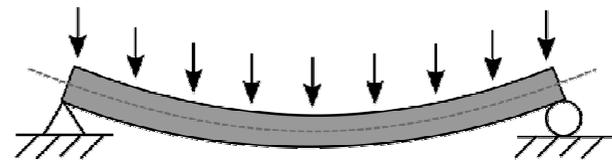
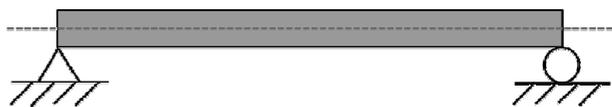


in collaborazione con



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](mailto: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 <sub>1</sub> o I <sub>2</sub> . L'assenza di indicazione al pedice sottintende il requisito I <sub>2</sub> .
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"> <li>• S<sub>a</sub>: se la tenuta al passaggio dei gas o fumi è garantita a temperatura ambiente;</li> <li>• S<sub>m</sub> (o S<sub>200</sub>): se la tenuta al passaggio dei gas o fumi è garantita sia a temperatura ambiente che a 200°C.</li> </ul>
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
<b>I</b>	<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"> <li>• 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;</li> <li>• 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"> <li>○ <math>R_{beni}</math> pari a 1;</li> <li>○ <math>R_{ambiente}</math> non significativo;</li> </ul> </li> <li>• non adibite ad attività che comportino presenza di occupanti, ad esclusione di quella occasionale e di breve durata di personale addetto.</li> </ul>
<b>II</b>	<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"> <li>• compartimentate rispetto ad altre opere da costruzione eventualmente adiacenti;</li> <li>• strutturalmente separate da altre opere da costruzione o comunque tali che l'eventuale cedimento strutturale della porzione non arrechi danni alle medesime;</li> <li>• 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"> <li>○ <math>R_{vita}</math> compresi in A1, A2, A3, A4;</li> <li>○ <math>R_{beni}</math> pari a 1;</li> <li>○ <math>R_{ambiente}</math> non significativo;</li> </ul> </li> <li>• densità di affollamento non superiore a 0,2 persone/m<sup>2</sup>;</li> <li>• non prevalentemente destinate ad occupanti con disabilità;</li> <li>• aventi piani situati a quota compresa tra -5 m e 12 m.</li> </ul>
<b>III</b>	Opere da costruzione non ricomprese negli altri criteri di attribuzione.
<b>IV, V</b>	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:

$\theta_g$  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:

$\theta_g$  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:

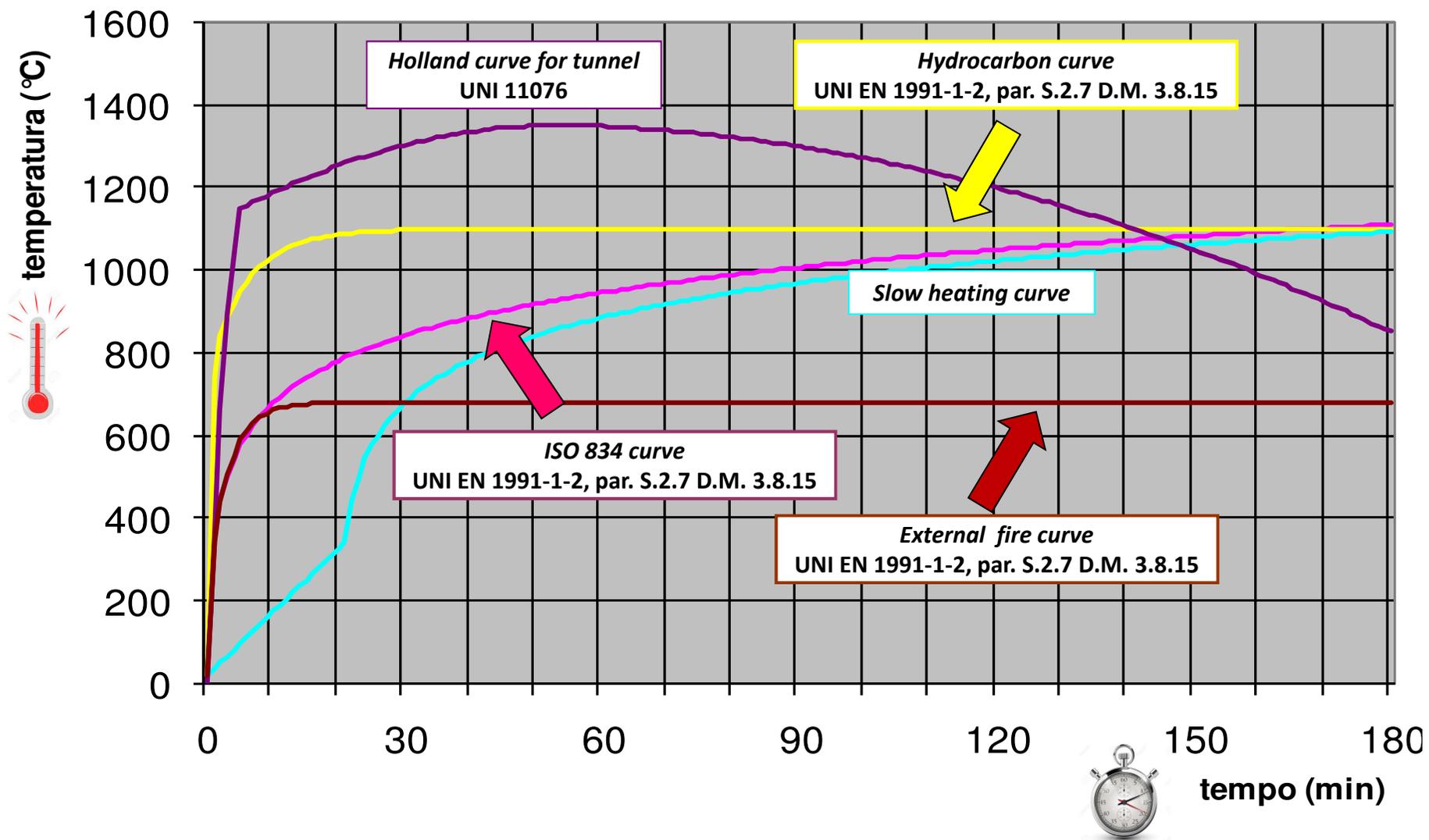
$$\theta_g = 660 (1 - 0,687 \cdot e^{-0,32t} - 0,313 \cdot e^{-3,8t}) + 20 \quad \text{S.2-3}$$

dove:

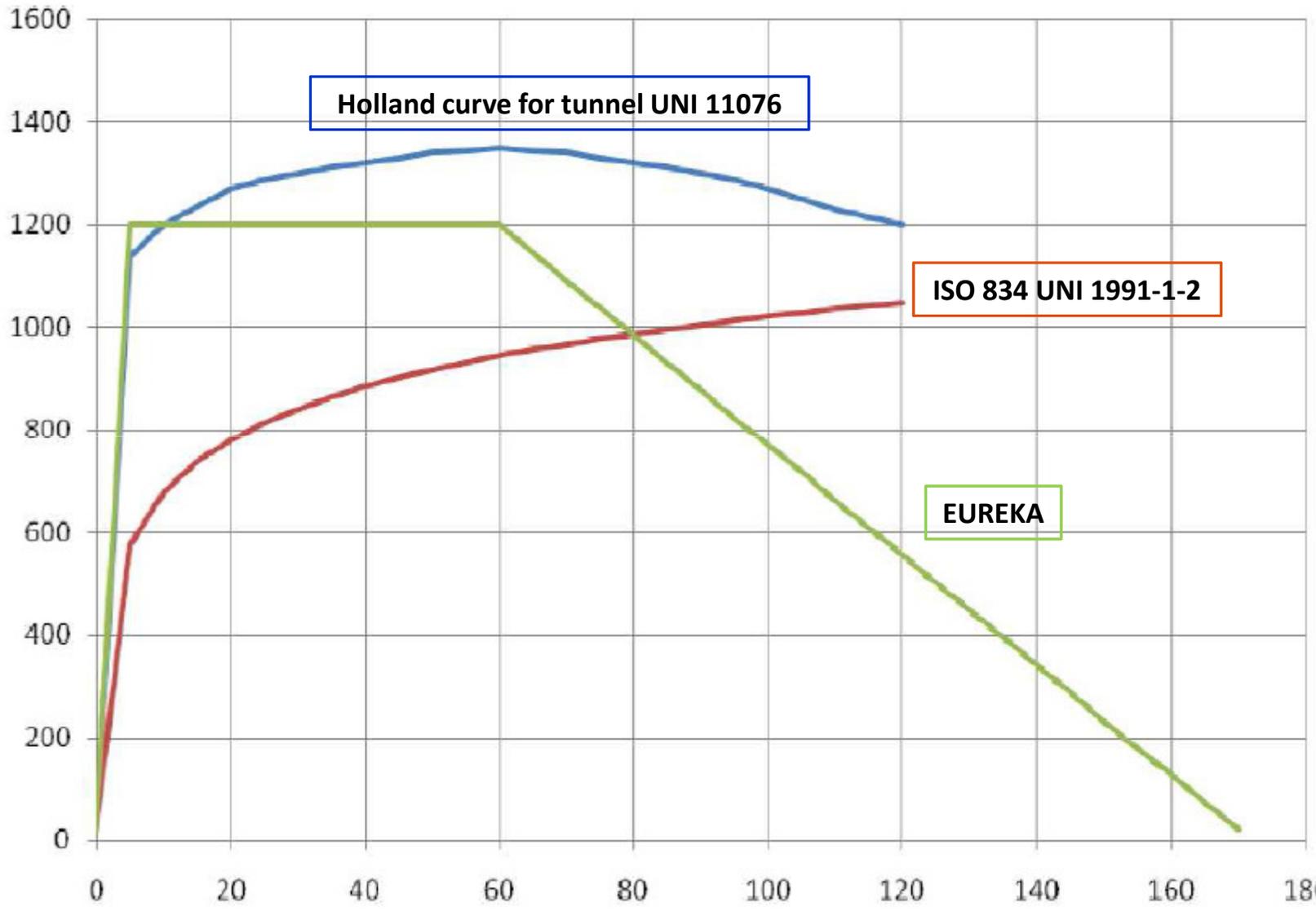
$\theta_g$  temperatura media dei gas di combustione [°C]

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 m<sup>3</sup> di petrolio.



Holland curve for tunnel UNI 11076

ISO 834 UNI 1991-1-2

EUREKA

UNI 11076 DM9/03/07 EUREKA

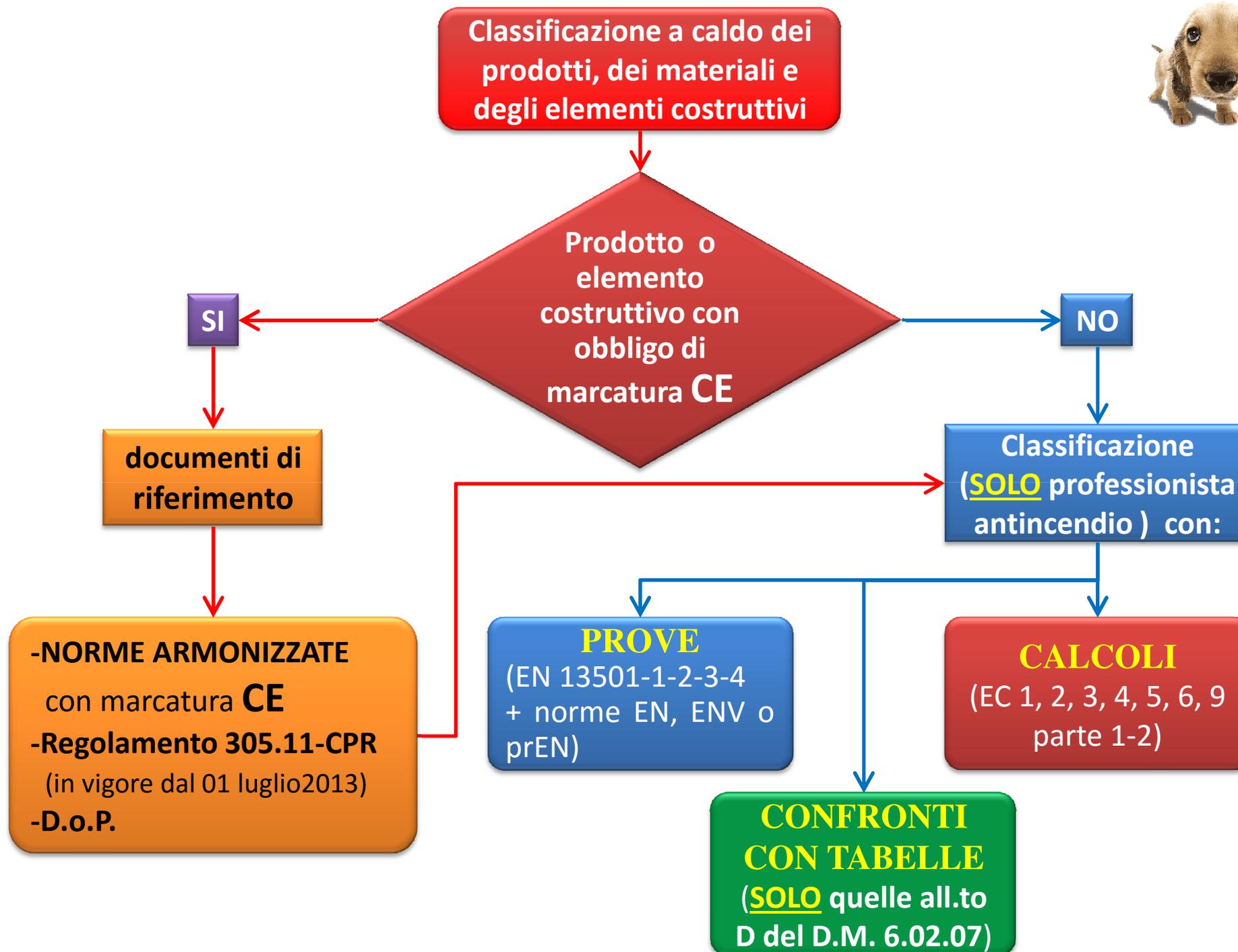


### **Soluzioni alternative per il livello di prestazione III**

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.

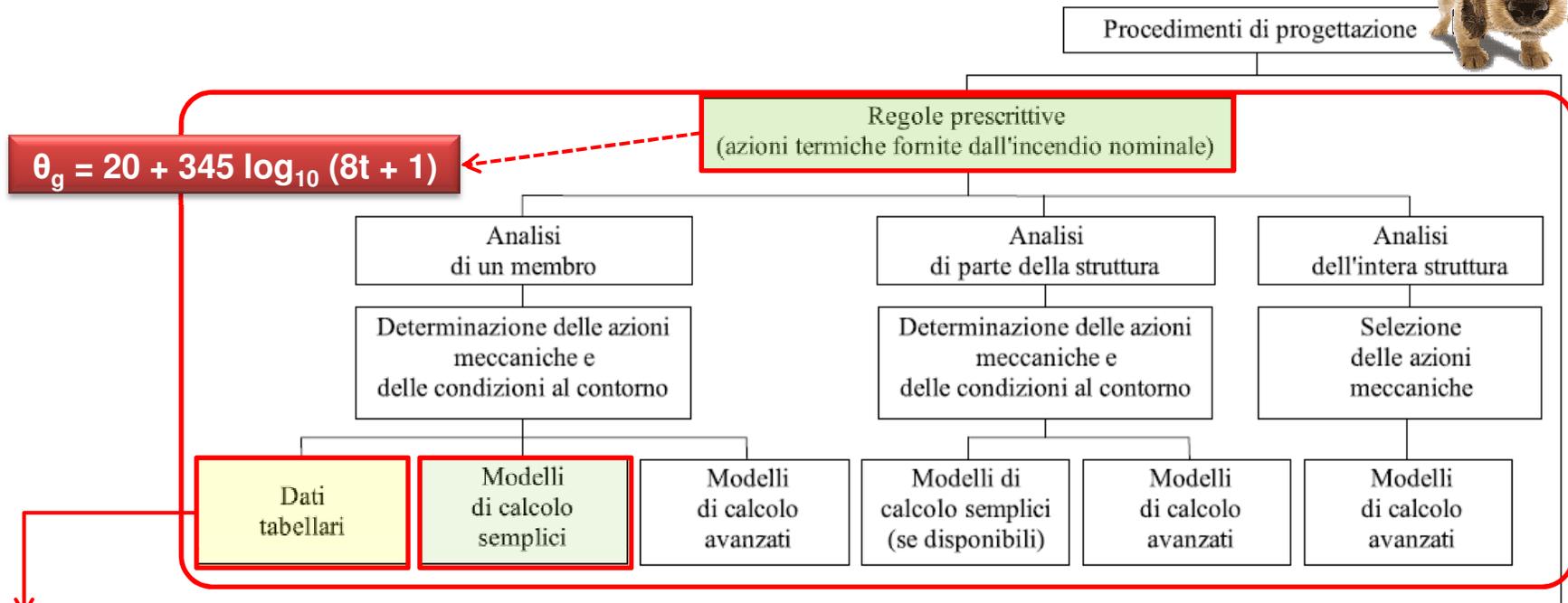


**DEFINIZIONI DA  
REGOLAMENTO  
UE 305 / 2011**

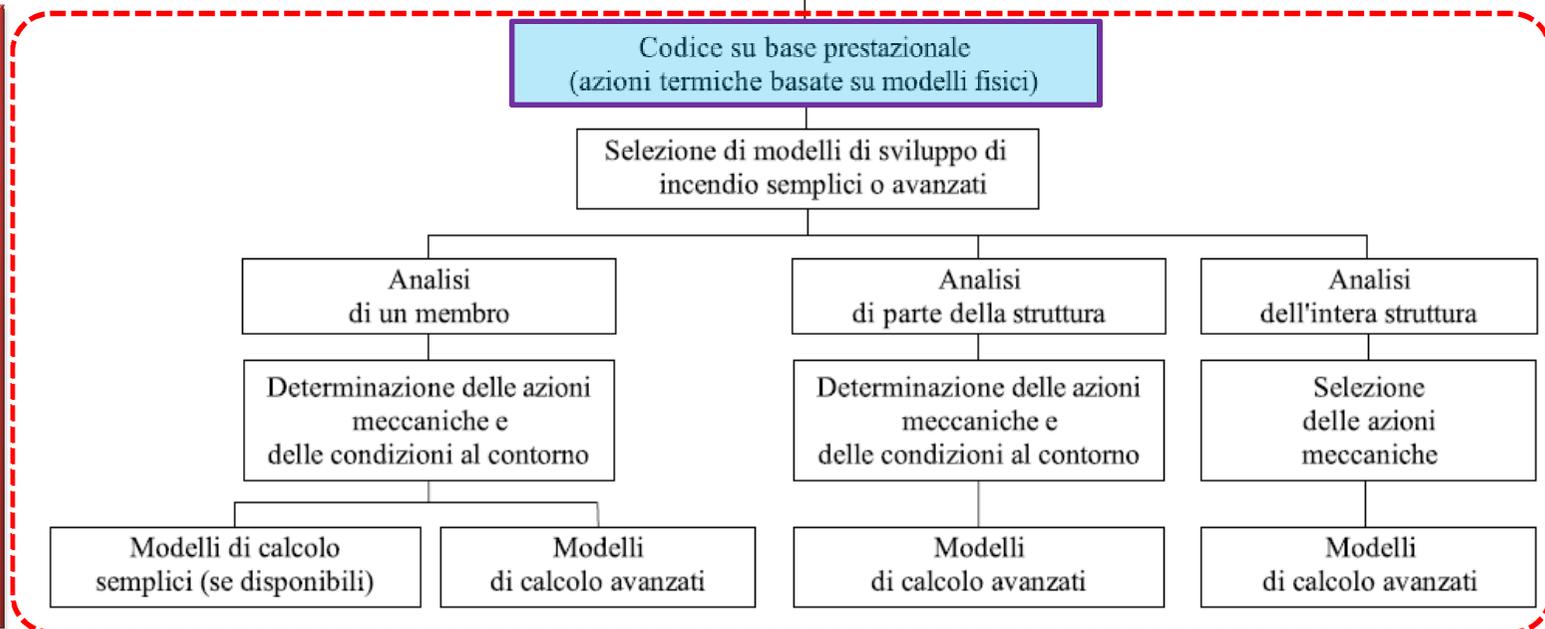
**metodi “tendenziali” di classificazione**

<b>Prodotti</b>	<b>PROVE</b> CALCOLI	metodo sperimentale metodo analitico	Allegato B Allegato C
<b>Elementi costruttivi</b>	PROVE <b>CALCOLI</b> <b>TABELLE</b>	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

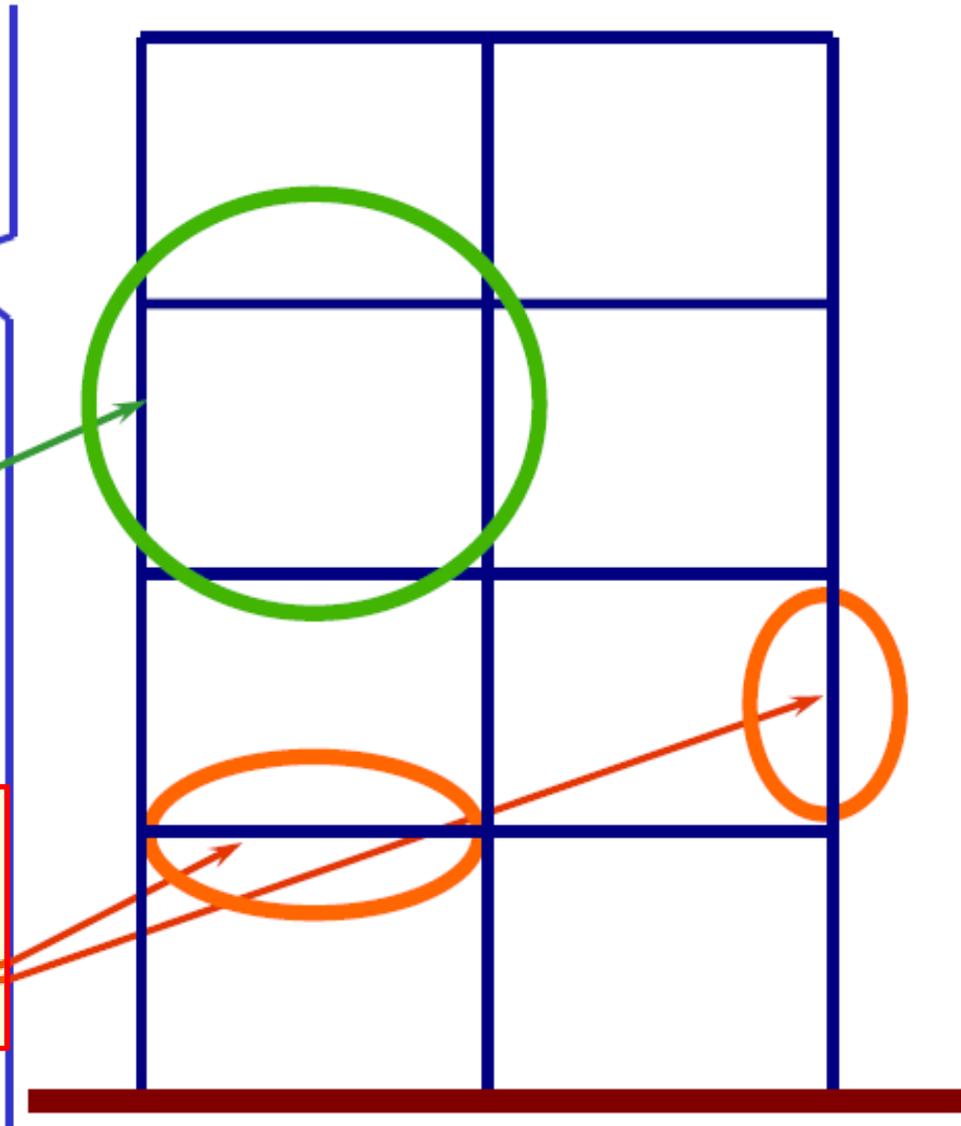




global structural analysis

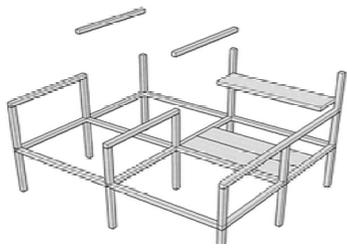
analysis of parts of the structure

member analysis (mainly when verifying standard fire resistance requirements)

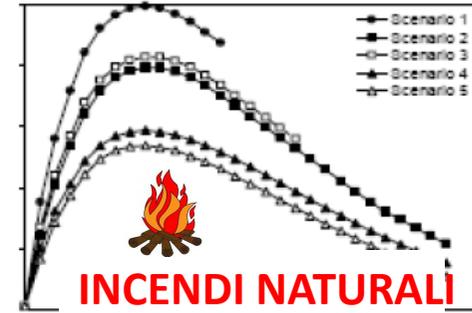








**global structural analysis**



$\frac{A}{A_0}$	$\frac{I}{I_0}$	$\frac{W}{W_0}$	$\frac{W_{pl}}{W_{pl0}}$	$\frac{W_{pl}}{W_{pl0}}$	$\frac{W_{pl}}{W_{pl0}}$	$\frac{W_{pl}}{W_{pl0}}$	$\frac{W_{pl}}{W_{pl0}}$
$\frac{A}{A_0}$	$\frac{I}{I_0}$	$\frac{W}{W_0}$	$\frac{W_{pl}}{W_{pl0}}$	$\frac{W_{pl}}{W_{pl0}}$	$\frac{W_{pl}}{W_{pl0}}$	$\frac{W_{pl}}{W_{pl0}}$	$\frac{W_{pl}}{W_{pl0}}$

**DATI TABELLARI**

**NON  
APPLICABILI**

**NON  
APPLICABILI**



**MODELLI DI CALCOLO SEMPLICI**

**NON  
APPLICABILI**

**NON  
APPLICABILI**

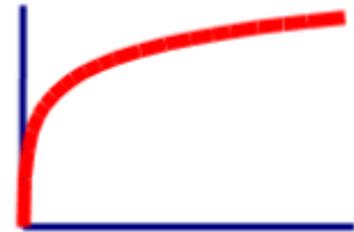


**MODELLI DI CALCOLO AVANZATI**

**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	<b>Si</b> <u>ISO-834 incendio standard</u>	<b>Si</b>	<b>Si</b>
Analisi di parti della struttura	<b>Non applicabile</b>	<b>Si</b> (se disponibile)	<b>Si</b>
Analisi strutturale globale	<b>Non applicabile</b>	<b>Non applicabile</b>	<b>Si</b>

## 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»

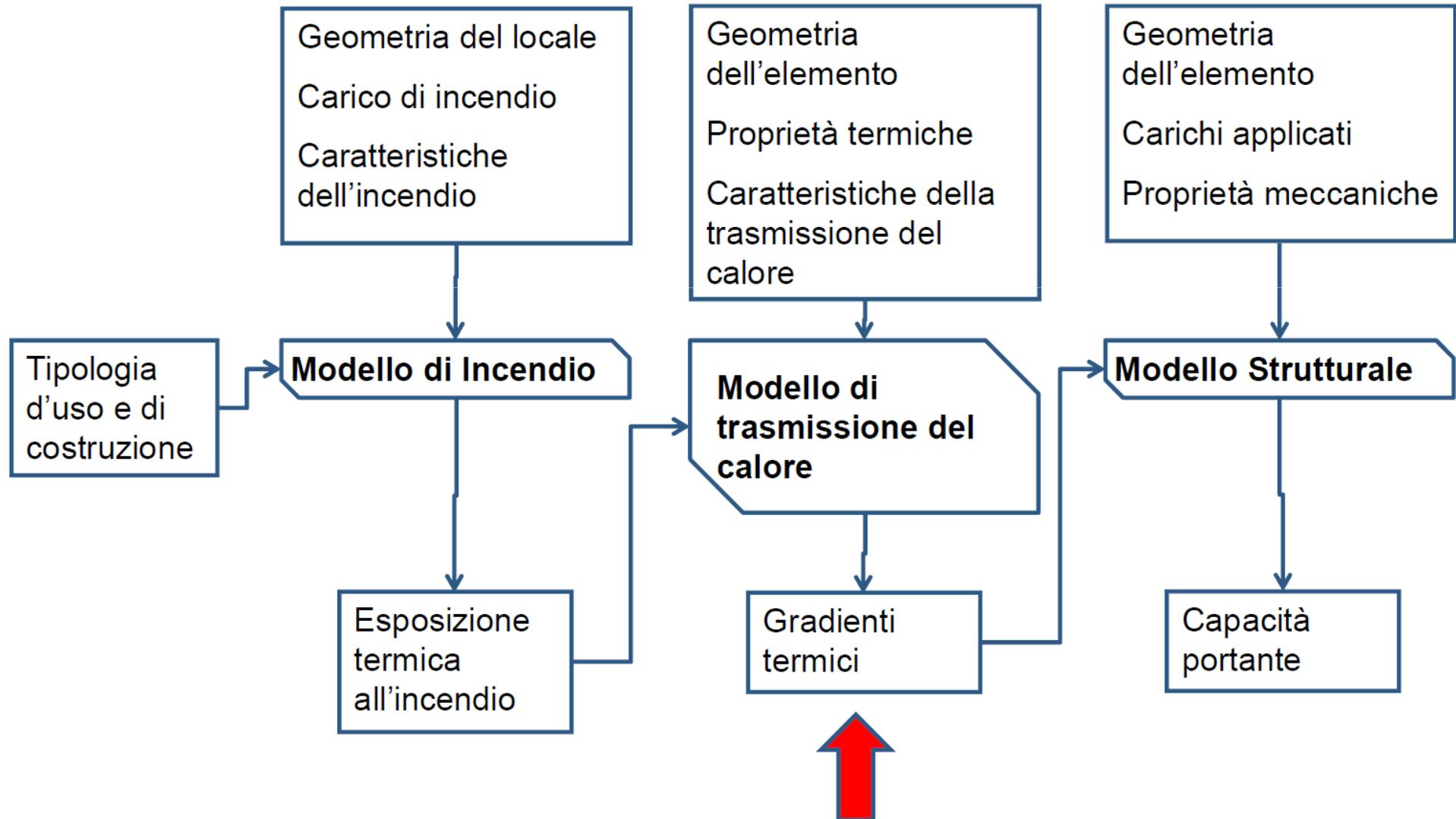
EN 1995-1-2 «Progettazione delle strutture di legno – Parte 1-2: Regole generali – Progettazione strutturale contro l'incendio»

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



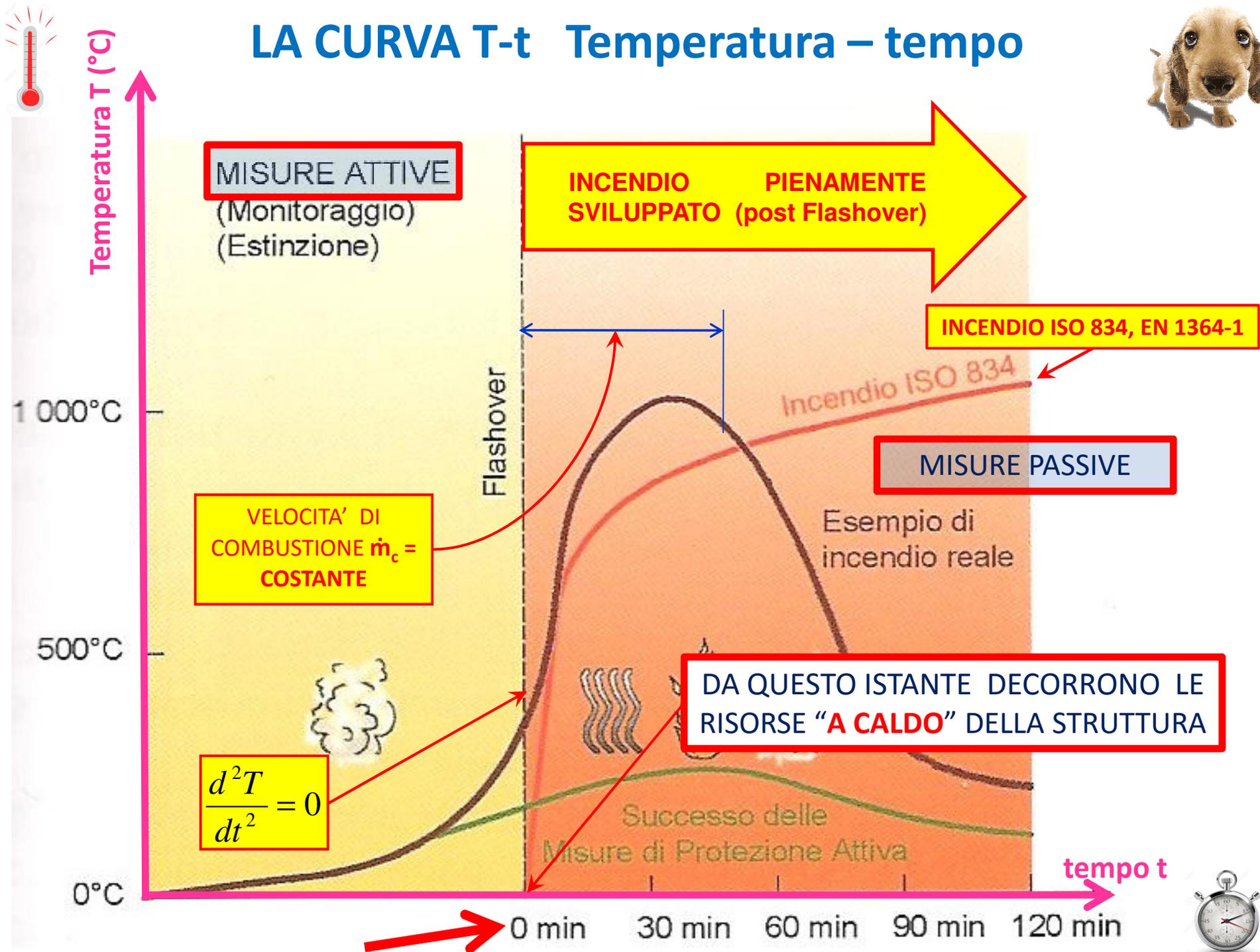
D.1 Le tabelle seguenti propongono delle condizioni sufficienti per la classificazione di elementi costruttivi resistenti al fuoco. Dette condizioni non costituiscono un obbligo qualora si proceda alla determinazione delle prestazioni di resistenza al fuoco secondo gli altri metodi di cui all’articolo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

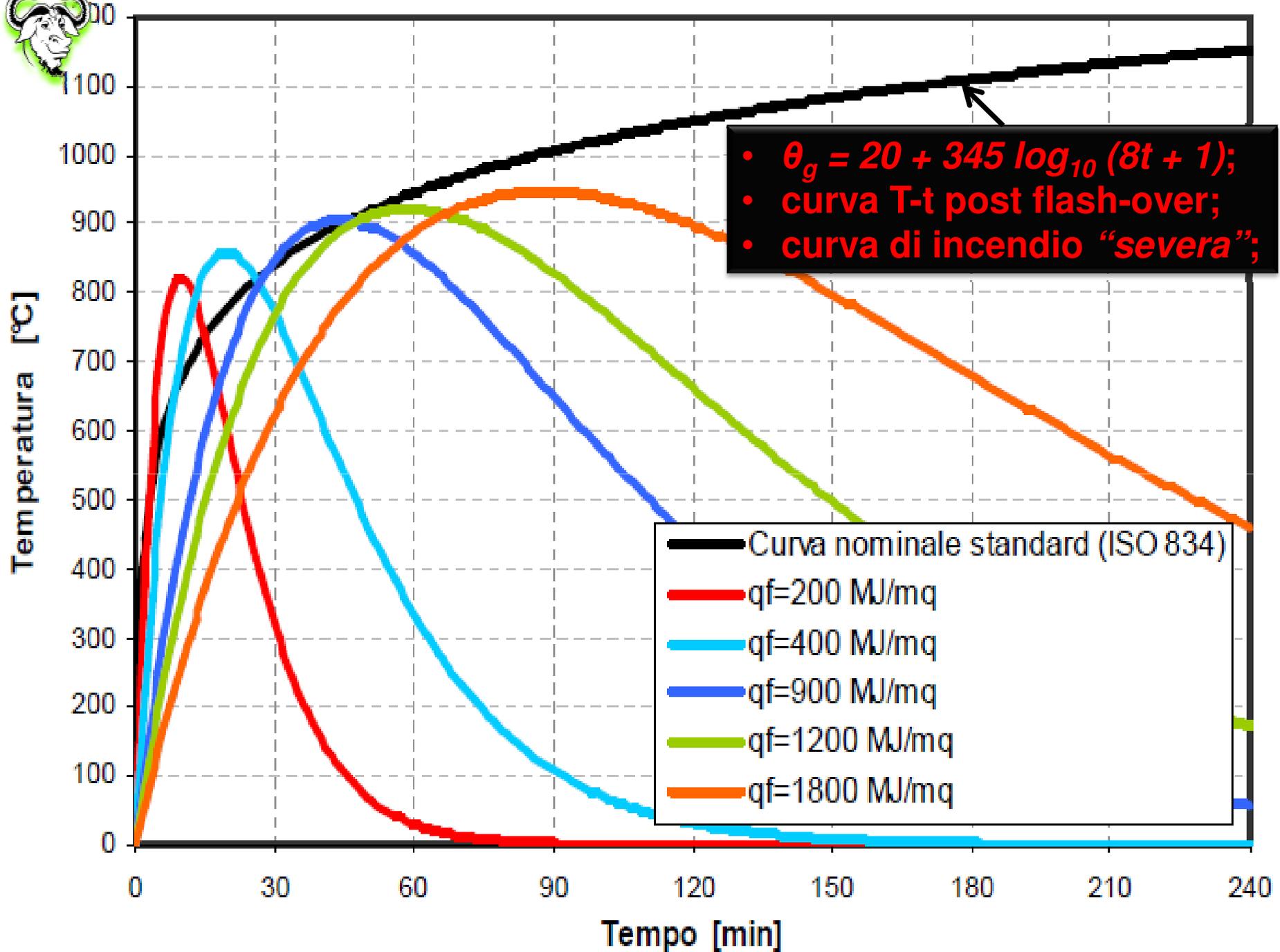
D.2 L’uso delle tabelle è strettamente limitato alla classificazione di elementi costruttivi per i quali è richiesta la resistenza al fuoco nei confronti della curva temperatura-tempo standard e delle altre azioni meccaniche previste in caso di incendio.

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”

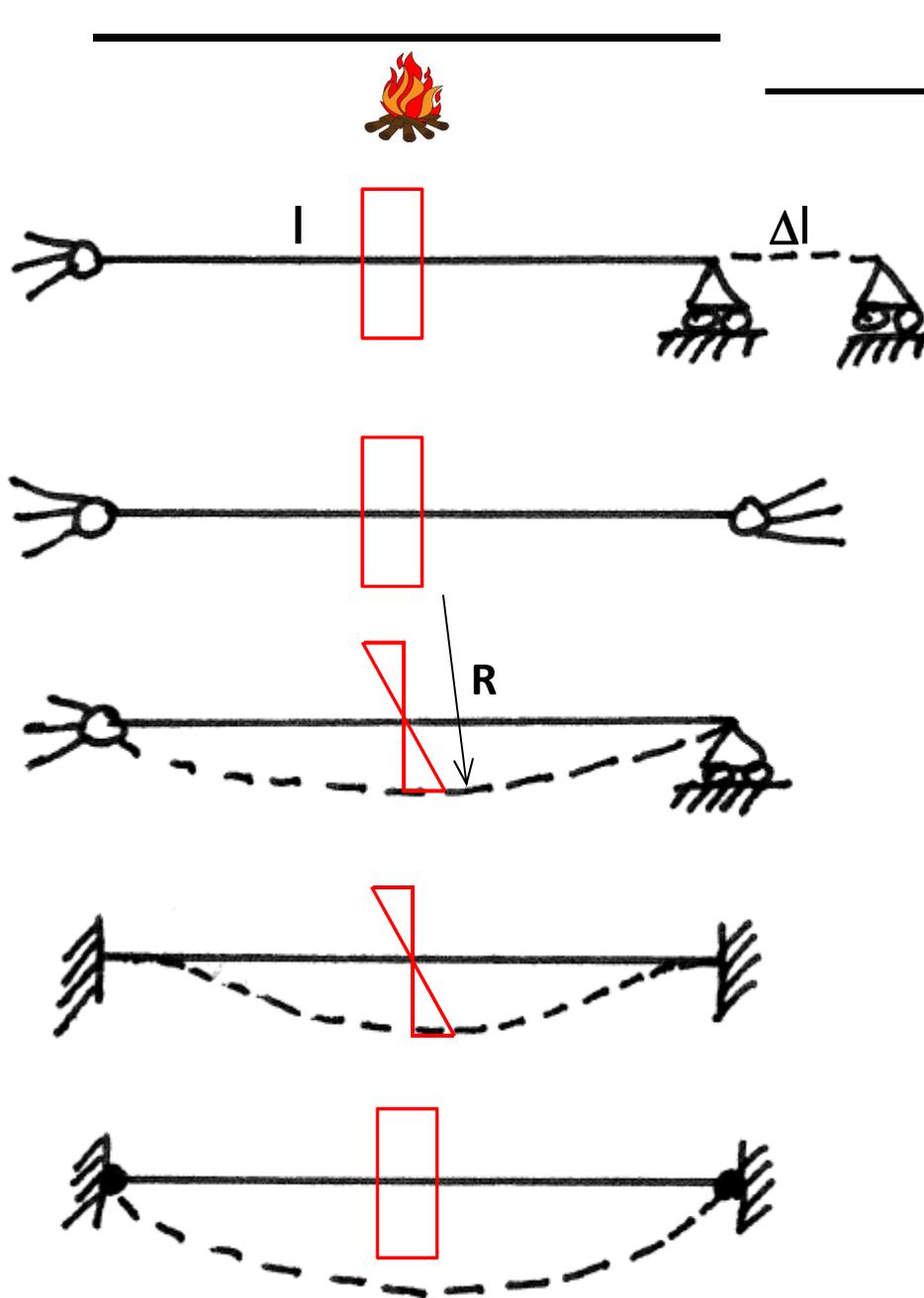
- ❑ Nel caso di sezioni in C.A. o C.A.P. si analizza il problema solo dal lato resistenza (per lo più per l’acciaio) e non dal lato carichi.
- ❑ Ne consegue che si deve prevedere uno spessore di cls minimo atto a **limitare la temperatura dell’acciaio di armatura a 500°C (350°C per i fili, le trecce,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

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

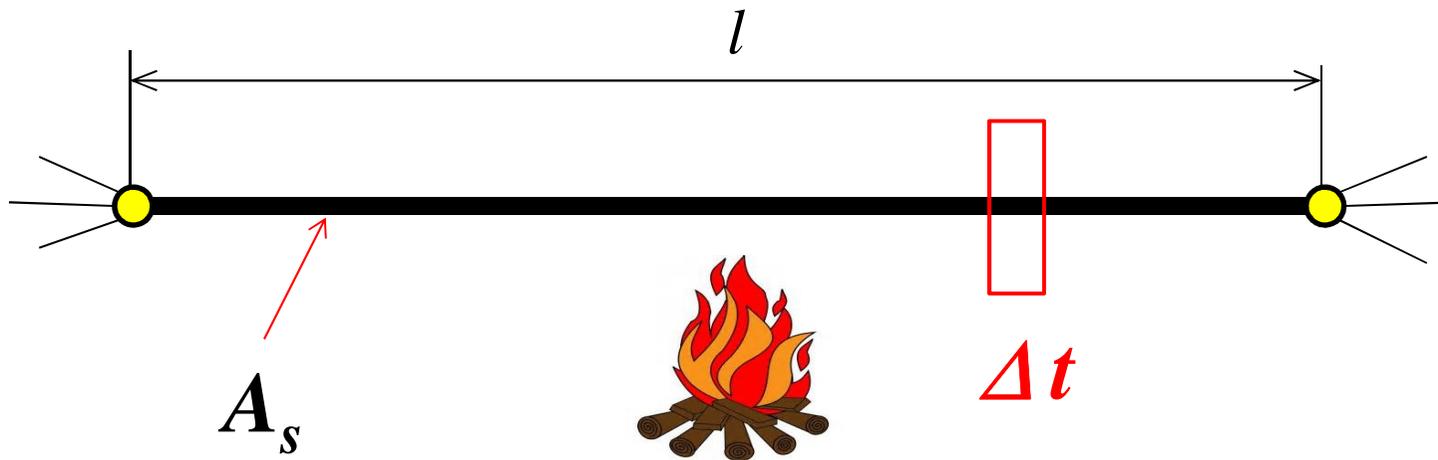


## Effetto catena – incendio reale



## Effetto dei vincoli – deformazioni termiche impedito

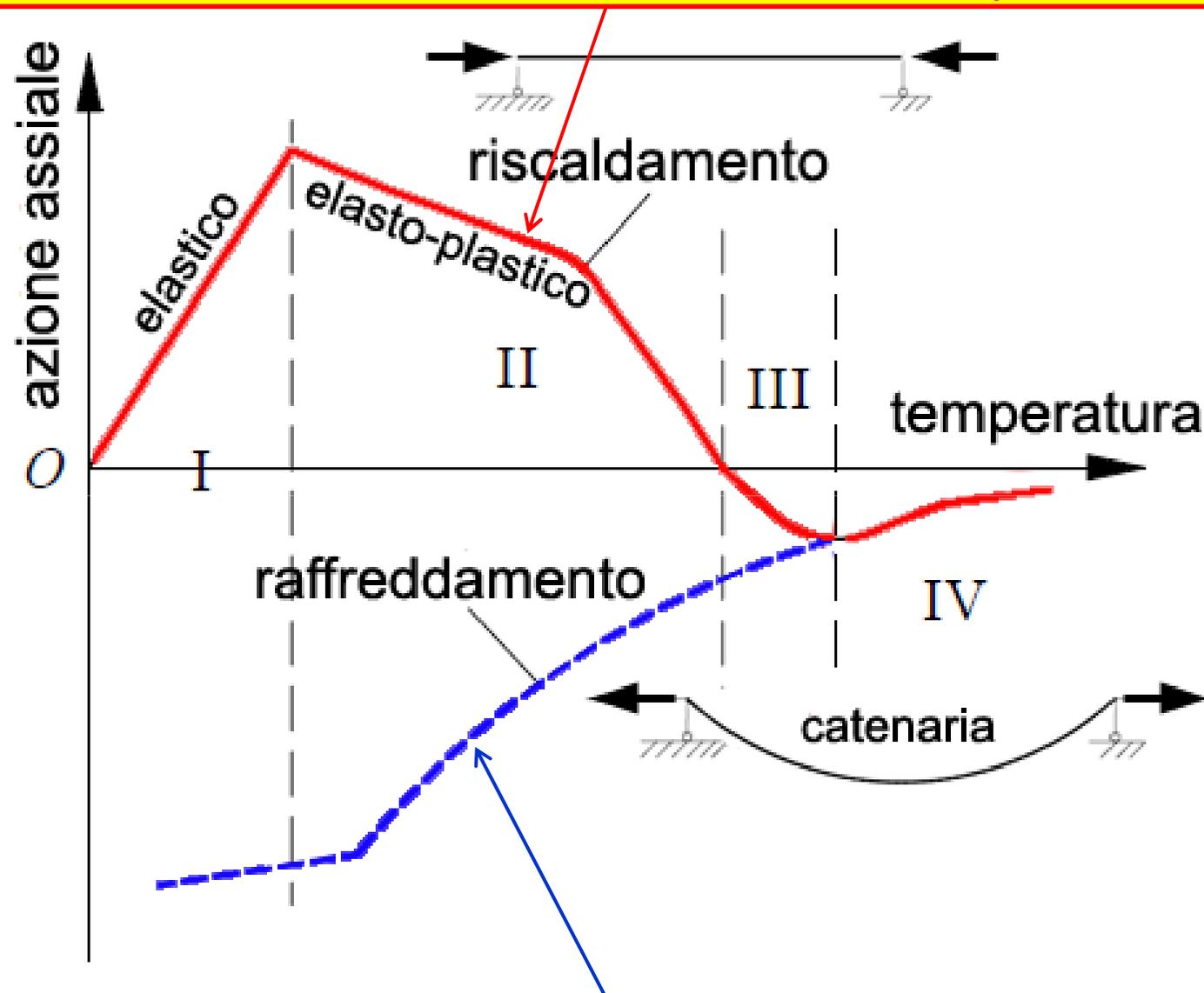
Il tema delle dilatazioni impedito e quello delle coazioni è MOLTO COMPLESSO, specie per le strutture in acciaio.



Incremento di azione assiale  $\Delta N$

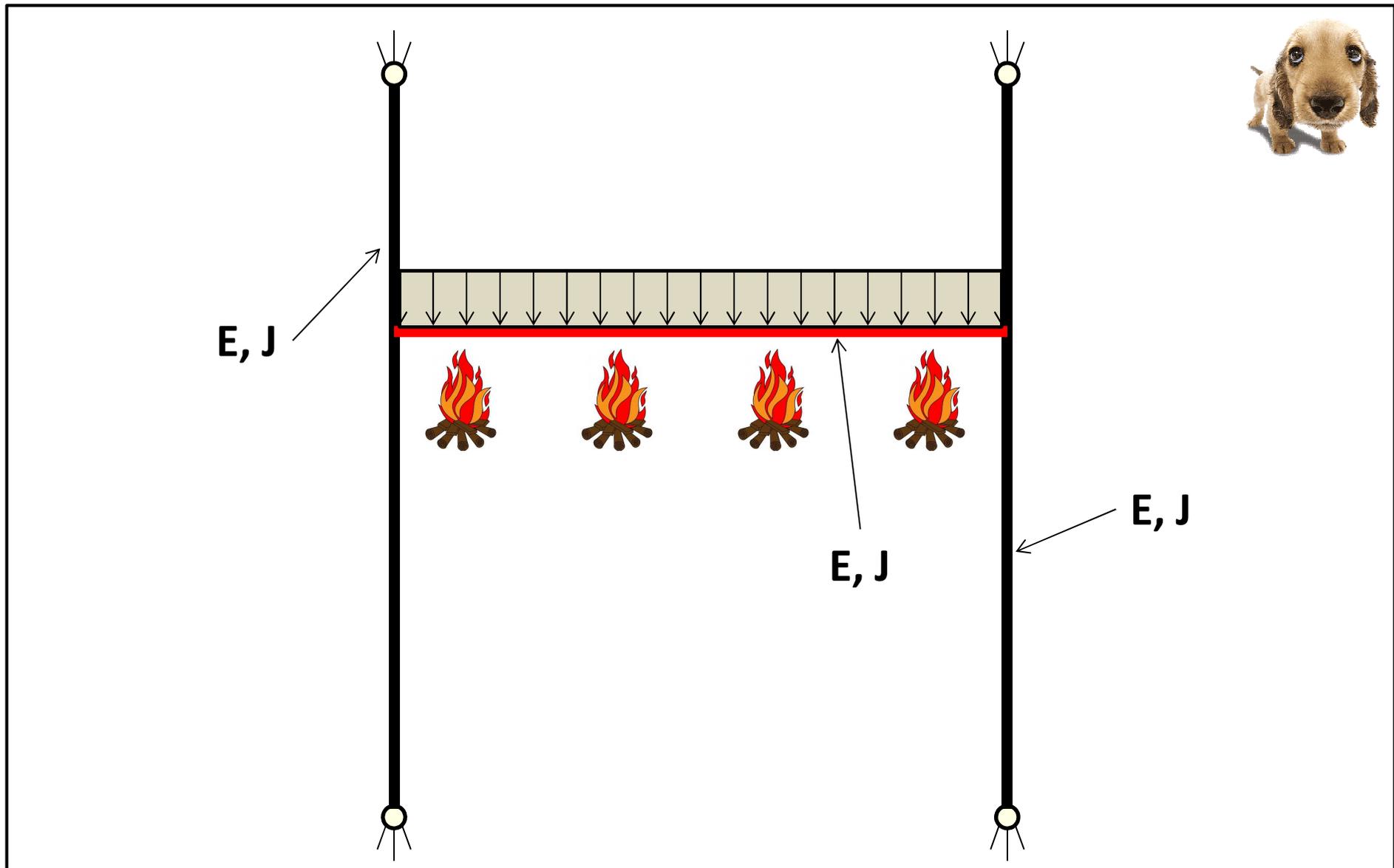
$$\Delta N = E_s(\theta) A_s \varepsilon = E_s(\theta) A_s \frac{\Delta l}{l} = E_s(\theta) A_s \frac{\alpha_s(\theta) \Delta t}{l}$$

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

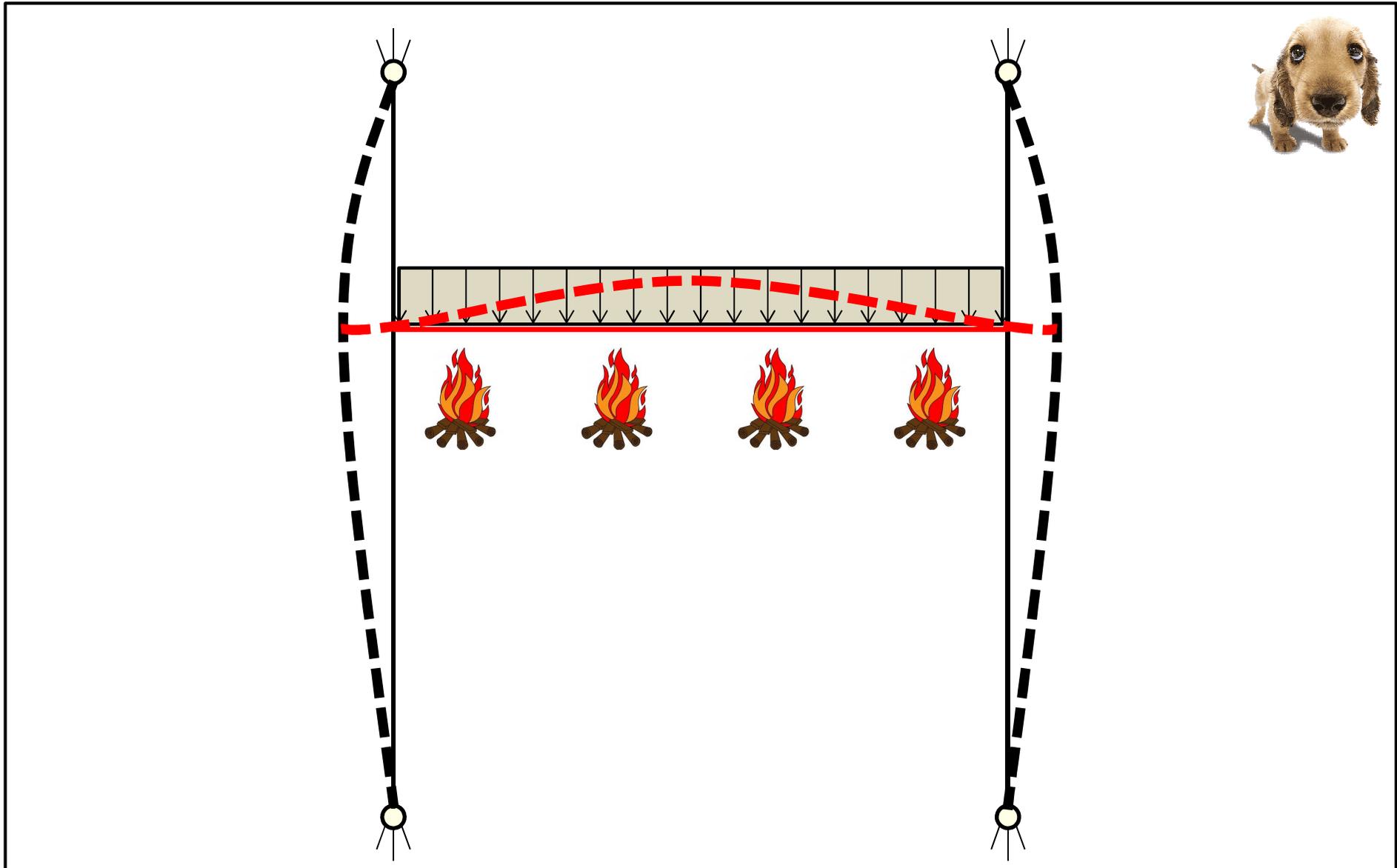


Durante il raffreddamento l'effetto delle contrazioni termiche è ACCENTUATO dall'aumento di  $E_s(\theta)$  e dall'aumento della resistenza allo snervamento  $f_y$

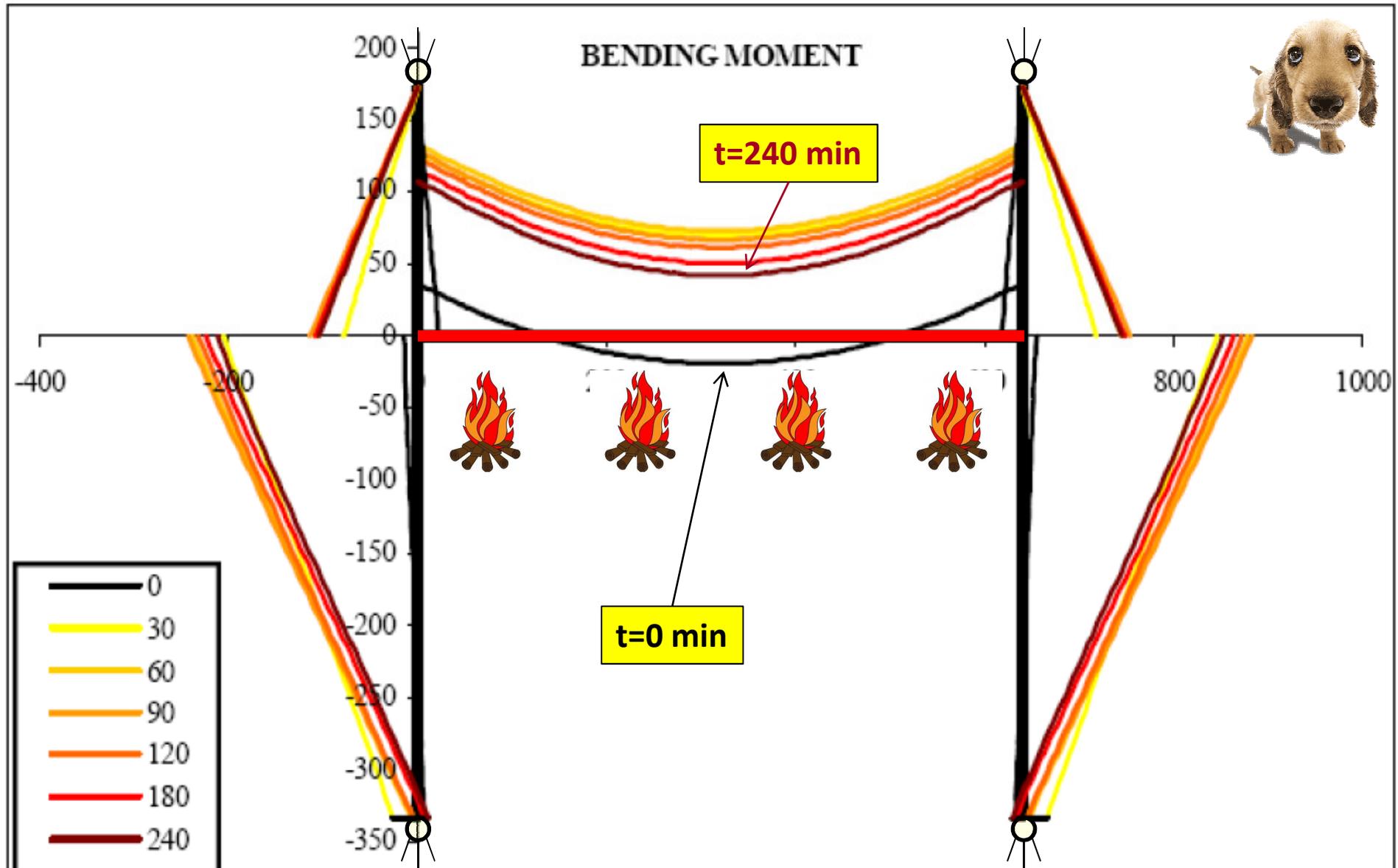
## Effetto delle coazioni in strutture iperstatiche



## 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<sub>d</sub> (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 $\gamma_F$	EQU	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali <sup>(1)</sup>	favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Carichi variabili	favorevoli	$\gamma_{Qi}$	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

<sup>(1)</sup>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

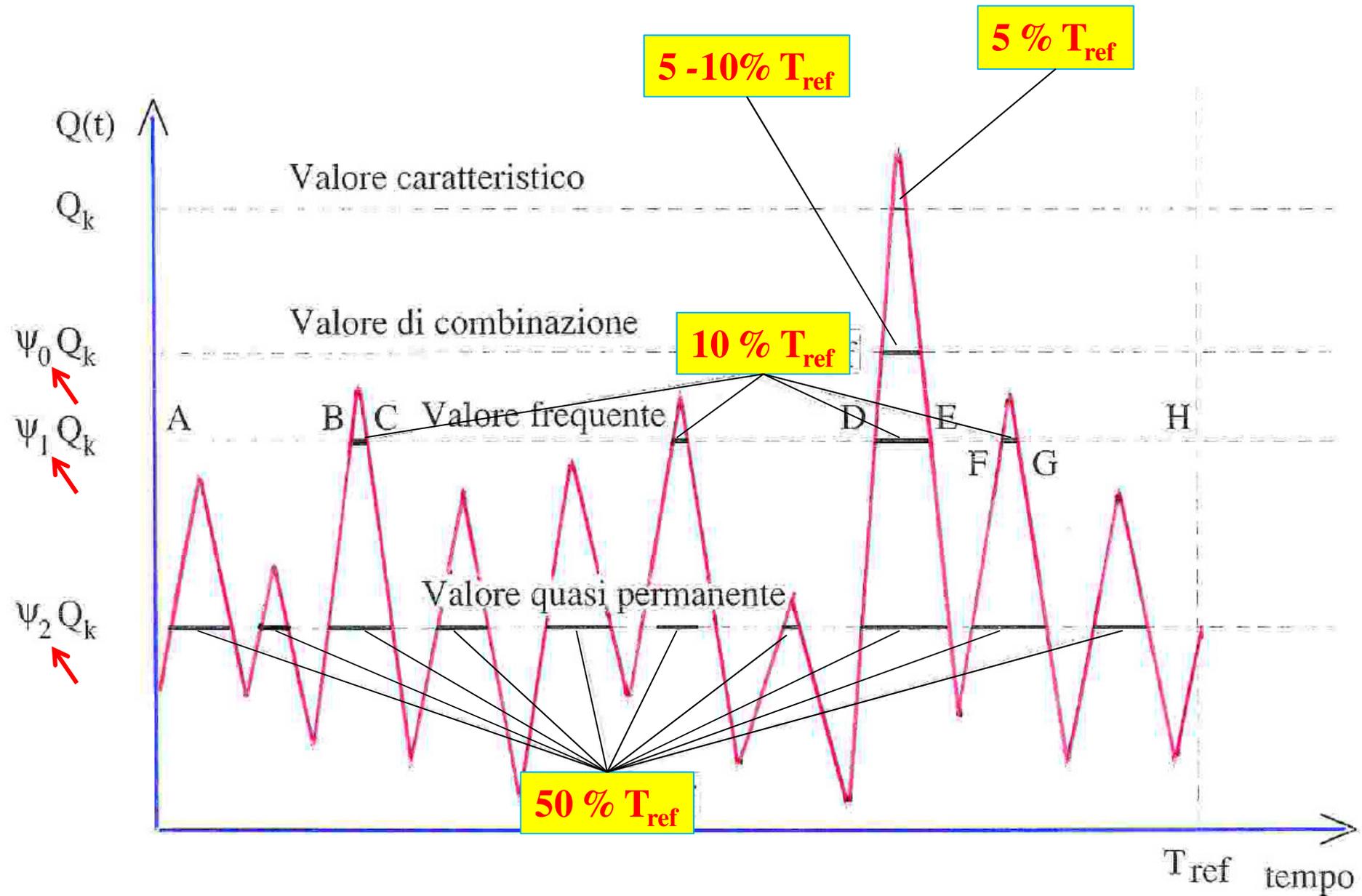
C. eccezionale

Tabella 2.5.I – Valori dei coefficienti di combinazione

Categoria/Azione variabile	$\Psi_{0j}$	$\Psi_{1j}$	$\Psi_{2j}$
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 $\leq 30$ 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 $\leq 1000$ 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.**

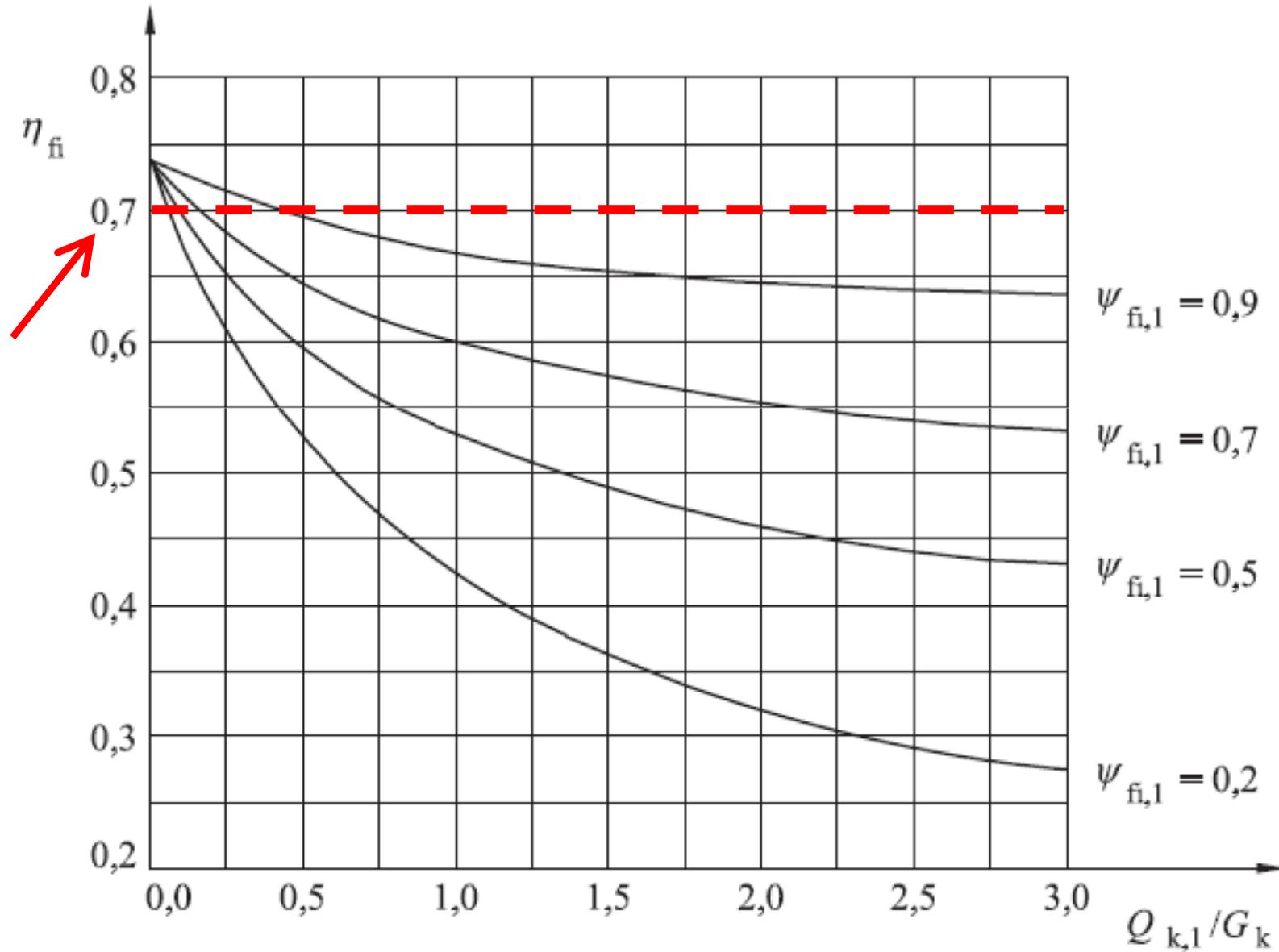


## altre “istruzioni per l’uso”

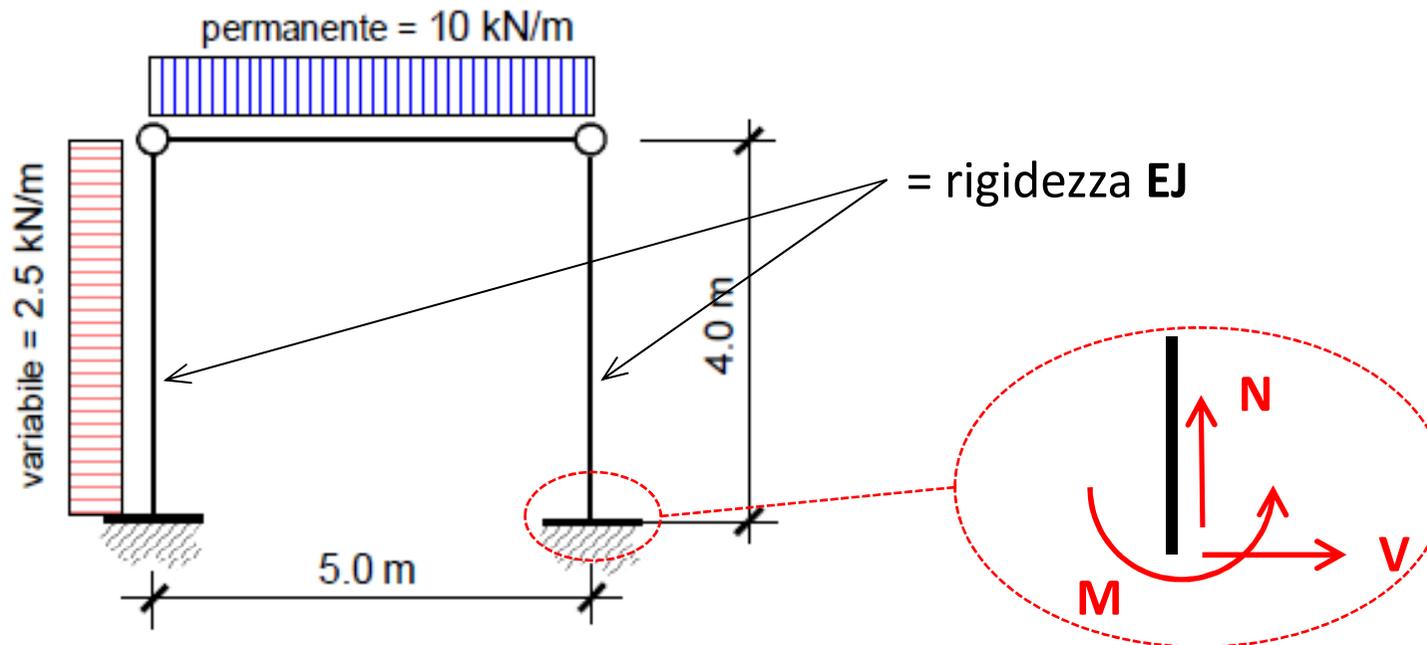
- ❑ La modalità presuppone che il fattore di riduzione, ossia la quota percentuale dell’effetto di progetto dei carichi a freddo, utilizzata per gli SLU, da impiegare per la verifica a caldo, sia  $\eta_{fi} = 0,7$ ;
- ❑  $\eta_{fi}$  assume l’espressione:

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

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



In genere il ricorso al coefficiente di riduzione  $\eta_{fi}$  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
<b>INCENDIO</b> , con combinazione permanente $\gamma_G=1$ , $\psi_{2,1}=0$	<b>25,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
<b>INCENDIO</b> , con $\eta_{fi}=0,70$ di SLU	<b>22,80</b>	<b>10,5</b>	<b>2,60</b>

## A CALDO LA STRUTTURA BENEFICIA DI DUE CIRCOSTANZE:

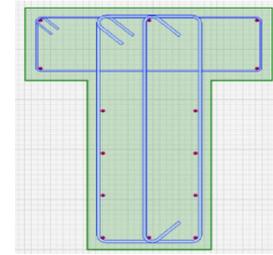
1. Gli effetti dei carichi, vengono ridotti secondo la:

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

2. Per sezioni in C.A. e C.A.P. coefficienti  $\alpha_{cc}$ ,  $\gamma_s$ ,  $\gamma_c$  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>	<b>SLU</b> 	<b>INCENDIO</b> 
$\alpha_{cc}$	<b>0,85</b>	<b>1,00</b>
$\gamma_c$	<b>1,50</b>	<b>1,00</b>
$\gamma_s$	<b>1,15</b>	<b>1,00</b>
$\gamma_G$	<b>1,30</b>	<b>1,00</b>
$\psi$	$\psi_{0,j}$	$\psi_{2,j}$

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



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

Se si ricorre a  $\eta_{fi}$ , 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:  $\mu_{fi}$  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  $\mu_{fi}$

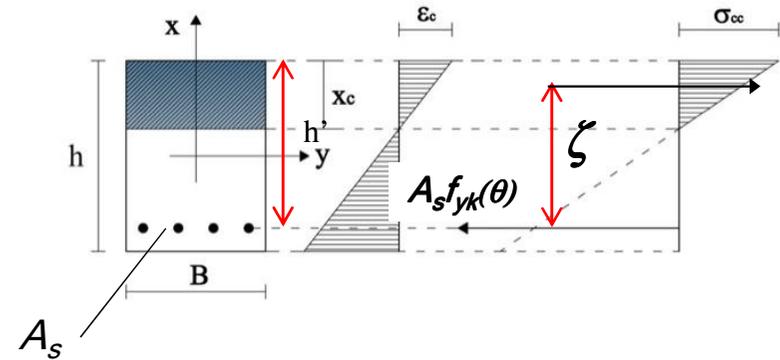


□ Il metodo tabellare, per sua natura semplificato e conservativo, assume, per sezioni in C.A., proprio il valore  $\mu_{fi} = 0,60$

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

□ 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

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

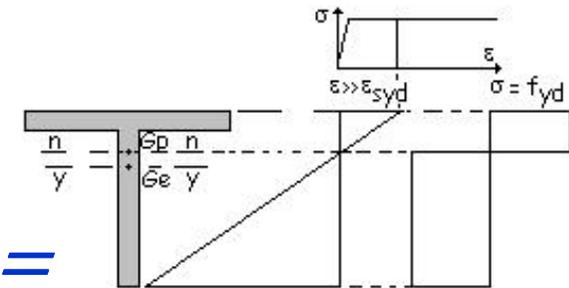
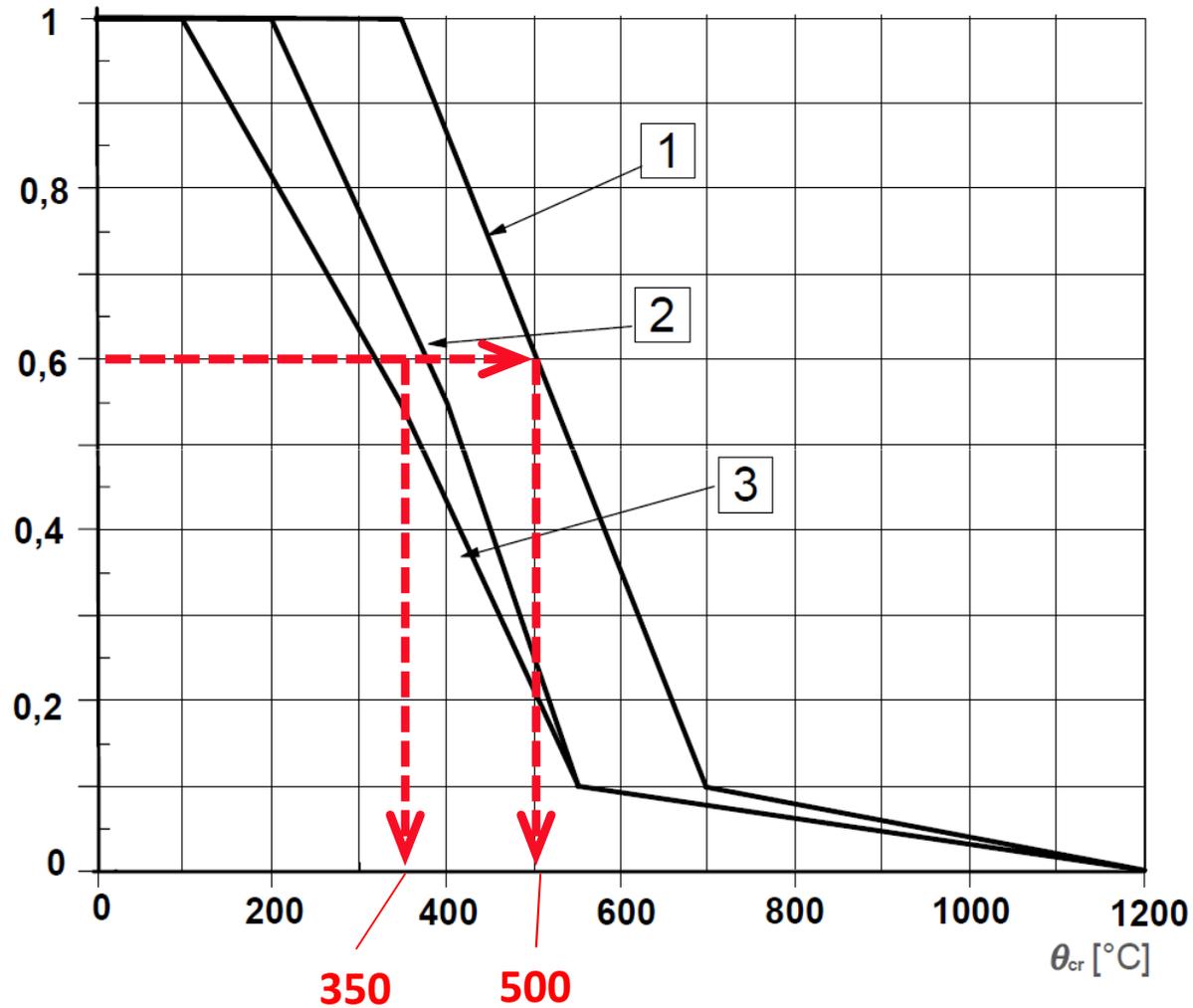




Figure 5.1 prEN 1992-1-2:2003  
Tabulated data

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



Curve 1 : reinforcing steel

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

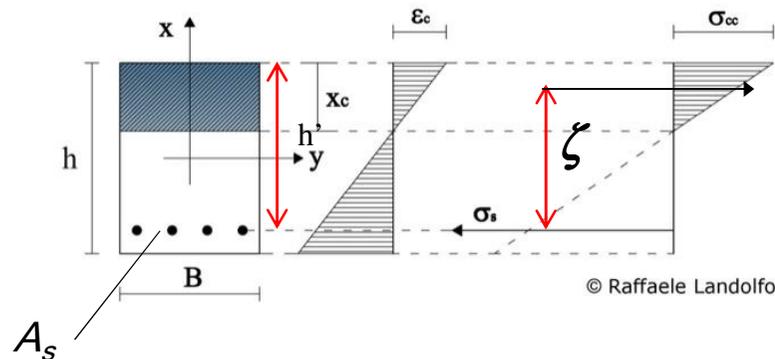
Curve 3 : prestressing steel  
(wires & strands EN 10138 -2  
and -3)

Consegue che essendo, per sezioni in C.A.:

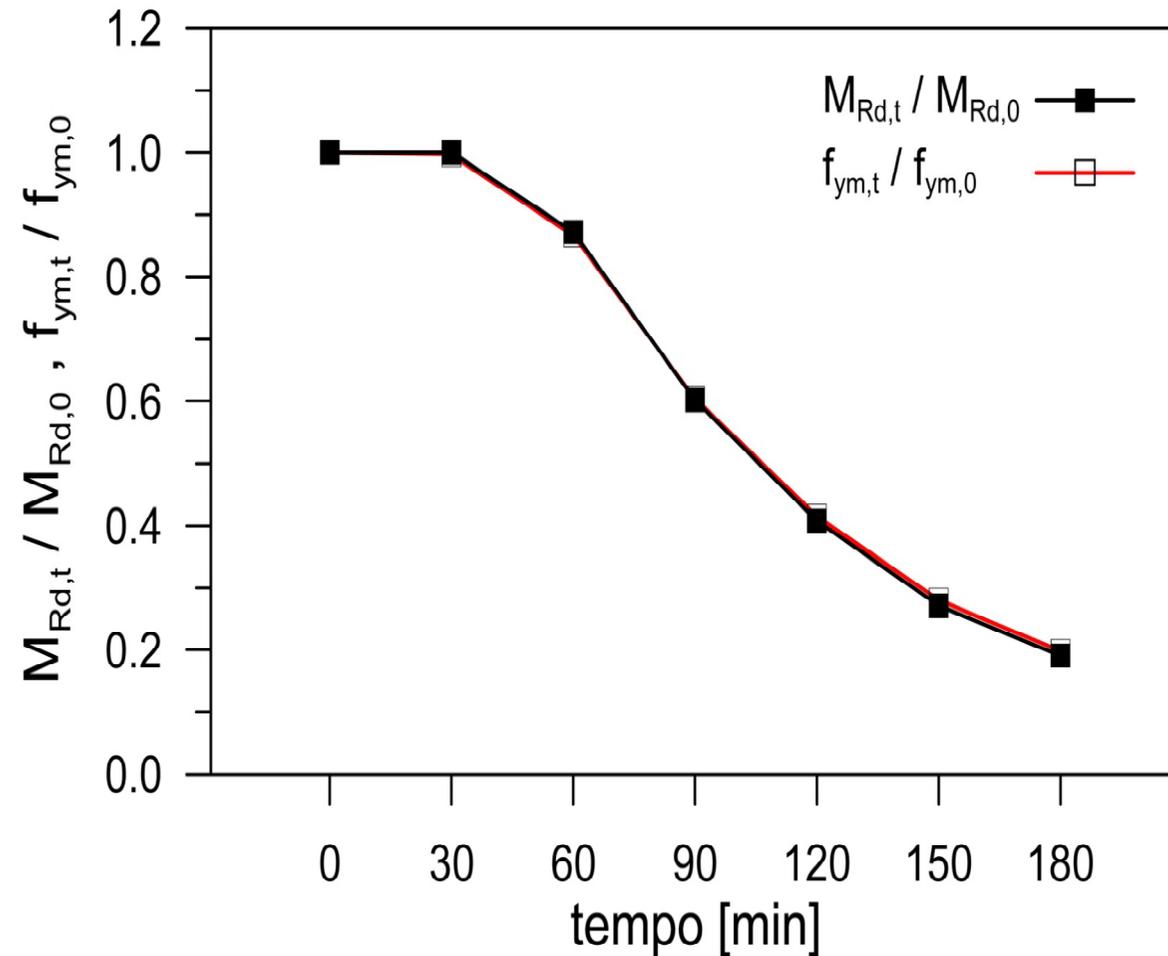
$$\mu_{fi} = \frac{E_{fi,d}}{R_{fi,d,t=0}}$$

deriva che, in condizioni di collasso a momento flettente, lato acciaio,  $k_s(\theta) \equiv \mu_{fi}$ :

$$k_s(\theta) = \frac{f_y(\theta)}{f_{yk}} = \frac{f_y(\theta) A_s \zeta}{f_{yk} A_s \zeta} = \frac{M_{S,fi,d}}{M_{R,fi,d,t=0}} = \mu_{fi}$$

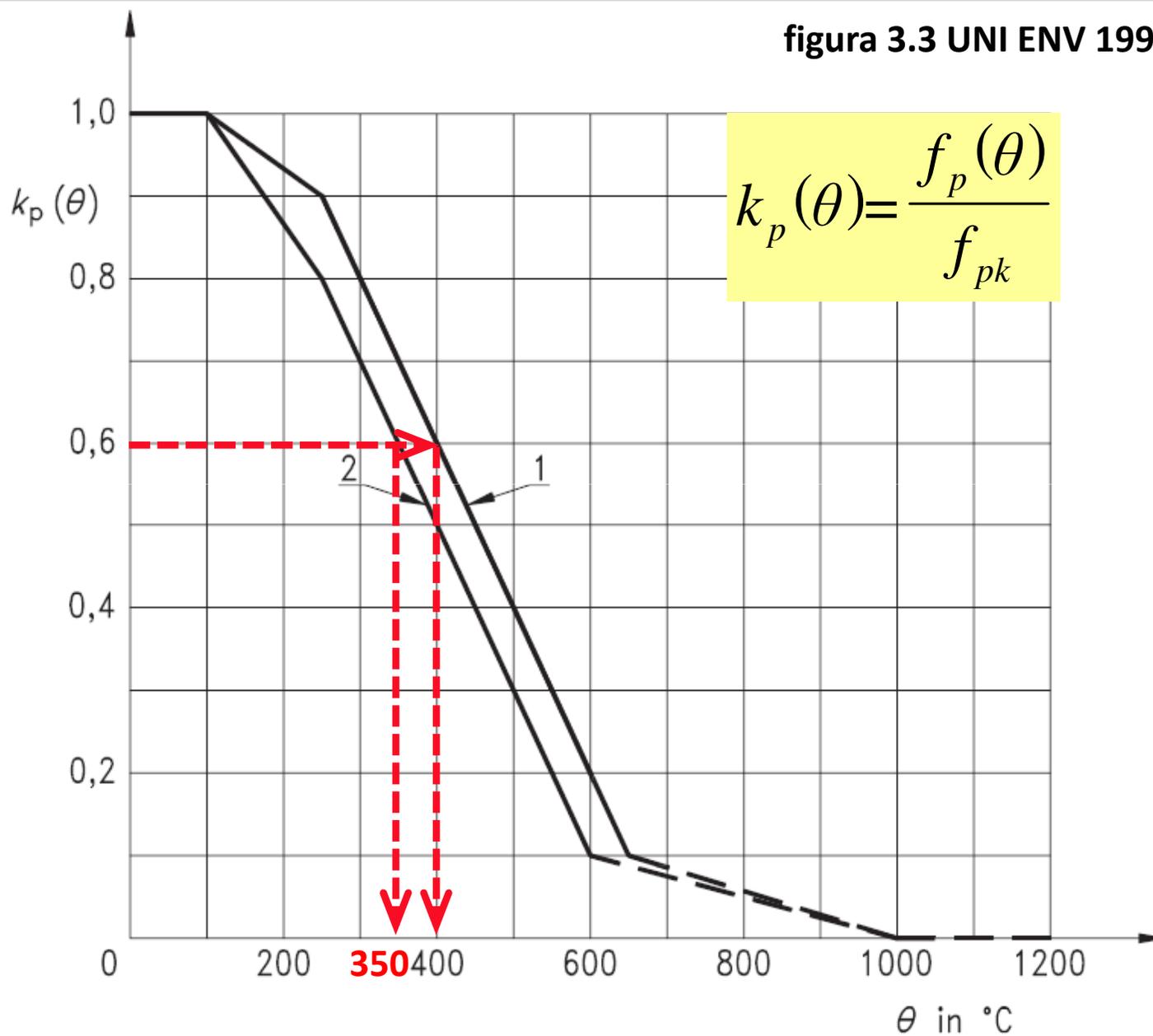


La riduzione di  $f_y$  coincide con la riduzione di  $M_{Rd,t}$  (da prof. P. Riva UNIBG)



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

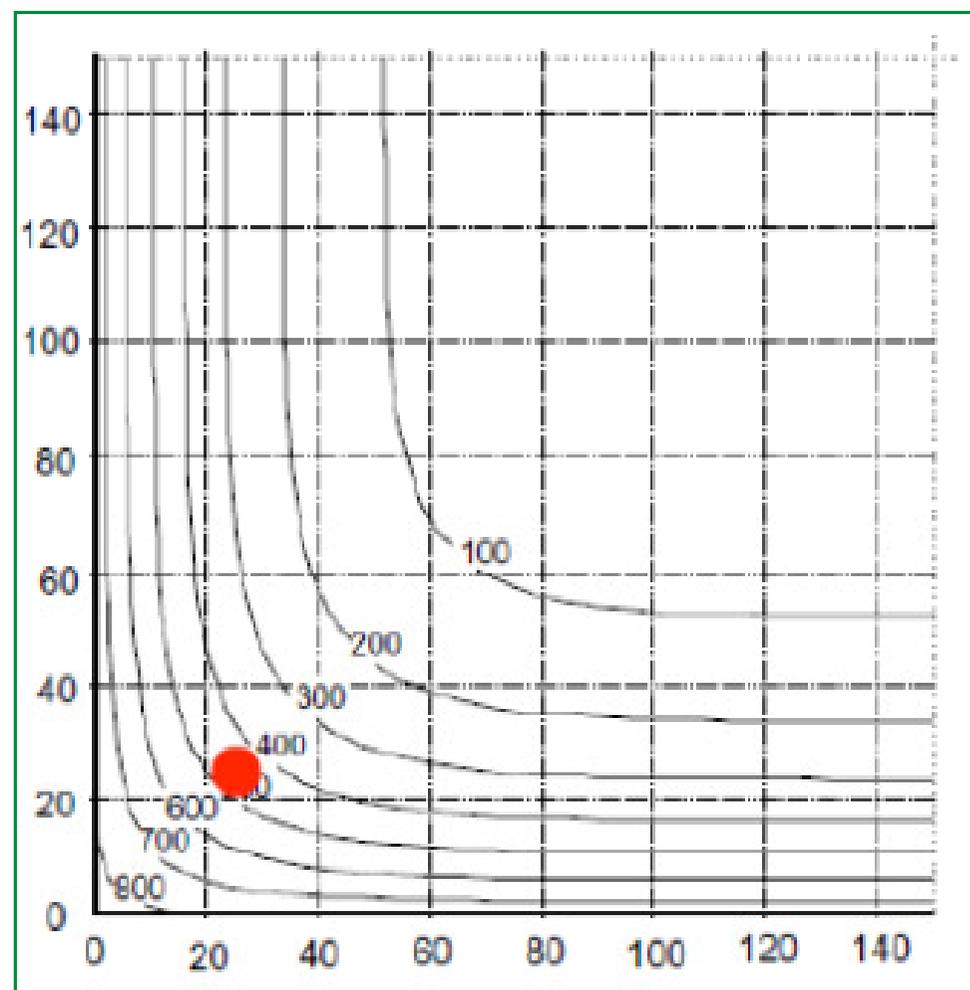
figura 3.3 UNI ENV 1992-1-2



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

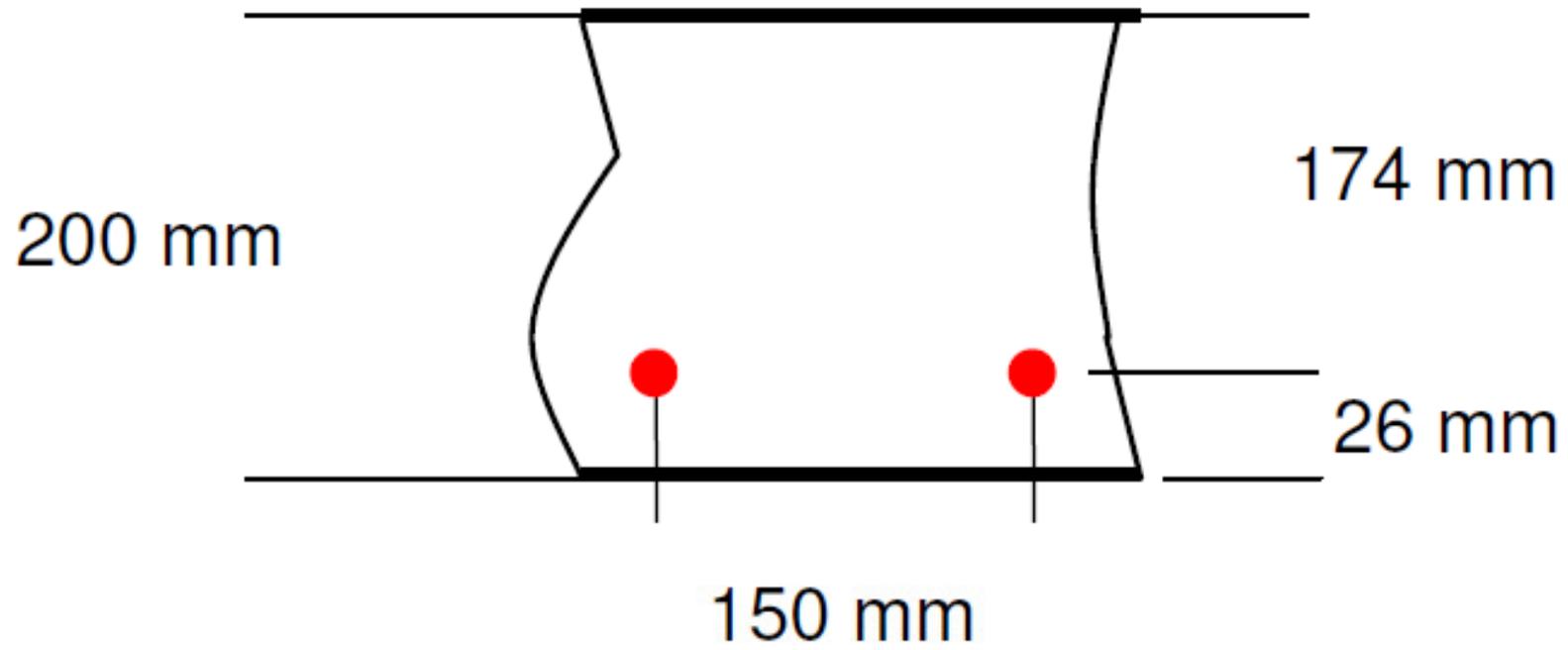
Fig. A.11 Annex A EC2-1-2:2004



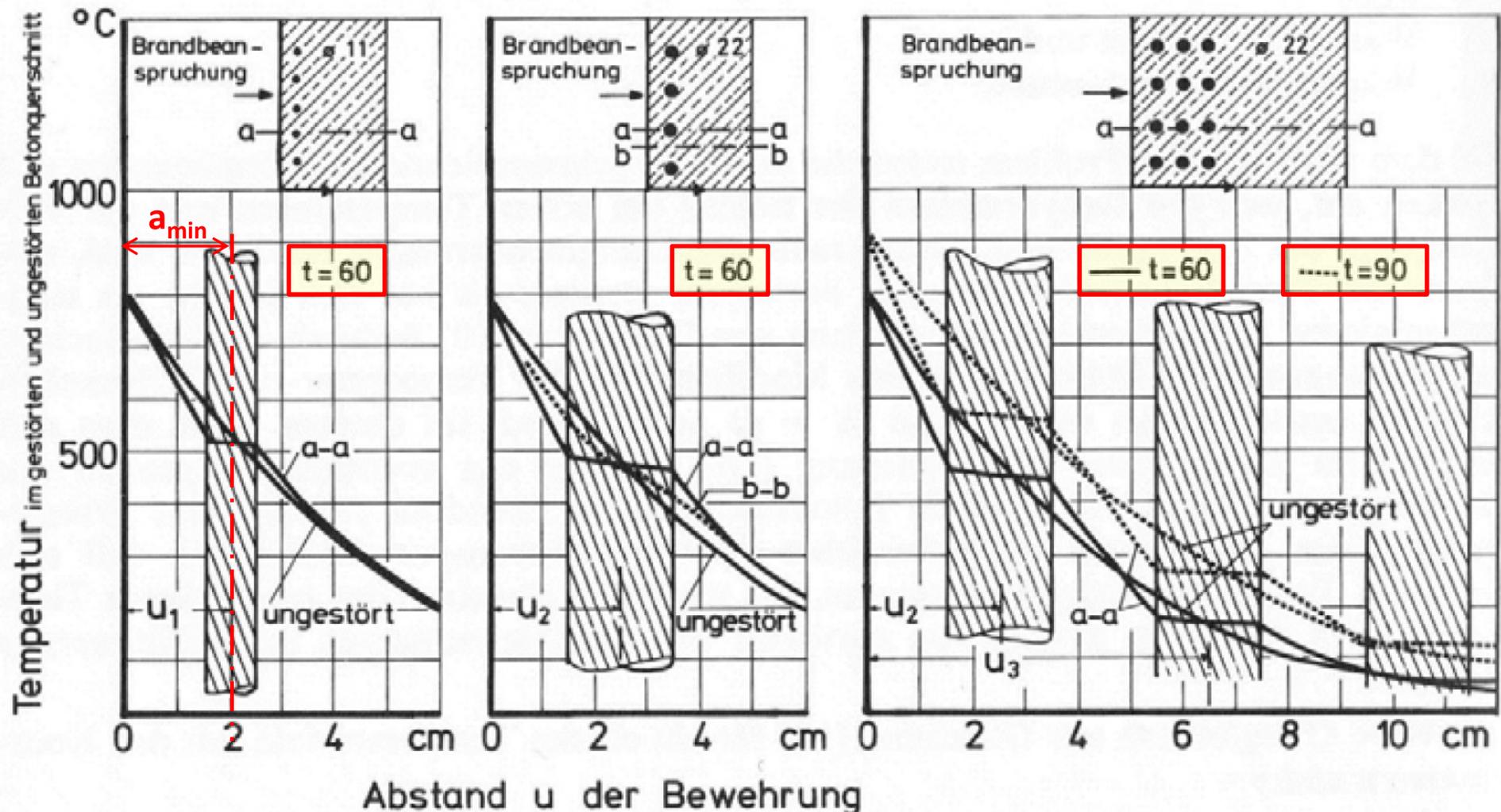
# Estensione dei criteri su cui si basa il metodo tabellare al metodo analitico

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**.



- ❑ La mappatura termica della sezione in C.A. non viene influenzata dalla presenza della armature.
- ❑ La temperatura dell'armatura coincide con quella del calcestruzzo avente le medesime coordinate spaziali dell'asse delle barre.





- 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:

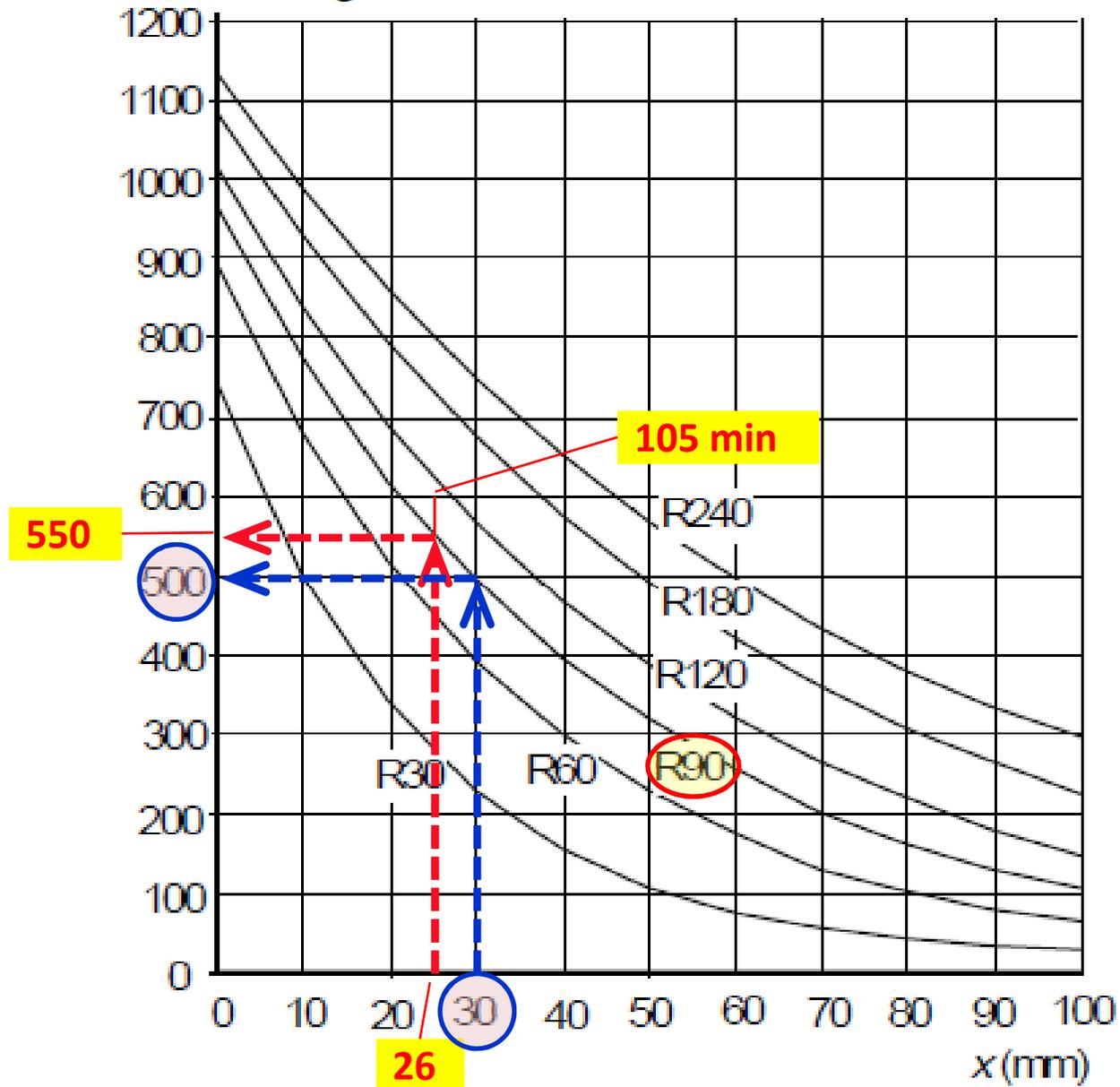
$$\mu_{fi} = \frac{E_{fi,d}}{R_{fi,d,t=0}} = \frac{M_{s,d,fi}}{\gamma_s M_{r,d}} = \frac{21,05}{1,15 \cdot 45,64} \simeq 0,40$$



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

Temperatura Acciaio $\theta$ [°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



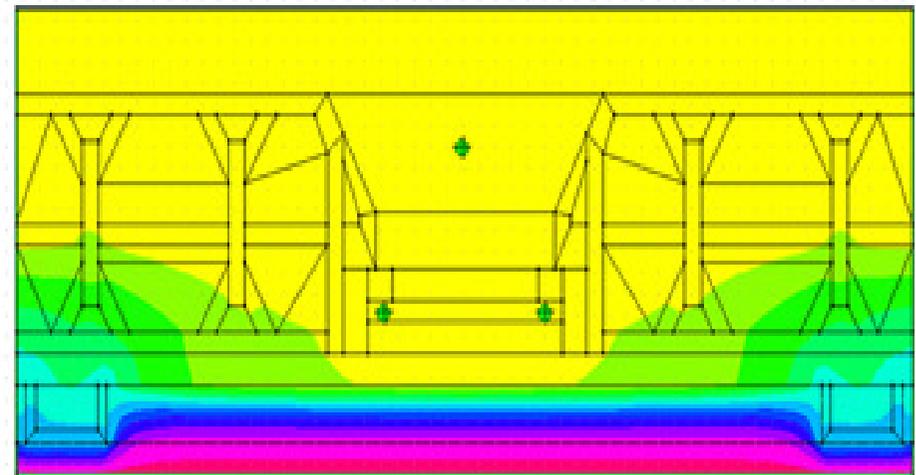
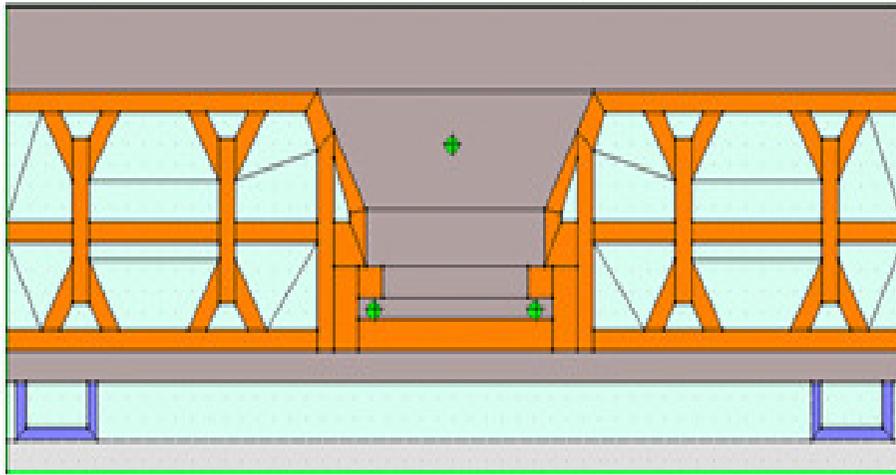
D.5.1 La tabella seguente riporta i valori minimi (mm) dello spessore totale  $H$  di solette e solai, della distanza  $a$  dall'asse delle armature alla superficie esposta sufficienti a garantire il requisito  $R$  per le classi indicate.

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

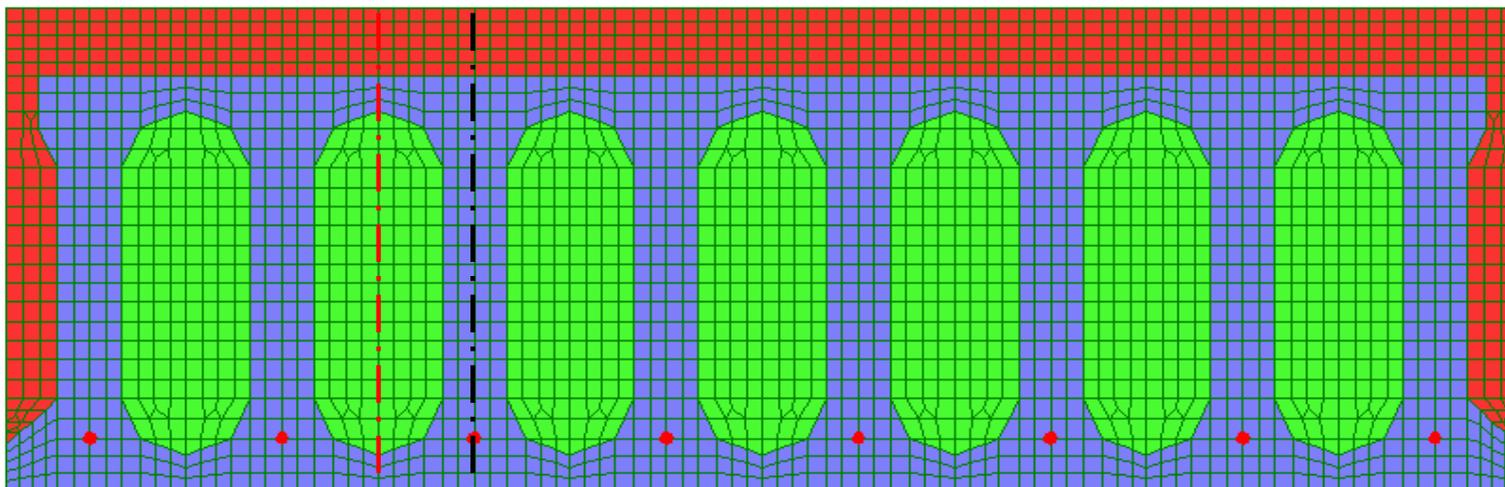
Il solaio non può essere classificato R90 perché, pur essendo rispettato lo spessore totale  $H = 200 > 120$  mm, non viene verificata la distanza  $a_{min} = 30$  mm.

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

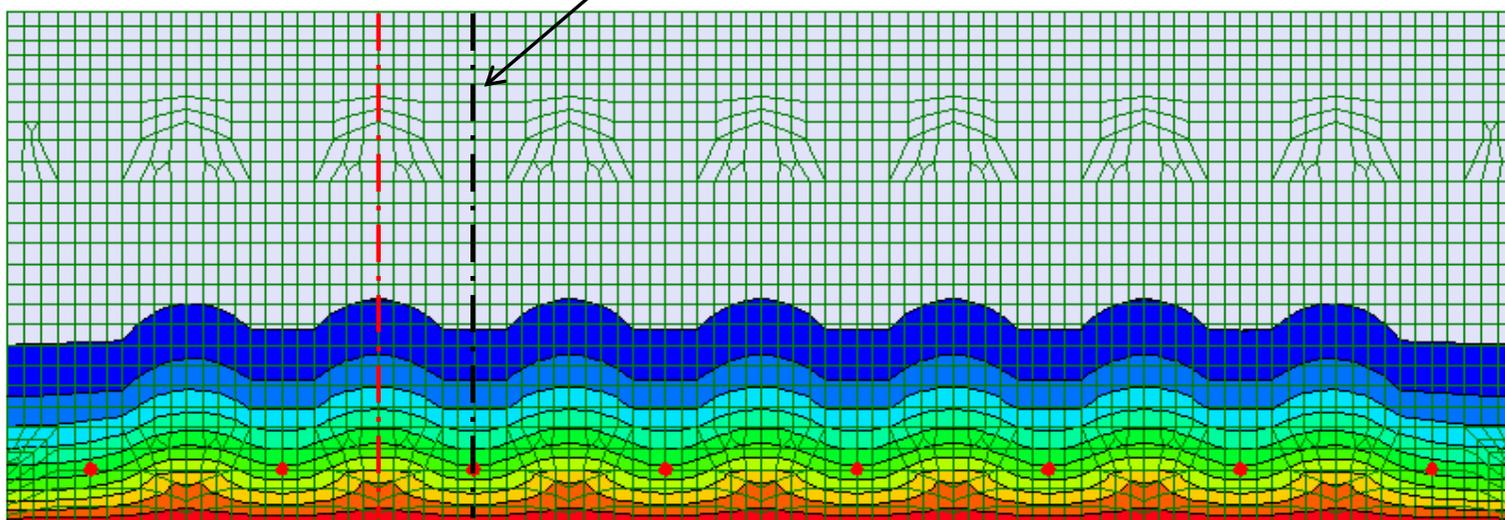
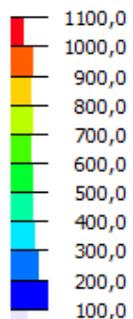


asse alveolo

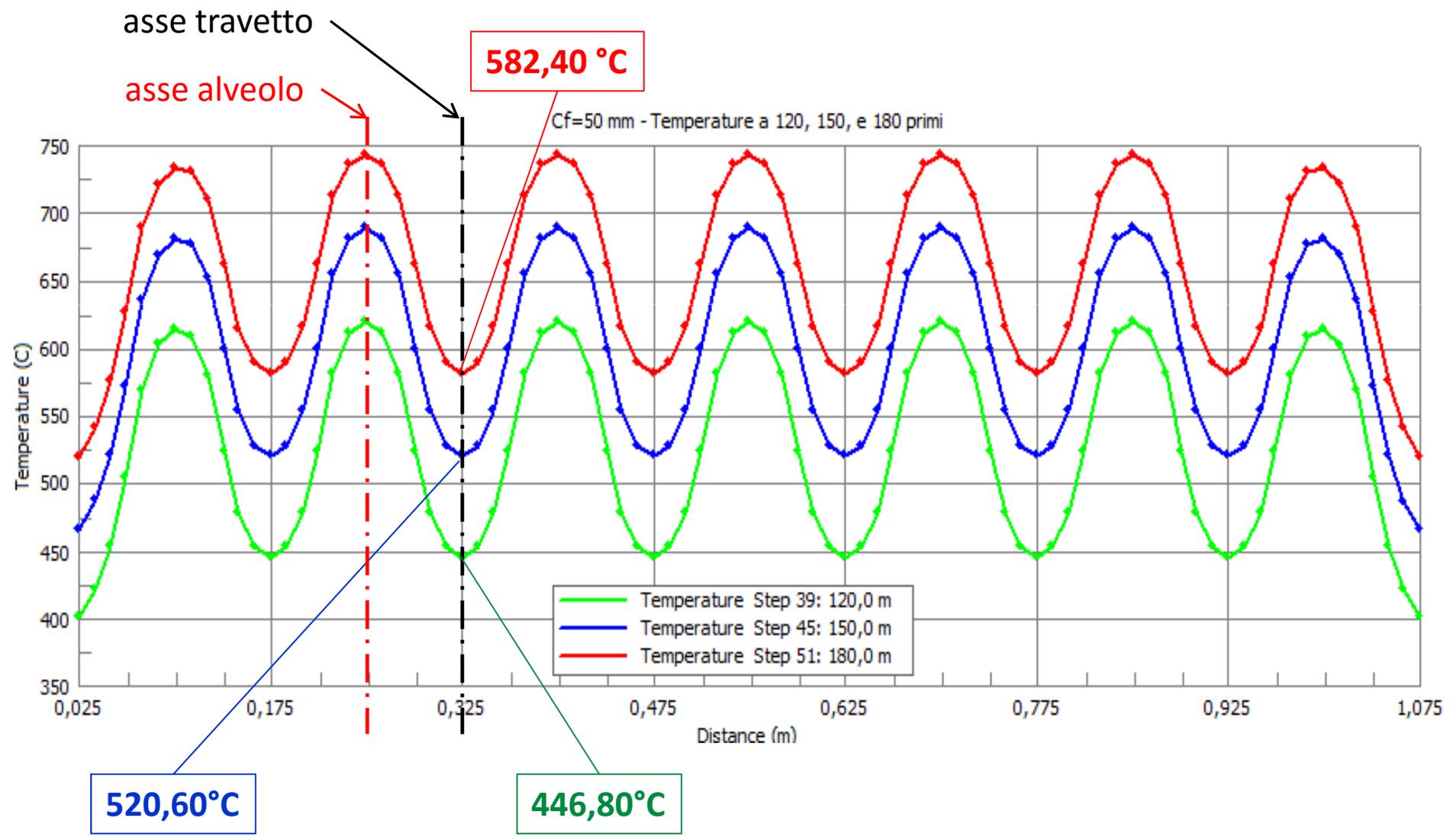
asse travetto



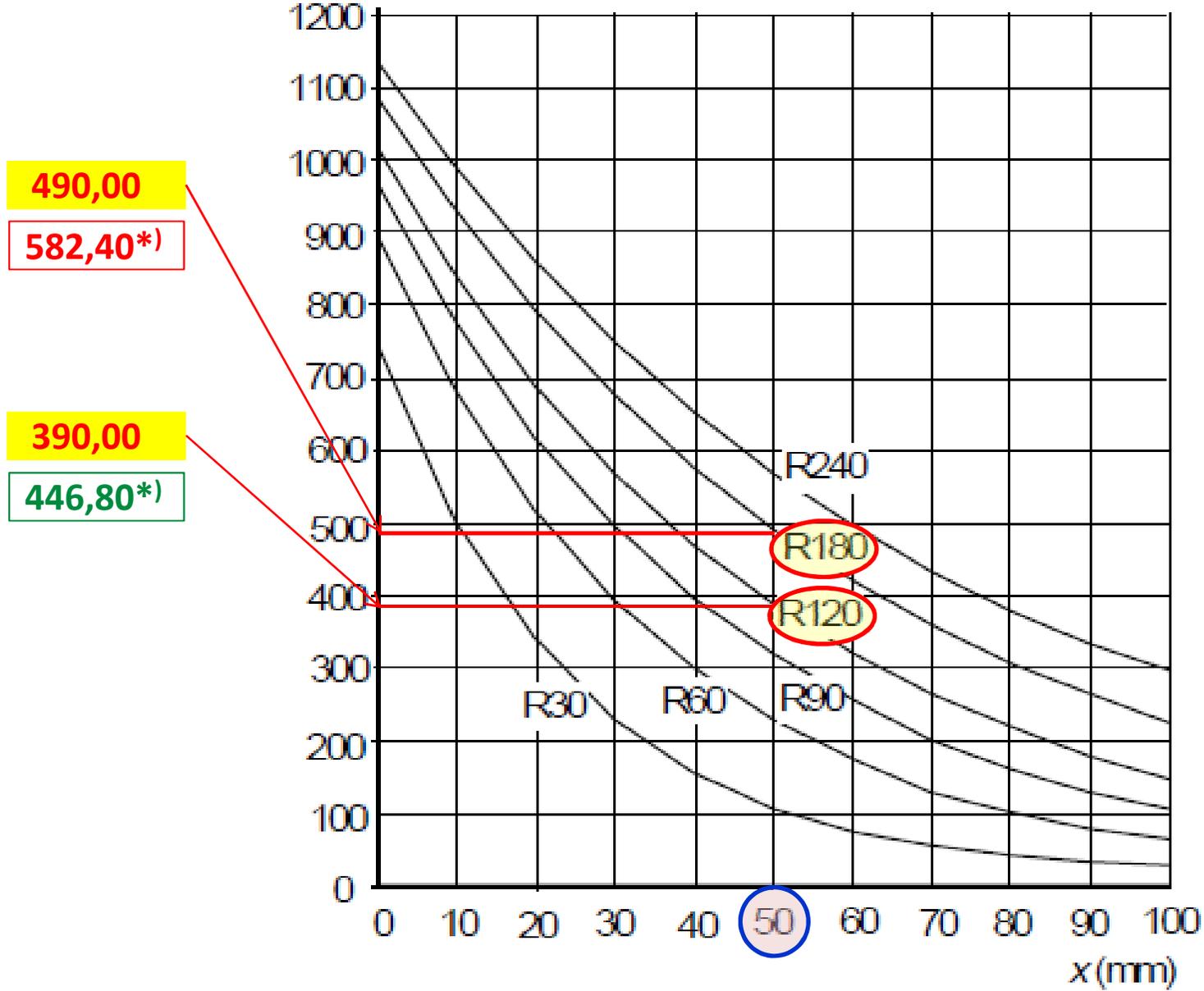
Plate Temperature (C)



# 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

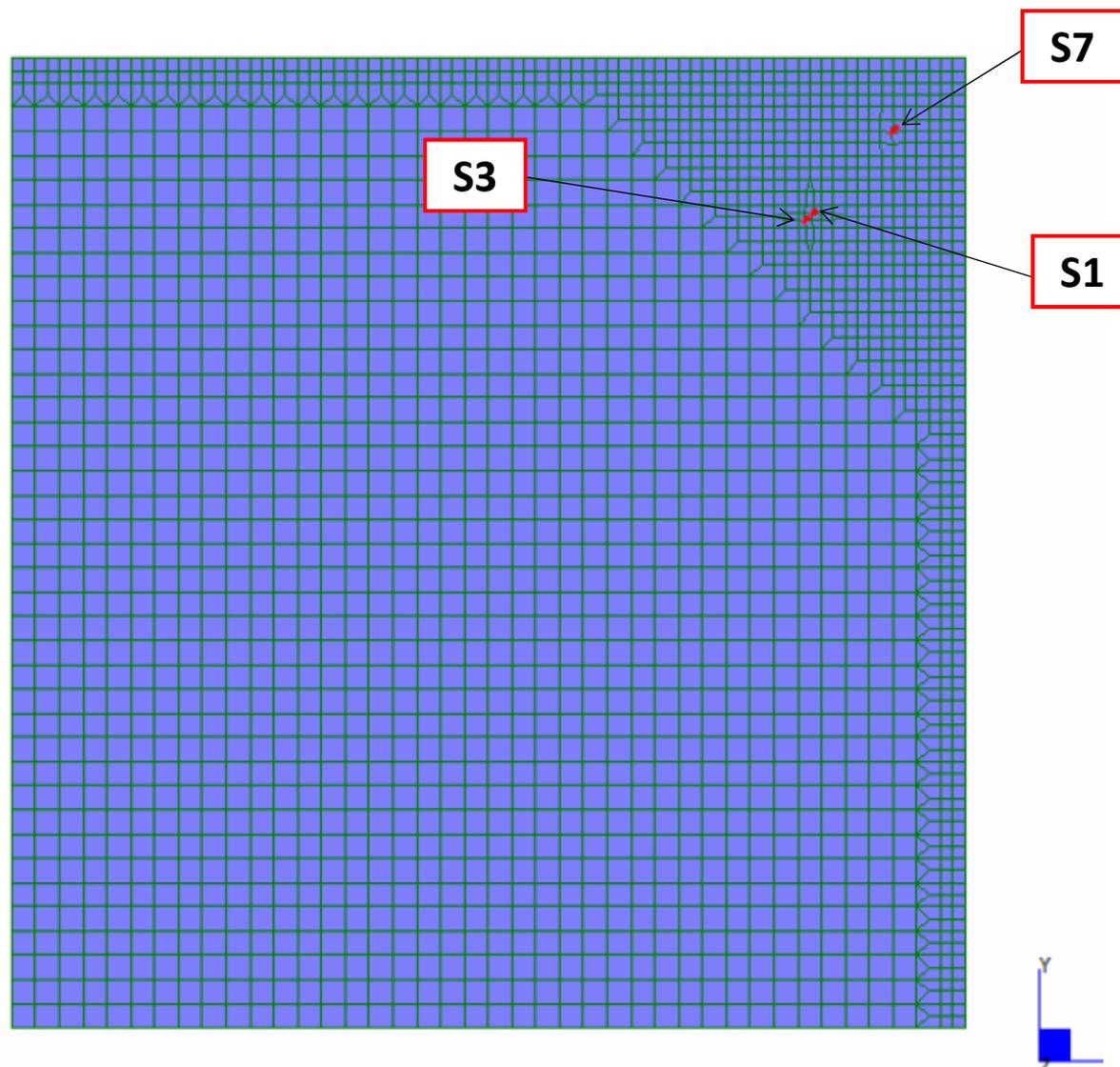
Figure A.2: Temperature profiles for slabs (height  $h = 200$ ) for R60 - R240

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

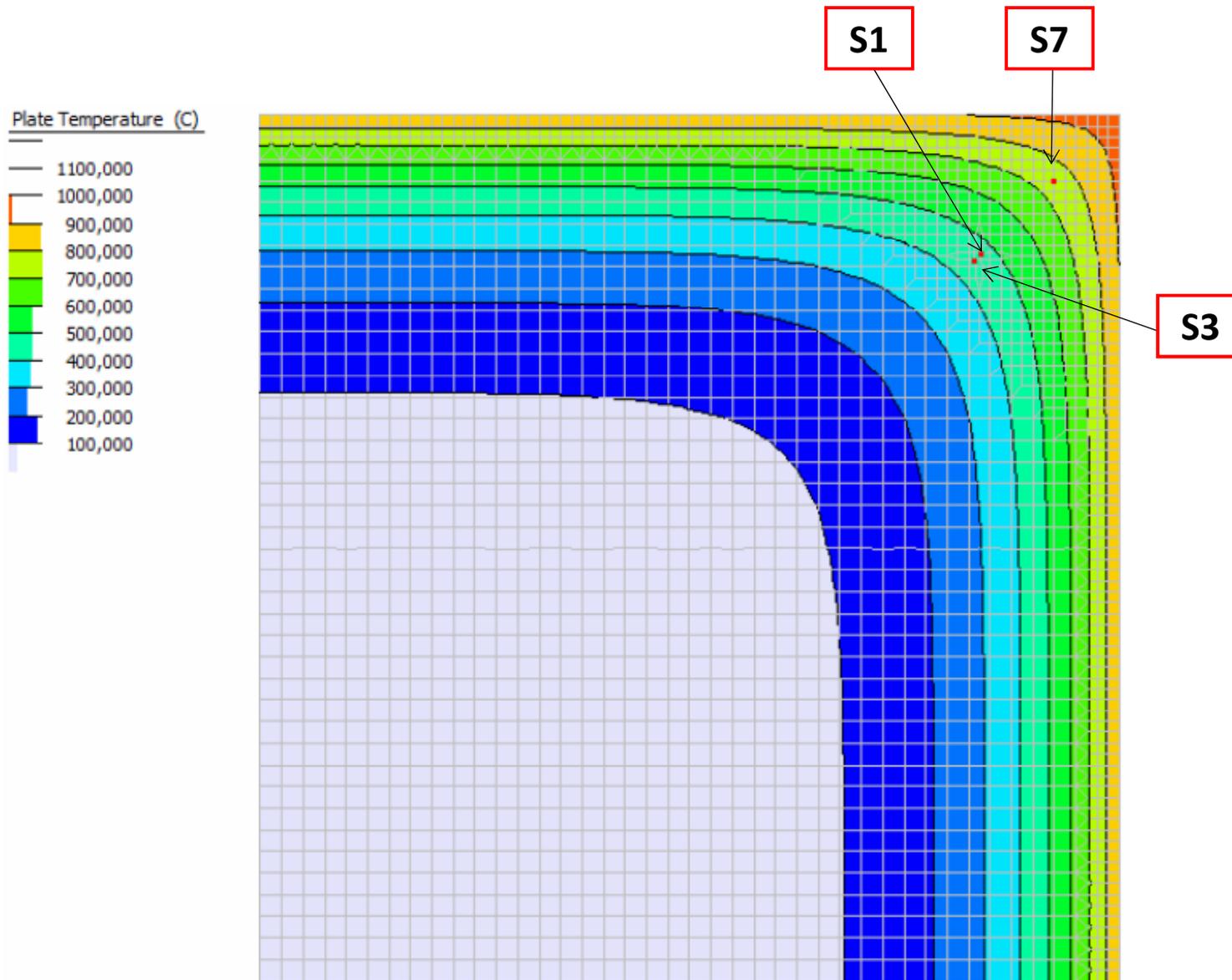
**\*) \*) I valori di temperatura determinati con l'analisi FEM del solaio alveolare, asse travetto, sono >> di quelli relativi ad un solaio in getto pieno.**

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

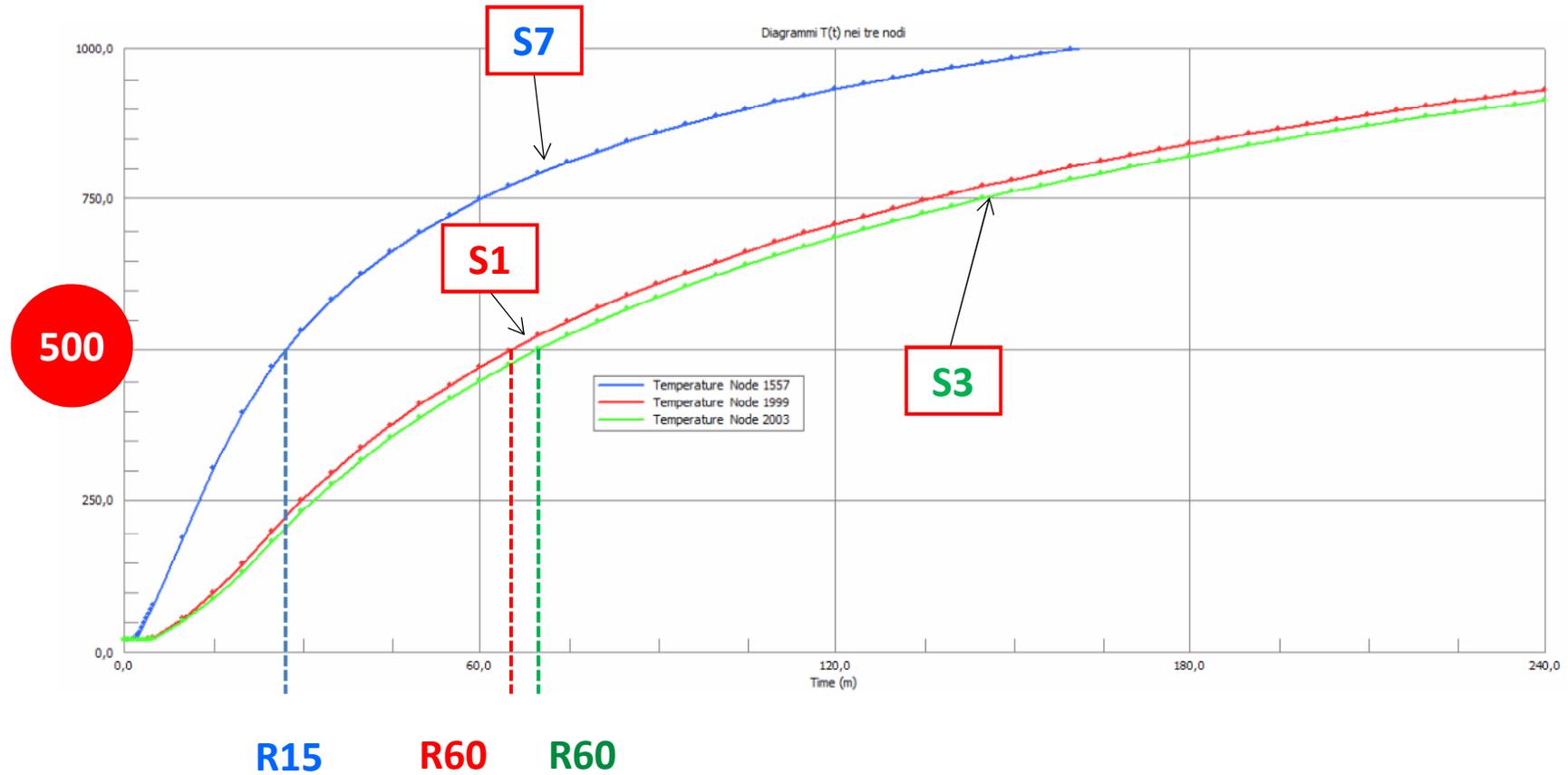
Verifica metodo semplificato pilastro 50x50 cm capannone prefabbricato



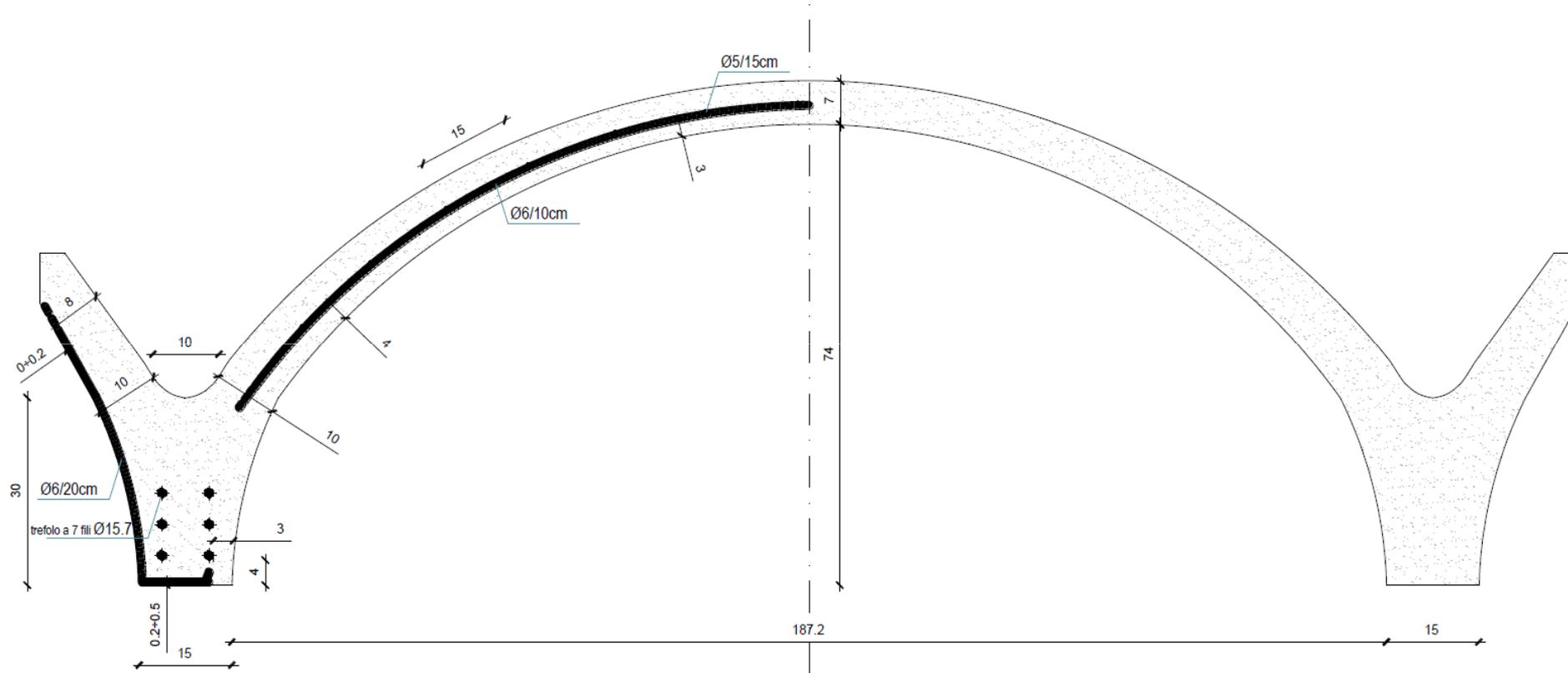
# Verifica metodo semplificato pilastro 50x50 cm capannone prefabbricato



# Verifica metodo semplificato pilastro 50x50 cm capannone prefabbricato

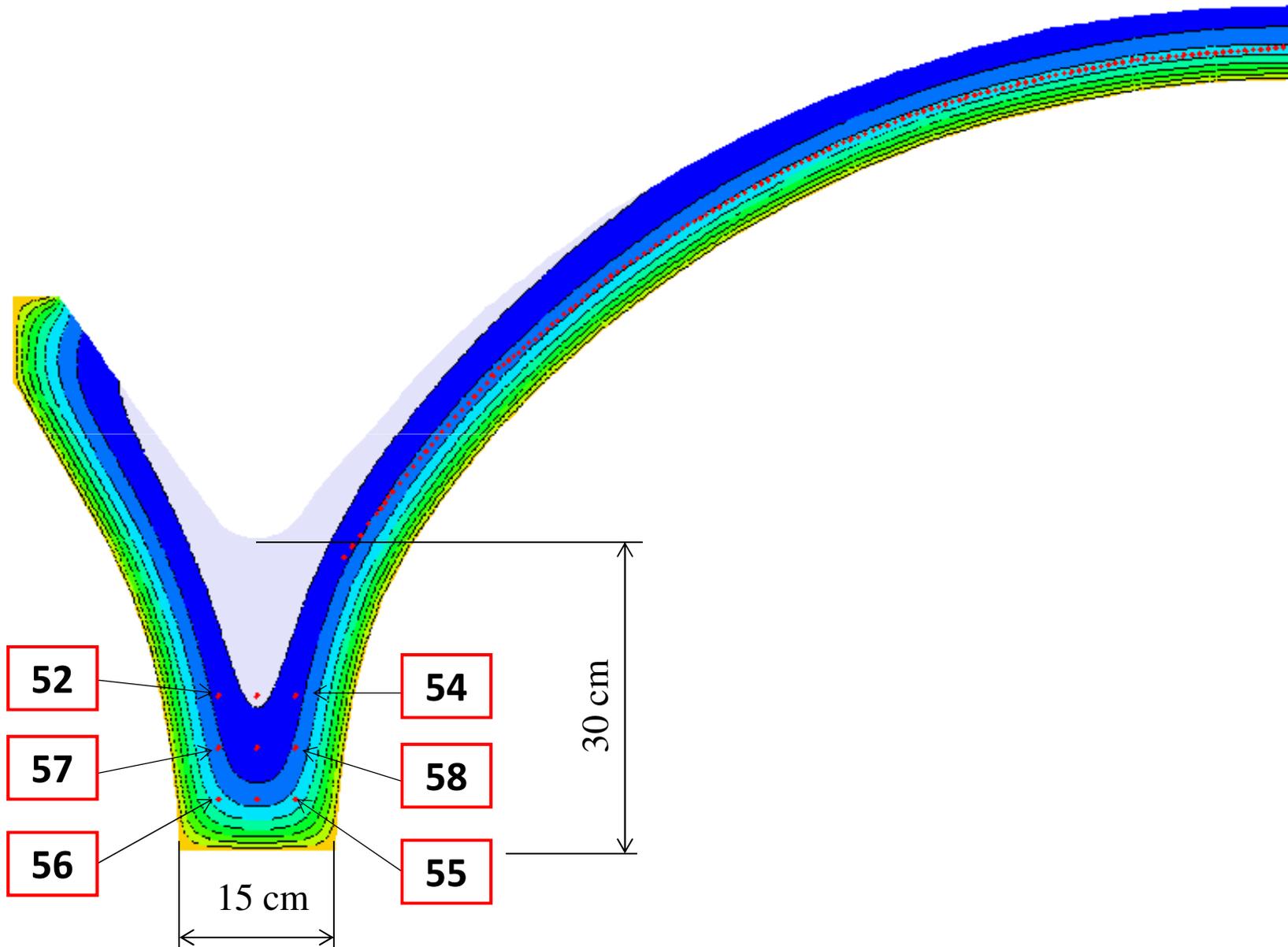
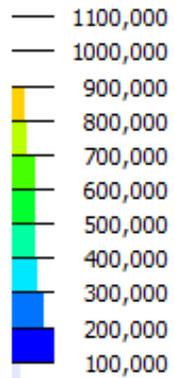


# Verifica, metodo semplificato, tegolo di copertura capannone prefabbricato

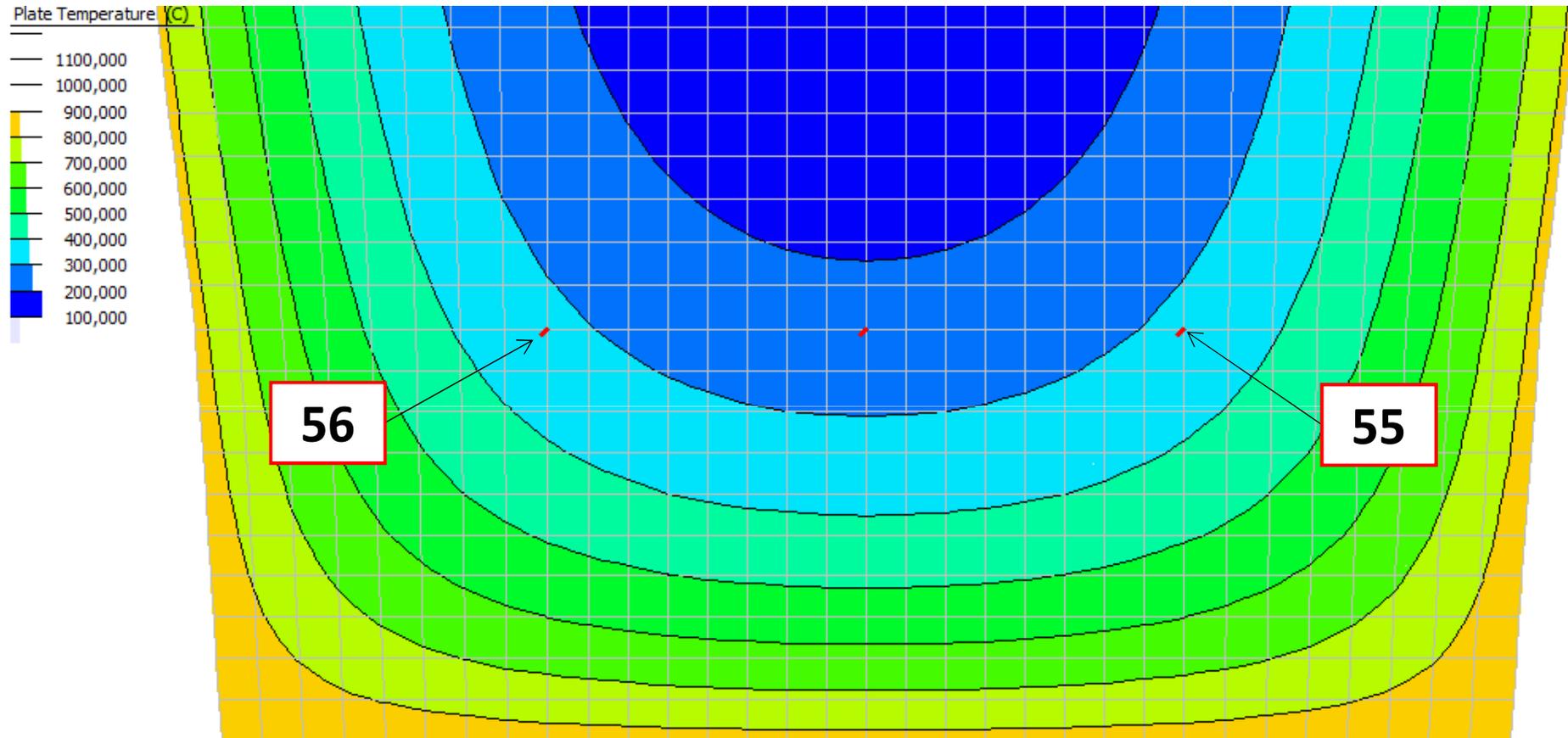


# Verifica, metodo semplificato, tegolo di copertura capannone prefabbricato

Plate Temperature (C)



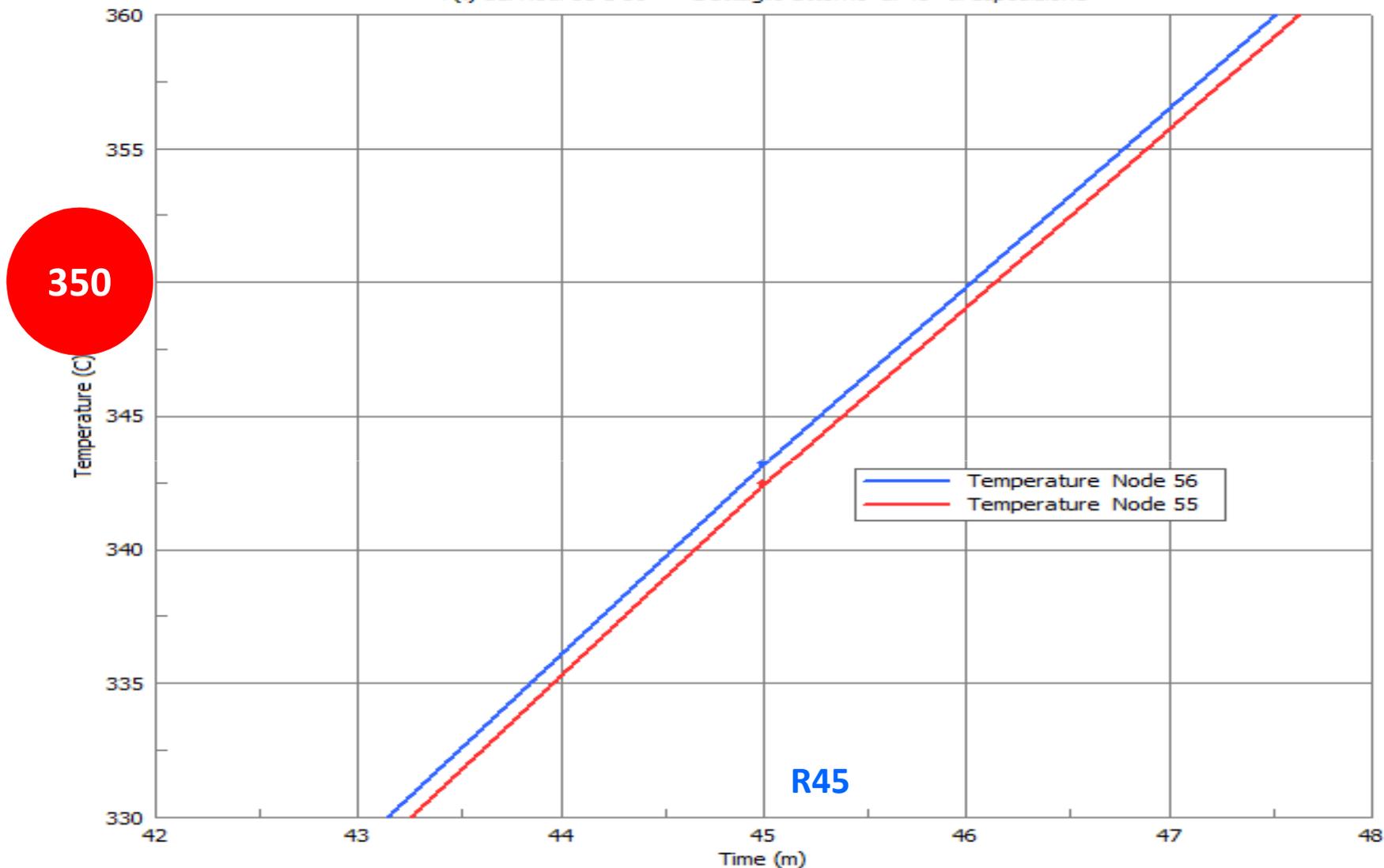
## Verifica, metodo semplificato, tegolo di copertura capannone prefabbricato



**Dettaglio del transitorio termico del tegolo a 45 minuti di esposizione incendio nominale ISO 834.**

# Verifica, metodo semplificato, tegolo di copertura capannone prefabbricato

T(t) dei Nodi 55 e 56 - Dettaglio attorno ai 45' di esposizione

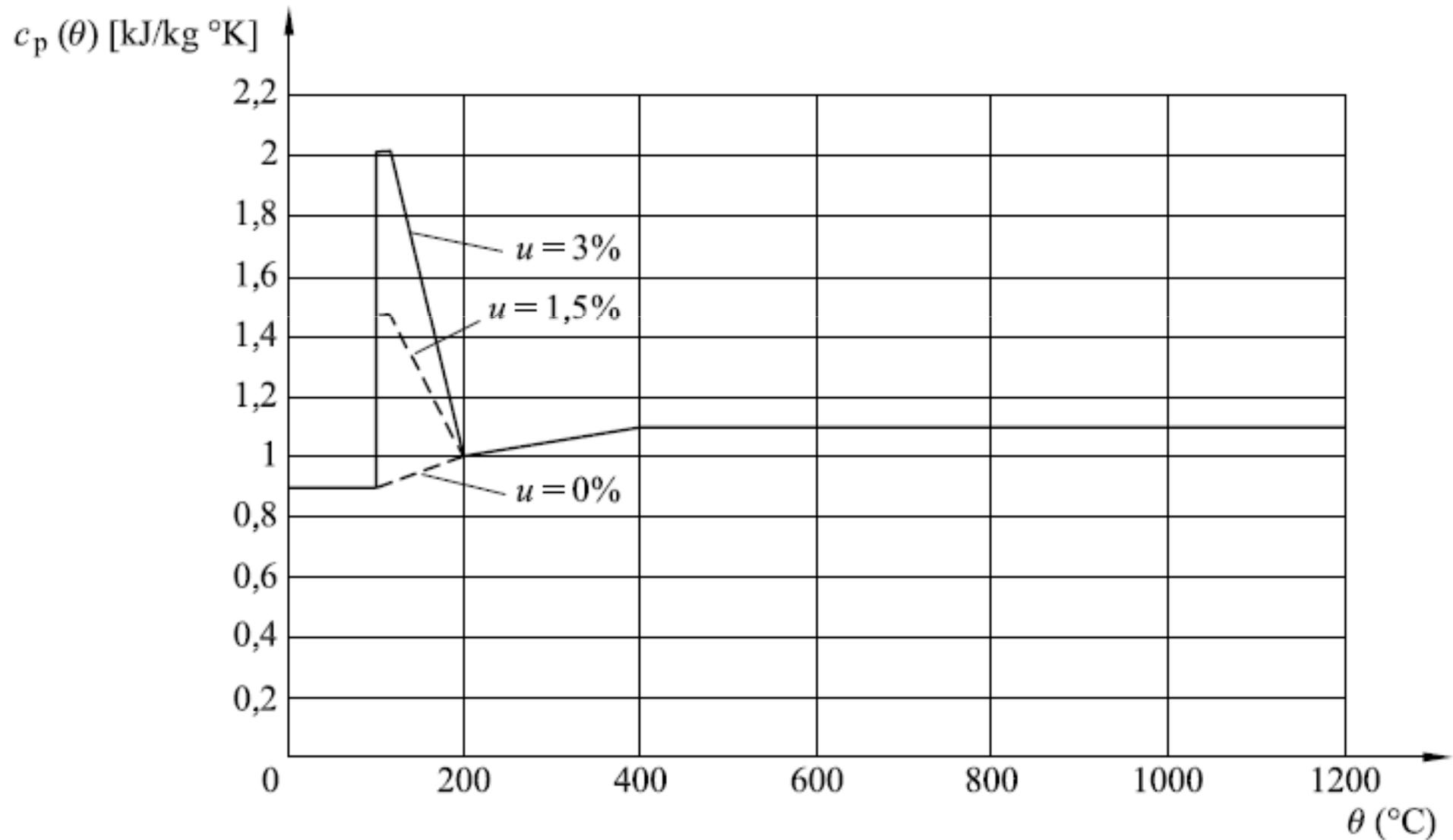


TREFOLO	esposizione 45 min	esposizione 50 min
<b>55</b>	342,40 °C	375,60 °C
<b>56</b>	343,20 °C	376,40 °C

Temperatura ° C	Trasformazioni chimiche e fisiche	Colorazione	Resistenza
< 95 -100	Emissione di H <sub>2</sub> 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 $\alpha$ alla forma $\beta$ (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

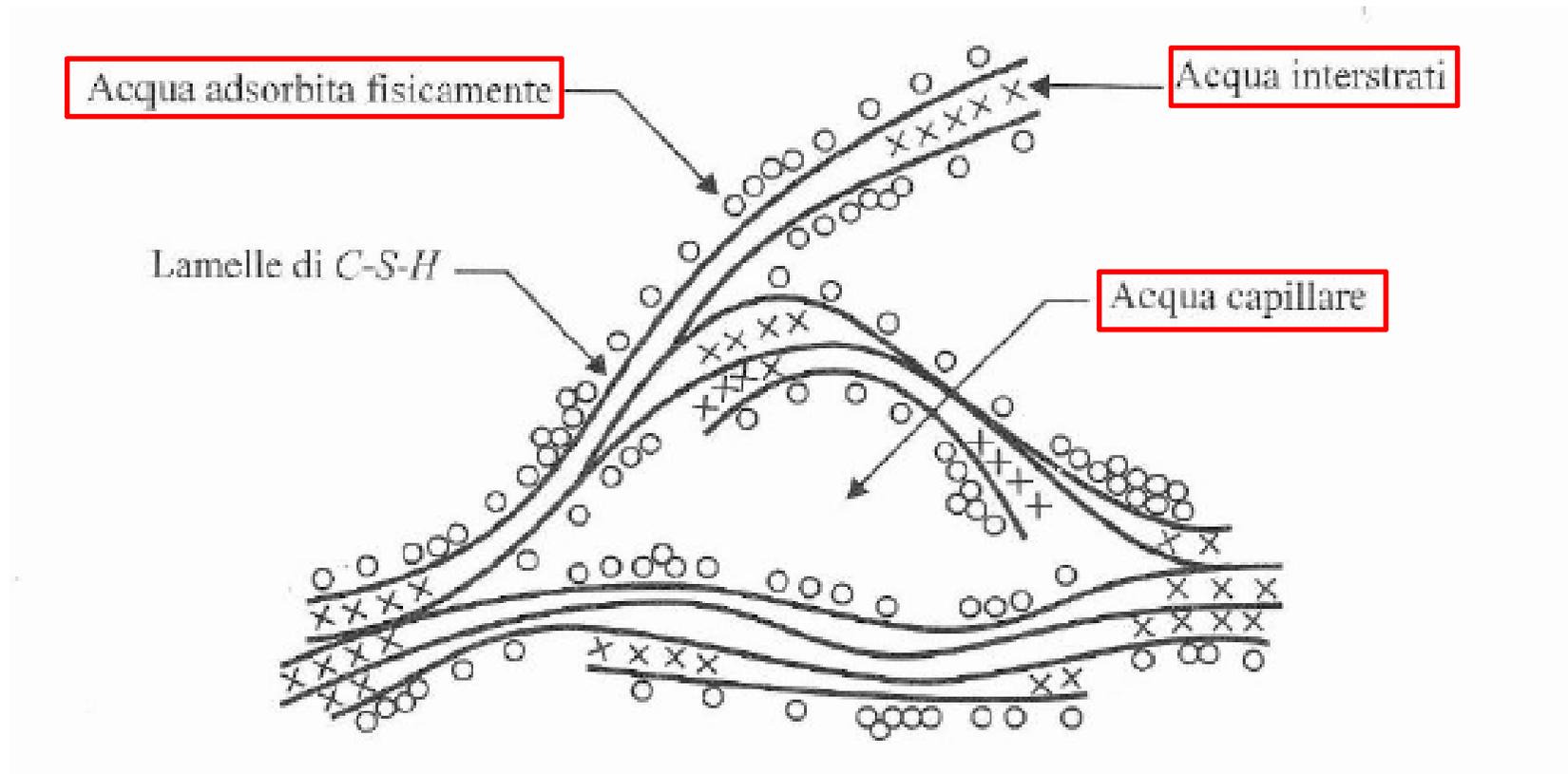
## $c_p(\theta)$ per cls con tre diversi contenuti di umidità

$u = 2-2,5\%$  in peso  $\rightarrow 6\%$  in volume  $\rightarrow 60\text{ l di H}_2\text{O/m}^3$

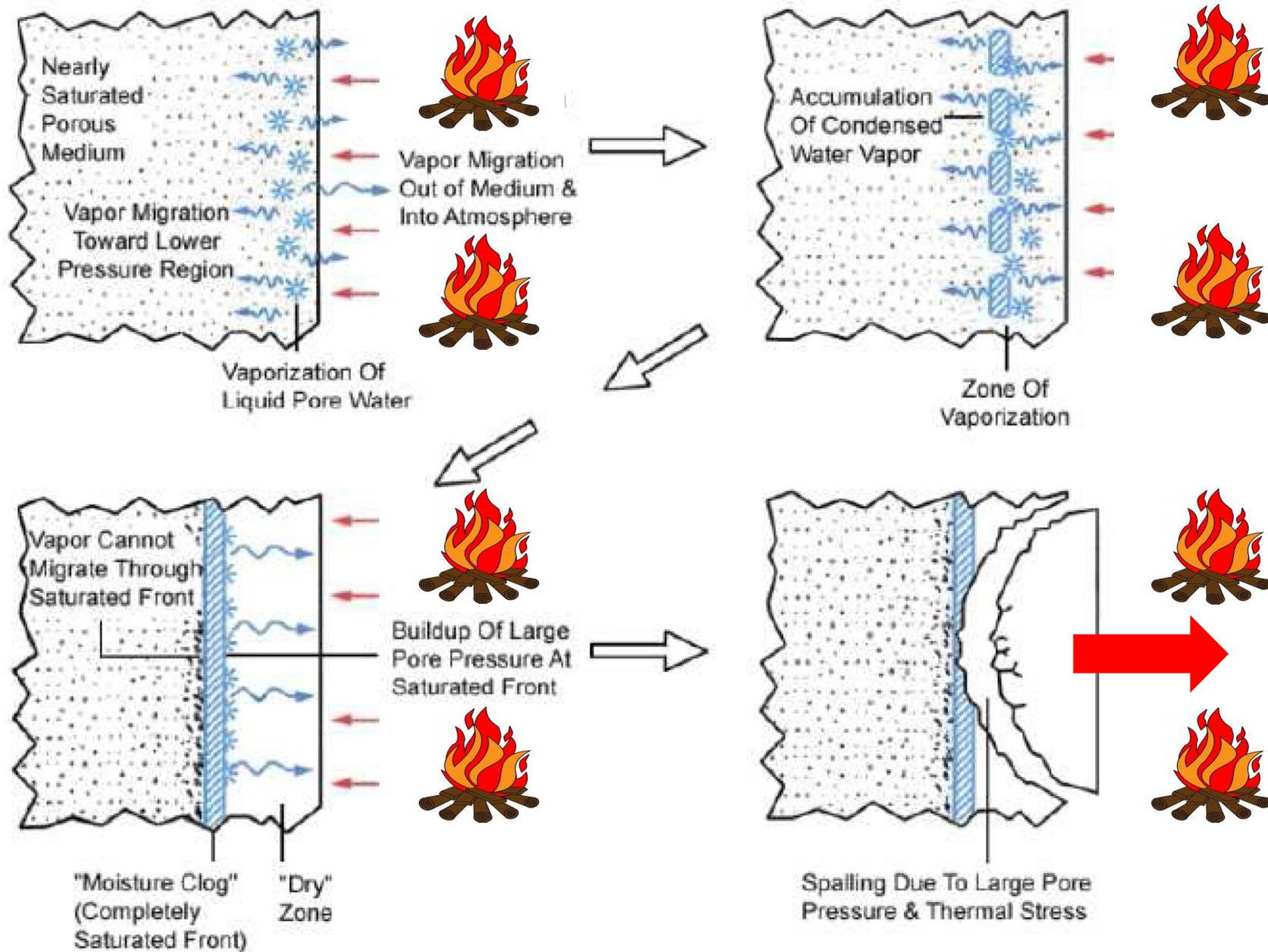




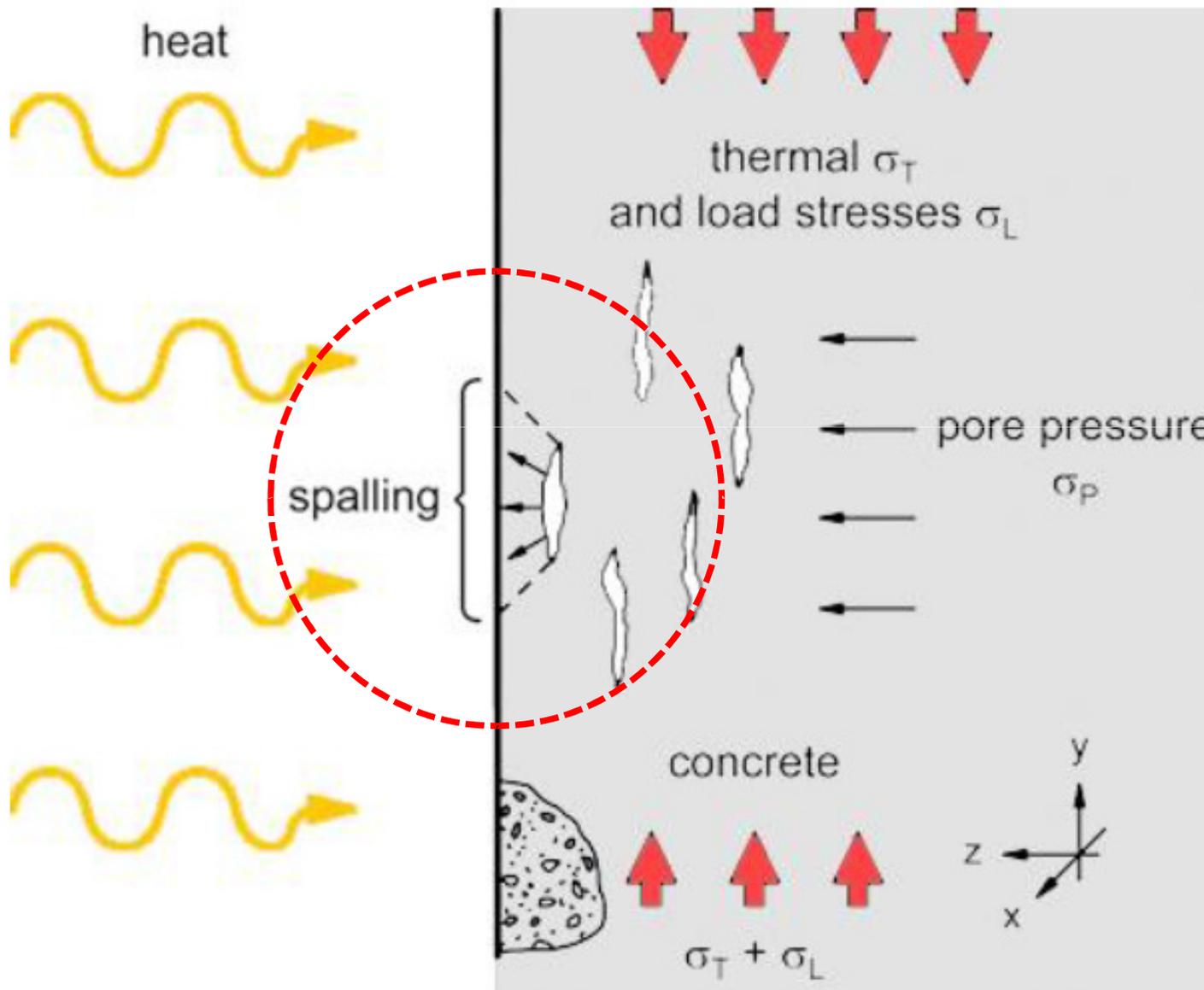
## Forme di H<sub>2</sub>O presenti nel calcestruzzo



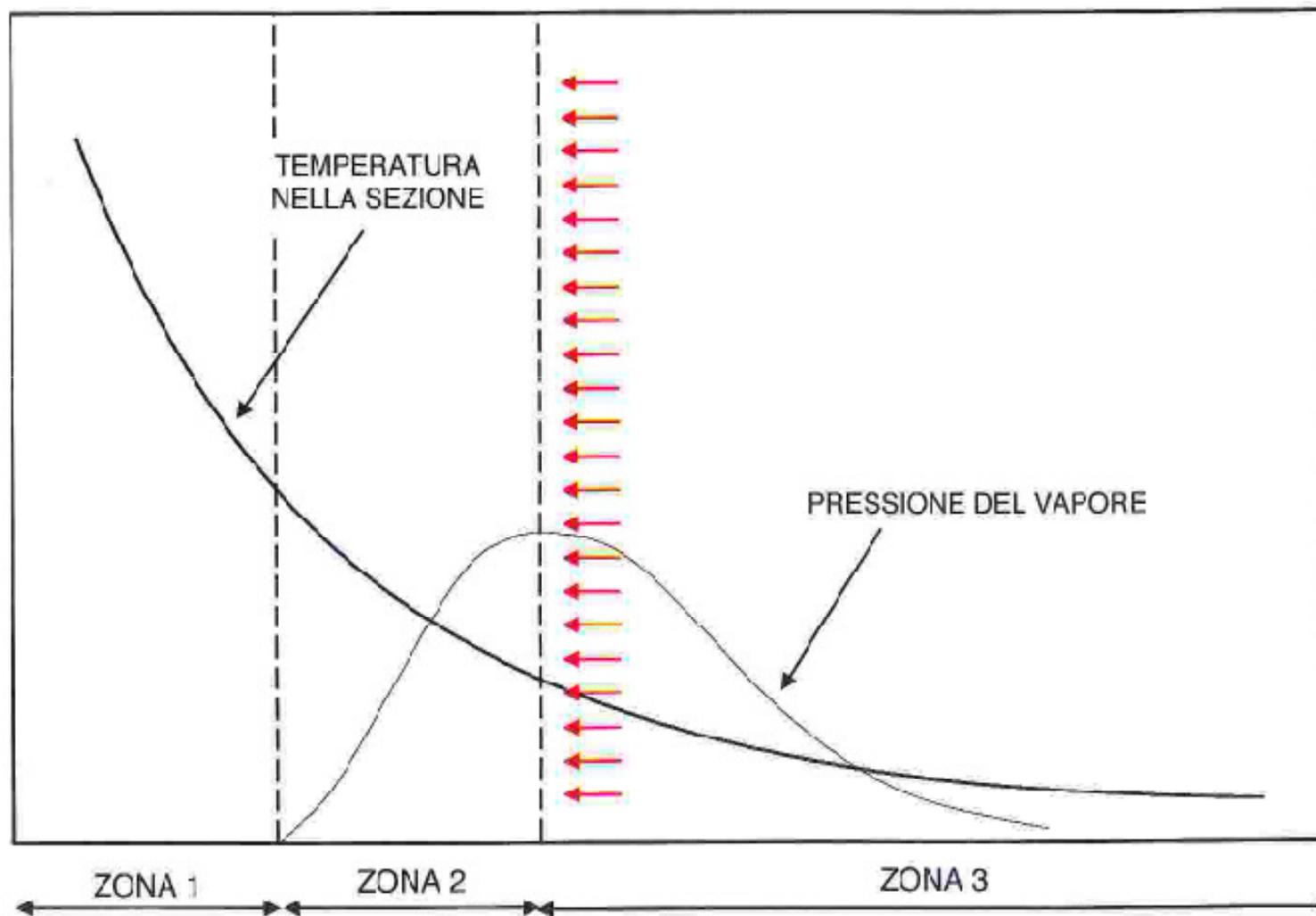
# il meccanismo dello spacco superficiale esplosivo (spalling)



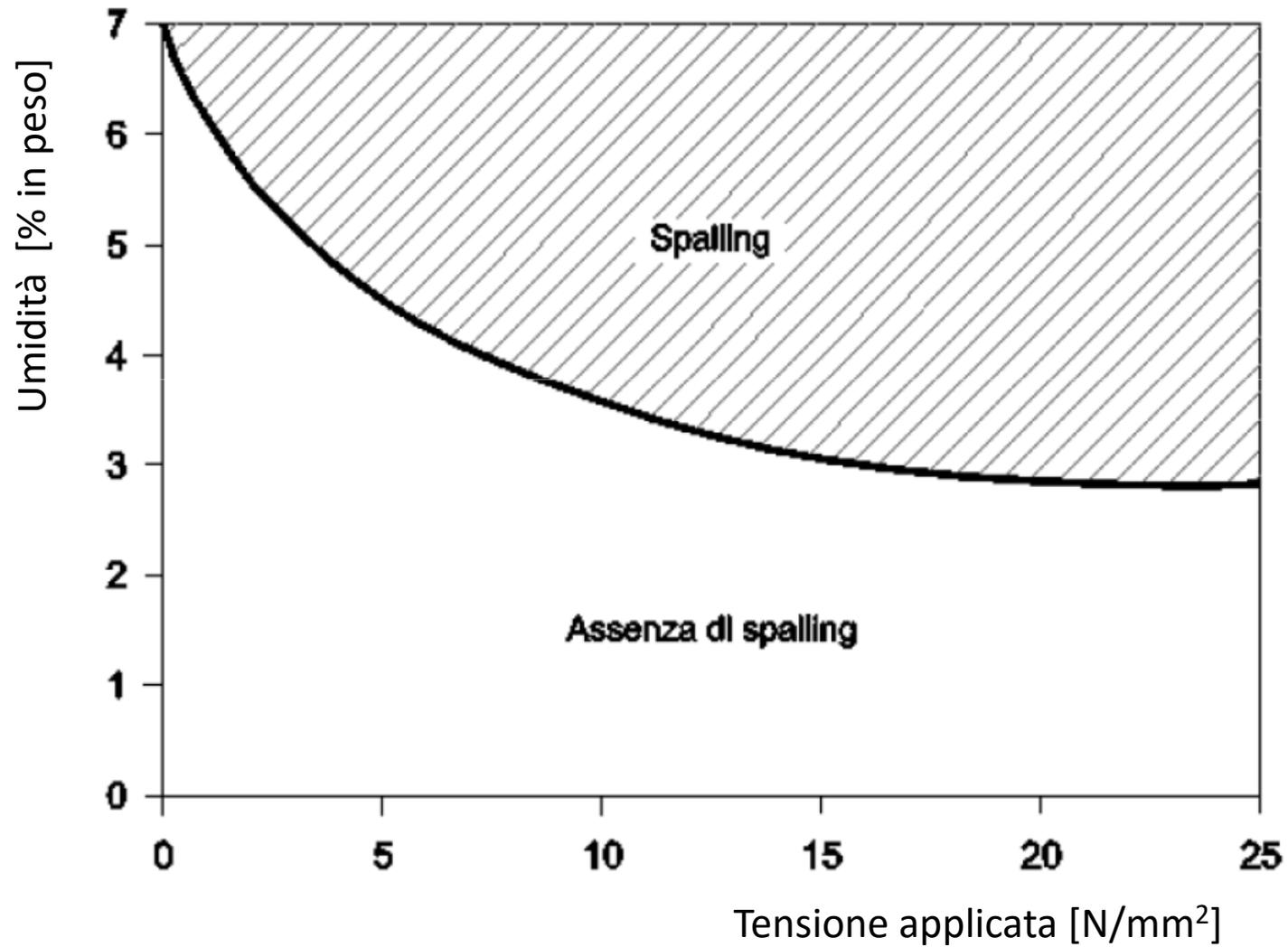
# il meccanismo dello spacco superficiale esplosivo (spalling)



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



## Dominio umidità, tensione, spalling (Khoury 2000).





- I cls **HPC** e **UHPC** risentono maggiormente dell'effetto spalling a causa della < permeabilità all'espulsione di  $H_2O$  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 → **60 l/m<sup>3</sup> di H<sub>2</sub>O**;

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



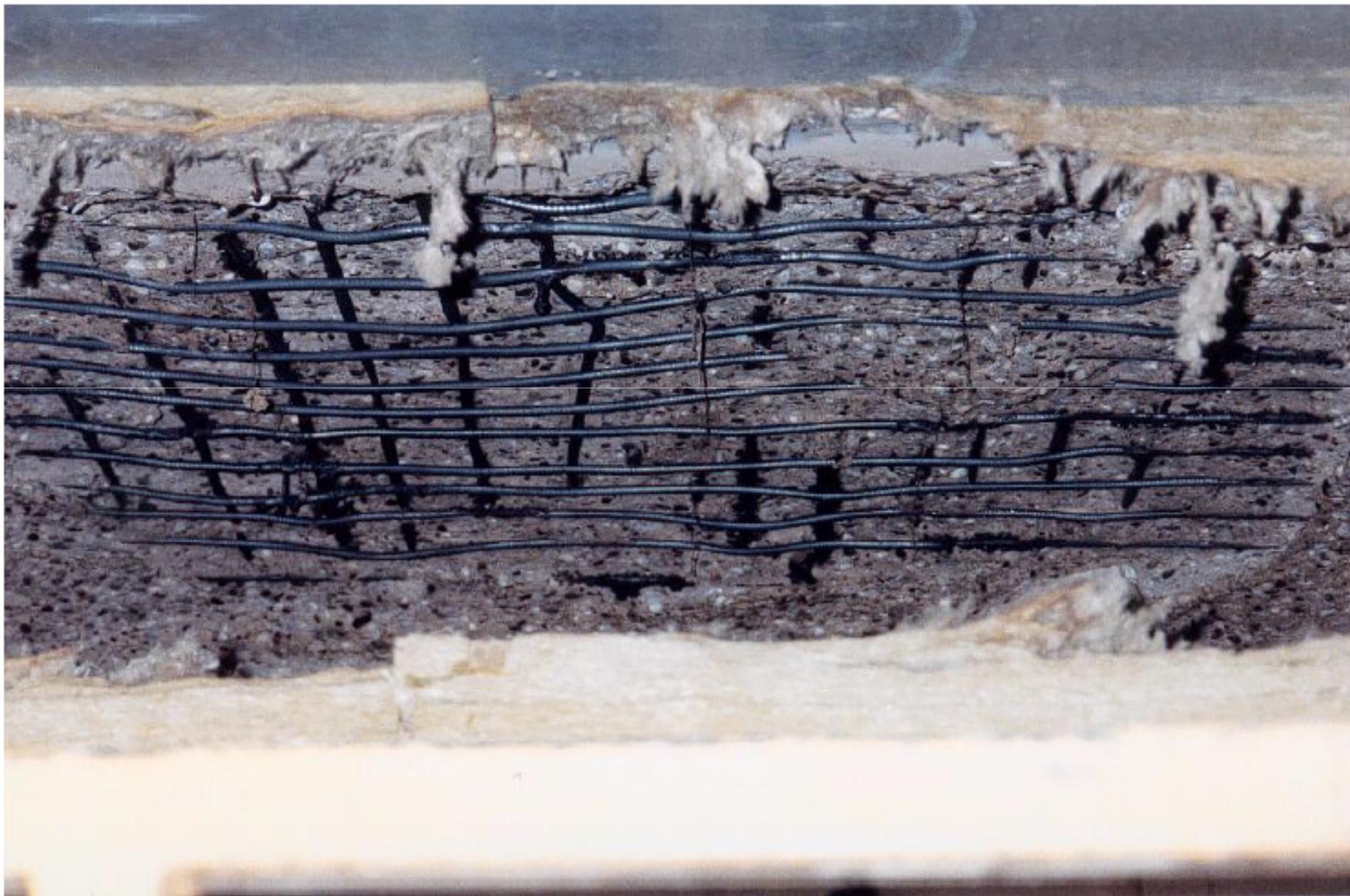
**FOTOGRAFIA TRATTA DALL' ARTICOLO ING. INNOCENZO MASTRONARDI-IN  
CONCRETO - ATECAP ottobre 2013**



- **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 di  $165 \pm 5$  °C, favorisce l'espulsione del vapor d'acqua.



**L'effetto dello spalling – prova in forno con curva ISO 834**



L'effetto dello spalling con l'impiego di  $1 \text{ kg/m}^3$  di fibra polipropilenica



L'effetto dello spalling con l'impiego di  $2 \text{ kg/m}^3$  di fibra polipropilenica



L'effetto dello spalling con l'impiego di  $3 \text{ kg/m}^3$  di fibra polipropilenica



## L'effetto dell'impiego di fibre polipropileniche



**2 kg/m<sup>3</sup>**

**3 kg/m<sup>3</sup>**

**1 kg/m<sup>3</sup>**

# Prospetto 5.6 EN 1992-1-2



prospetto 5.6

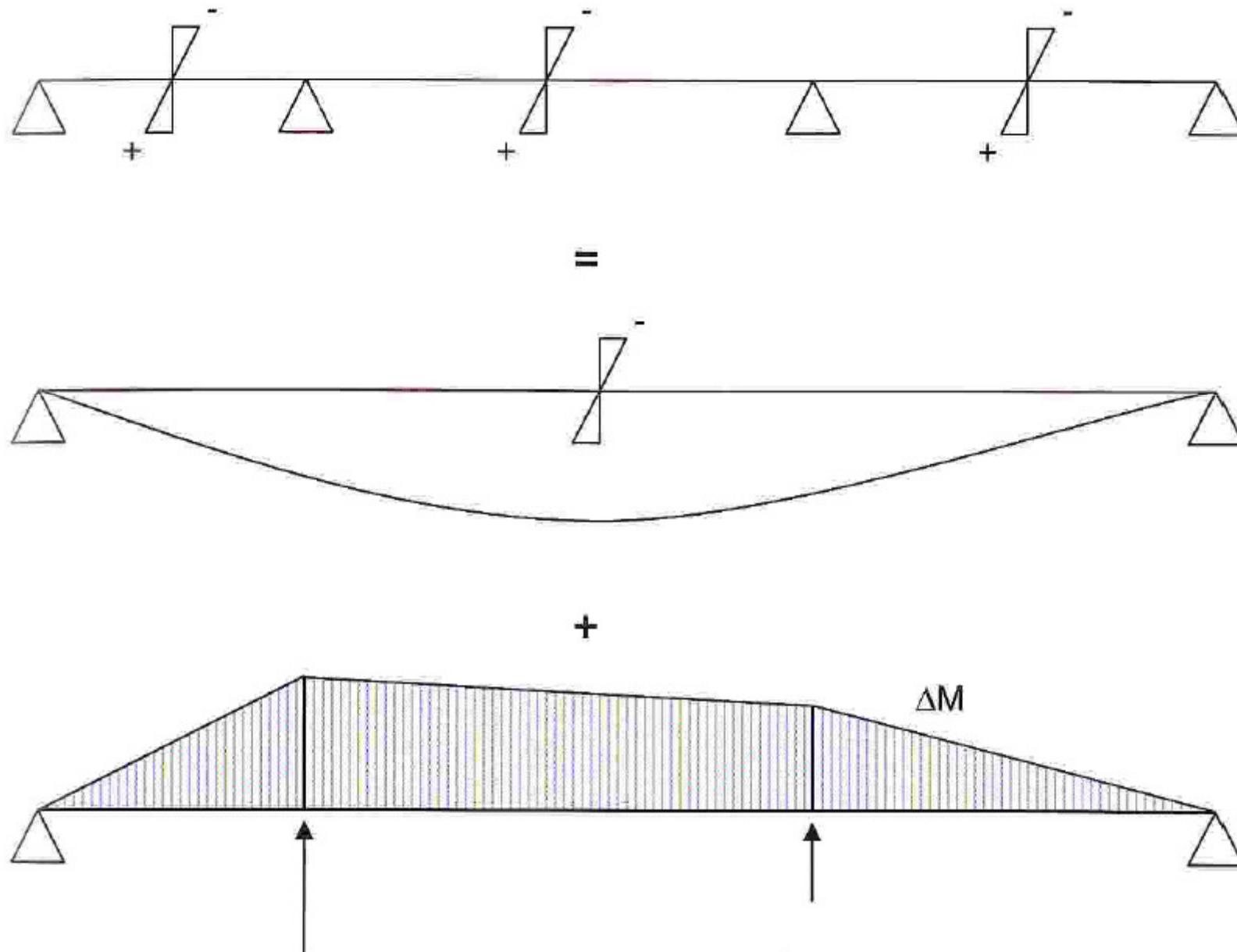
**Dimensioni minime e distanze dell'asse per travi continue di calcestruzzo armato e calcestruzzo armato precompresso (vedere anche prospetto 5.7)**

Resistenza al fuoco normalizzata	Dimensioni minime (mm)						
	Combinazioni possibili di $a$ e $b_{min}$ dove $a$ è la distanza media dell'asse e $b_{min}$ è lo spessore della trave				Spessore dell'anima $b_w$		
					Classe WA	Classe WB	Classe WC
1	2	3	4	5	6	7	8
R30	$b_{min} = 80$ $a = 15^*)$	160 12 <sup>*)</sup>			80	80	80
R60	$b_{min} = 120$ $a = 25$	200 12 <sup>*)</sup>			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

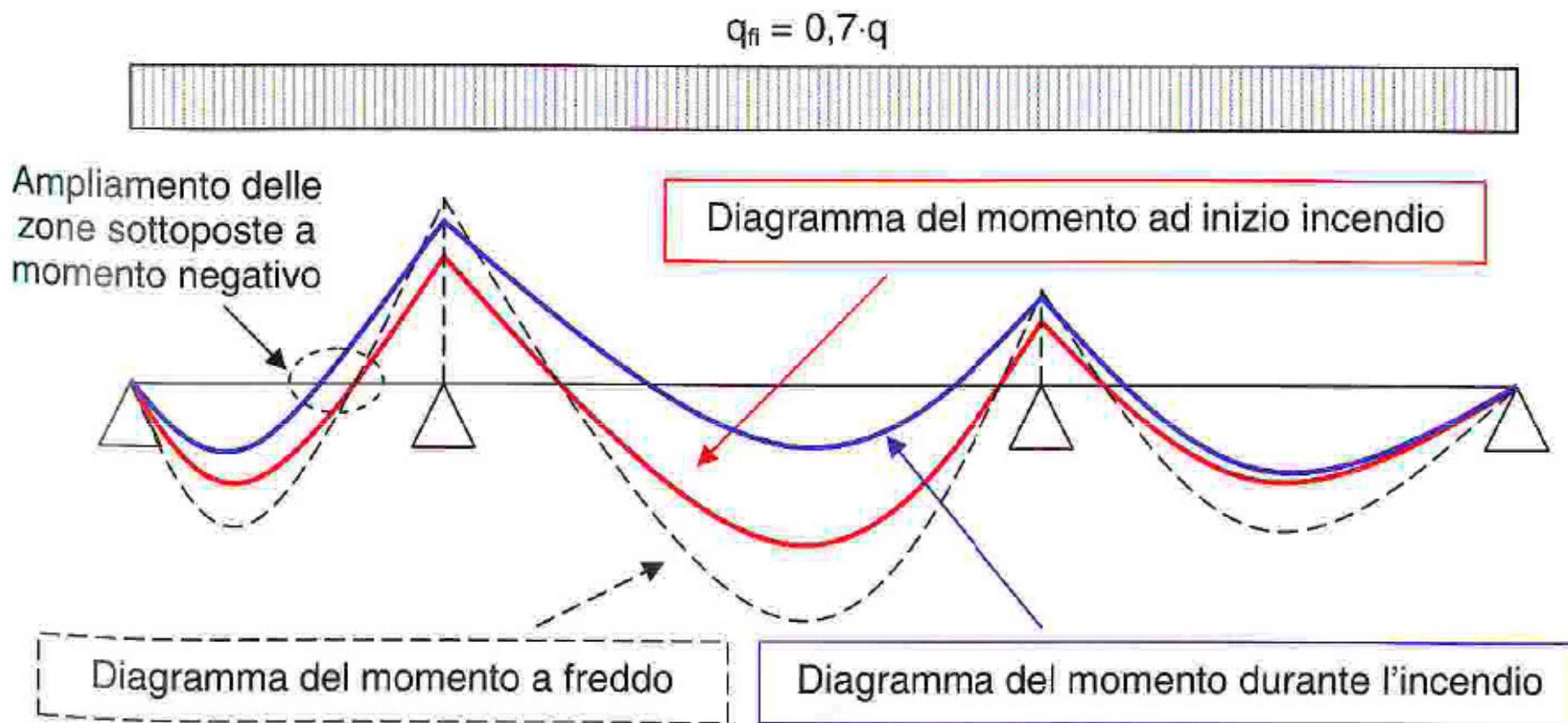
$a_{sd} = a + 10$  mm (vedere nota sotto)

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



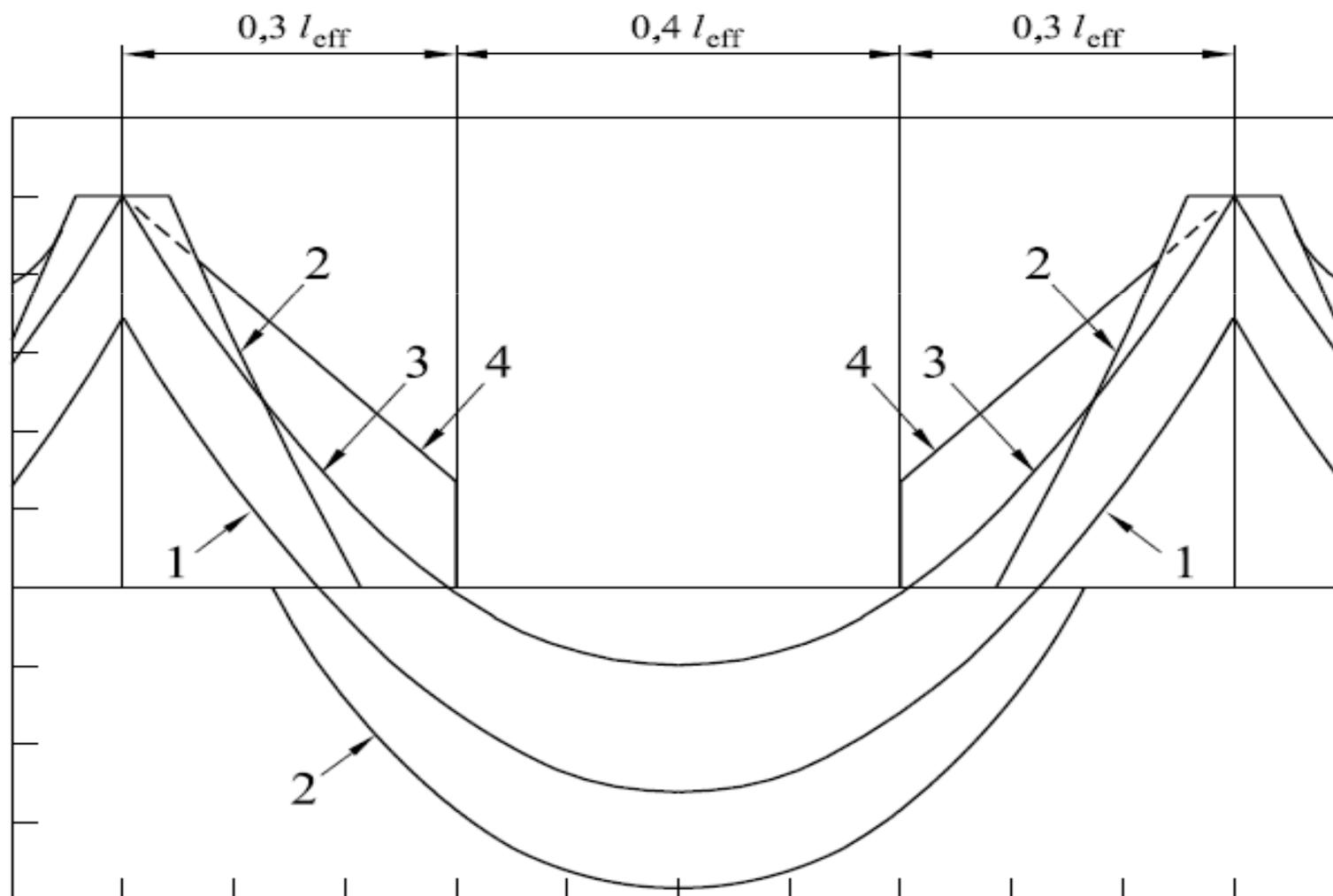
# La migrazione del diagramma dei momenti flettenti



## 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 <b>caldo</b> ;
$A_{s, req}(0)$	area armatura necessaria a $M < 0$ a <b>freddo</b> ;
$l_{eff}$	luce efficace della trave (interasse appoggi).