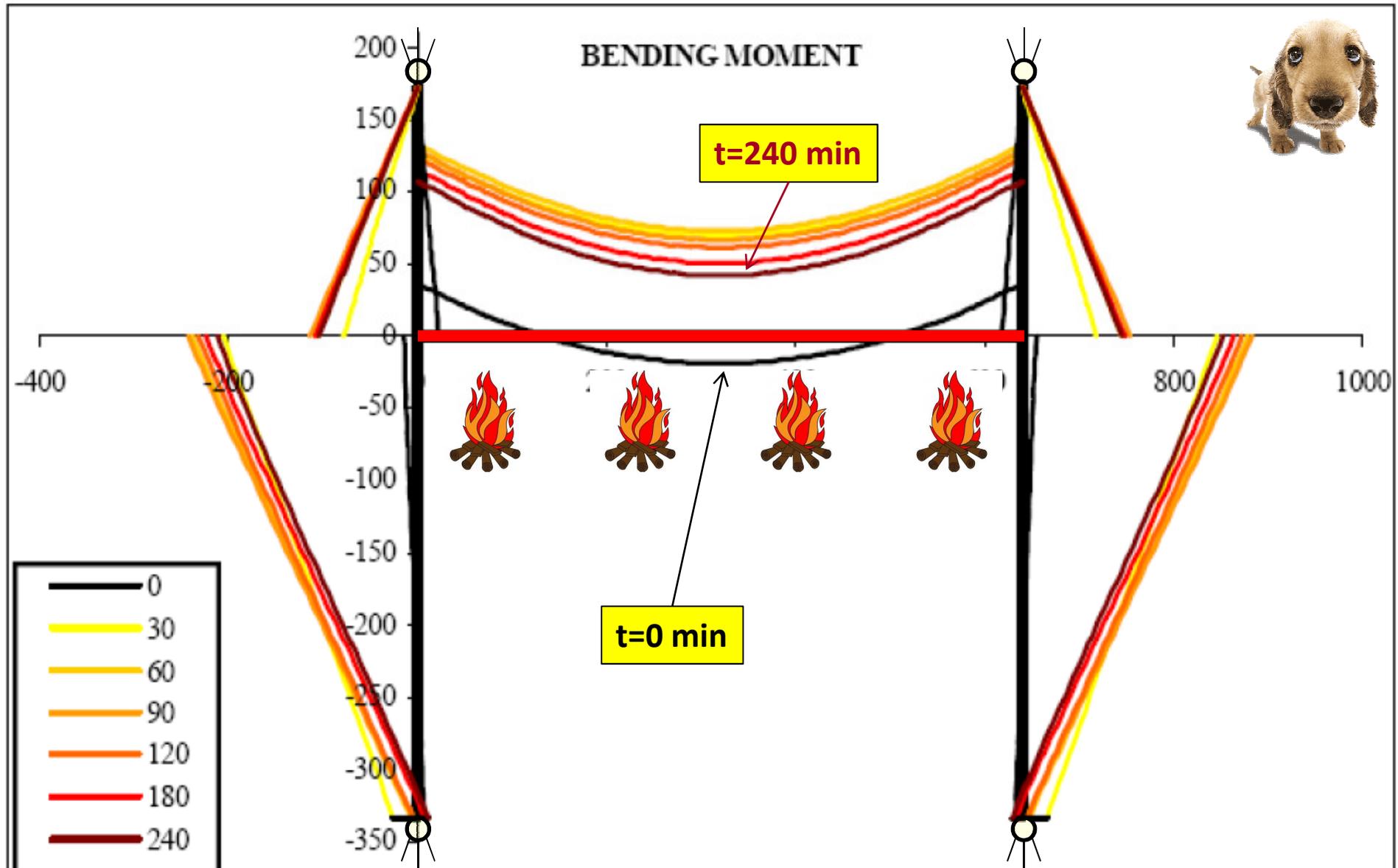
Effetto delle coazioni in strutture iperstatiche



Effetto delle coazioni in strutture iperstatiche



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



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.



C. fondamentale

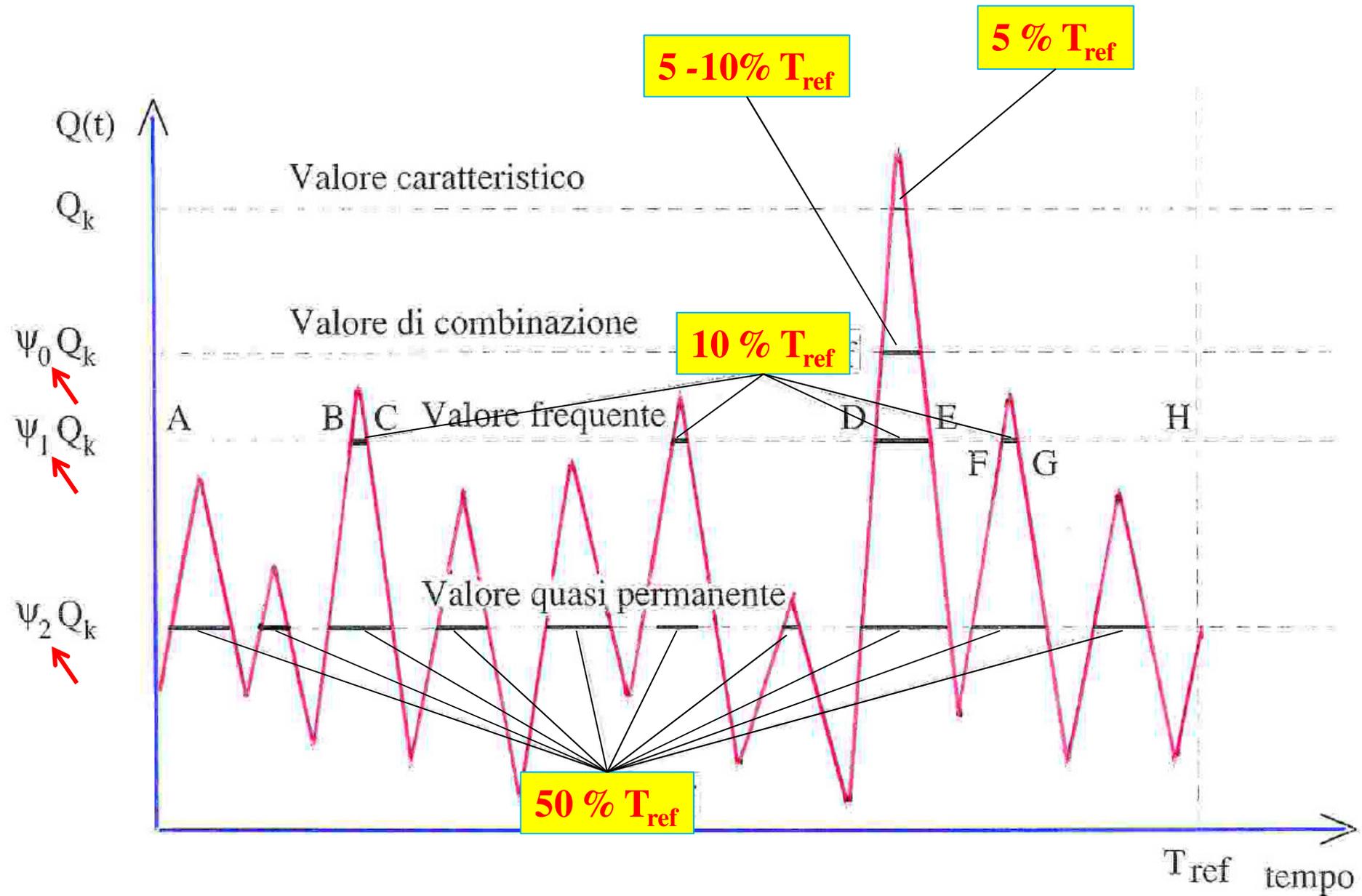
C. eccezionale

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

C. fondamentale

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



Per la combinazione eccezionale A_d di progetto “*INCENDIO*”:

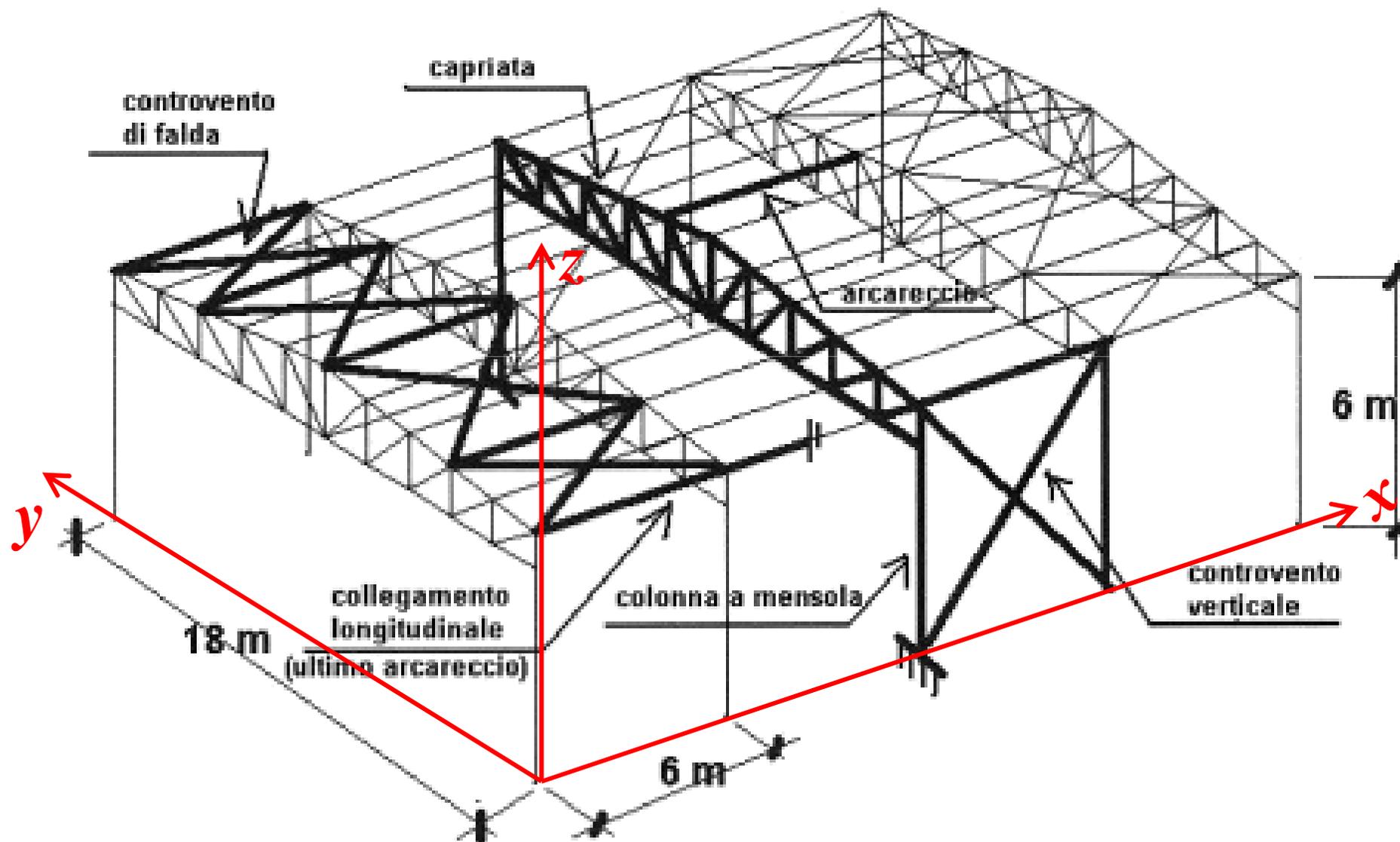
- ❑ $\Psi_{2,wind} = 0 \rightarrow$ *wind action = 0* (così come *snow*, per quota < 1.000 m. s. l. m.);
- ❑ l'azione sismica **E** NON viene considerata in contemporaneità;

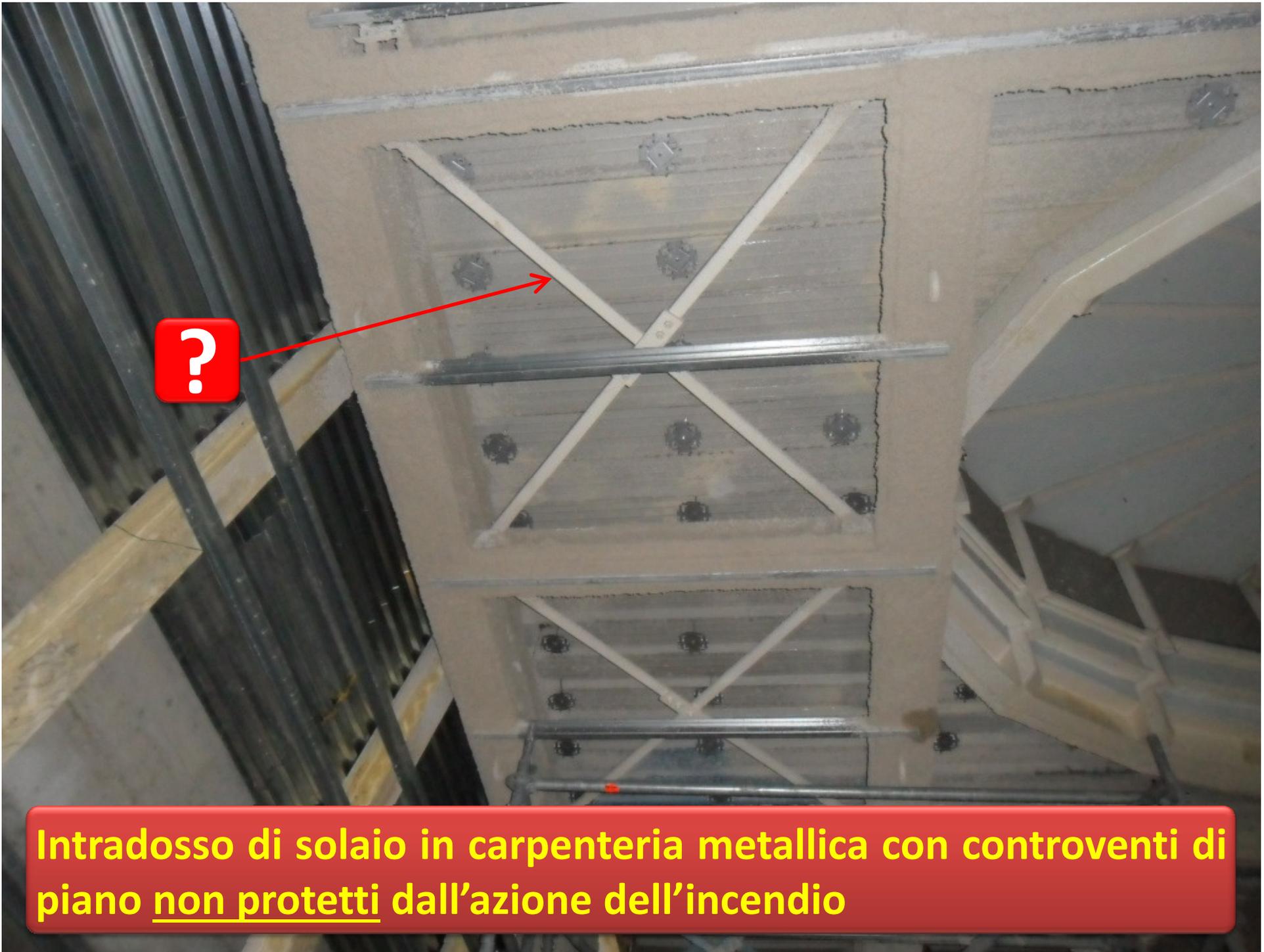
Ne consegue la convinzione molto diffusa ed ERRATA che le controventature, nelle verifiche strutturali “a caldo”, possono essere “*beatamente*” trascurate.

**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.**

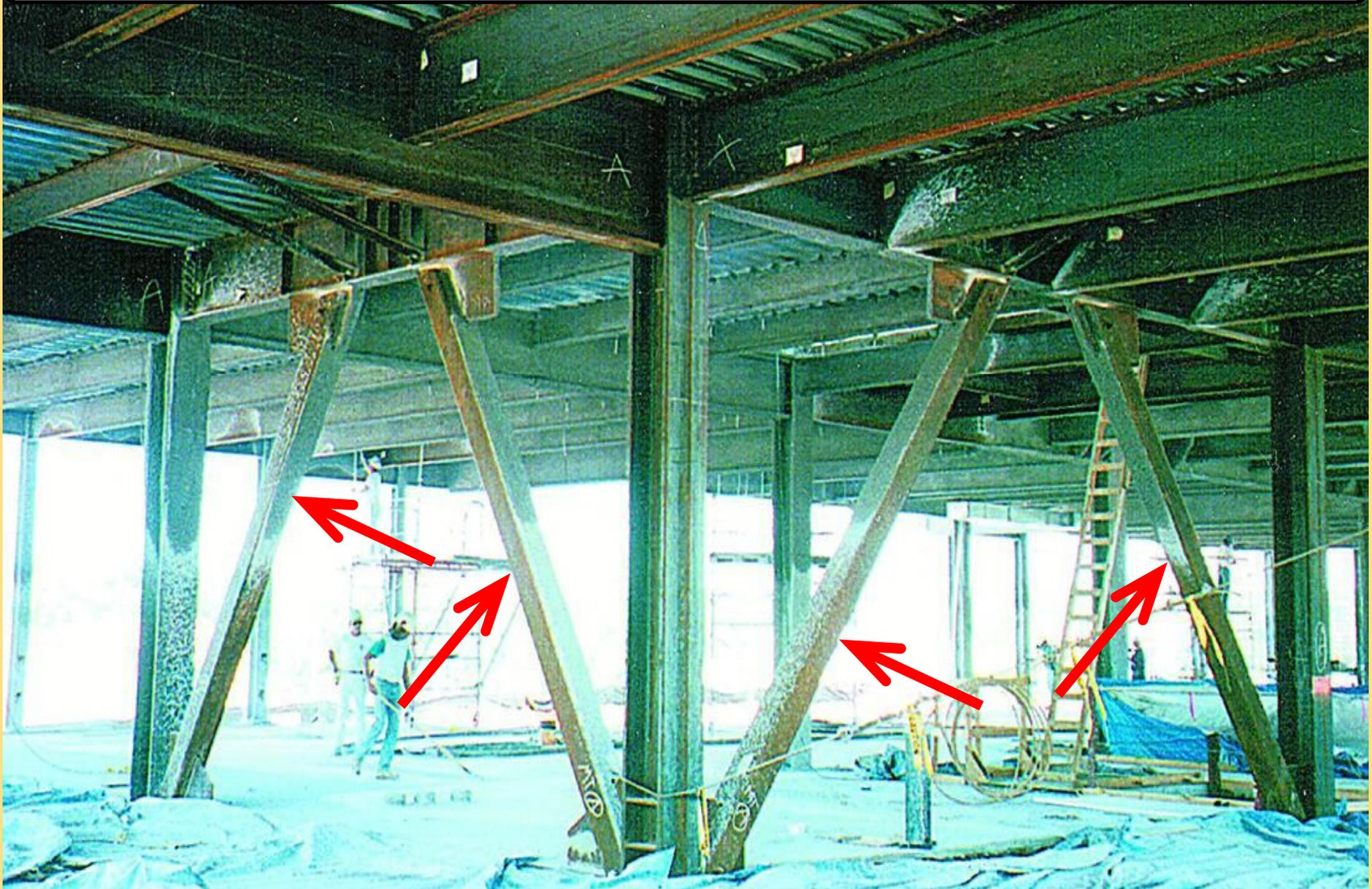
Principali funzioni dei controventi di piano e verticali





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 →





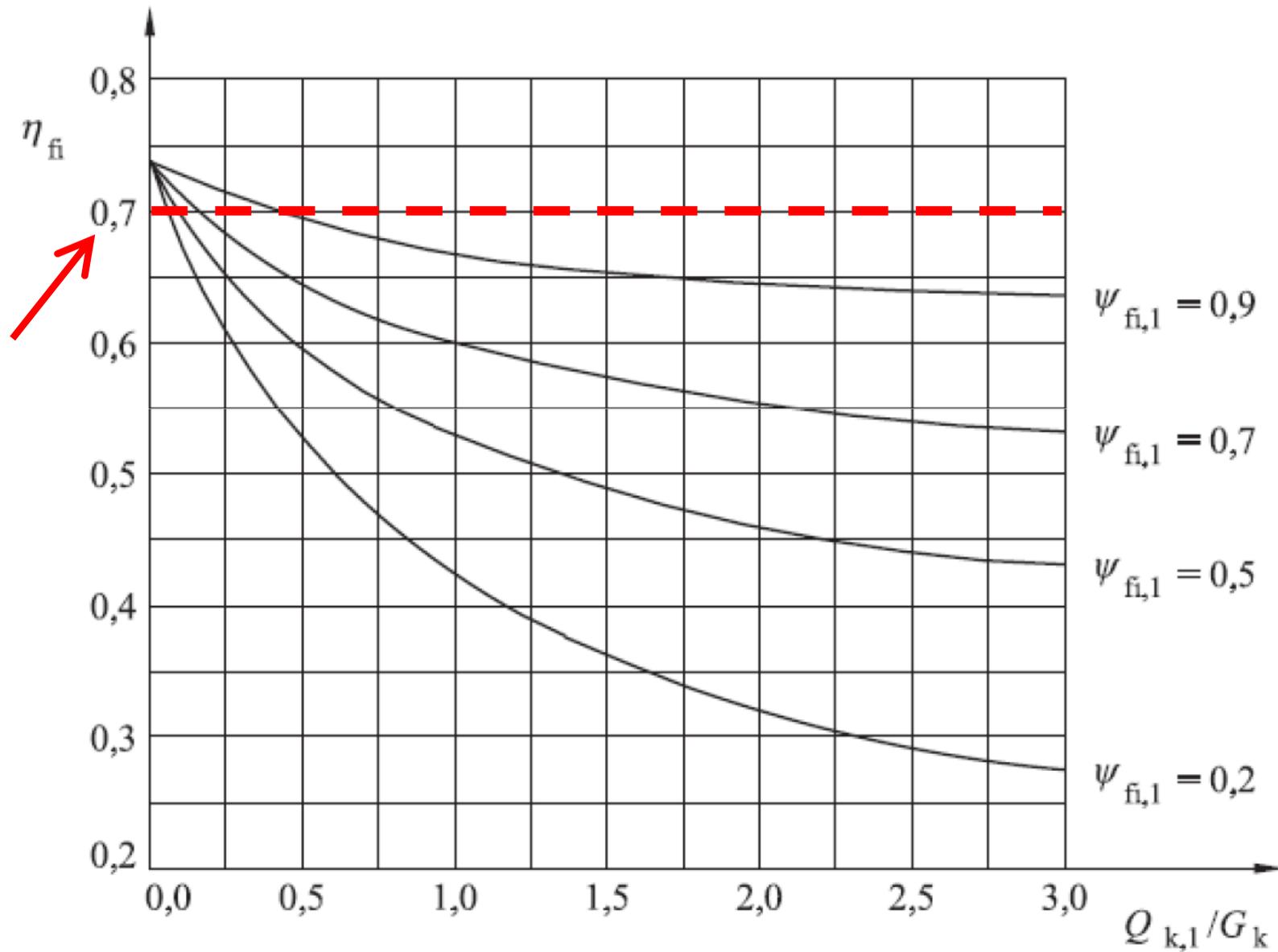


altre “istruzioni per l’uso”

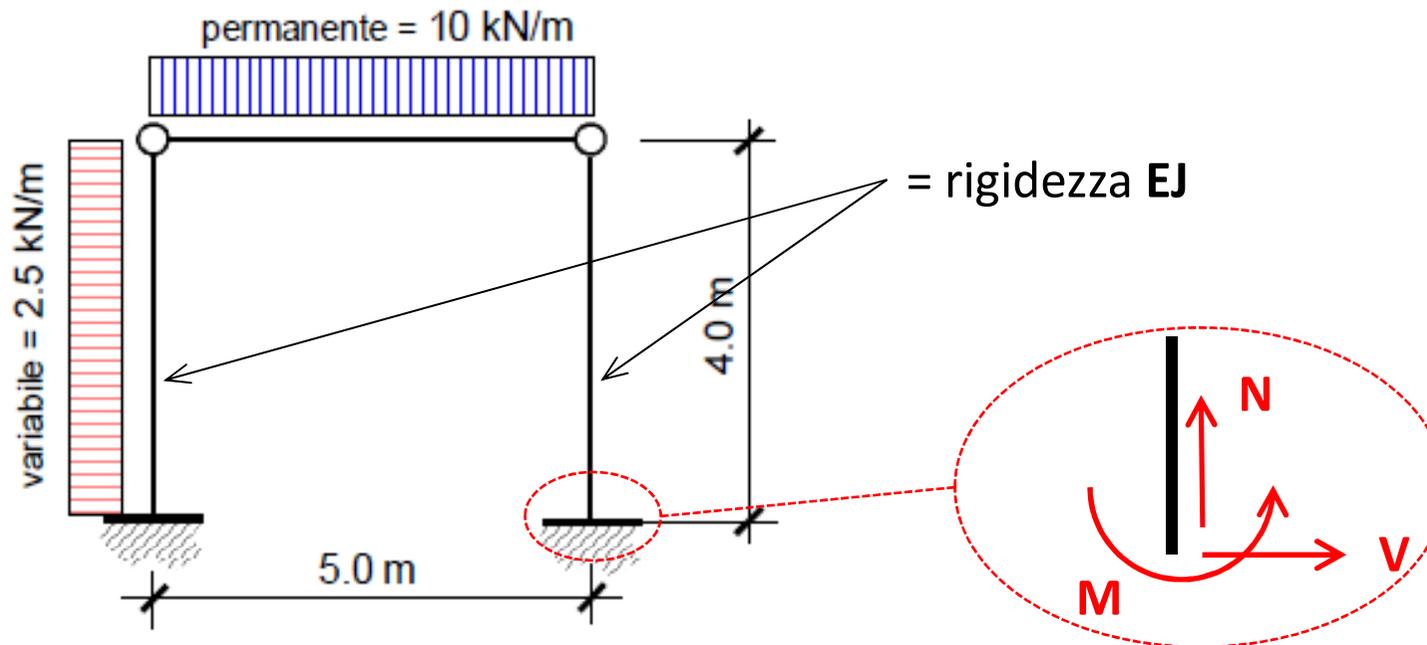
- ❑ La modalità presuppone che il fattore di riduzione, ossia la quota percentuale dell’effetto di progetto dei carichi a freddo, utilizzata per gli SLU, da impiegare per la verifica a caldo, sia $\eta_{fi} = 0,7$;
- ❑ η_{fi} assume l’espressione:

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

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 teoricamente “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 permanente $\gamma_G=1$, $\psi_{2,1}=0$	25,00	0,00	0,00
INCENDIO , con $\eta_{fi}=0,70$ di SLU	22,80	10,5	2,60

Diagramma f, ε acciaio

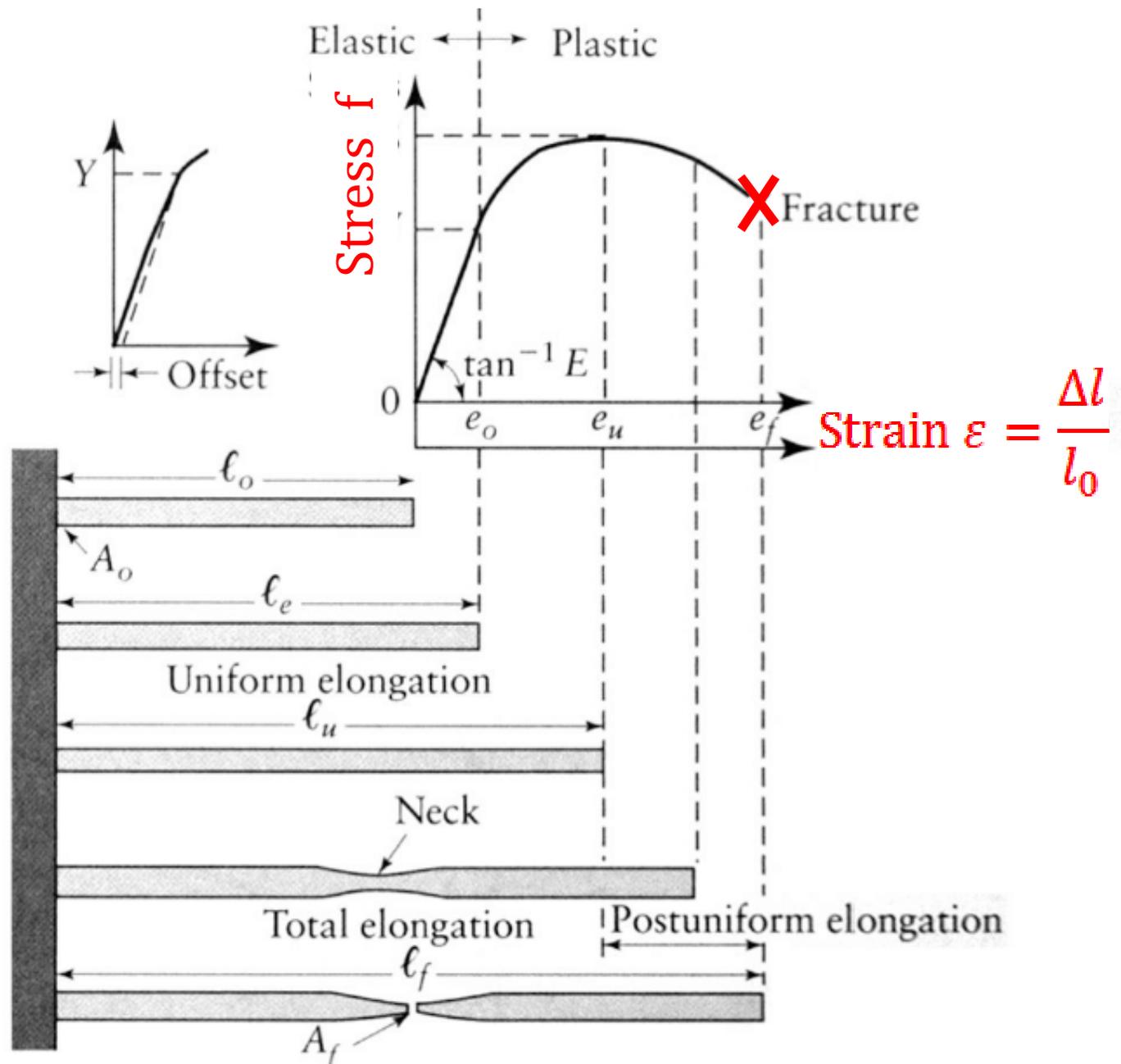


Diagramma f, ϵ acciaio

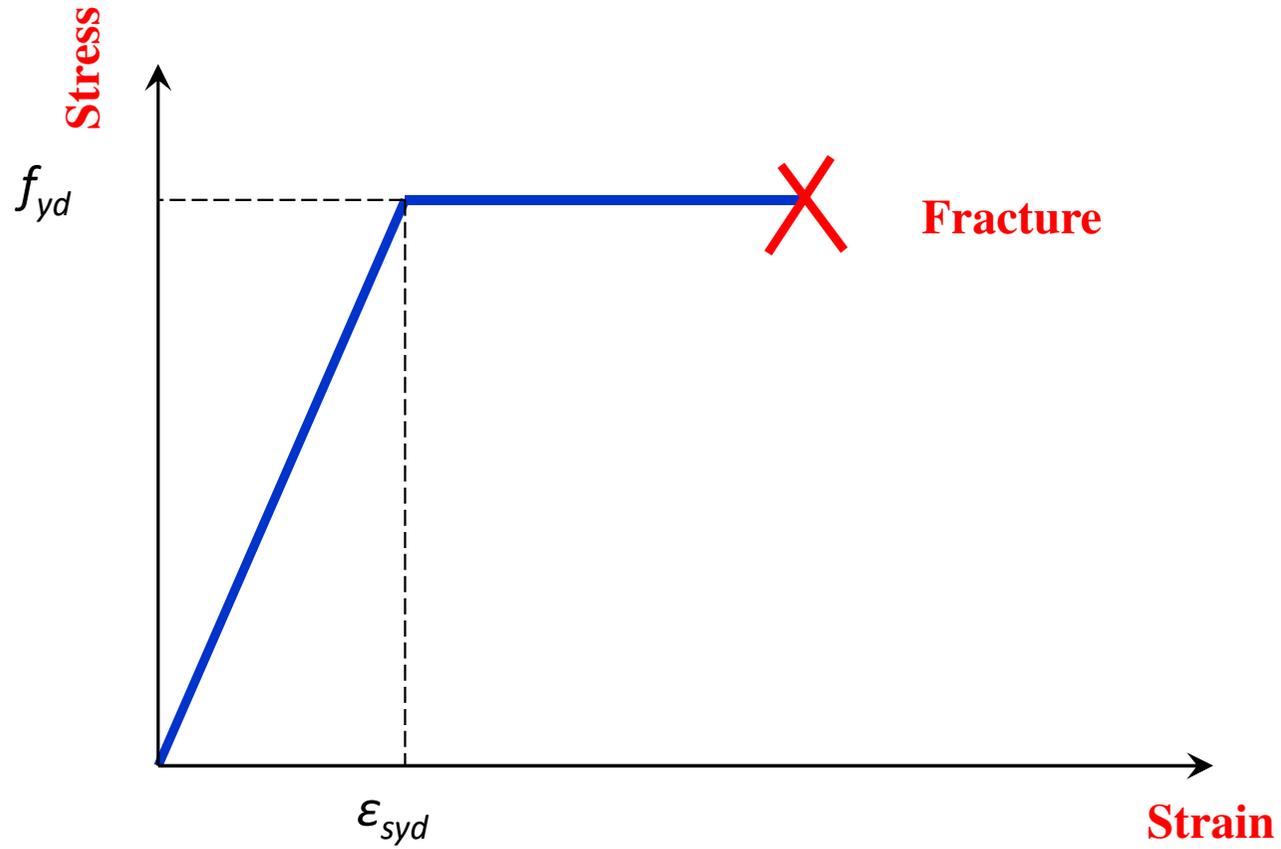
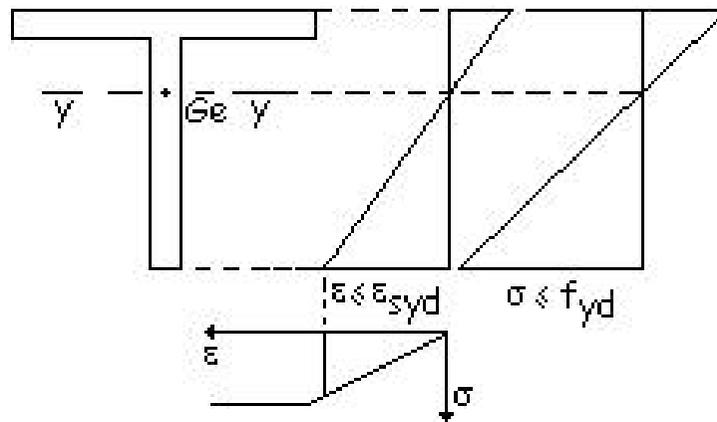
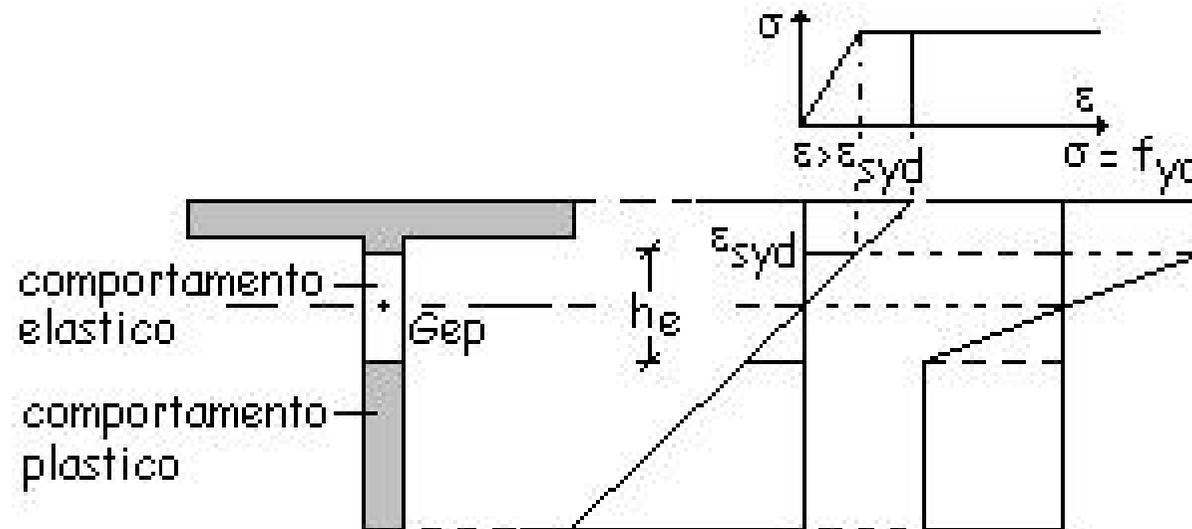


Diagramma f, ε acciaio

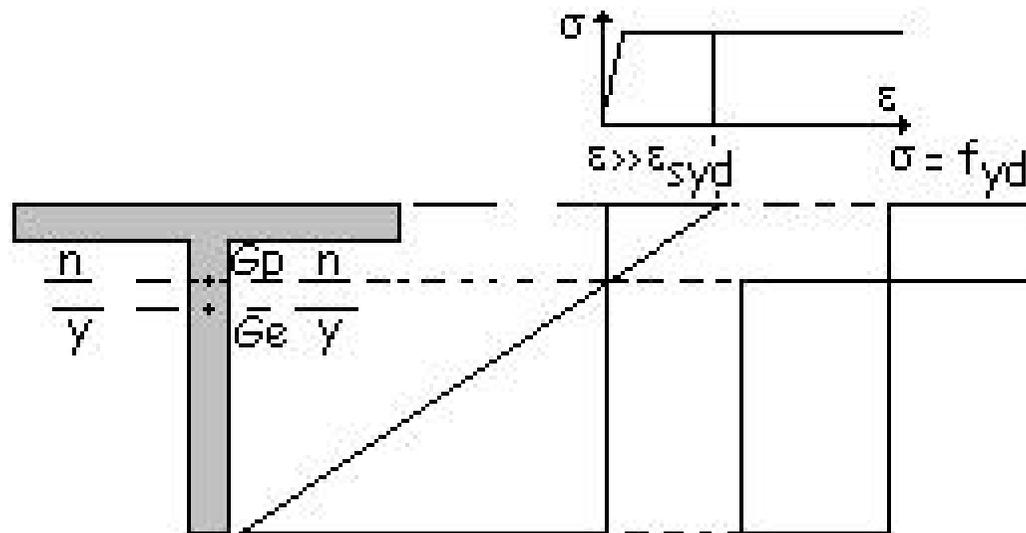
Se $\varepsilon < \varepsilon_{yd}$ la sezione ha un comportamento elastico, ad essa compete W_{el}



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

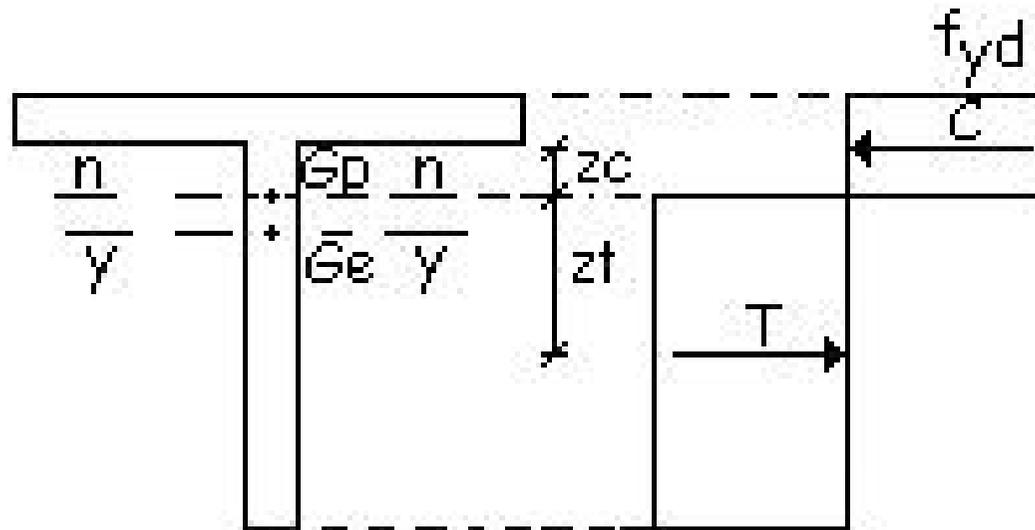


Se $\varepsilon \gg \varepsilon_{yd}$ la sezione ha un comportamento totalmente plastico, $h_e \rightarrow 0$, e ad essa corrisponde il modulo di resistenza plastico W_{pl} .



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.

L'asse neutro elastico divide 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 .

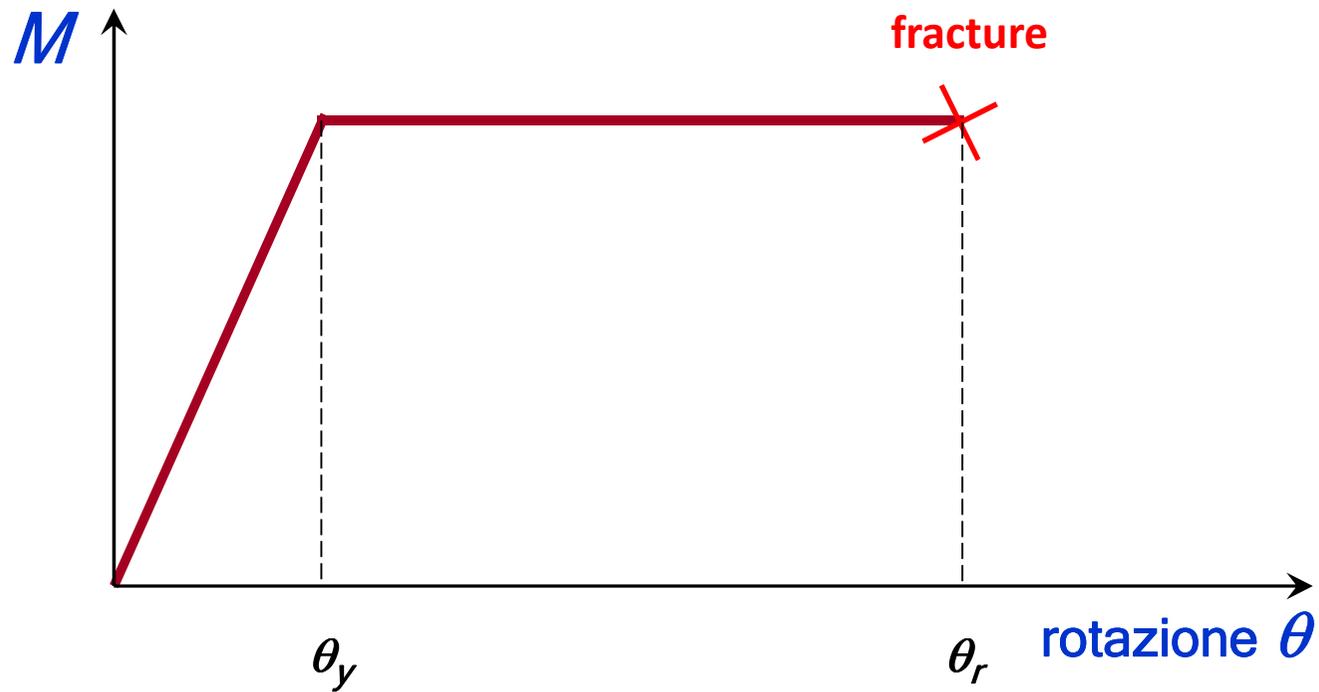
Posto tale termine $A_c z_c + A_t z_t = W_{pl}$ - **modulo di resistenza plastico** - si ricava, in modo analogo al calcolo elastico:

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

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

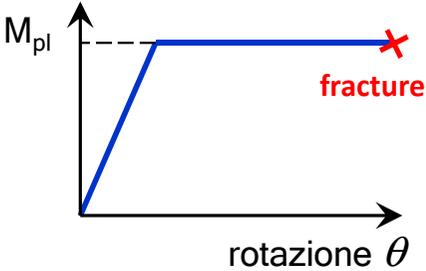
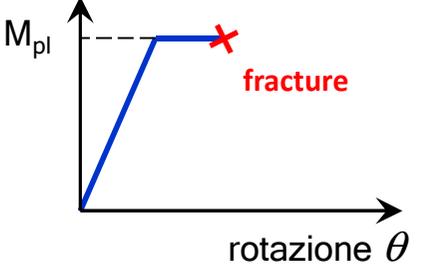
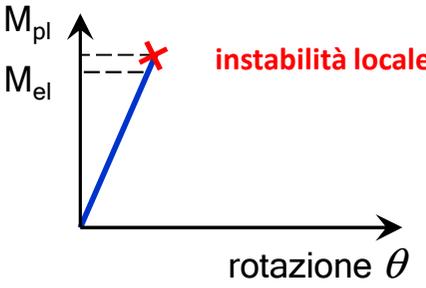
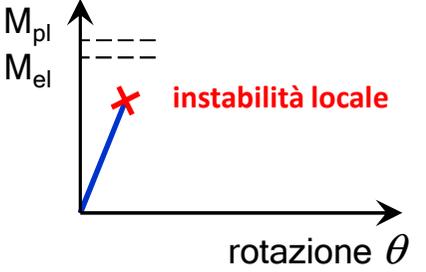
W_{pl} può allora essere calcolato raddoppiando il momento statico di una delle due parti rispetto all'asse baricentrico.

Diagramma M , rotazione θ , sezioni acciaio

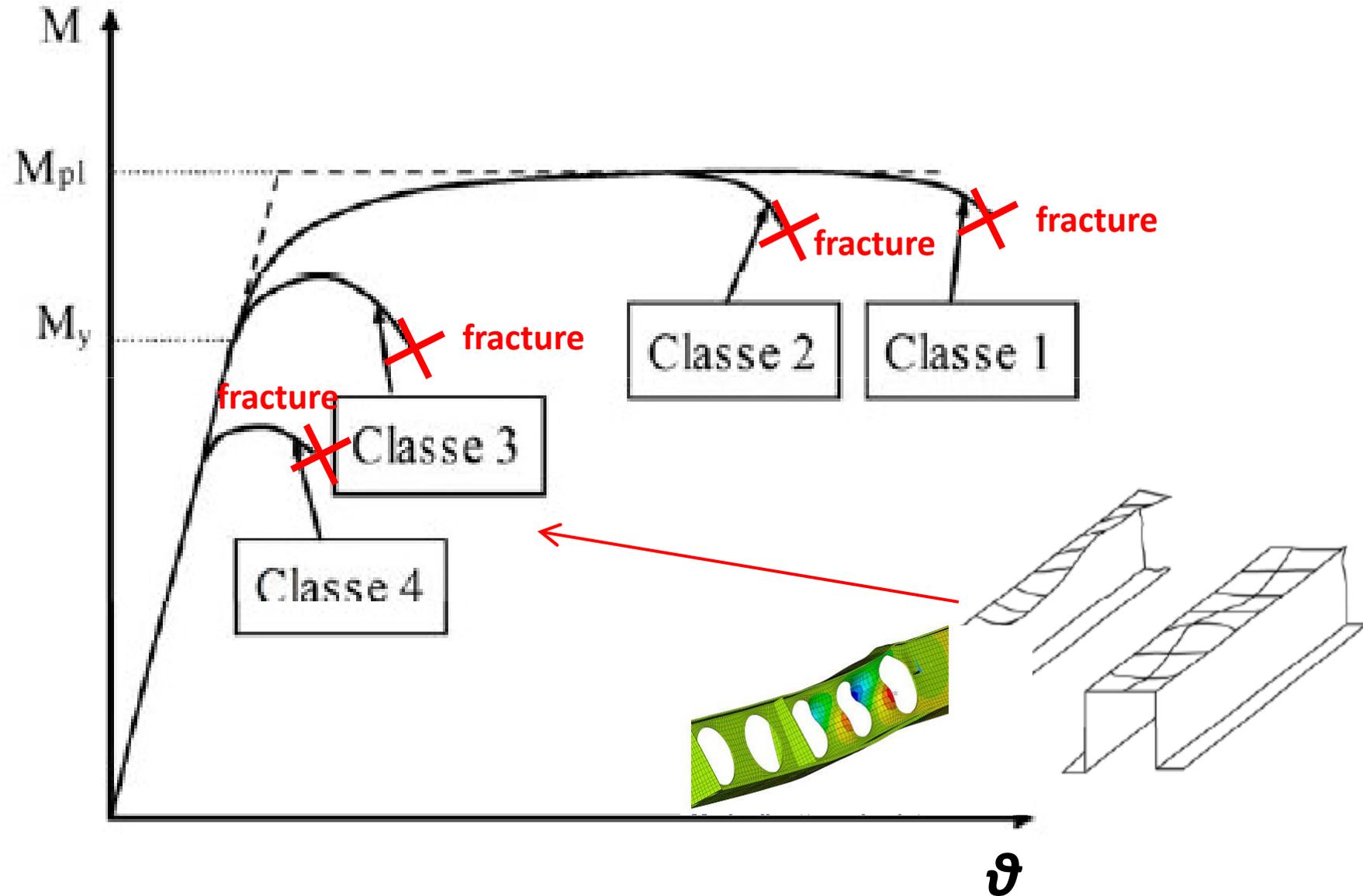


capacità rotazionale della sezione

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

CLASSE DI DUTTILITA' DELLA SEZIONE	DIAGRAMMA M, θ	DESCRIZIONE
1		<p>La sezione è in grado di sviluppare una cerniera plastica con la massima capacità rotazionale possibile: $C_\theta \geq 3,00$.</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.

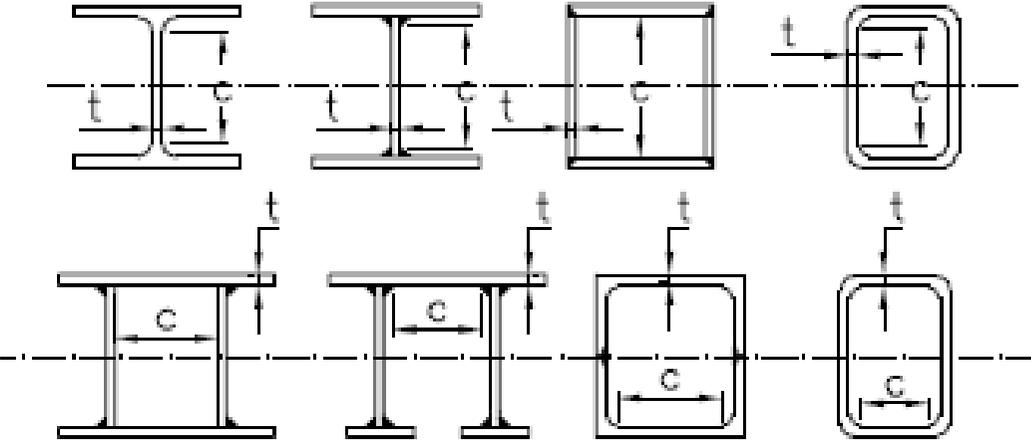
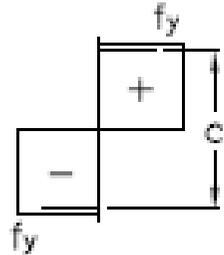
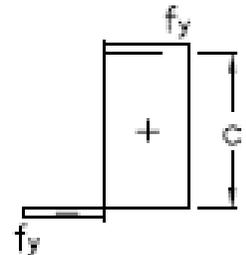
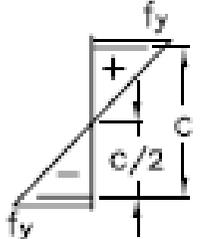
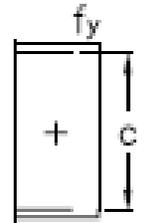
Un elemento che non soddisfa i limiti per la classe 3 è, automaticamente, di classe 4.

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

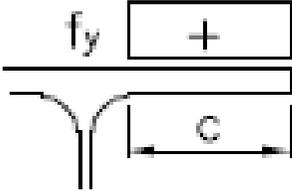
$$\varepsilon = 0,85 \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

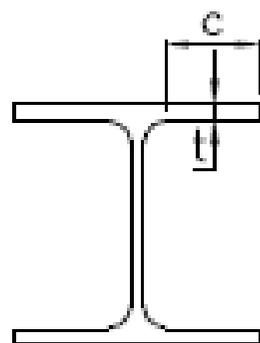
f_y	S235	S275	S355	S460
ε	0,85	0,79	0,69	0,61
ε^2	0,72	0,62	0,48	0,37

tab. 1

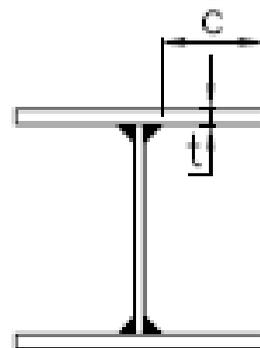
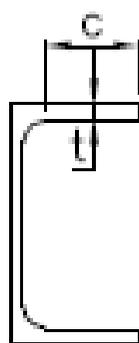
		Asse di flessione
		Asse di flessione
Classe	Parti soggette a flessione	Parti soggette a compressione
Distribuzione delle tensioni (positivo se di compressione)		
1	$c/t \leq 72 \epsilon$	$c/t \leq 33 \epsilon$
2	$c/t \leq 83 \epsilon$	$c/t \leq 38 \epsilon$
Distribuzione delle tensioni (positivo se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

tab. 2

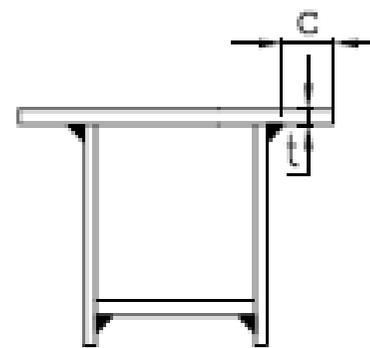
Classe	Parti soggette a compressione
Distribuzione delle tensioni (positivo se di compressione)	
1	$c/t \leq 9 \epsilon$
2	$c/t \leq 10 \epsilon$
3	$c/t \leq 14 \epsilon$



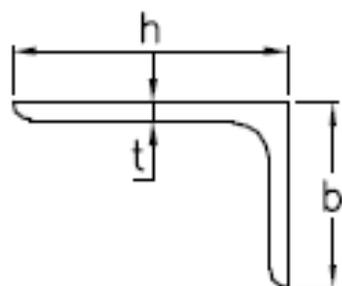
Sezioni laminate



Sezioni saldate



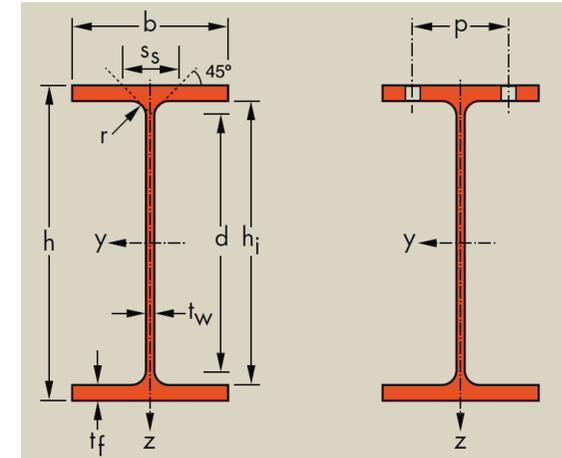
tab. 3



Classe	Parti soggette a compressione
Distribuzione delle tensioni (positivo se di compressione)	
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_{vz}	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 $\times 10^4$	mm^3 $\times 10^3$	mm^3 $\times 10^3$	mm $\times 10$	mm^2 $\times 10^2$	mm^4 $\times 10^4$	mm^3 $\times 10^3$	mm^3 $\times 10^3$	mm $\times 10$	mm	mm^4 $\times 10^4$	mm^6 $\times 10^9$						

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

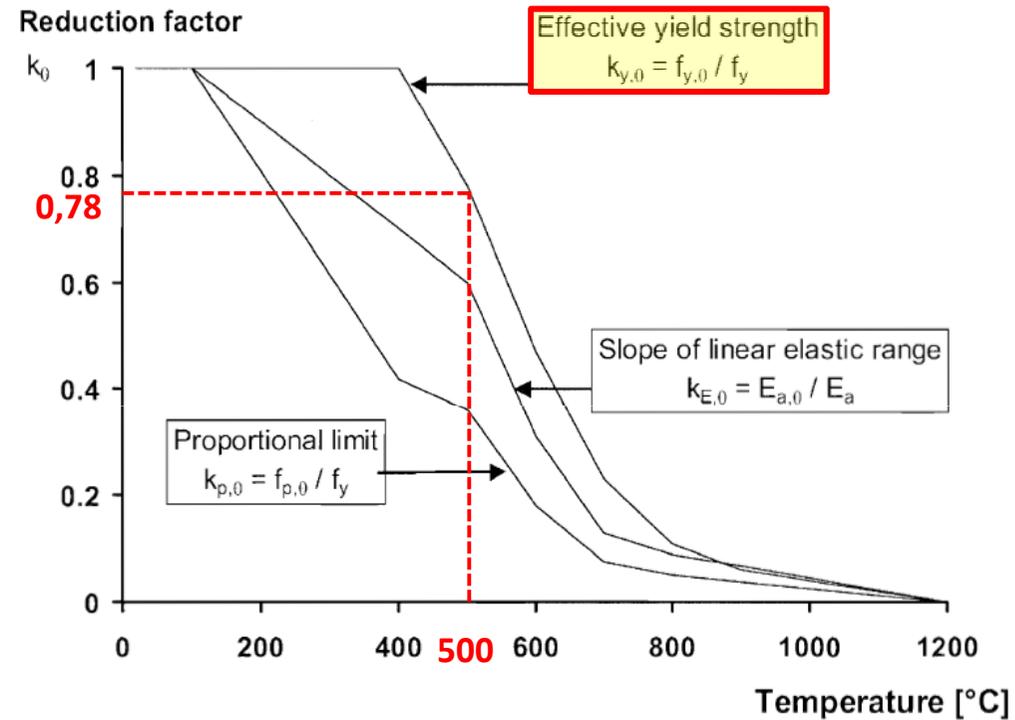
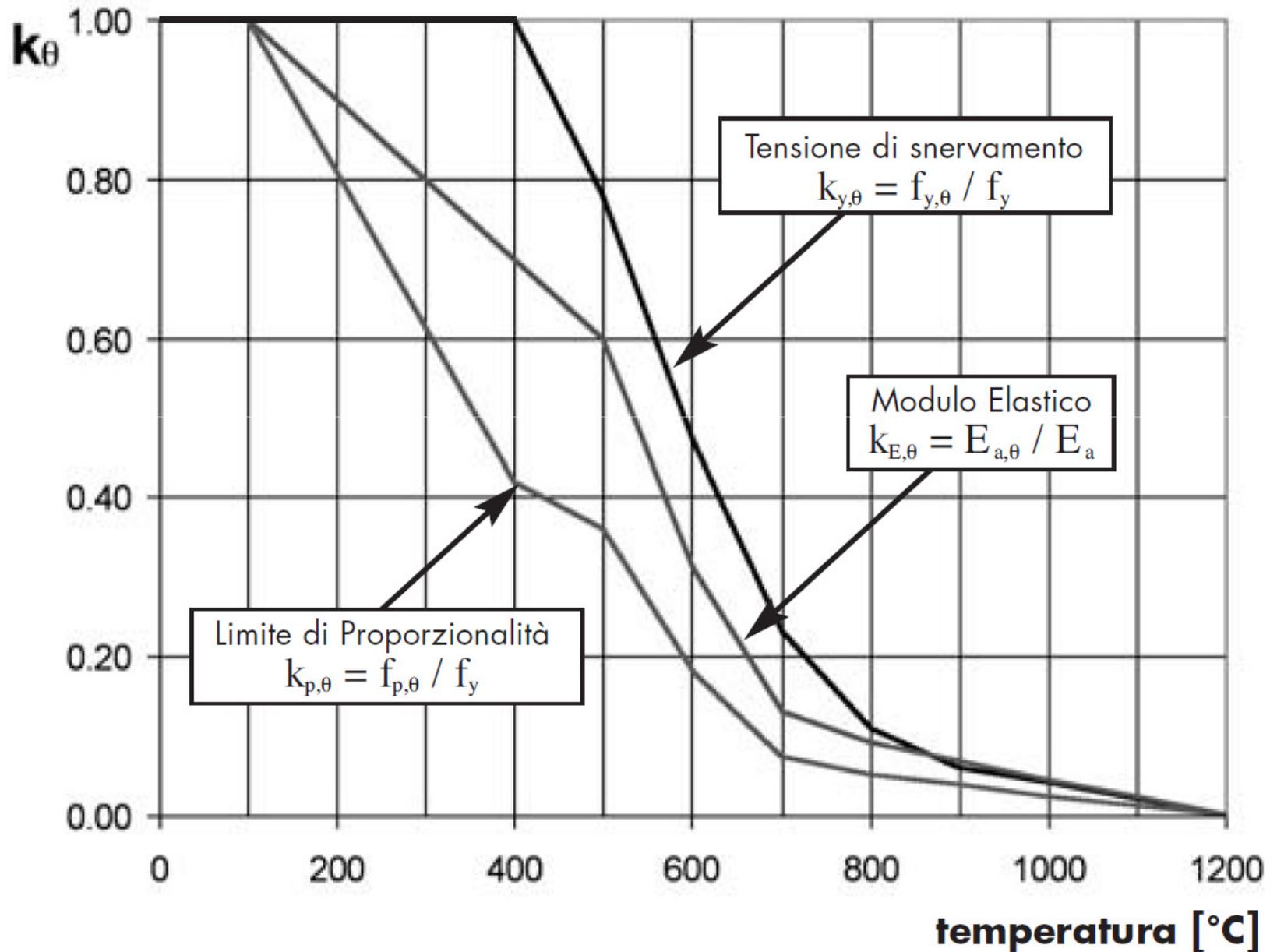
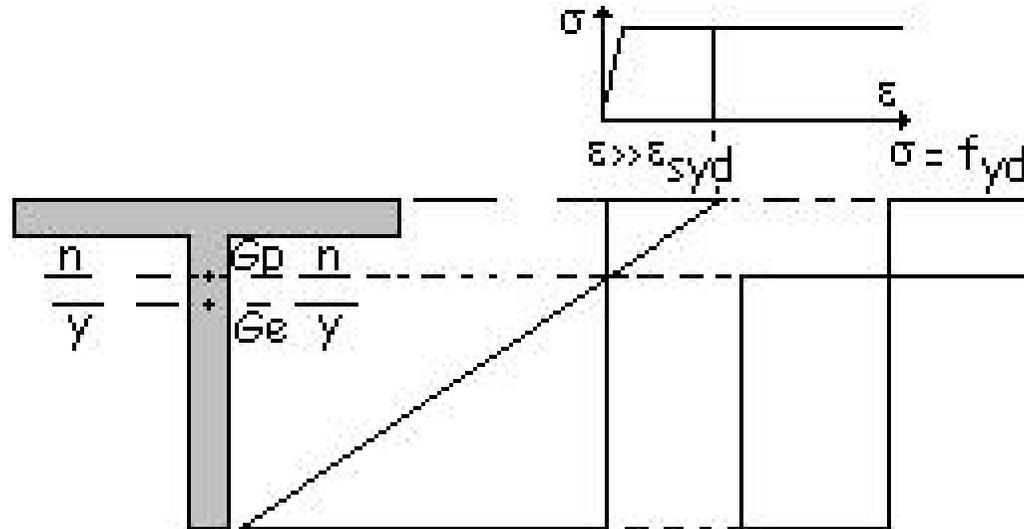


Figure 3.2: Reduction factors for the stress-strain relationship of carbon steel at elevated temperatures

Es.: l'acciaio **S355** a 500°C è caratterizzato da $f_{y,\theta}(\theta) = 355 \cdot 0,78 = \mathbf{277}$ MPa

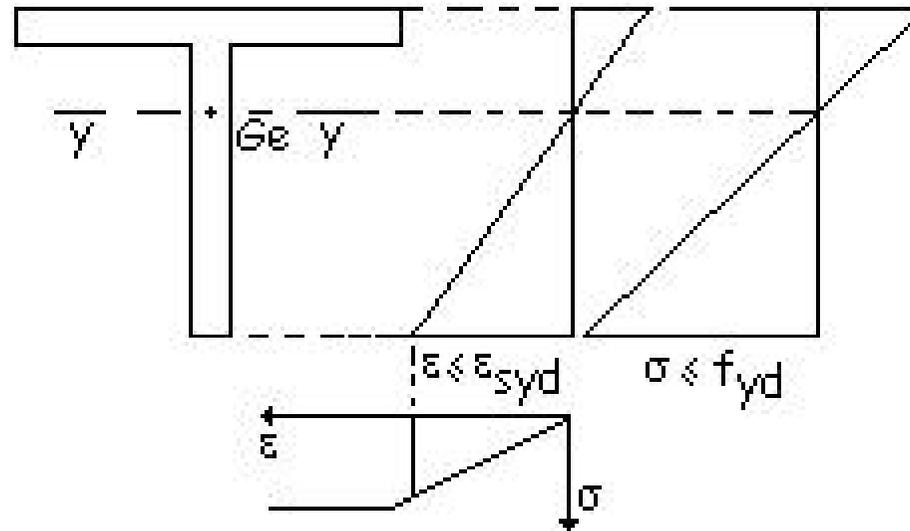
Curve di riduzione delle caratteristiche meccaniche - acciaio da carpenteria





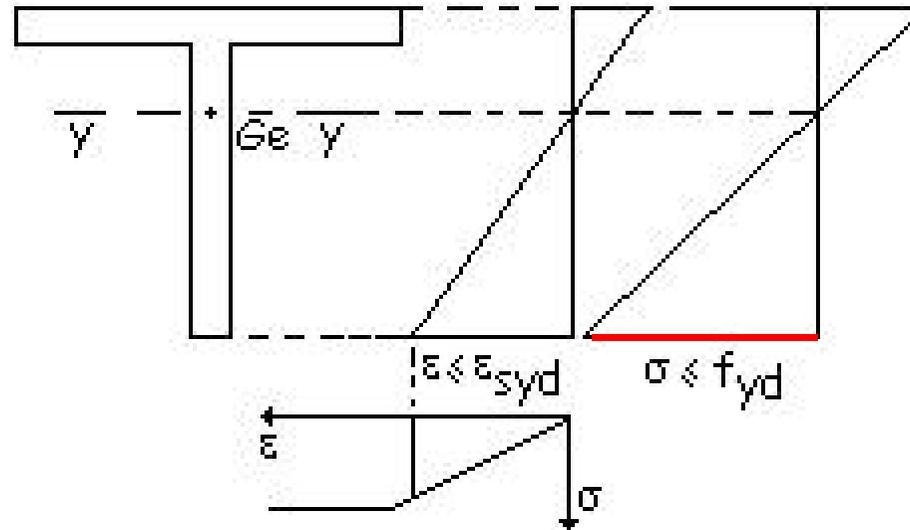
□ Momento resistente a caldo acciaio, sezioni inflesse, classe di duttilità **1** e **2**.

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



□ Momento resistente a caldo acciaio, sezioni inflesse, classe di duttilità **3**.

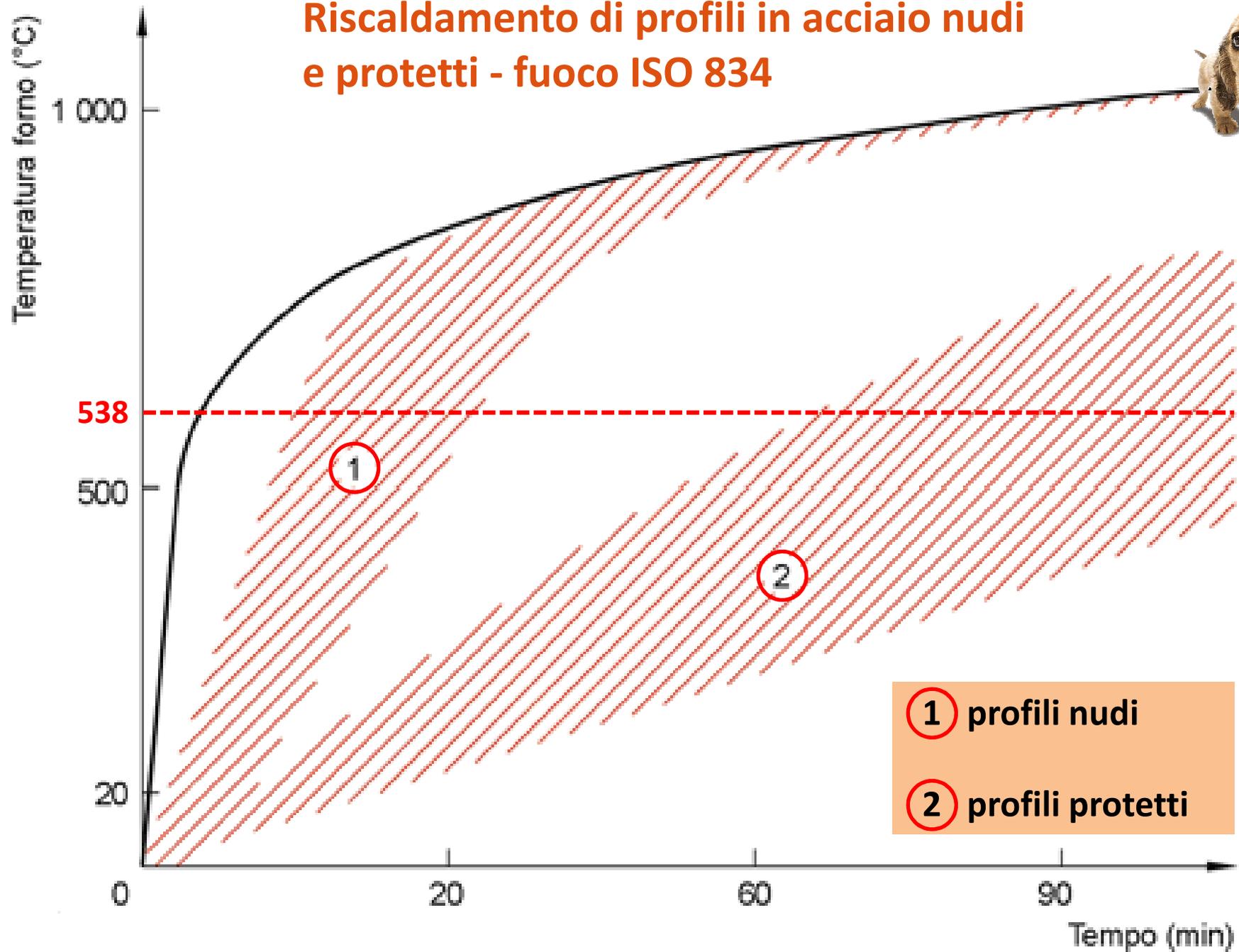
$$M_{fj,t,Rd} = f_y(\theta) W_{el}$$



□ Momento resistente a caldo acciaio, sezioni inflesse, classe di duttilità 4.

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

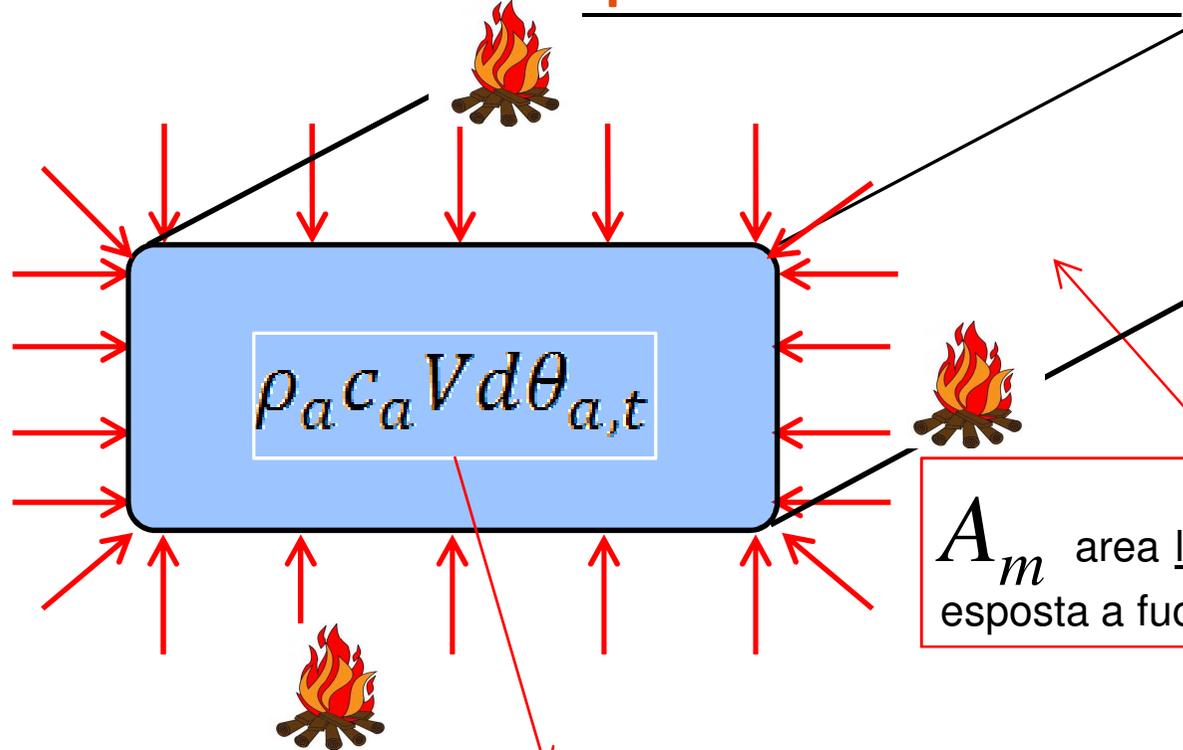
Riscaldamento di profili in acciaio nudi e protetti - fuoco ISO 834



Riscaldamento di profili in acciaio nudi



\dot{h}_{net}



A_m area laterale del profilo
esposta a fuoco (m^2)

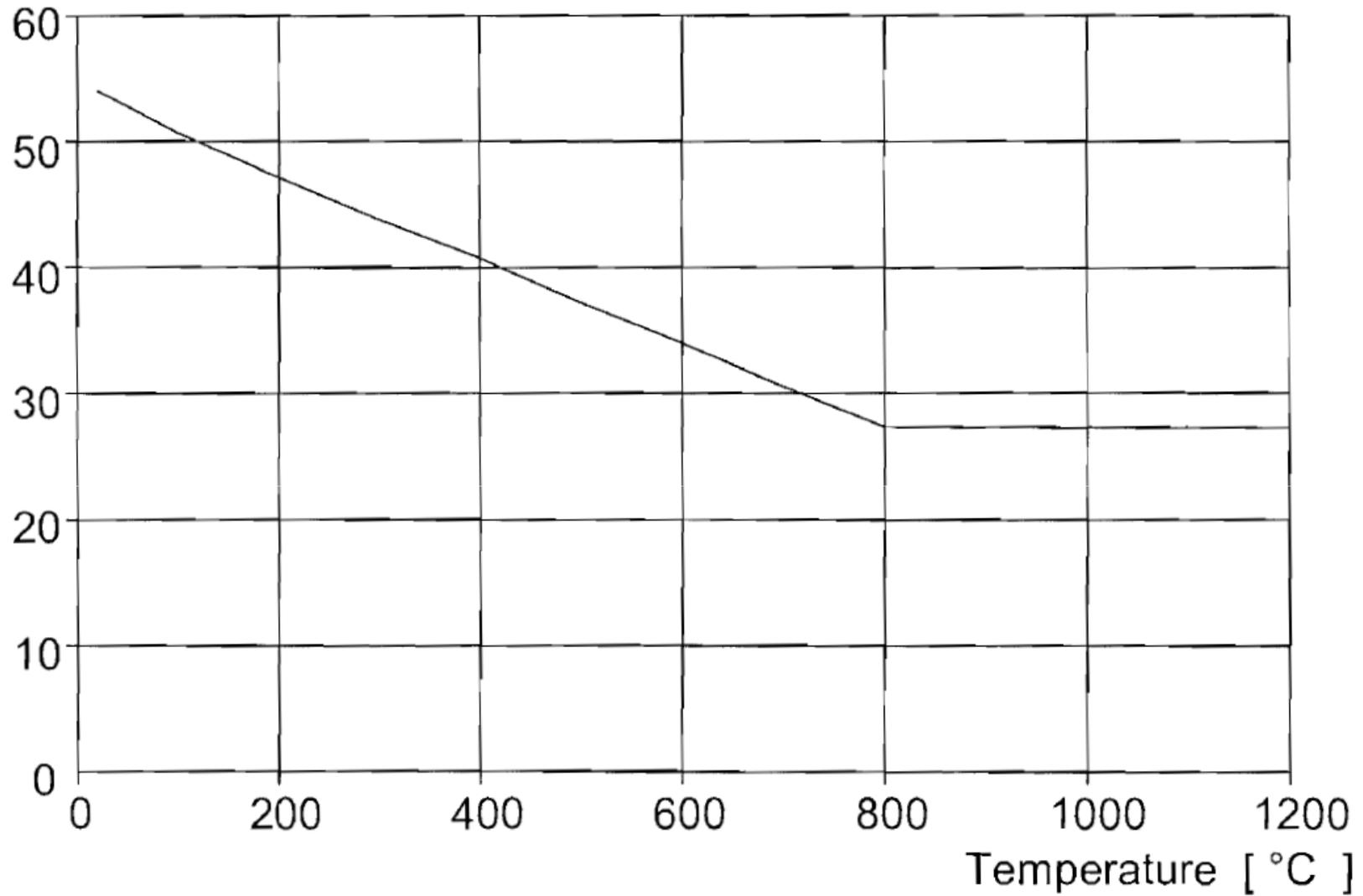
incremento di energia interna (J)

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

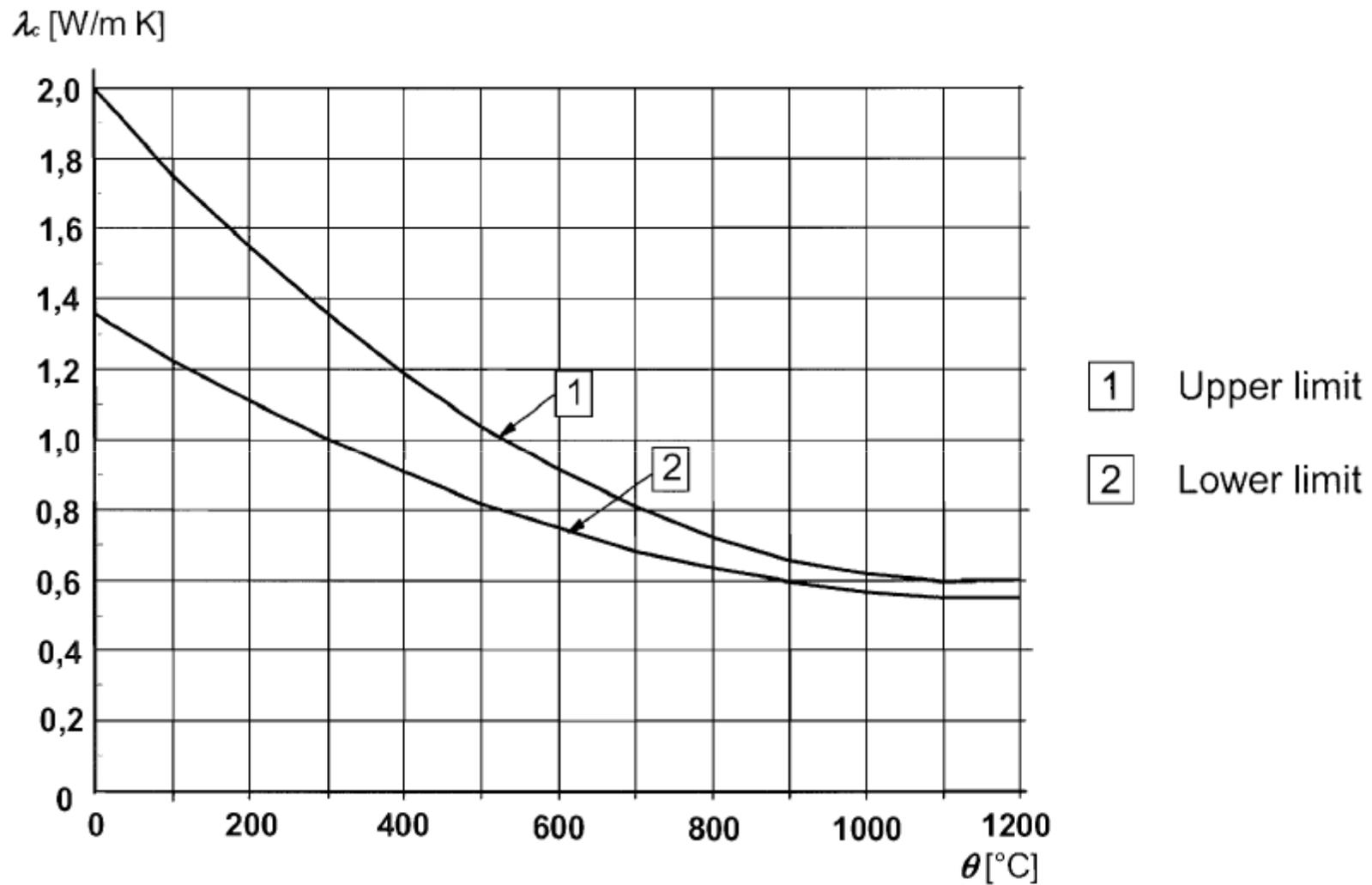
$$\Delta\theta_{a,t} = k_{sh} \frac{A_m}{V} \frac{1}{\rho_a c_a} \dot{h}_{net} \Delta t$$

- 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**.
- N.B. si suppone che thermal conductivity steel $\lambda_{steel} \rightarrow \infty$.
- ($\lambda_{steel}/\lambda_{concrete} = \min \sim 35$, aumenta all'aumentare di θ)

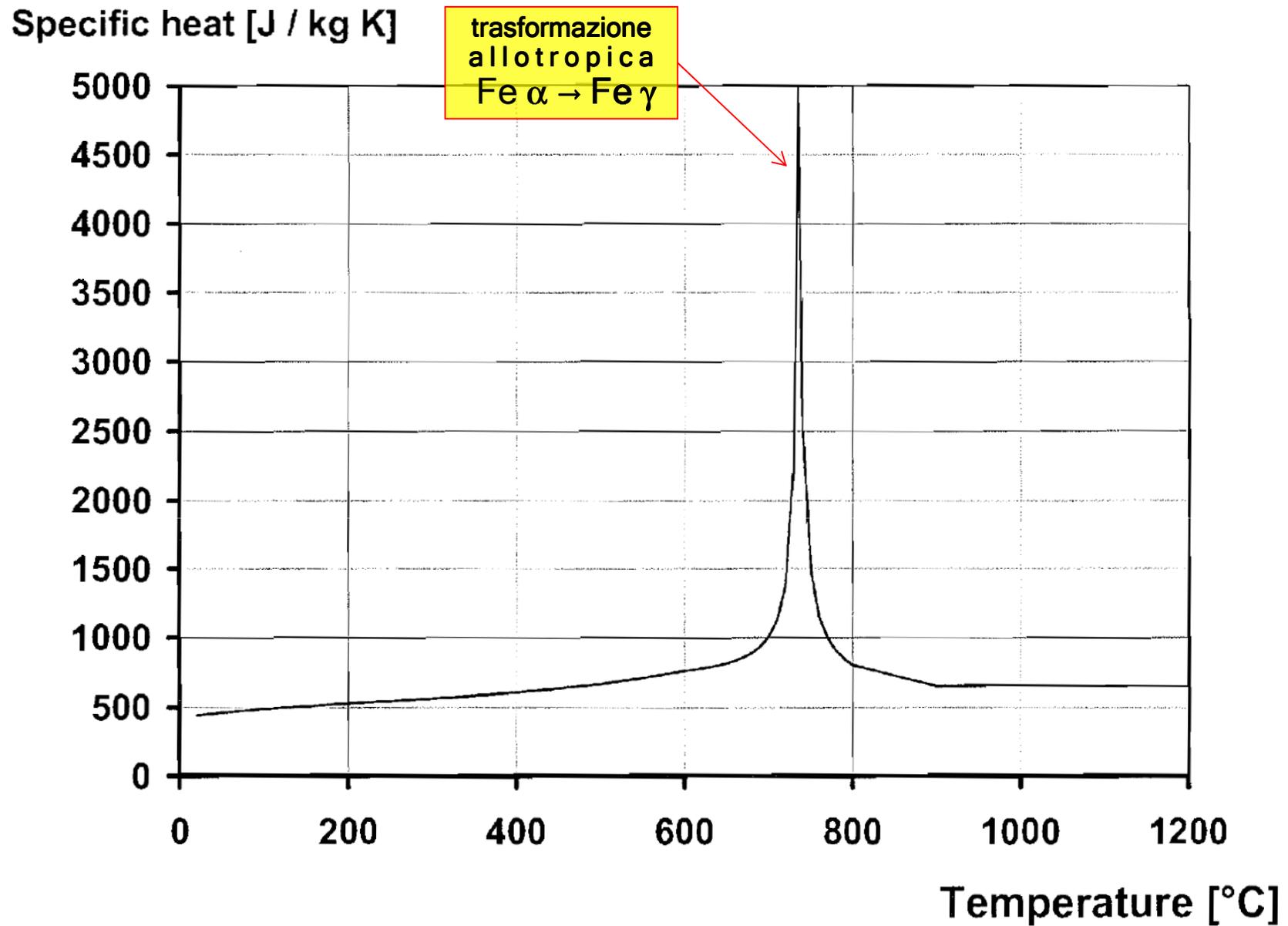
Thermal conductivity [W / mK]



EN 1993-1-2 Figure 3.5: Thermal conductivity of carbon steel as a function of the temperature

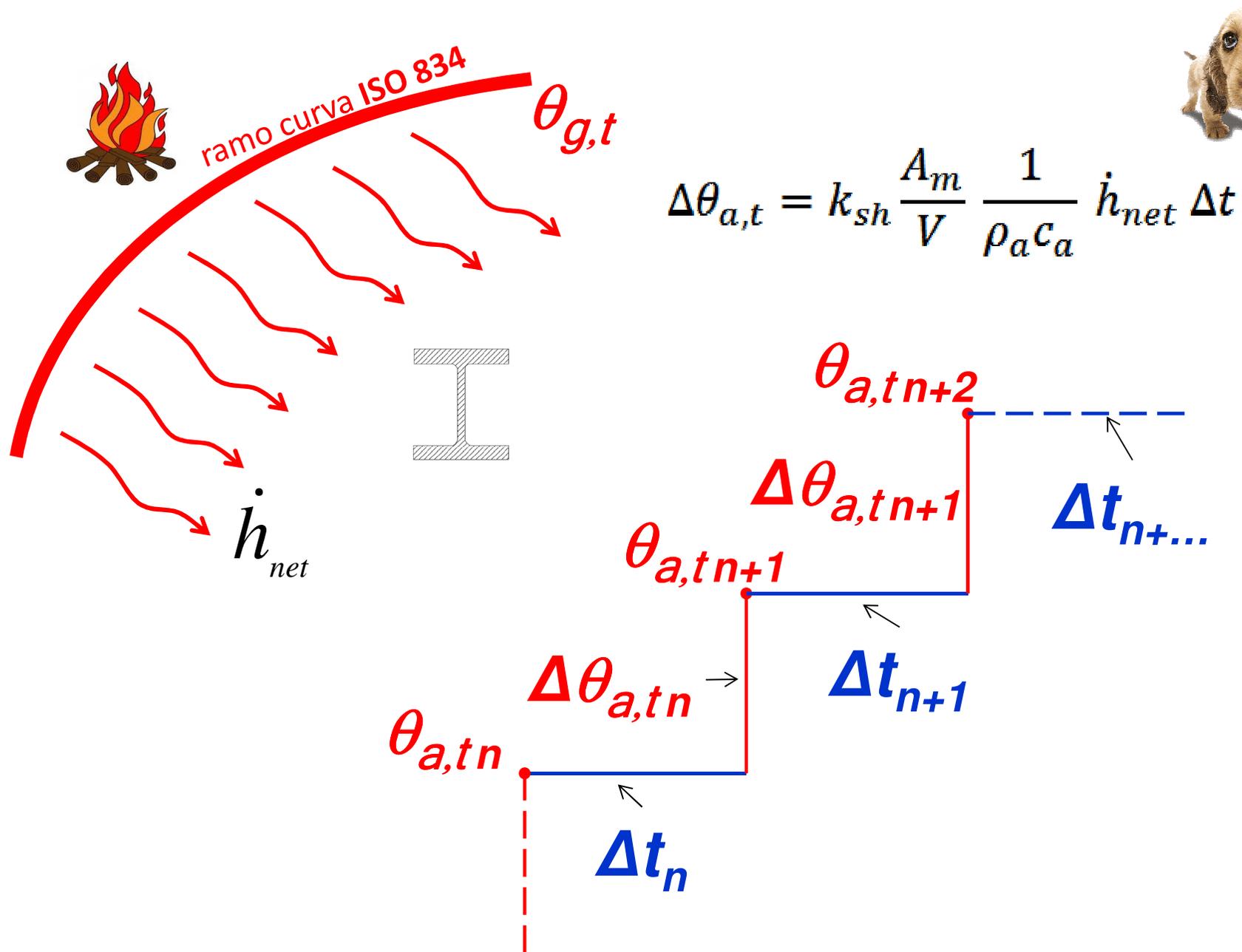


EN 1992-1-2 Figure 3.7: Thermal conductivity of concrete



EN 1993-1-2 Figure 3.4: Specific heat of carbon steel as a function of the temperature

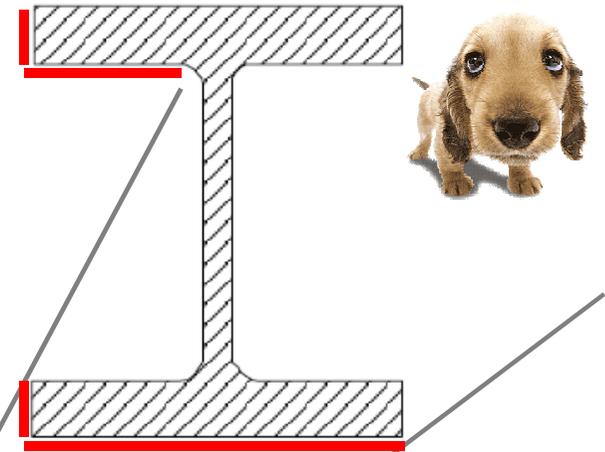
Riscaldamento di profili in acciaio nudi - metodo degli incrementi finiti



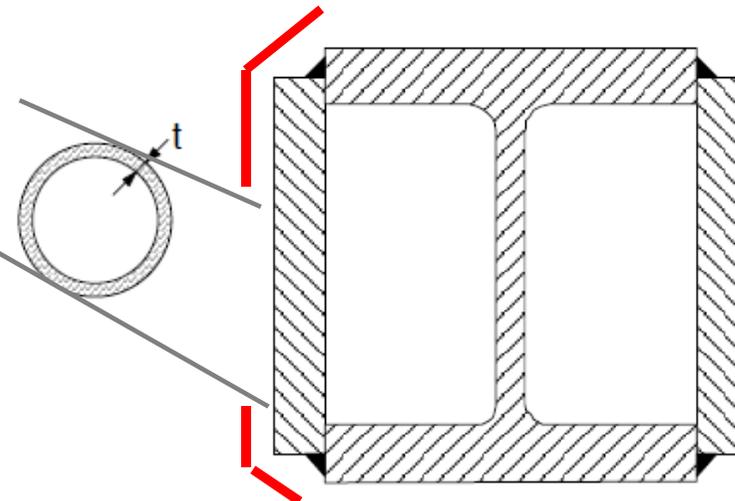


Shadow effect

— esposizione a flusso termico radiativo

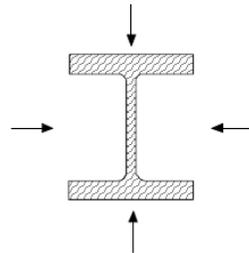


k_{sh}



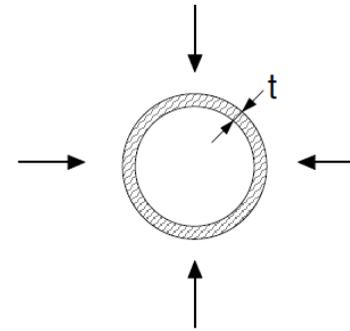
Open section exposed to fire on all sides:

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



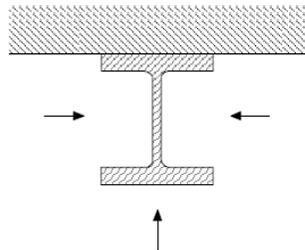
Tube exposed to fire on all sides:

$$A_m/V = 1/t$$



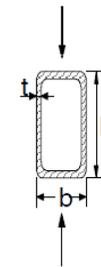
Open section exposed to fire on three sides:

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



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

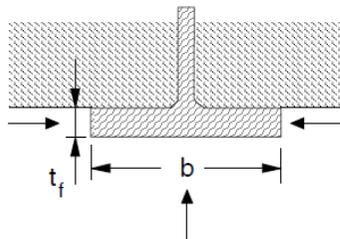
If $t \ll b$: $A_m/V \approx 1/t$



I-section flange exposed to fire on three sides:

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

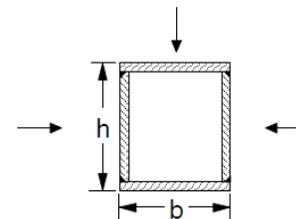
If $t \ll b$: $A_m/V \approx 1/t_f$



Welded box section exposed to fire on all sides:

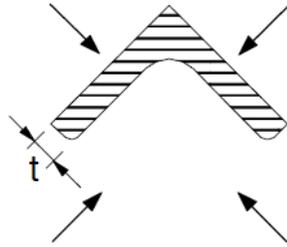
$$\frac{A_m}{V} = \frac{2(b + h)}{\text{cross-section area}}$$

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



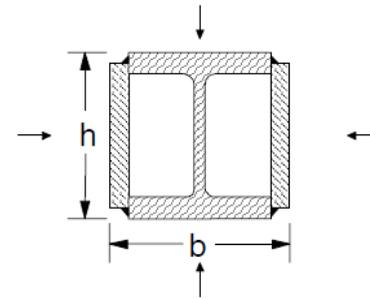
Angle exposed to fire on all sides:

$$A_m/V = 2/t$$



I-section with box reinforcement, exposed to fire on

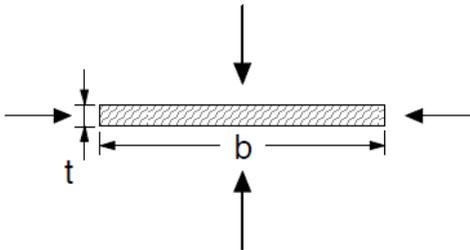
all sides:
$$\frac{A_m}{V} = \frac{2(b+h)}{\text{cross-section area}}$$



Flat bar exposed to fire on all sides:

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

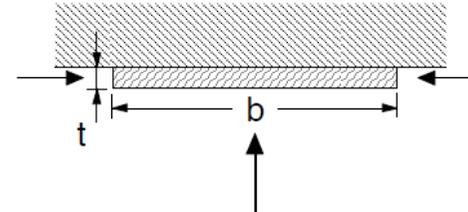
If $t \ll b$: $A_m/V \approx 2/t$

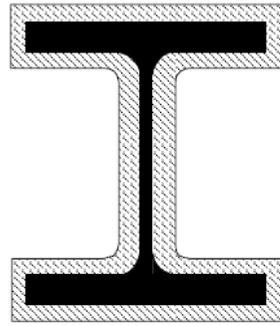


Flat bar exposed to fire on three sides:

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

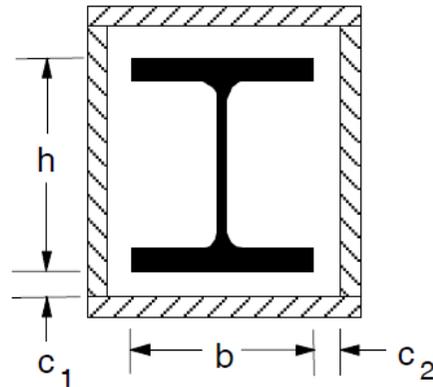
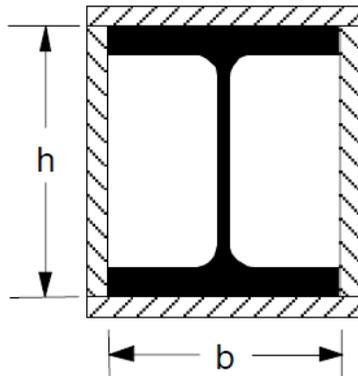
If $t \ll b$: $A_m/V \approx 1/t$





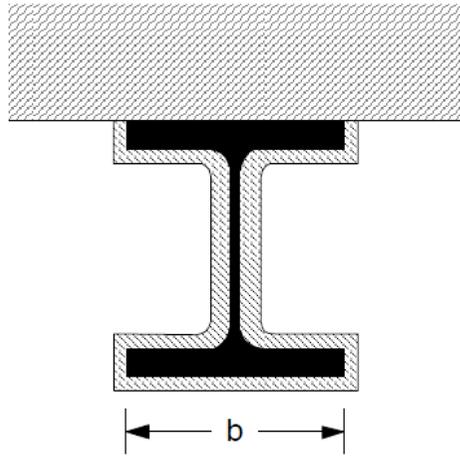
Contour encasement
of uniform thickness

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



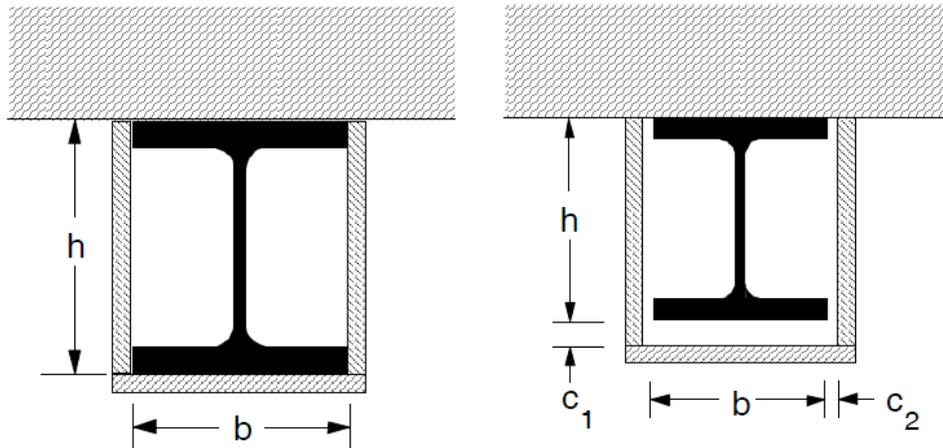
Hollow encasement
of uniform thickness)¹

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



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 A 450	165	187	127	149	HE 100 AA	290	355	181	245
IPE 80 A	437	509	317	389	IPE 450	143	162	110	130	HE 100 A	217	264	138	185
IPE 80	369	429	270	330	IPE O 450	122	138	94	110	HE 100 B	180	218	115	154
IPE AA 100	398	463	292	357	IPE A 500	152	172	118	138	HE 100 M	96	116	65	85
IPE A 100	389	452	286	349	IPE 500	134	151	104	121	HE 120 AA	296	361	182	247
IPE 100	334	387	247	300	IPE O 500	114	129	89	104	HE 120 A	220	267	137	185
IPE AA 120	382	442	280	340	IPE A 550	142	160	111	129	HE 120 B	167	202	106	141
IPE A 120	370	428	271	329	IPE 550	124	140	97	113	HE 120 M	92	111	61	80
IPE 120	311	360	230	279	IPE O 550	108	121	85	98	HE 140 AA	281	342	172	233
IPE AA 140	369	426	270	327	IPE A 600	131	147	103	119	HE 140 A	208	253	129	174
IPE A 140	354	409	260	314	IPE 600	115	129	91	105	HE 140 B	155	187	98	130
IPE 140	291	335	215	259	IPE O 600	93	104	73	85	HE 140 M	88	106	58	76
IPE AA 160	350	403	256	309	IPE 750 x 134	131	147	103	119	HE 160 AA	244	297	150	203
IPE A 160	332	382	245	295	IPE 750 x 147	120	134	94	109	HE 160 A	192	234	120	161
IPE 160	269	310	200	241	IPE 750 x 173	102	114	81	93	HE 160 B	140	169	88	118
IPE AA 180	316	364	233	281	IPE 750 x 196	91	102	72	83	HE 160 M	83	100	54	71

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

flusso termico netto totale (W/m²)

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

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)

$$\dot{h}_{net,r} = \phi \varepsilon_m \varepsilon_f \sigma \left[(\theta_{g,t} + 273)^4 - (\theta_m + 273)^4 \right]$$

con:

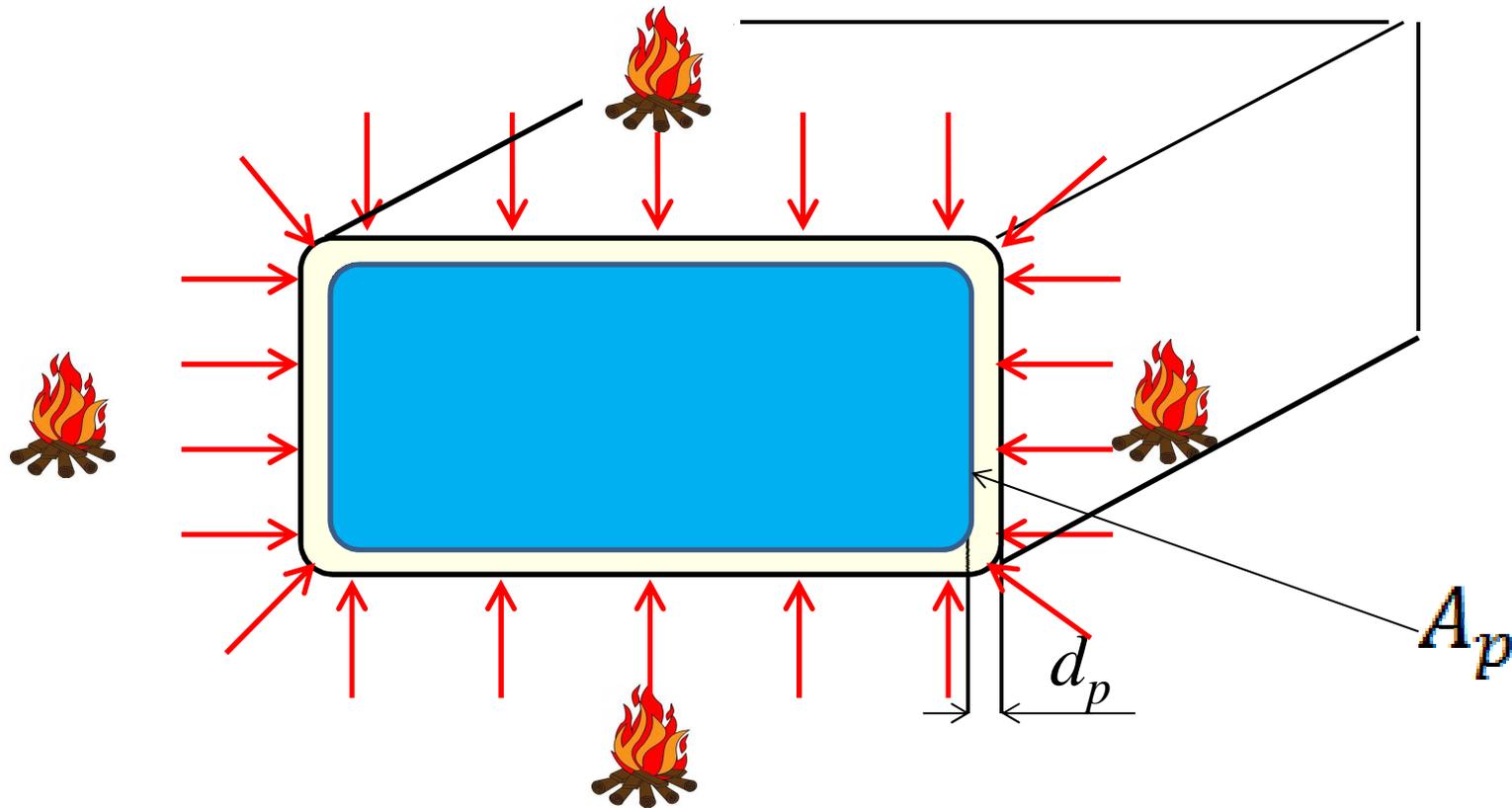
ε_f emissività fiamme = 1;

ε_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).

Riscaldamento di profili in acciaio protetti



Equazione di **Wickström** (formulata nel 1985)

$$\Delta\theta_{a,t} = \frac{\lambda_p A_p / V}{d_p \rho_a c_a (1 + \phi/3)} (\theta_{g,t} - \theta_{a,t}) \Delta t - (e^{\phi/10} - 1) \Delta\theta_{g,t}$$

Riscaldamento di profili in acciaio protetti

con:

λ_p conduttività termica del protettivo (W/m°C)

$\theta_{g,t}$ temperatura dei gas nel comparto al tempo t (°C)

$\theta_{a,t}$ temperatura dell'acciaio al tempo t (°C)

d_p spessore del materiale isolante (m)

A_p superficie interna di contatto dell'elemento (m²)

Δt intervallo di tempo (s), $\Delta t \ll 30$ s \neq no convergenza

ρ_a massa volumica acciaio (kg/m³)

c_a calore specifico acciaio (J/kg °C)

V volume dell'elemento (m³)

$\theta_{a,t}$ temperatura dell'acciaio al tempo t (°C) (uniforme)

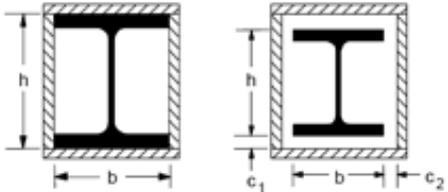
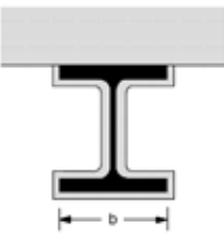
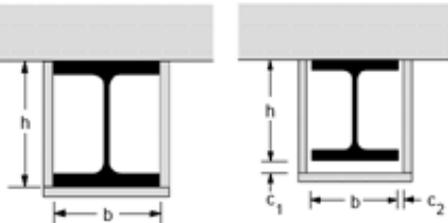
ρ_p massa volumica del protettivo (kg/m³)

c_p calore specifico del protettivo (J/kg°C)

$\frac{A_p}{V}$ • è il fattore di sezione dell'elemento protetto

A_p • è la superficie (perimetro) in caso di rivestimento aderente;
 • è la superficie (perimetro) della scatola aderente in caso di rivestimento scatolare;

V • è il volume (sezione retta) del profilato.

Sketch	Description	Section factor (A_p/V)
	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	$\frac{2h + b}{\text{steel cross-section area}}$

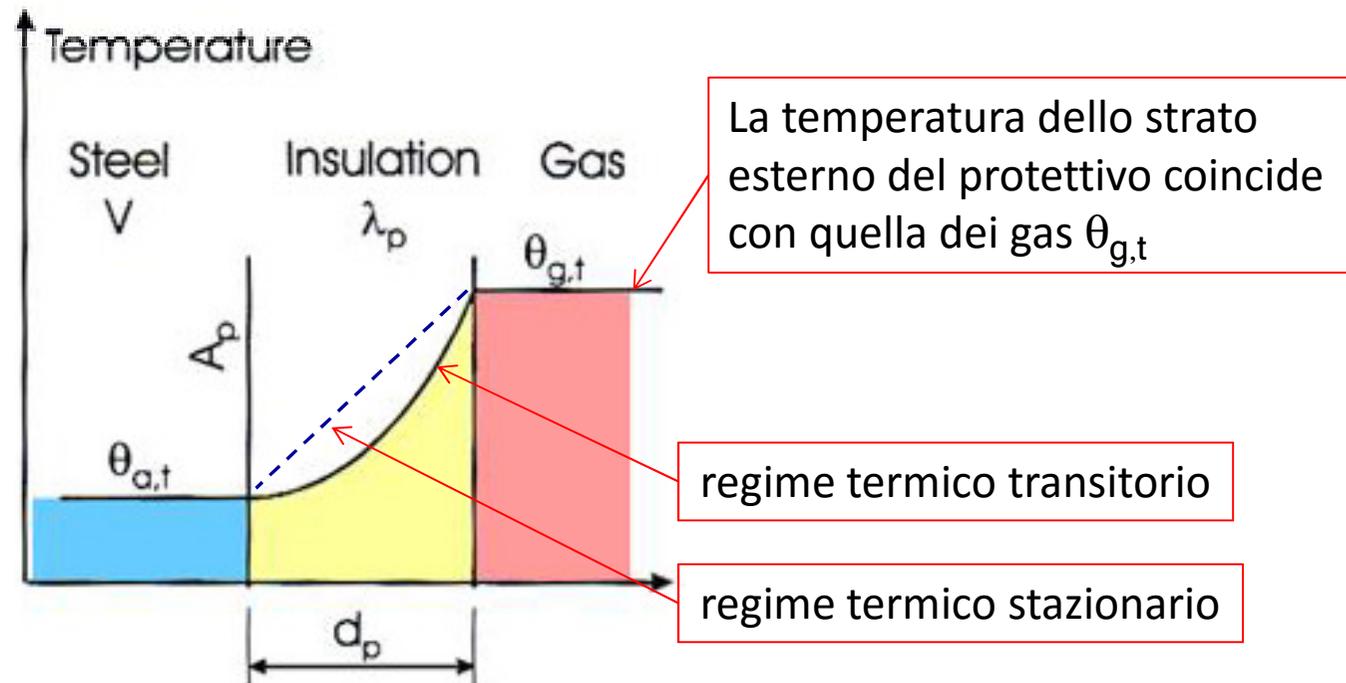
¹ The clearance dimensions c_1 and c_2 should not normally exceed $h/4$

Riscaldamento di profili in acciaio protetti

e con:

$$\phi = \frac{\rho_p c_p}{\rho_a c_a} d_p \frac{A_p}{V}$$

che tiene conto della capacità termica del protettivo rispetto a quella dell'acciaio



Riscaldamento di profili in acciaio protetti

Nei metodi semplificati viene assunto $\phi = 0$ che equivale a supporre che nel protettivo non si accumuli calore:

1. peggiorano le condizioni di esposizione termica dell'acciaio.
2. la condizione è cautelativa.

L'equazione di **Wickström**, in tal caso, si semplifica in:

$$\Delta\theta_{a,t} = \frac{\lambda_p A_p / V}{d_p \rho_a c_a} (\theta_{g,t} - \theta_{a,t}) \Delta t$$

dove ponendo:

$$k_p = \frac{\lambda_p A_p}{d_p V} \quad (\text{W/m}^3 \text{ } ^\circ\text{C})$$

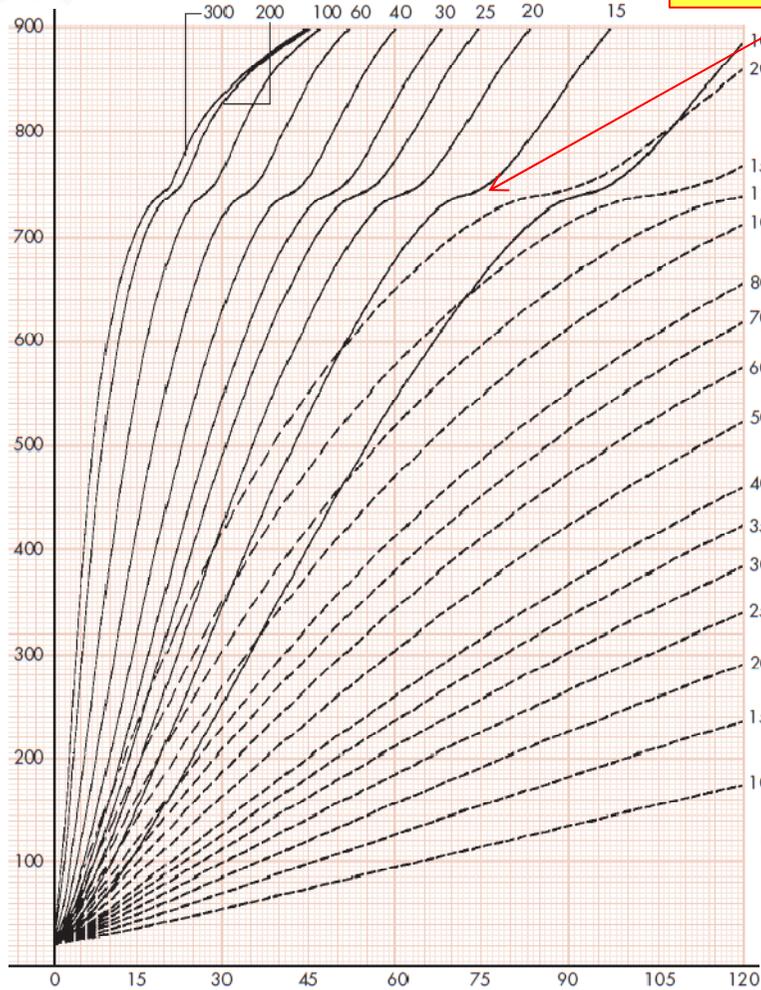
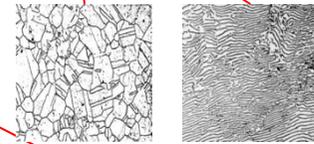
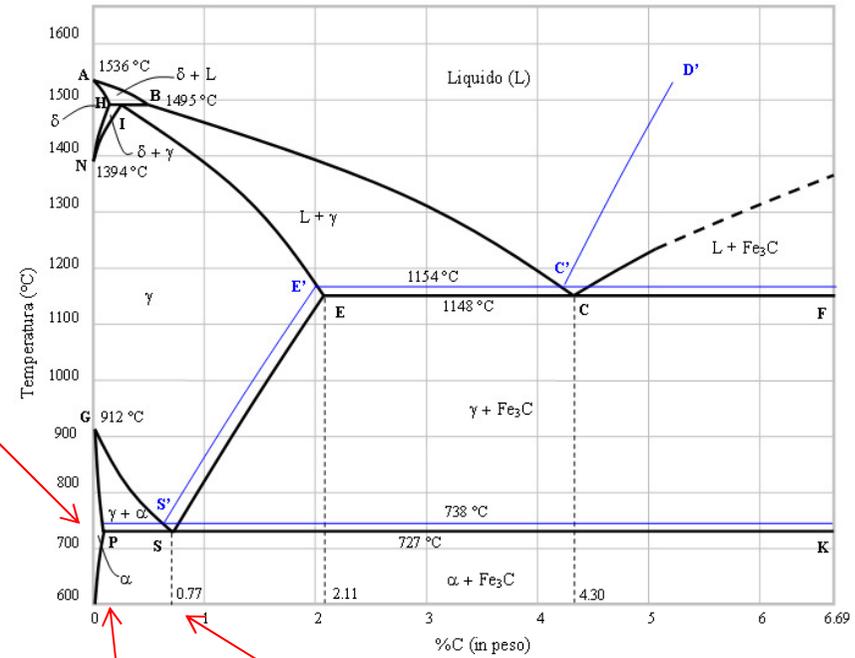
si ottiene:

$$\Delta\theta_{a,t} = \frac{k_p}{\rho_a c_a} (\theta_{g,t} - \theta_{a,t}) \Delta t$$

Riscaldamento di profili in acciaio nudi e protetti

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

trasformazione
allotropica
 $Fe \alpha \rightarrow Fe \gamma$



$$\Delta\theta_{a,t} = \frac{k_p}{\rho_a c_a} (\theta_{g,t} - \theta_{a,t}) \Delta t$$

equazione di **Wickström** semplificata

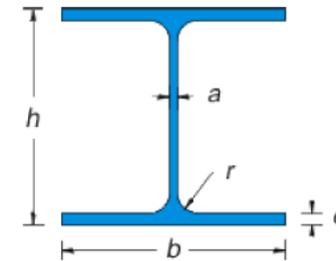
VALGONO LE CONSIDERAZIONI GENERALI GIA' FATTE PER LE SEZIONI IN C.A.:

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.

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

Essendo, per sezioni in acciaio:

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

deriva che, in condizioni di collasso $k_{y,\theta} \equiv \mu_0$.

$$\begin{aligned} k_{y,\theta} &= \frac{f_{y,\theta}}{f_{yk}} = \frac{f_{y,\theta} W_{pl} (W_{el})(A_s)}{f_{yk} W_{pl} (W_{el})(A_s)} = \\ &= \frac{M_{S,fi,d} (N_{S,fi,d})}{M_{R,fi,d,t=0} (N_{R,fi,d,t=0})} = \mu_0 \end{aligned}$$

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.

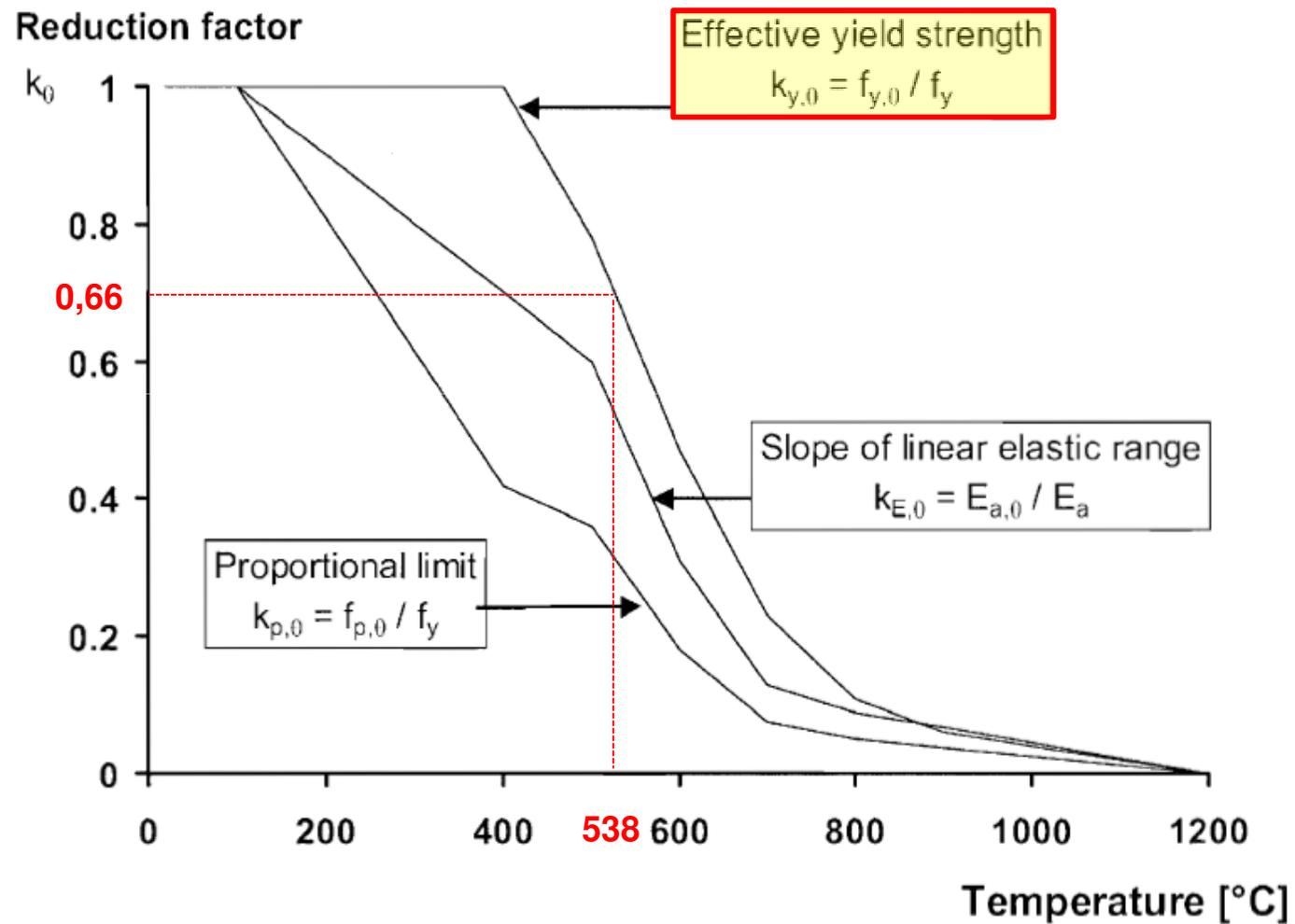


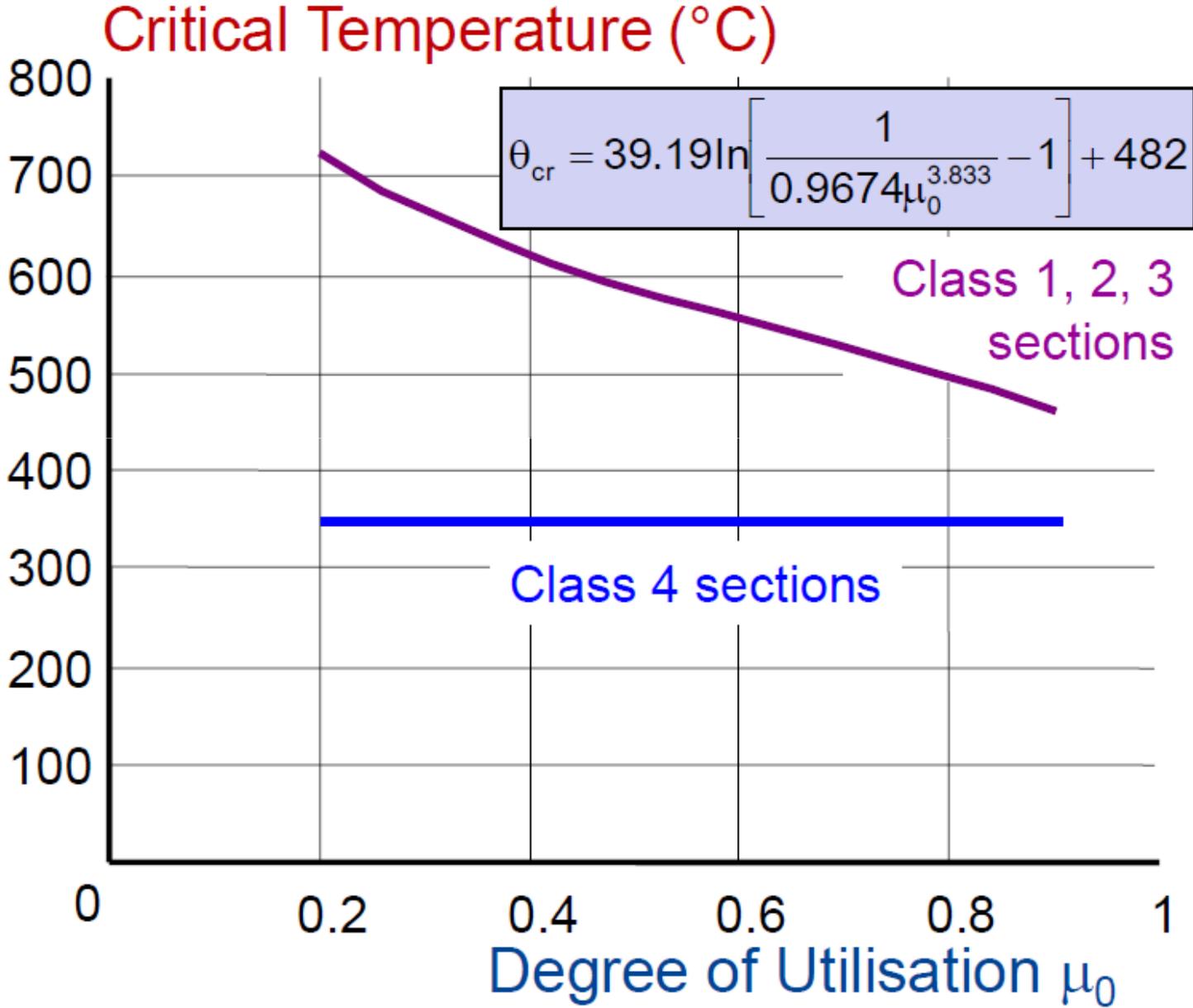
Figure 3.2: Reduction factors for the stress-strain relationship of carbon steel at elevated temperatures

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

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

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

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

Riscaldamento di profili in acciaio nudi e protetti



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

+

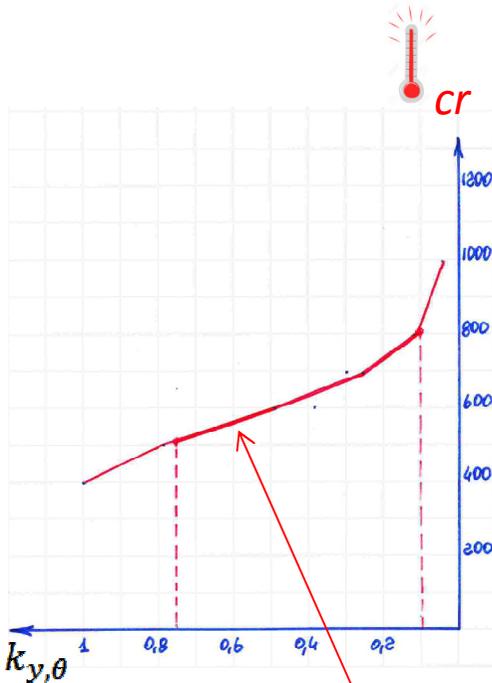
$$\Delta\theta_{a,t} = k_{sh} \frac{A_m}{V} \frac{1}{\rho_a c_a} \dot{h}_{net} \Delta t$$

sezioni nude

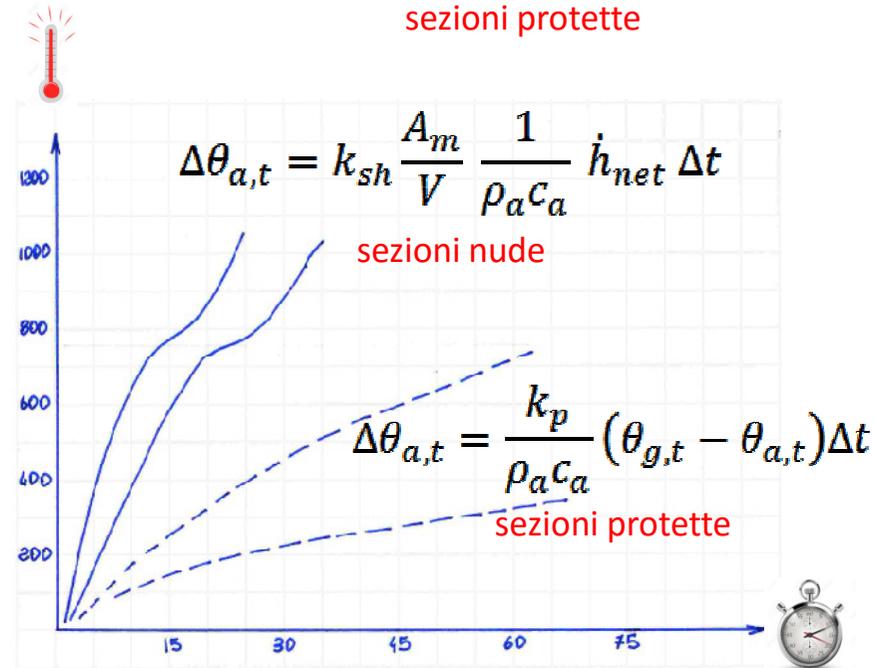
=

$$\Delta\theta_{a,t} = \frac{k_p}{\rho_a c_a} (\theta_{g,t} - \theta_{a,t}) \Delta t$$

sezioni protette



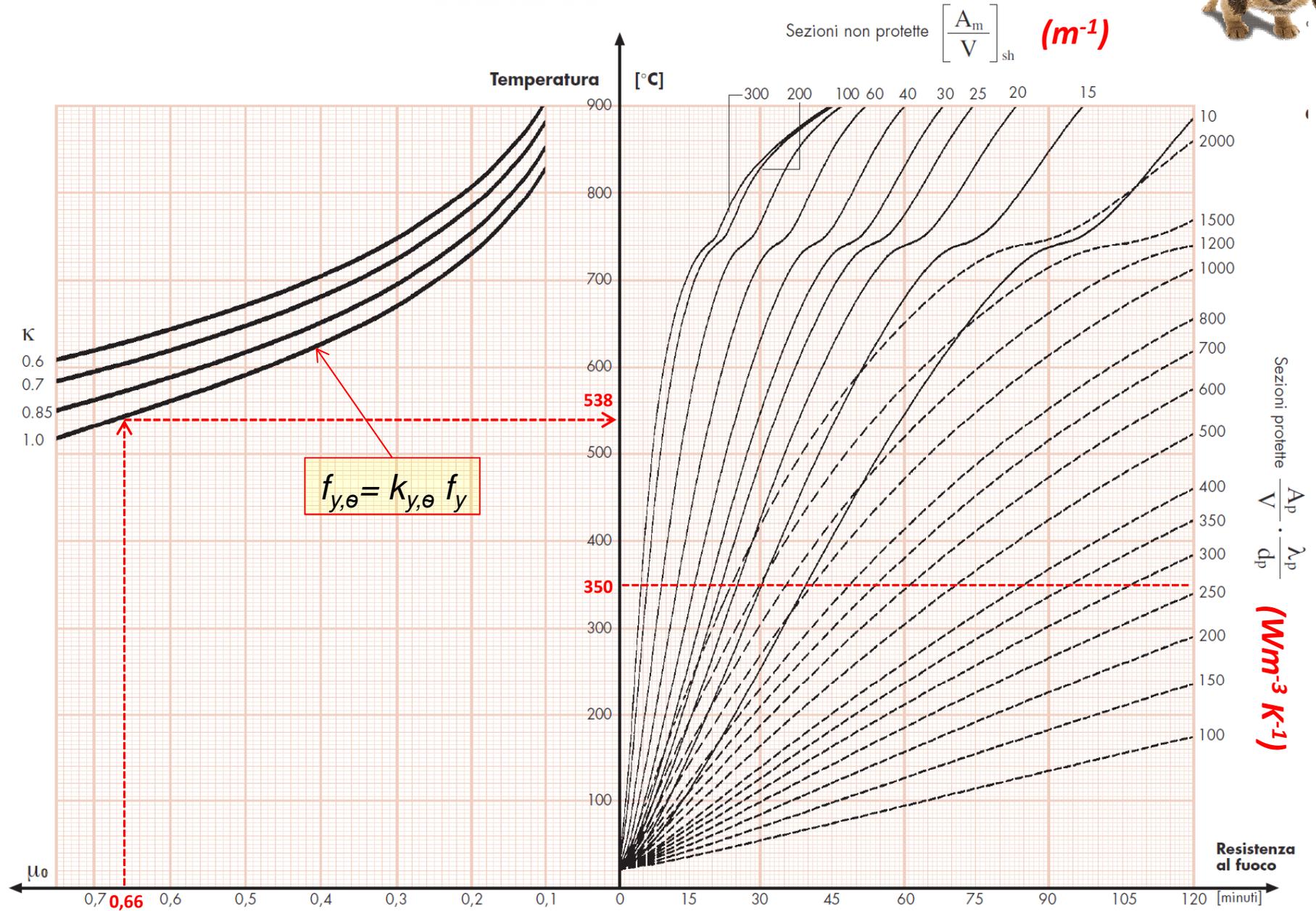
+



=

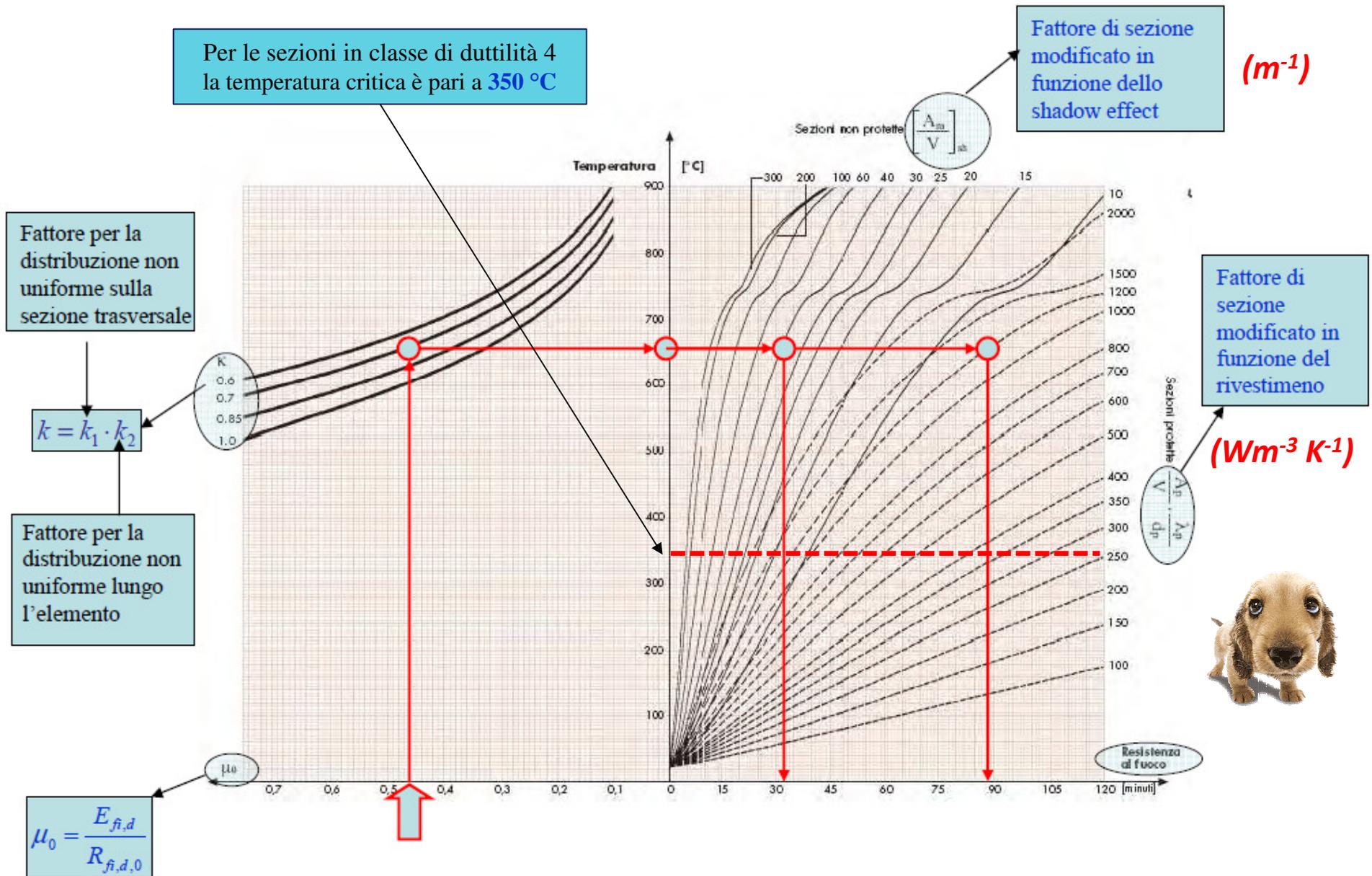
$$\theta_{cr} = 39,19 \log \left[\frac{1}{0,9674 \mu_0^{3,833}} - 1 \right] + 482$$

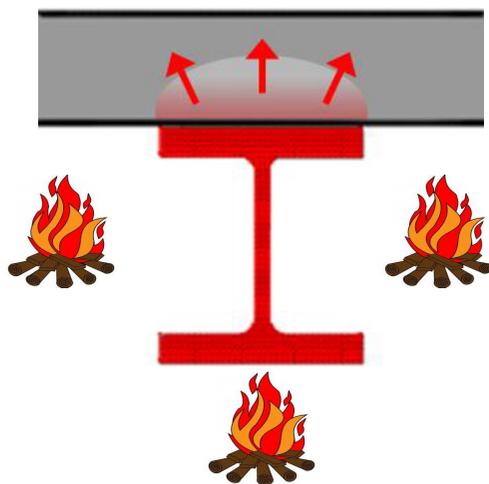
Nomogramma EC3



Acciaio – nomogramma EC3

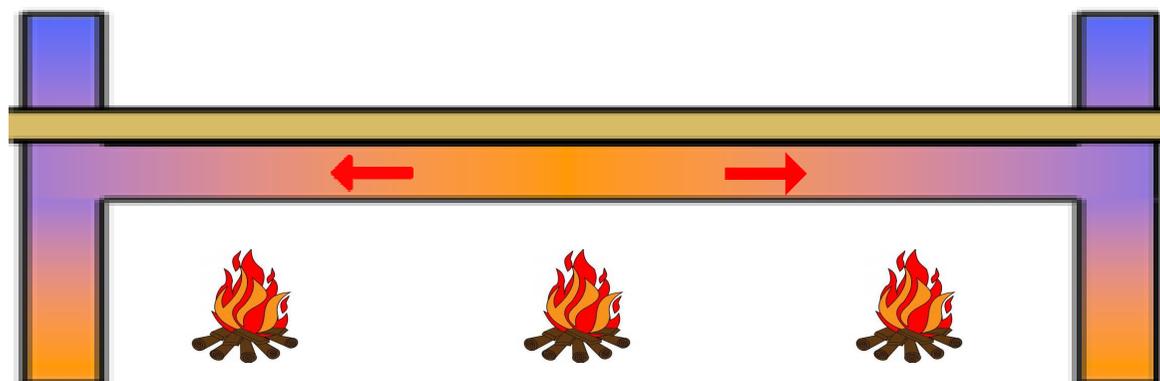
metodo analitico semplificato di valutazione della resistenza al fuoco di strutture in acciaio





k_1 fattore di distribuzione non uniforme della temperatura sulla sezione

- $k_1 = 1,00$ per esposizione al fuoco su 4 lati;
- $k_1 = 0,70$ profili non protetti con esposizione al fuoco su tre lati;
- $k_1 = 0,85$ profili protetti con esposizione al fuoco su tre lati.



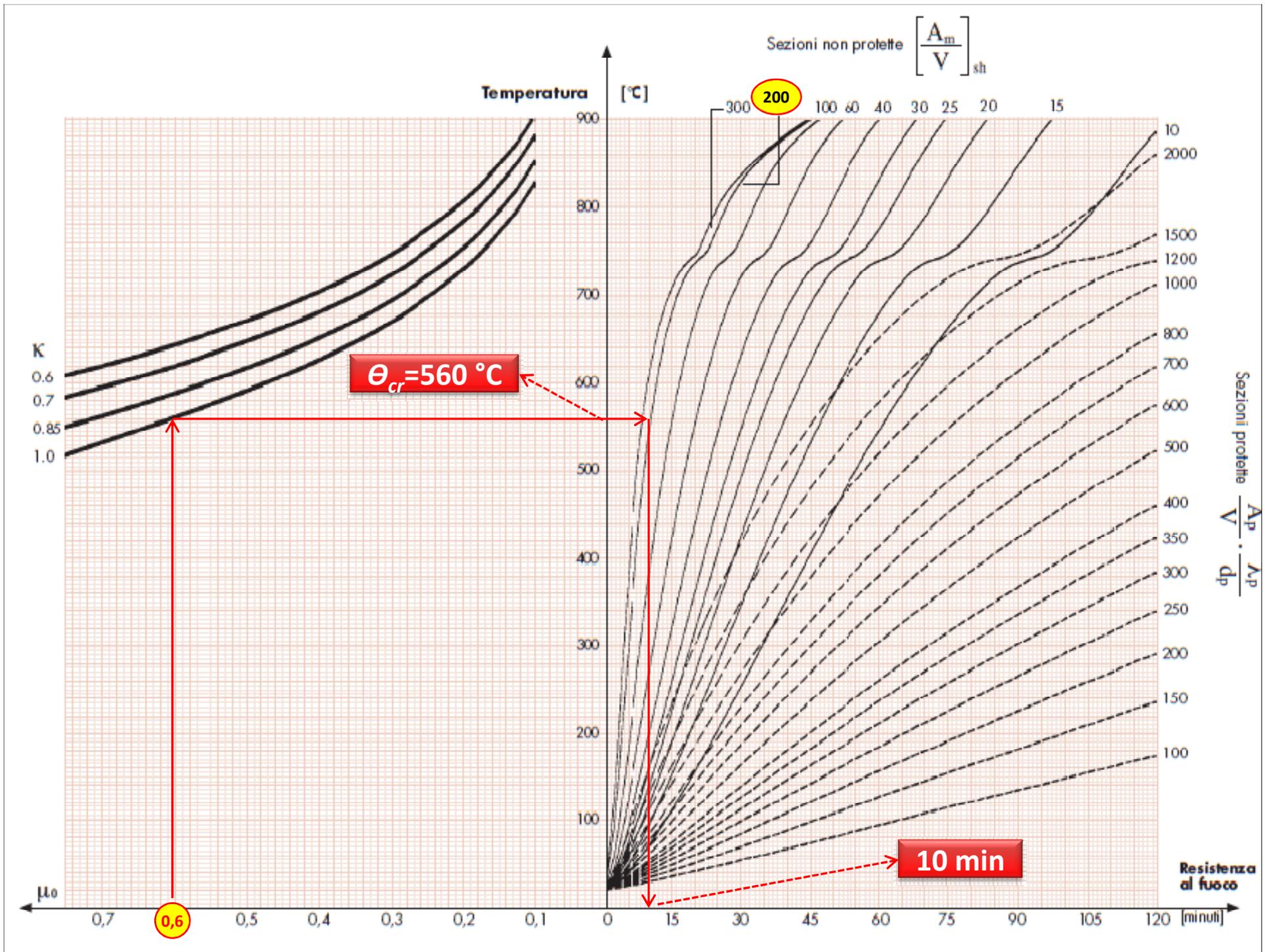
k_2 fattore di distribuzione non uniforme della temperatura lungo la trave

- $k_2 = 0,85$ in corrispondenza dei vincoli per travi iperstatiche;
- $k_2 = 1,00$ in tutti gli altri casi.

Coefficiente maggiorativo $1/k$ della temperatura critica θ_{cr} : $k = k_1 k_2$



- ❑ 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 $t_{\max} = 5 \text{ mm} \rightarrow \text{S.F.} \approx 1/t = 1/5\text{E-}3 = \underline{\underline{200 \text{ m}^{-1}}}$;



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
$\bar{\lambda}_{(20^\circ\text{C})}$				$f'_{y,\theta,\bar{\lambda}}$ [N/mm ²]		
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
$\bar{\lambda}_{(20^\circ\text{C})}$	$f_{y,\theta,\bar{\lambda}}^2 \cdot [\text{N/mm}^2]$					
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 355

Temperatura 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
$\bar{\lambda}_{(20^\circ\text{C})}$	$f'_{y,\theta,\bar{\lambda}} \cdot [\text{N/mm}^2]$					
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

Verifica colonna HEA 300, S 235 protetta

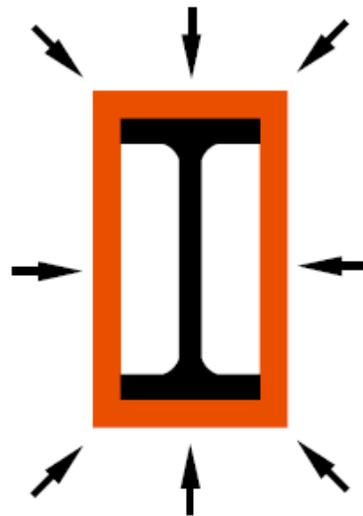
Dati: Sollecitazione in caso di incendio, spessore e tipo di protezione, fattore di sezione

Risultati: Resistenza al fuoco

Colonna HEA300 (S235), protetta con lastre di silicati ($d_p = 25 \text{ mm}$, $\lambda_p = 0,15 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$).

Lunghezza di libera inflessione $l_{fi} = 4 \text{ m}$.

$N_{fi,Ed} = 1065 \text{ kN}$ Sforzo normale in caso di incendio



Verifica colonna HEA 300, S 235 protetta

- Determinazione della snellezza adimensionale:

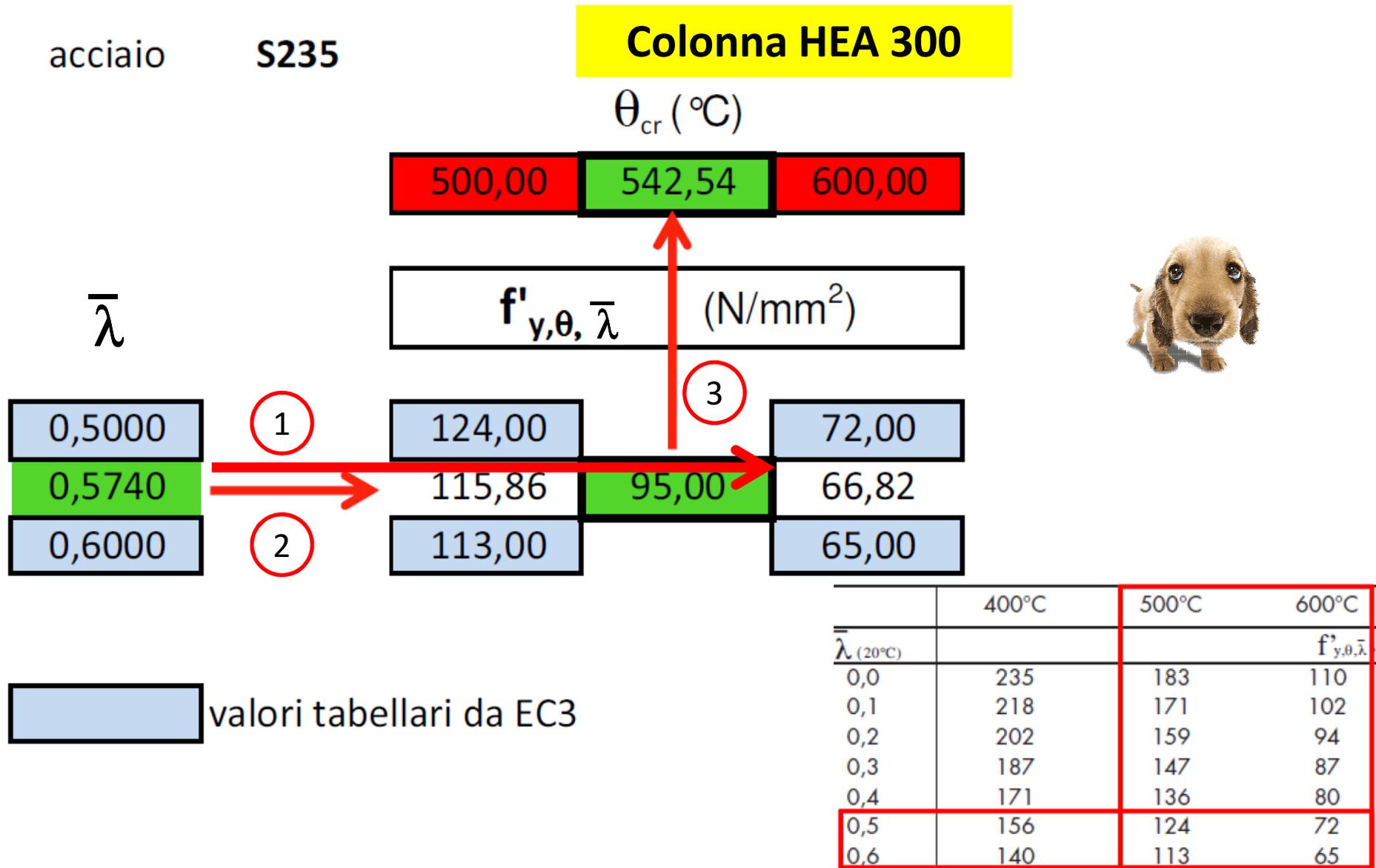
$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9$$

$$\bar{\lambda}_{(20^\circ\text{C})} = \frac{l_{fi}}{i \cdot \lambda_1} = \frac{4}{0,0749 \cdot 93,9} = 0,57$$

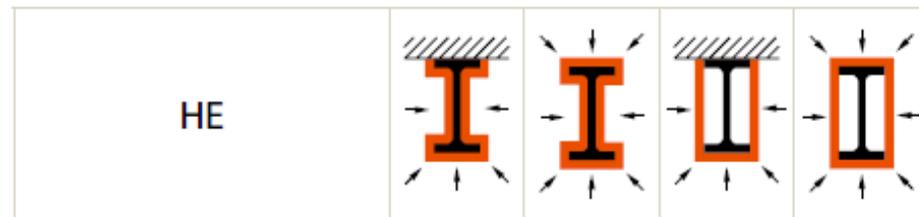
- Determinazione della tensione critica di compressione:

$$f'_{y,\theta,\bar{\lambda}} = \frac{N_{fi,Ed}}{A} = \frac{1065000}{11250} = 95 \text{ N/mm}^2$$

Verifica colonna HEA 300, S 235 protetta



Verifica colonna HEA 300, S 235 protetta



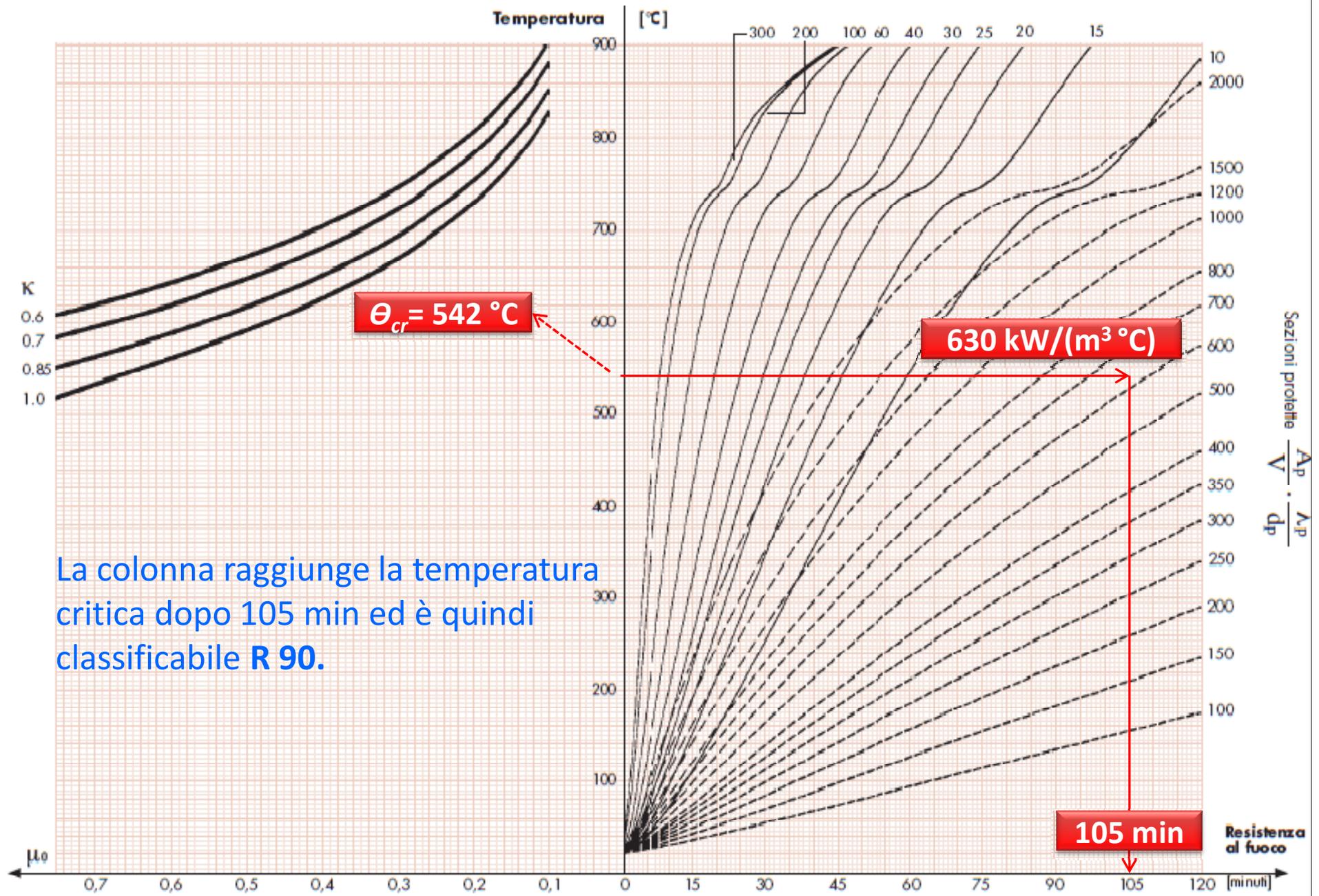
HE 280 AA	168	204	104	139
HE 280 A	136	165	84	113
HE 280 B	102	123	64	85
HE 280 C	74	89	47	63
HE 280 M	59	71	38	50
HE 300 AA	158	192	97	131
HE 300 A	126	153	78	105
HE 300 B	96	116	60	80
HE 300 C	66	79	42	56
HE 300 M	50	60	33	43

A_p/V

- Fattore di sezione modificato per elementi protetti:

$$\frac{A_p}{V} \cdot \frac{\lambda_p}{d_p} = 105 \cdot \frac{0,15}{0,025} = 630 \text{ W}/(\text{m}^3 \cdot \text{K})$$

Verifica colonna HEA 300, S 235 protetta

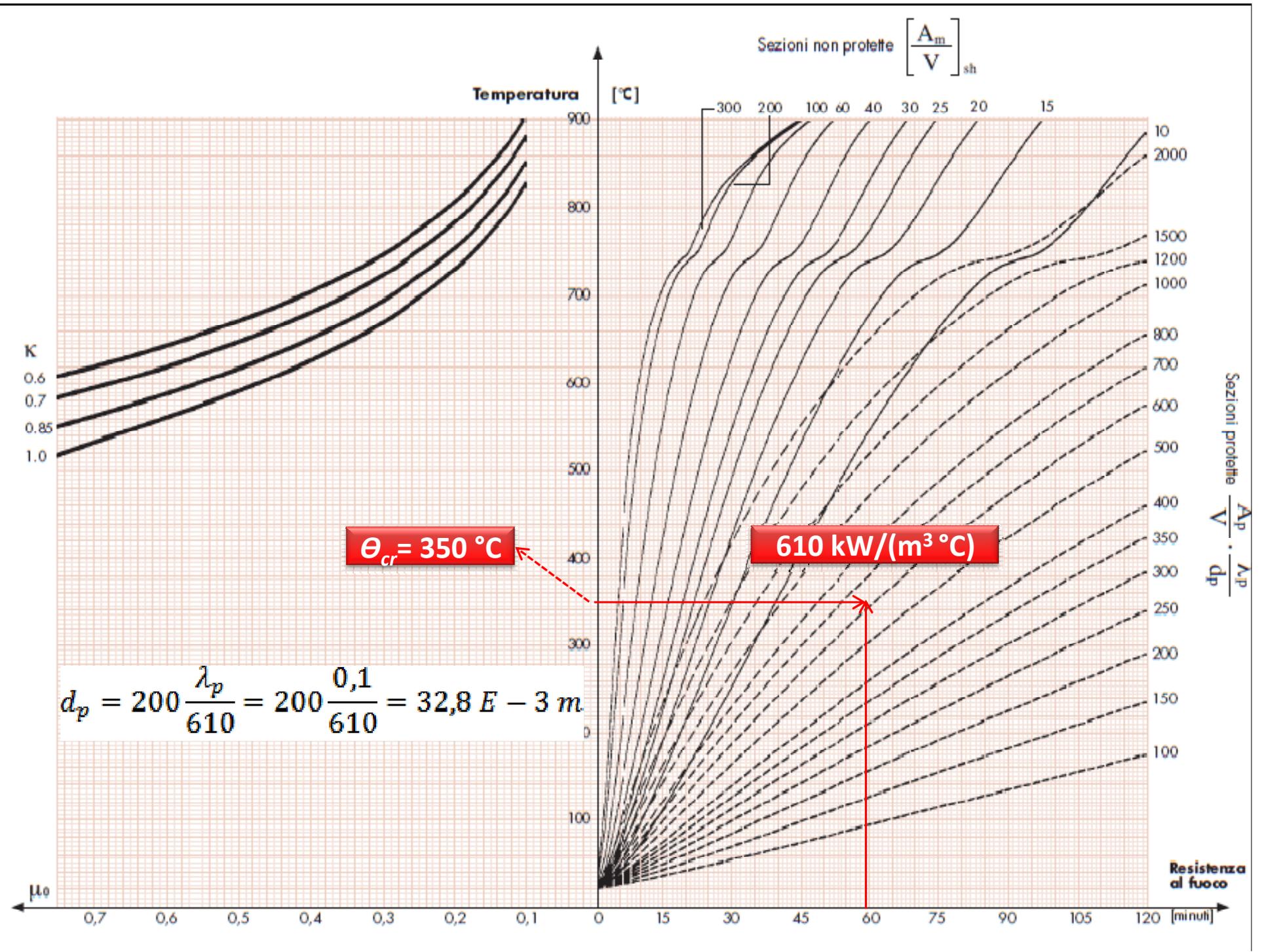


Verifica profilo classe di duttilità 4 protetto

Dati: Temperatura critica, resistenza al fuoco, fattore di sezione

Risultati: Spessore protezione

Sezione di classe 4 ($T_{cr} = 350^{\circ}\text{C}$). Fattore di sezione 200 m^{-1} .
Resistenza richiesta R60. Tipo di protezione: fibre minerali a spruzzo ($\lambda_p = 0,1 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$).



Lett. 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	