

Caso Studio FSE: Modelli di incendio

UNI EN 1991 Part 1-2

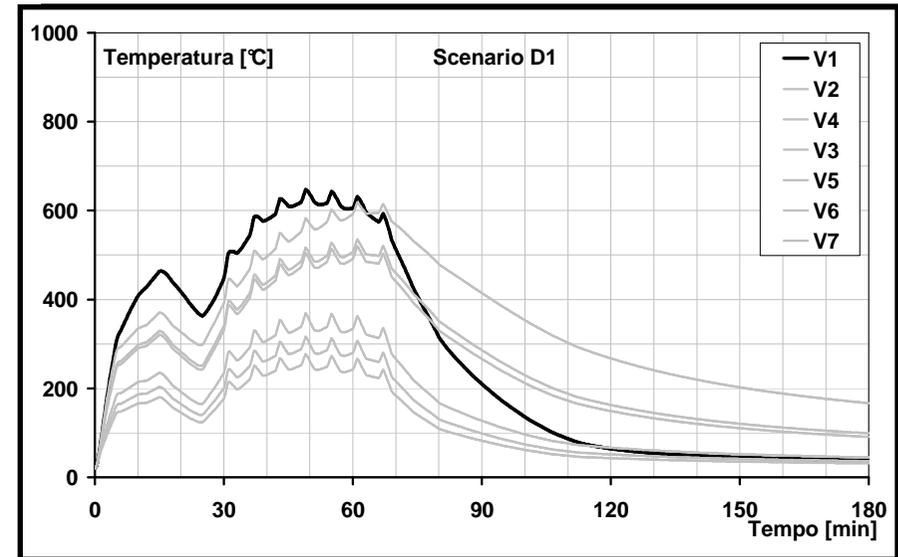
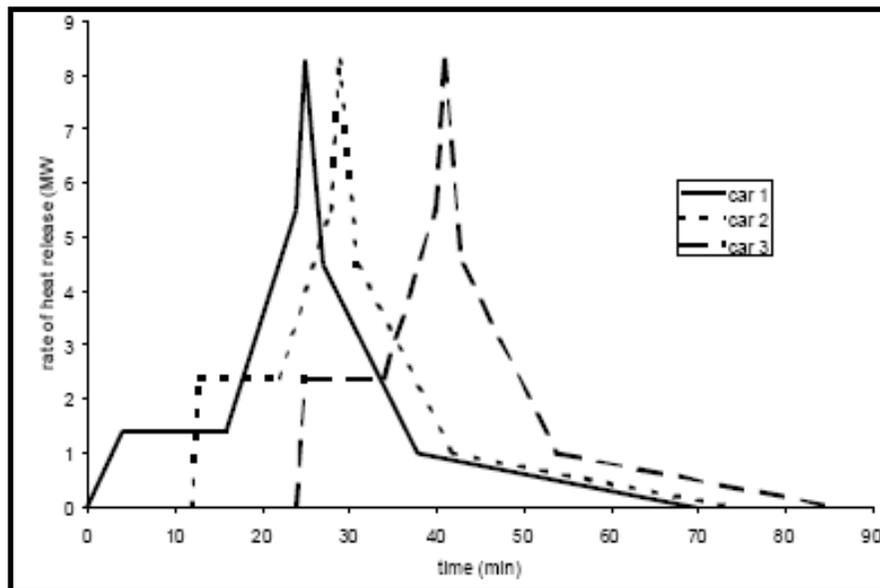
✓ Modelli a zone.

Modello ad una zona [Annex D]

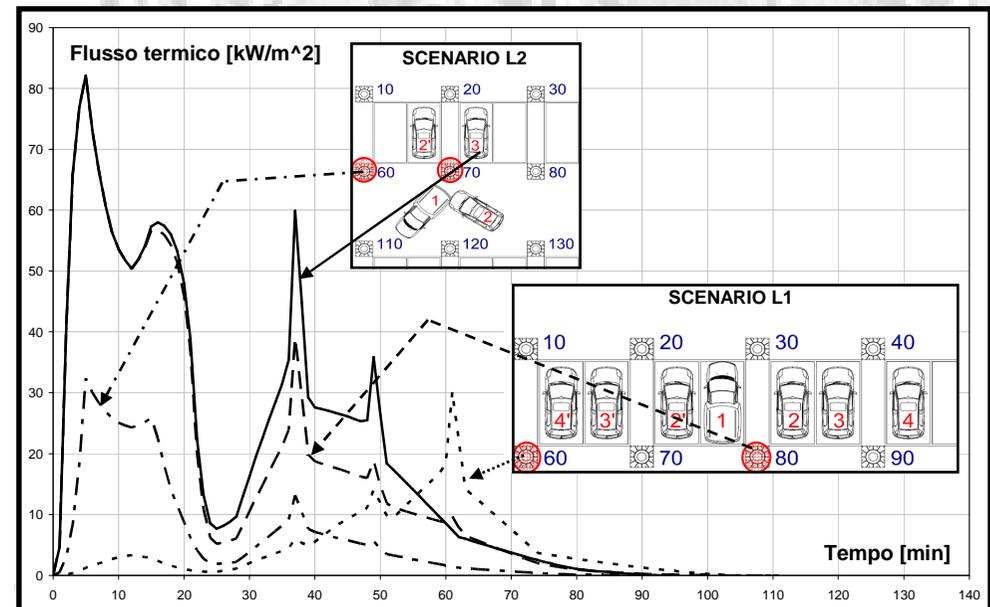
✓ Incendio Localizzato.

Metodo di Hasemi [Annex C]

Curva di Rilascio termico RHR



Flusso Termico negli elementi strutturali



Verifica di sicurezza in caso di incendio

Possono essere individuati **tre tipi di approccio**, utilizzabili insieme o separatamente:

■ **Approccio Strutturale**

la sicurezza viene ottenuta mediante la combinazione di opportune scelte di compartimentazione e di resistenza al fuoco delle strutture.

■ **Approccio basato sul Monitoraggio**

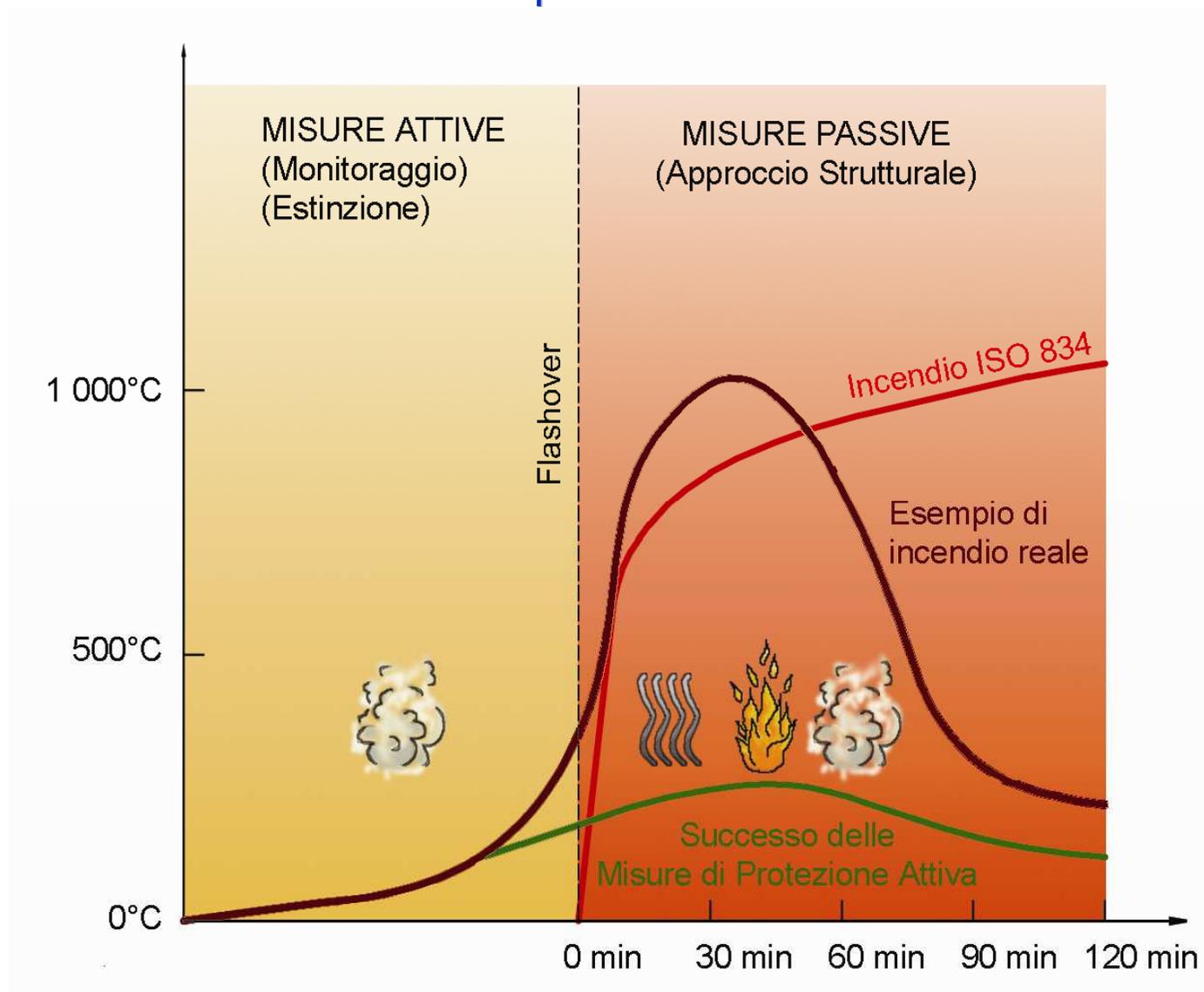
è basato su sistemi di rilevamento automatico di fumi e/o calore e sulla trasmissione automatica dell'allarme ad un apposita squadra di intervento dei VVF

■ **Approccio basato sull'Estinzione**

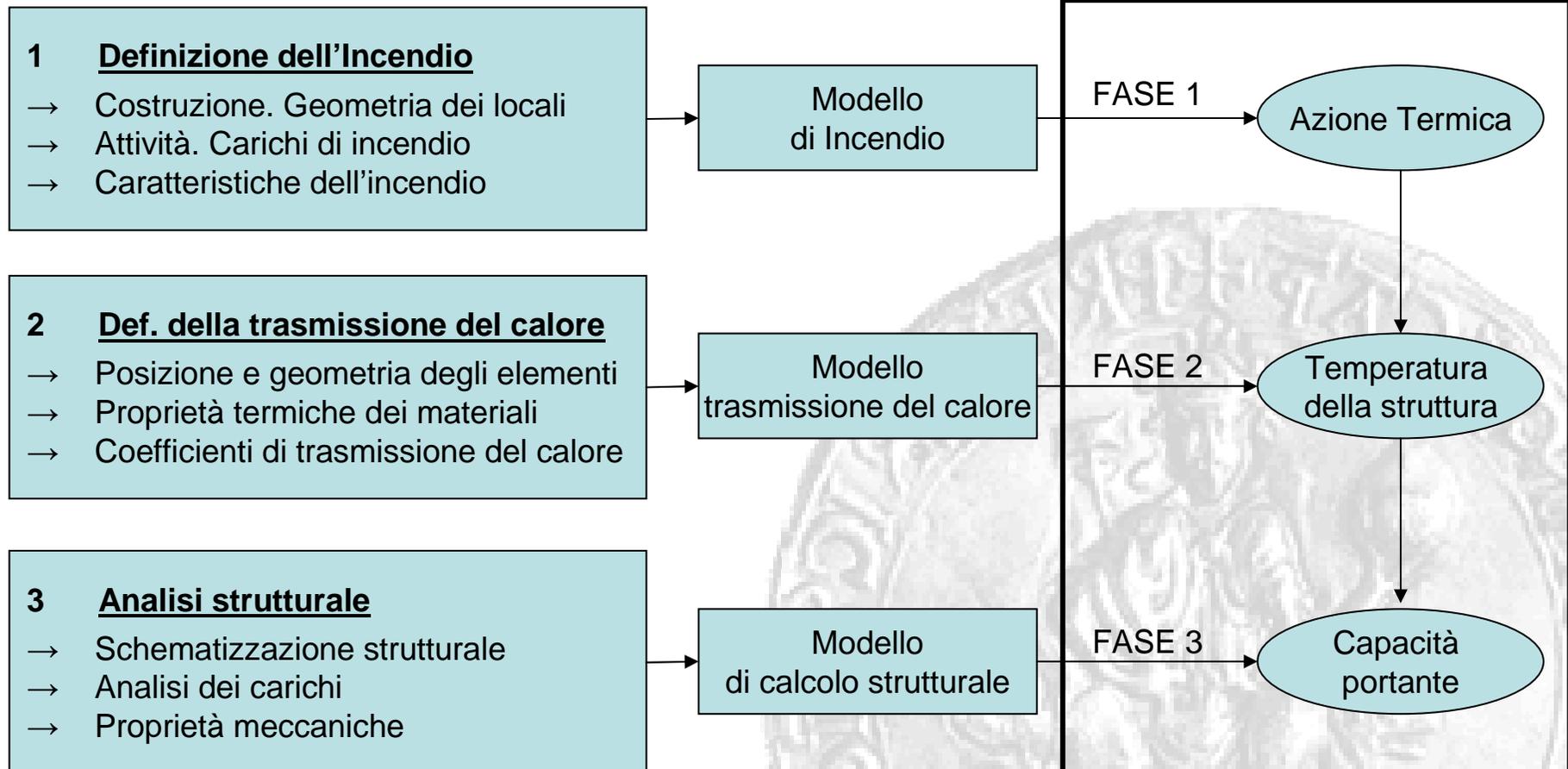
è basato su sistemi di spegnimento automatico, come gli Sprinklers, ed è sempre collegato ad un sistema automatico di allarme

Approcci basati sul monitoraggio o sull'estinzione

Il ruolo della prevenzione incendi



ANALISI STRUTTURALE IN CONDIZIONI DI INCENDIO



Azione termica

Flusso termico netto

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

Convezione Irraggiamento

$$\dot{h}_{\text{net}} = \alpha_c \cdot (\theta_g - \theta_m) + \Phi \varepsilon_r \sigma \cdot \left[(\theta_g)^4 - (\theta_m)^4 \right]$$

α_c = coefficiente di convezione

ε_r = emissività relativa (gli Eurocodici suggeriscono 0.7 per l'acciaio e per il calcestruzzo)

Φ = fattore di configurazione

θ_g = curva di incendio

$\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$ (costante di Boltzmann)

θ_m temperatura della superficie dell'elemento

Modello di incendio	α_c [W/m²K]
Incendio standard	25
Incendio esterno	25
Incendio degli idrocarburi	50
Incendio parametrico	35
Modelli avanzati	35

Condizioni di esposizione: superficie non esposta di elementi di separazione	α_c [W/m²K]
Senza effetti di trasferimento di calore per irraggiamento	4
Compresi gli effetti del trasferimento di calore per irraggiamento	9

EVOLUZIONE DELLA TEMPERATURA NEGLI ELEMENTI (incendio interno)

➤ Elementi non protetti

- Distribuzione uniforme di temperatura

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

K_{sh} coefficiente che tiene conto delle “shadow effect”

A_m/V fattore di sezione per una sezione di acciaio non protetta

A_m superficie esposta dell'elemento per unità di lunghezza

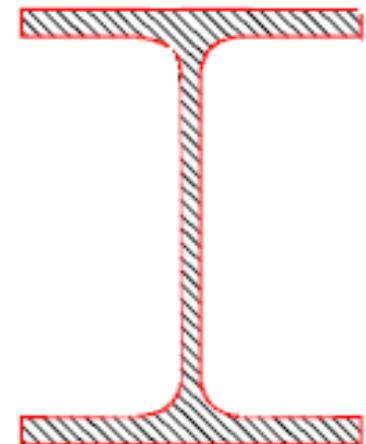
V volume dell'elemento per unità di lunghezza

c_a calore specifico dell'acciaio

\dot{h}_{net} flusso di calore netto

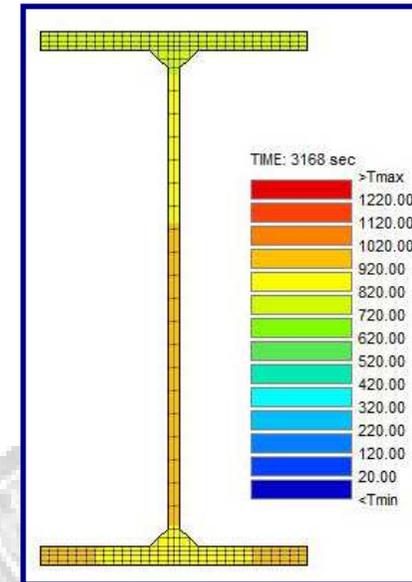
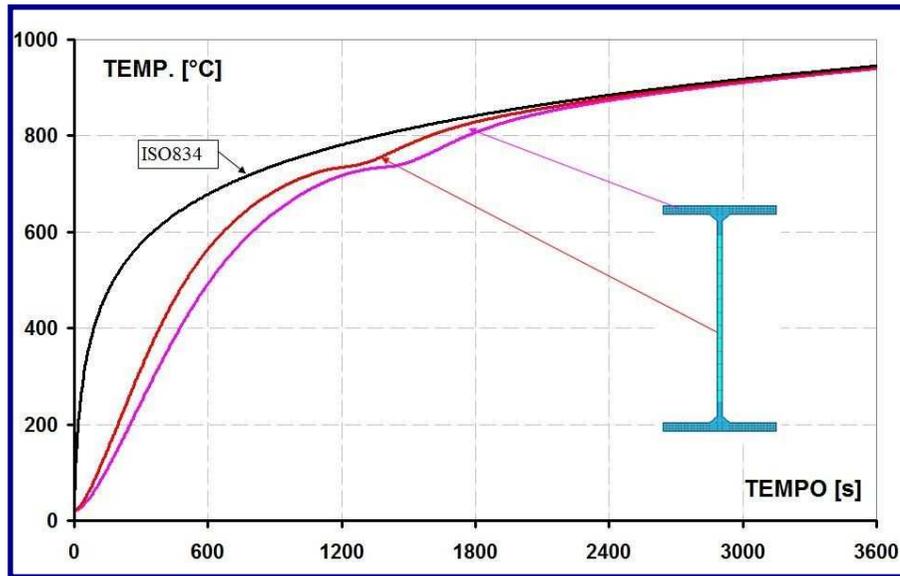
Δt intervallo di tempo

ρ_a densità

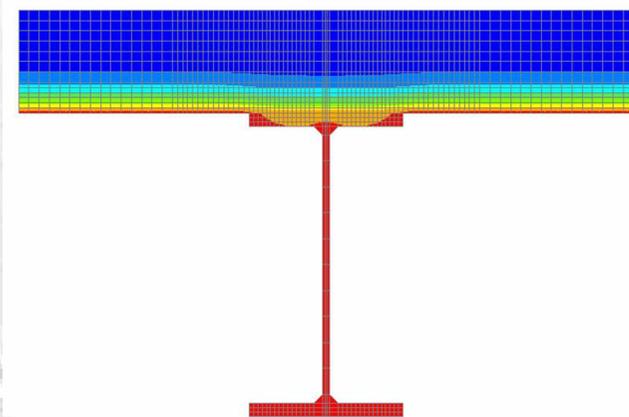
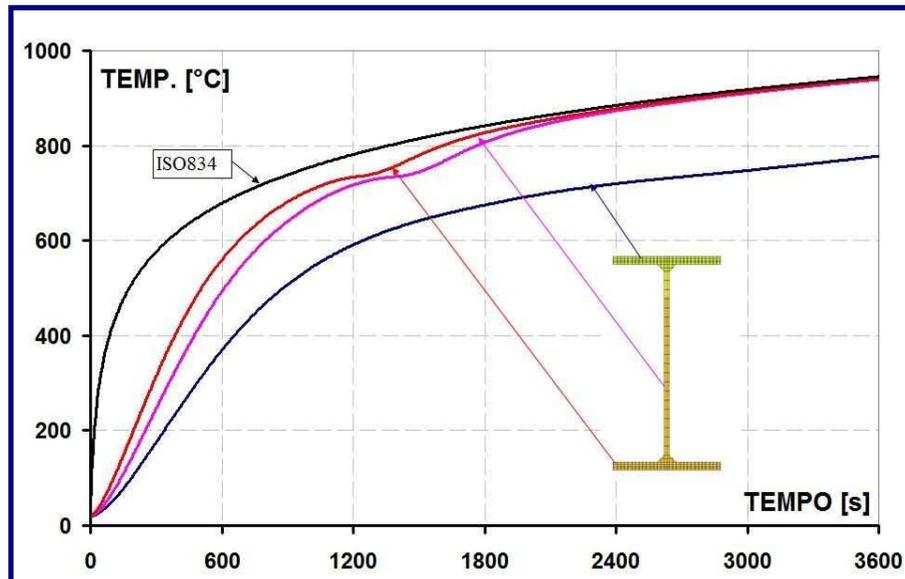


DISTRIBUZIONE DELLE TEMPERATURE NELLE SEZIONI

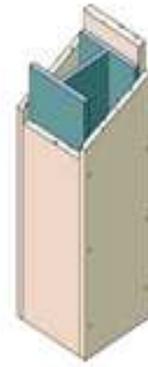
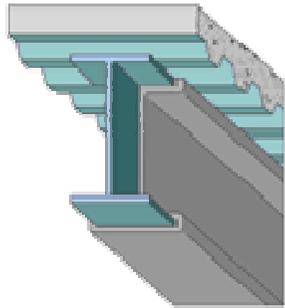
COLONNA RISCALDATA SU TUTTI I LATI



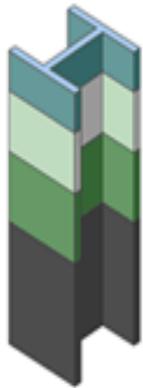
TRAVE RISCALDATA DAL BASSO (SU TRE LATI)



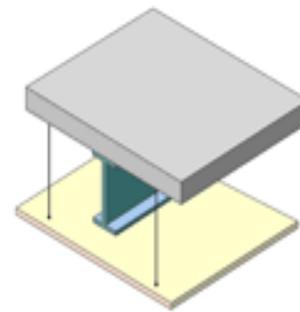
MEMBRATURE DI ACCIAIO (CON PROTEZIONI)



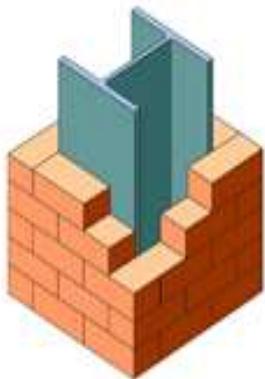
Pannelli prefabbricati



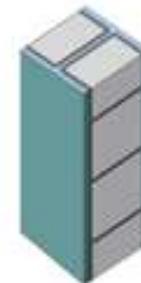
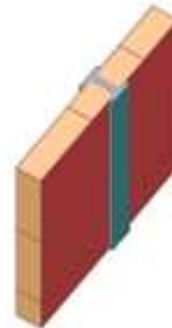
Le vernici intumescenti



La protezione mediante schermi

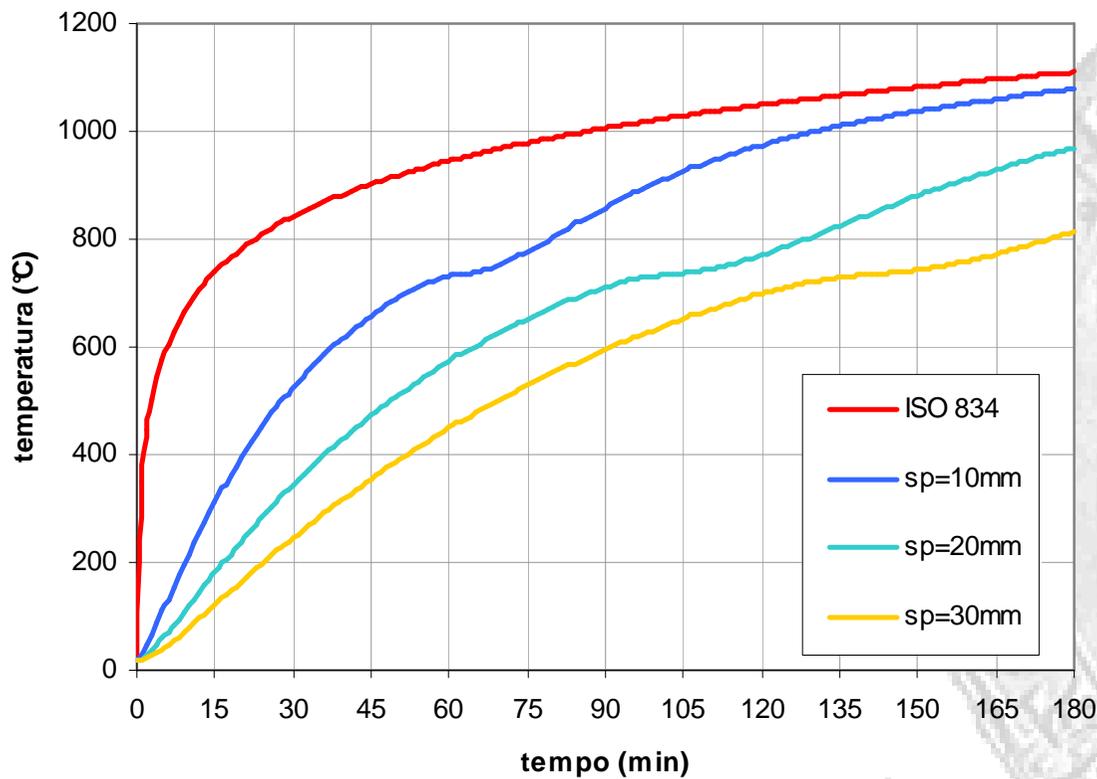
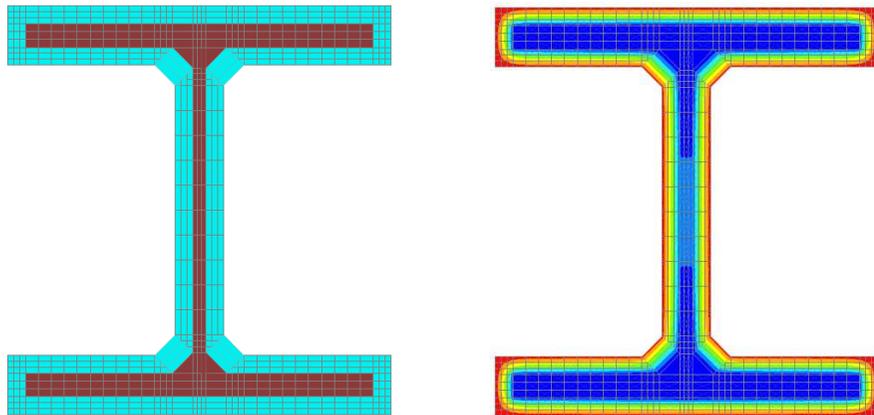


Colonne rivestite



Blocchi tra le ali delle colonne

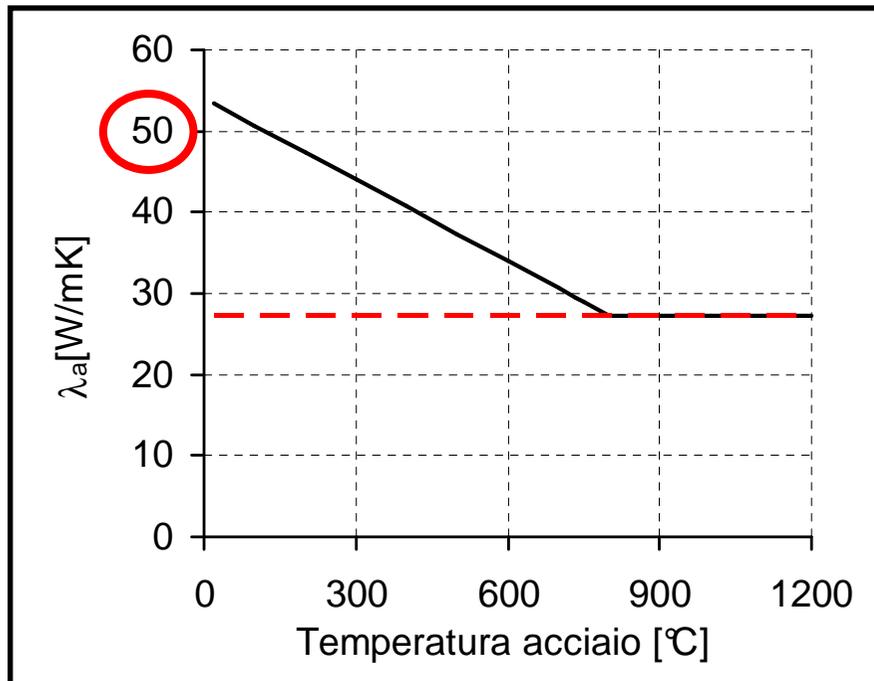
SEZIONI DI ACCIAIO CON RIVESTIMENTO PROTETTIVO



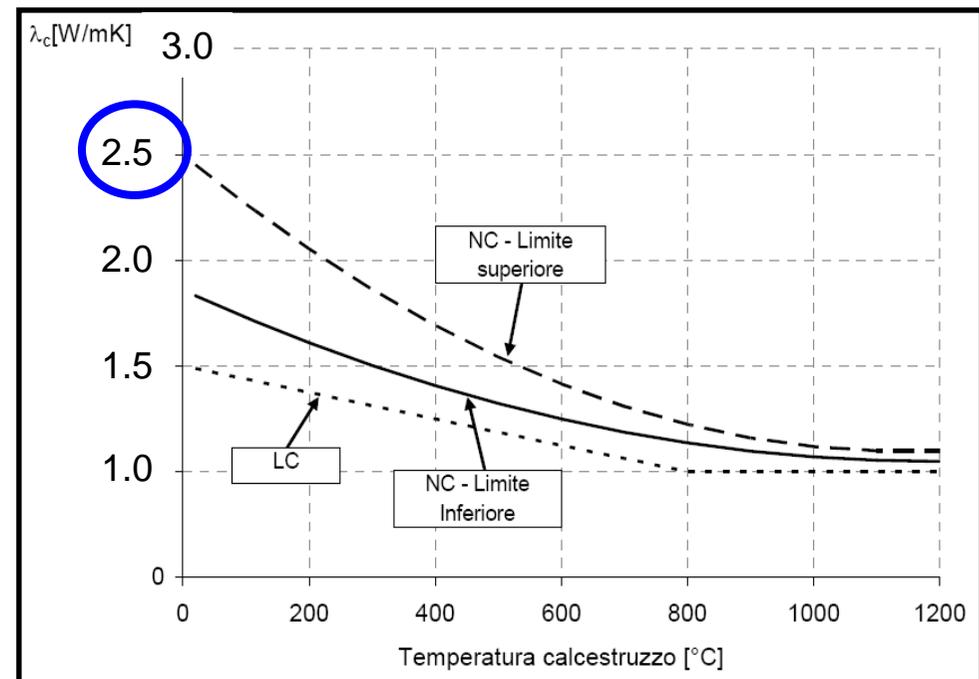
Andamento della temperatura nel tempo di un elemento di acciaio (IPE 300) dotato di protettivo di spessore pari a 10, 20 e 30 mm
[$\lambda_p = 0,15 \text{ W/(mK)}$, $c_p = 1000 \text{ J/(kg K)}$, $\rho_p = 250 \text{ kg/m}^3$]

CONDUCIBILITÀ TERMICA DI ACCIAIO E CALCESTRUZZO

ACCIAIO

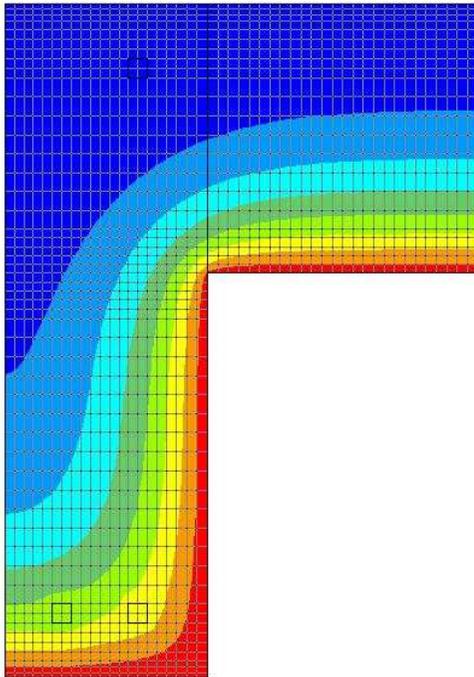


CALCESTRUZZO

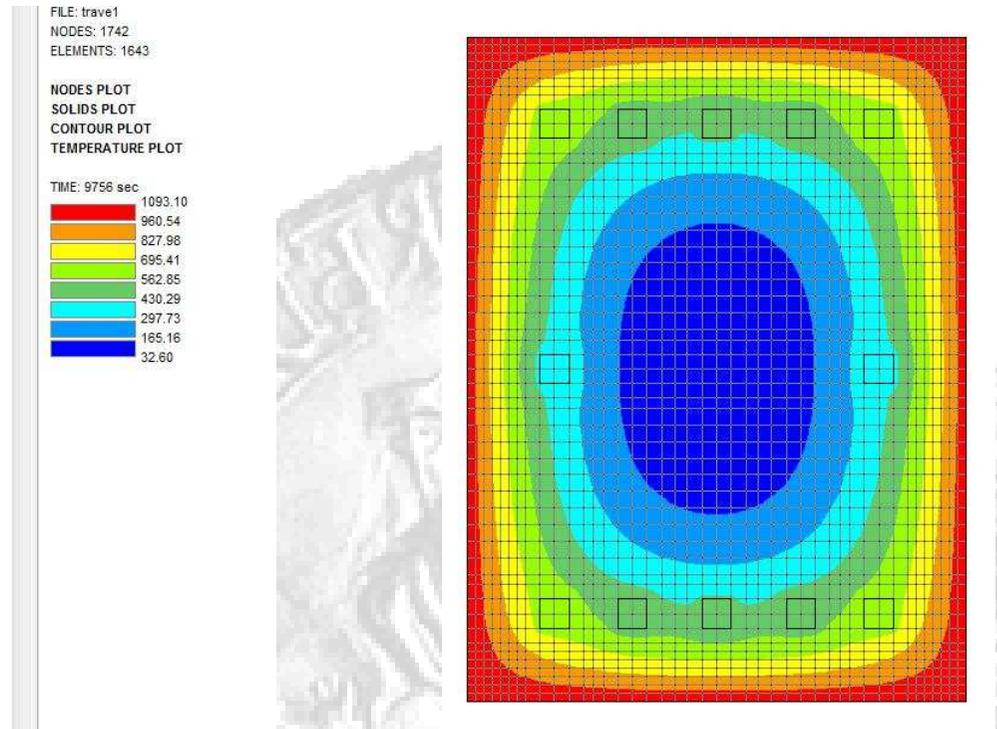


ELEMENTI STRUTTURALI IN CALCESTRUZZO ARMATO

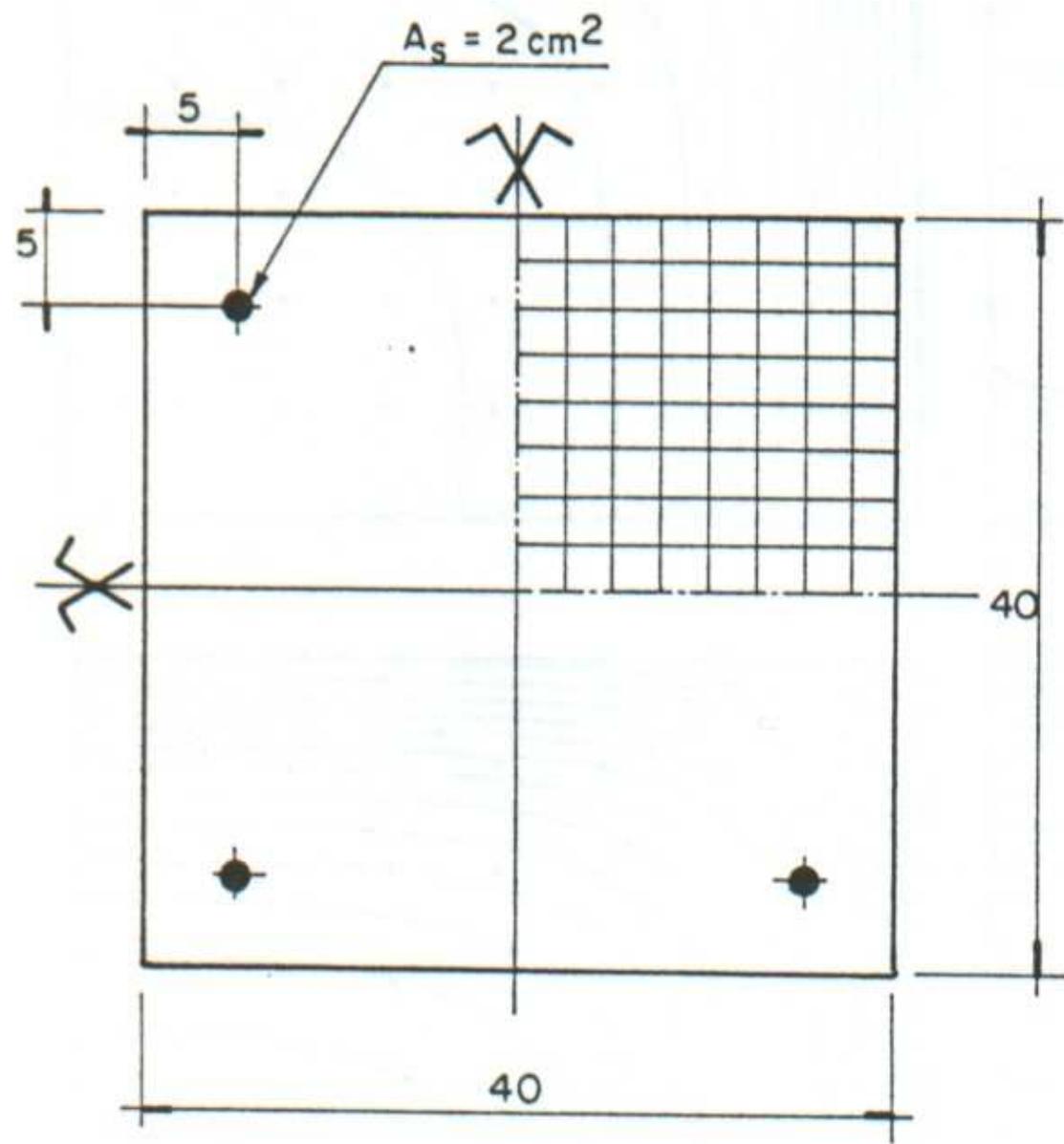
TRAVE



PILASTRO

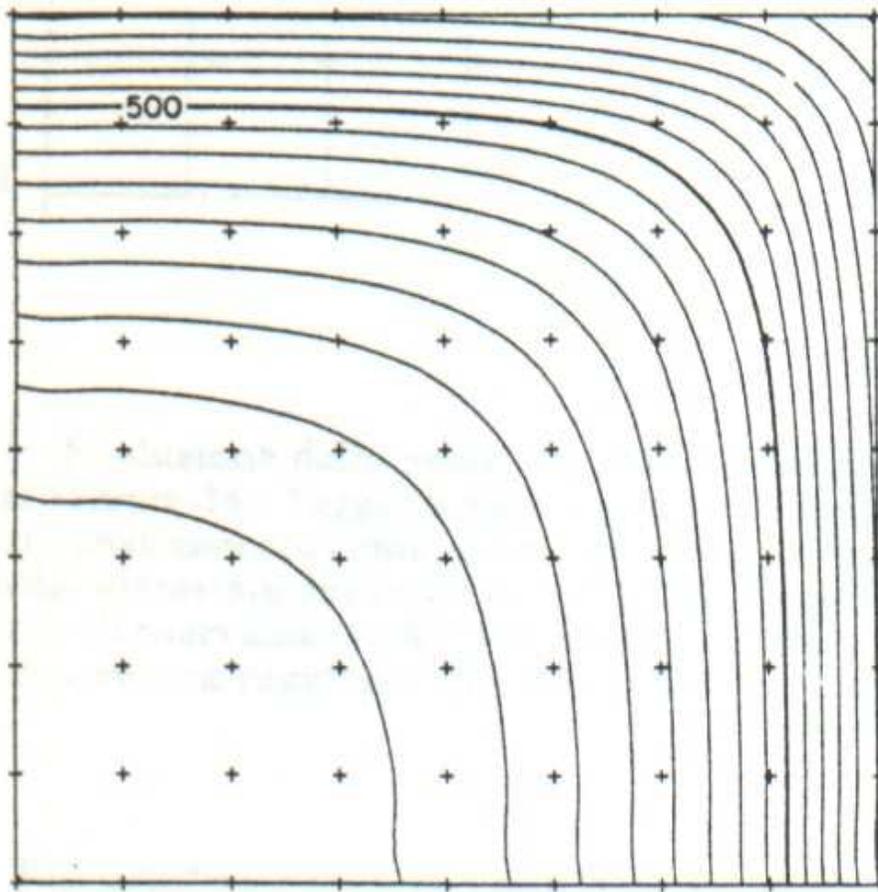


PILASTRO IN CALCESTRUZZO ARMATO INVESTITO DALL'INCENDIO SUI QUATTRO LATI

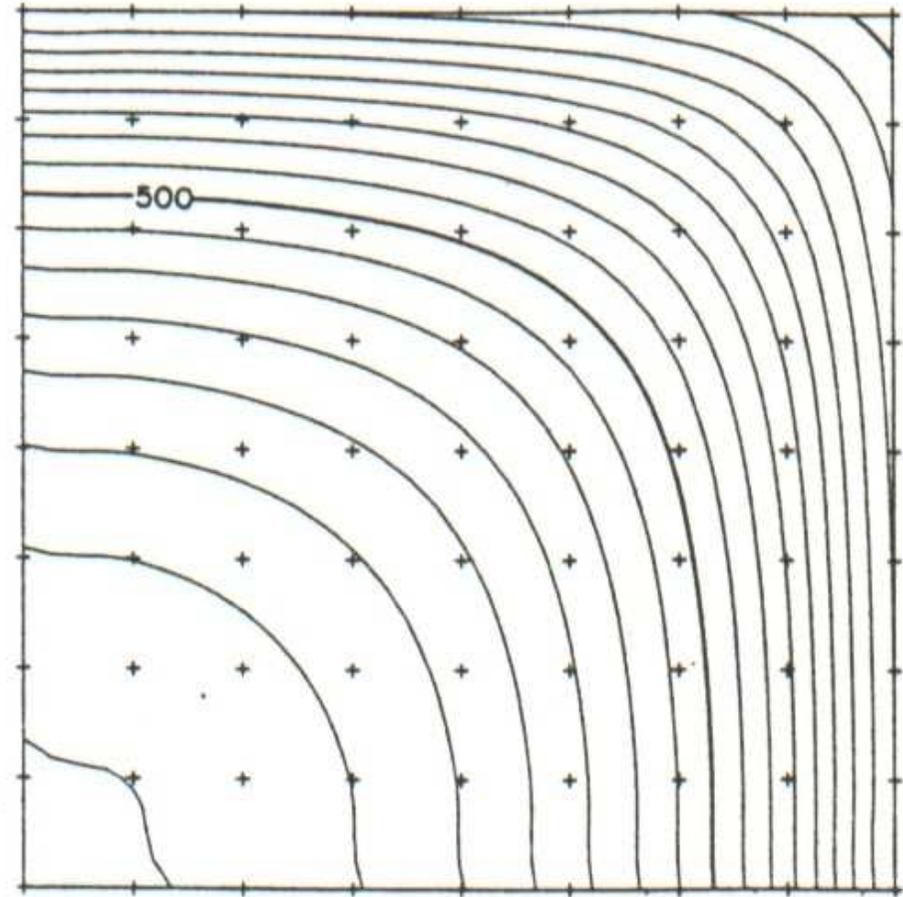


CAMPI TERMICI DEL PILASTRO IN C.A.

t = 60 min

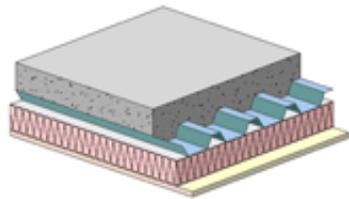


t = 120 min

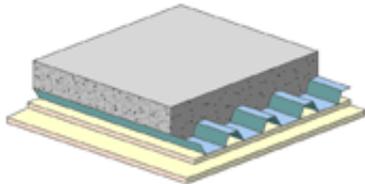


Nelle figure è evidenziata l'isoterma $T = 500^{\circ}\text{C}$.

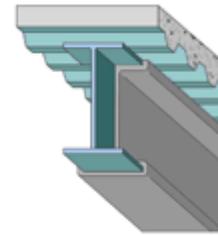
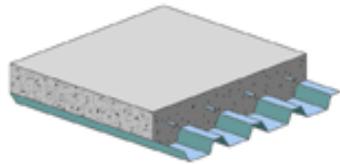
MEMBRATURE COMPOSTE ACCIAIO-CALCESTRUZZO



Soletta composta rivestita con materiale protettivo

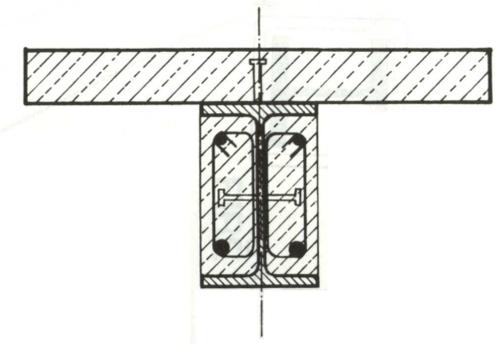
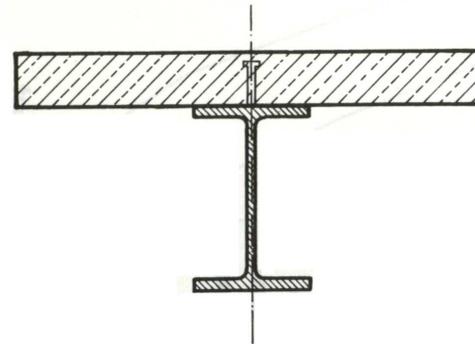


Soletta composta rinforzata con armature aggiuntive



Trave composta rivestita di materiale protettivo

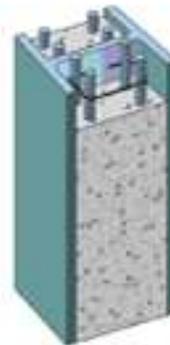
Trave composta parzialmente rivestita di calcestruzzo



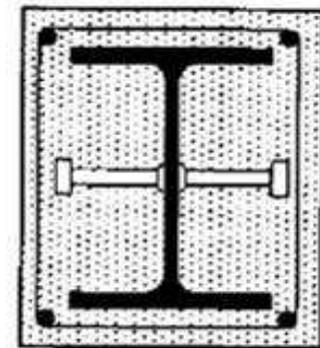
Colonna "FILLED"



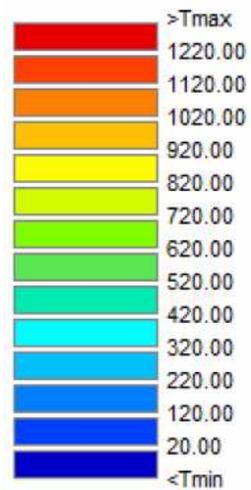
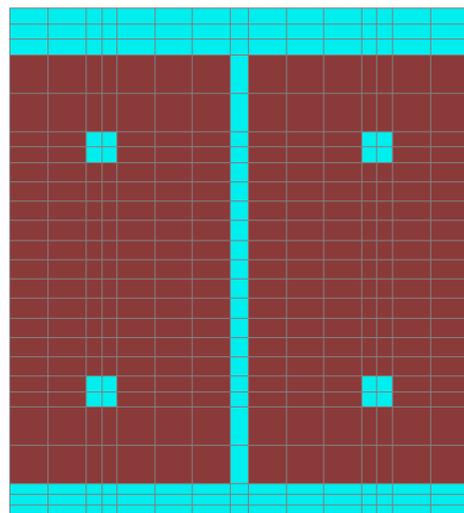
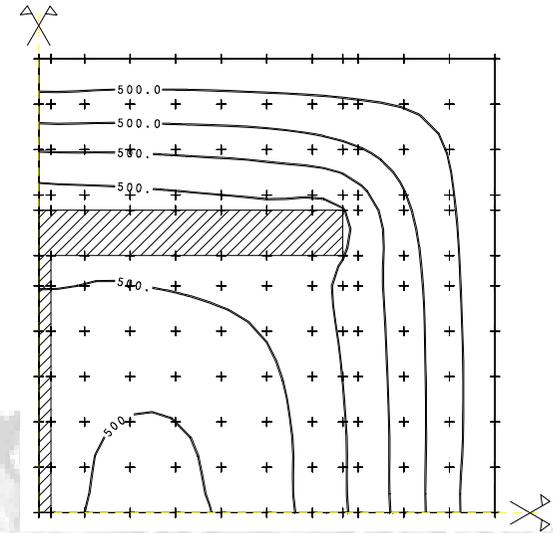
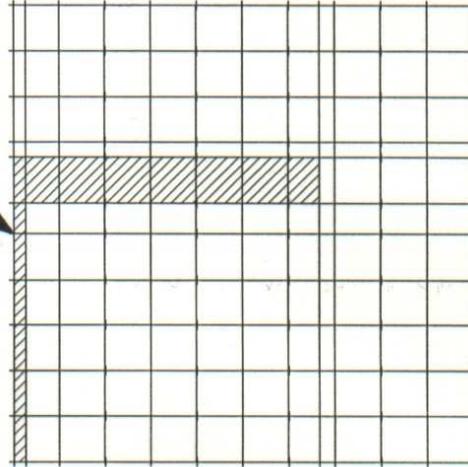
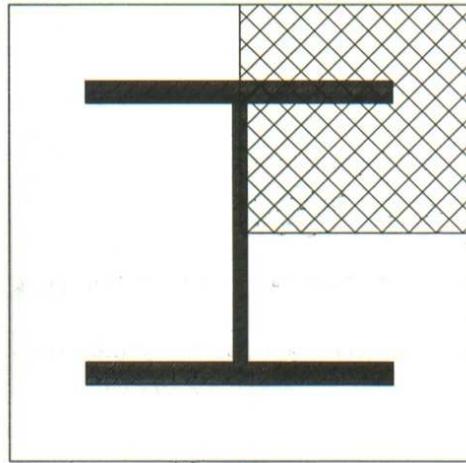
"PARTIALLY ENCASED"



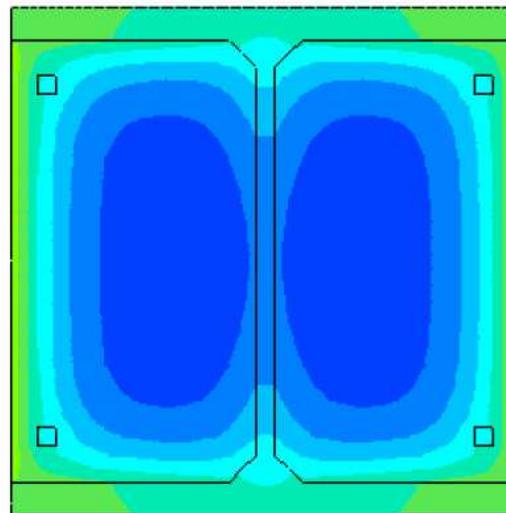
"FULLY ENCASED"



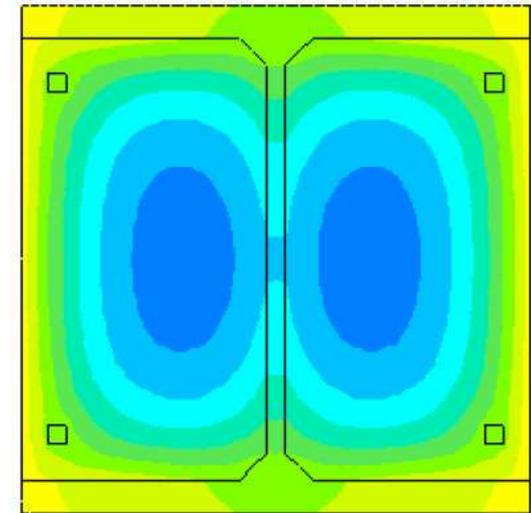
MEMBRATURE COMPOSITE ACCIAIO-CALCESTRUZZO



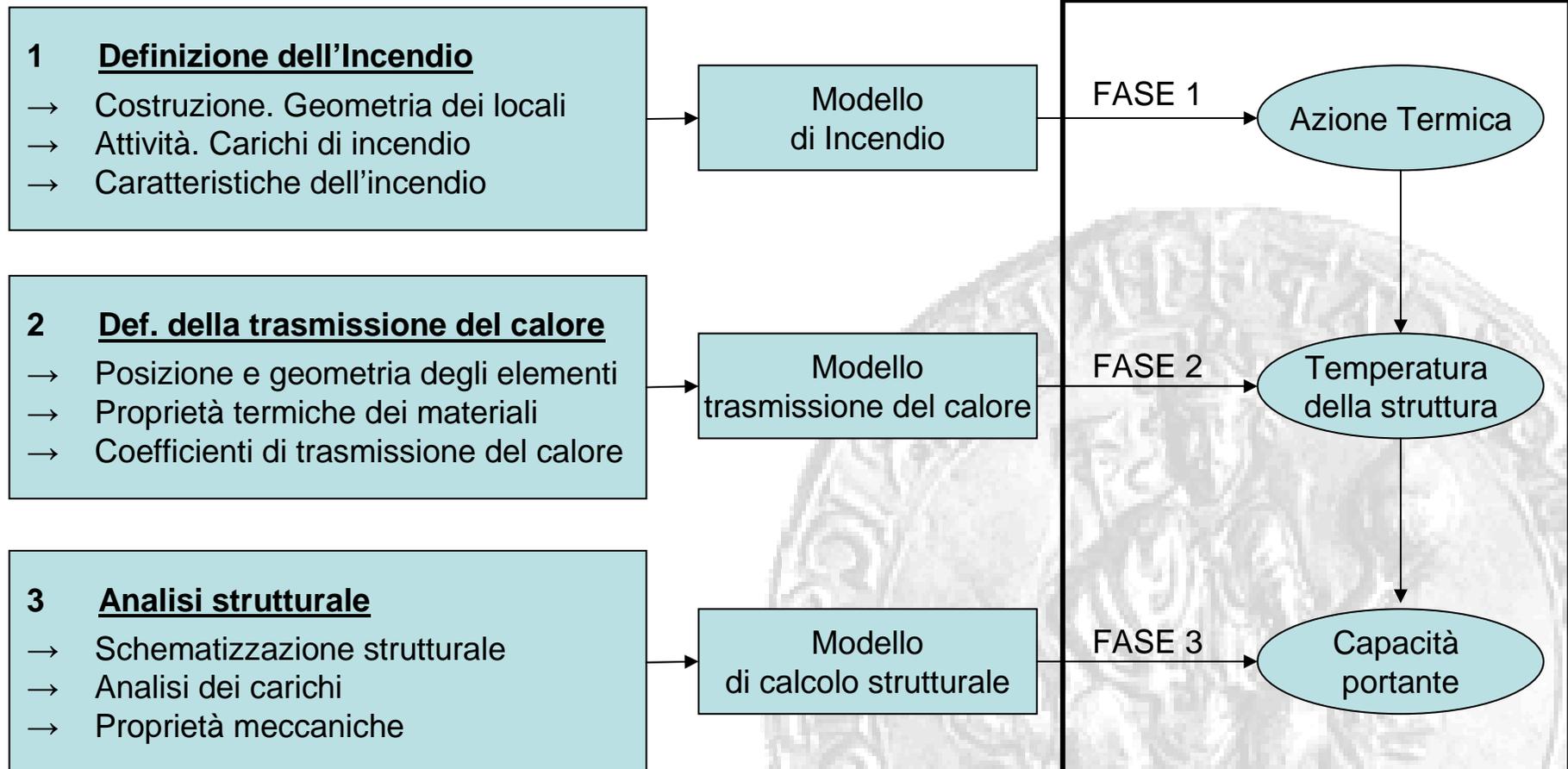
TIME: 1800 sec



TIME: 3600 sec



ANALISI STRUTTURALE IN CONDIZIONI DI INCENDIO



LA VERIFICA DI RESISTENZA AL FUOCO

...

La resistenza al fuoco è la capacità di una costruzione, di una parte di essa o di un elemento costruttivo di mantenere, per un tempo prefissato, la capacità portante, l'isolamento termico e la tenuta alle fiamme, ai fumi e ai gas caldi della combustione nonché tutte le altre prestazioni se richieste.

LA VERIFICA DI RESISTENZA AL FUOCO

- **Nel dominio del tempo:**

$$t_{fi,d} \geq t_{fi,richiesto}$$

(tempo di resistenza al fuoco di progetto \geq tempo di resistenza al fuoco richiesto)

- **Nel dominio delle resistenze:**

$$R_{fi,d,t} \geq E_{fi,d,t}$$

(resistenza in condizioni di incendio al tempo $t \geq$ sollecitazione in condizioni di incendio al tempo t)

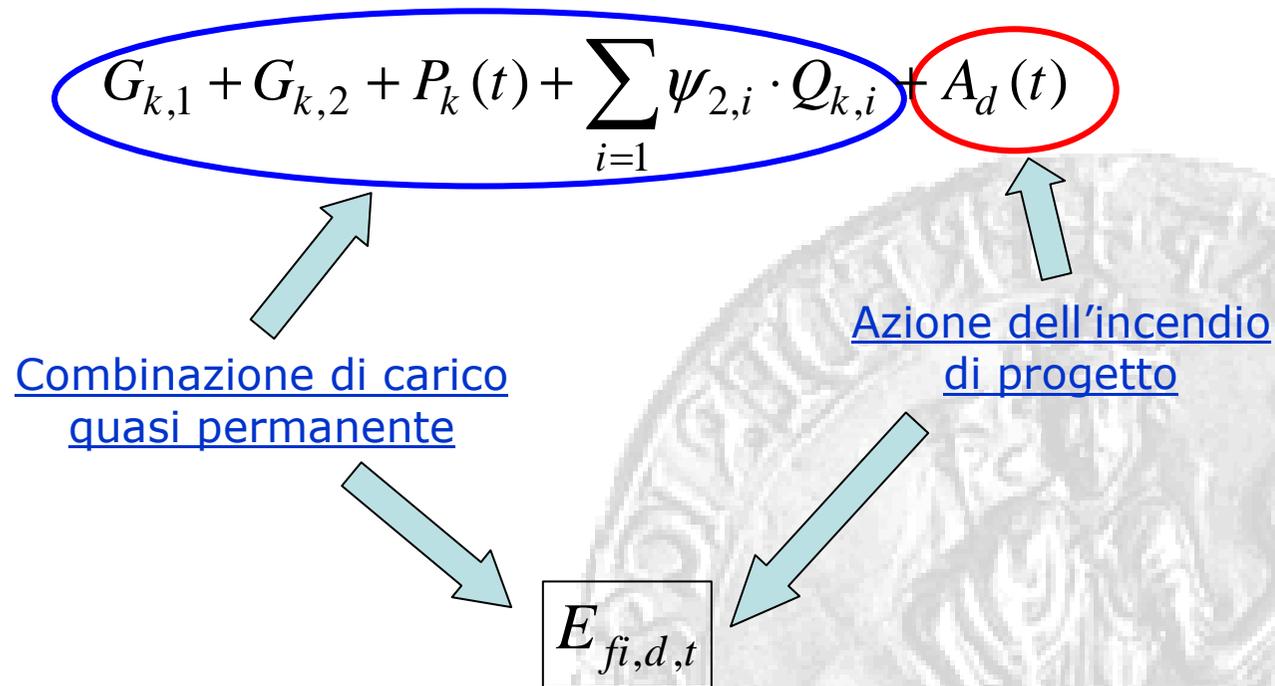
- **Nel dominio delle temperature:**

$$\Theta_{d,t} \leq \Theta_{cr,d}$$

(temperatura dell'elemento al tempo $t \leq$ temperatura critica dell'elemento)

COMBINAZIONI DI CARICO IN CASO DI INCENDIO

Combinazione di carico eccezionale



COMBINAZIONI DI CARICO IN CASO DI INCENDIO

- L'incendio è considerato una “azione eccezionale” per una struttura e si considera concomitante alla combinazione di carico quasi permanente delle azioni di altra natura:

$$F_{fi,d} = \gamma_{GA} \cdot G_K + \gamma_p \cdot P_K(t) + \psi_{2,1} \cdot Q_{K,1} + \sum_i \psi_{2,i} \cdot Q_{K,i} + \sum A_d(t)$$

con $\gamma_{GA} = 1.0$, $\psi_{2,i}$ dipendente dalla destinazione d'uso dell'edificio.

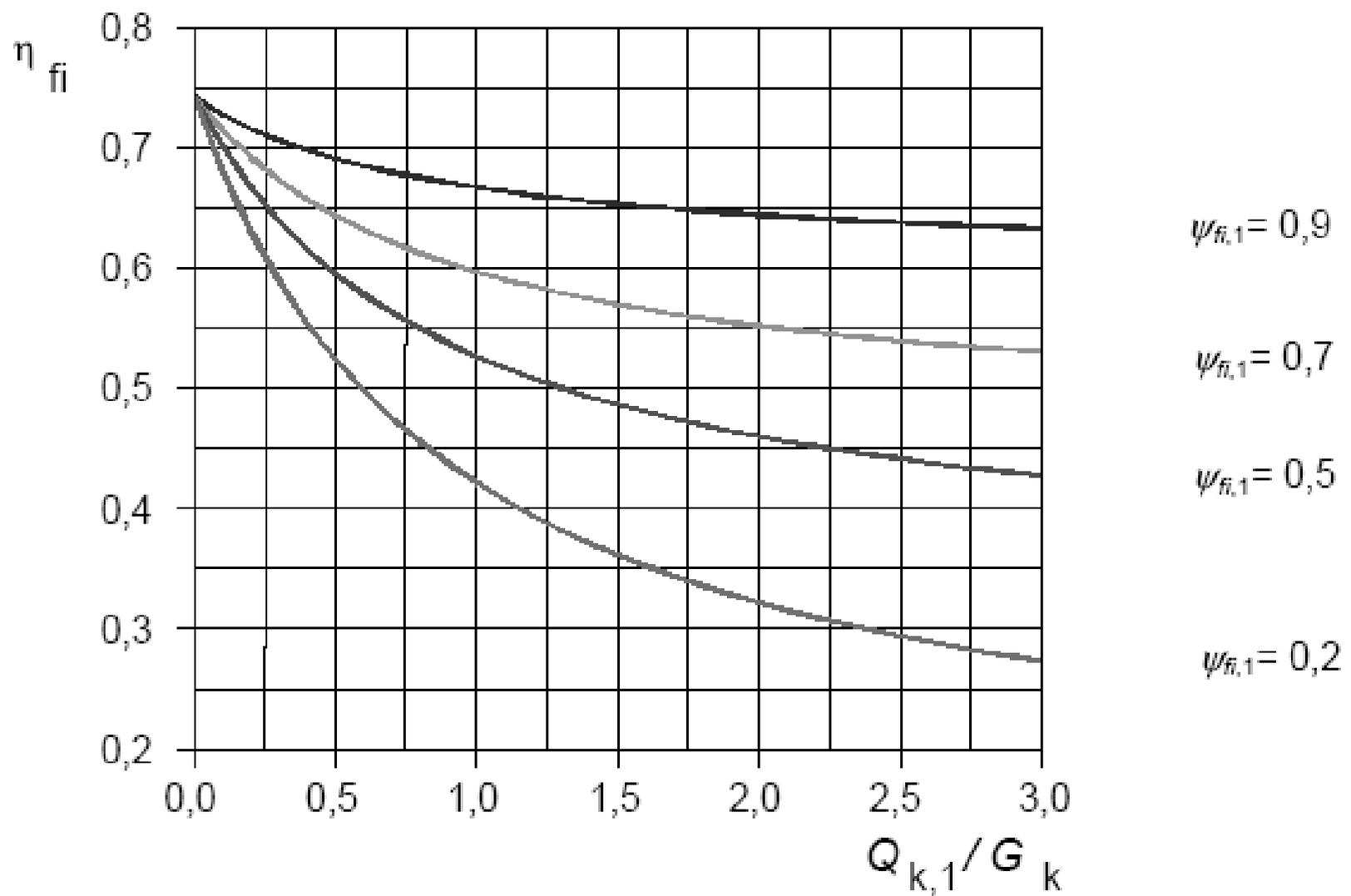
- Oppure, le combinazioni di progetto per la verifica al fuoco $F_{fi,d}$ possono essere ottenute riducendo le azioni di progetto allo stato limite ultimo a temperatura ordinaria F_d attraverso la formula:

$$F_{fi,d} = \eta_{fi} \cdot F_d$$

$$\eta_{fi} = \frac{\gamma_{GA} + \psi_{1,1} \cdot \xi}{\gamma_G + \gamma_Q \cdot \xi} = \frac{1.0 + \psi_{2,1} \cdot \xi}{1.4 + 1.5 \cdot \xi} \quad , \quad \text{con } \xi = \frac{Q_{k,1}}{G_k}$$

Per gli usuali valori di ξ risulta: $\eta_{fi} = (0.5 \div 0.7)$

LIVELLO DI PROGETTO IN CONDIZIONI DI INCENDIO



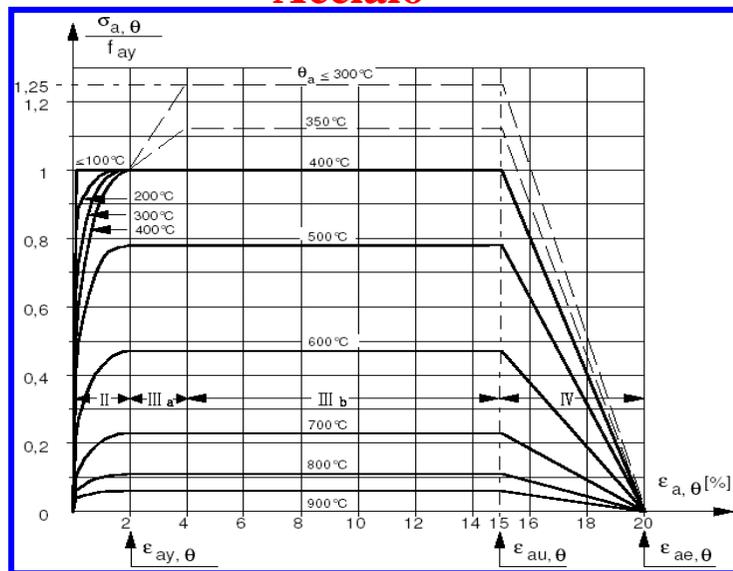
EFFETTI DELL'INCENDIO SUGLI ELEMENTI STRUTTURALI

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

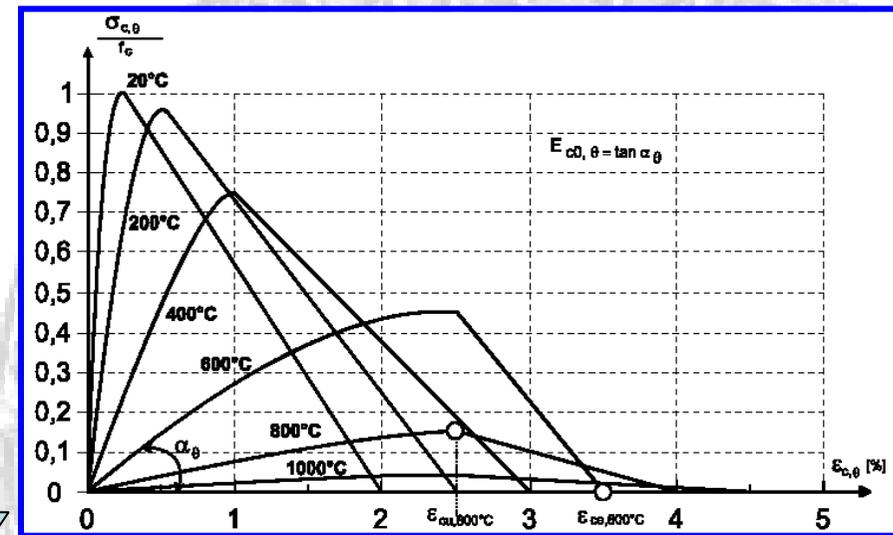
RISCALDAMENTO DEI MATERIALI COSTRUTTIVI

RIDUZIONE DI RESISTENZA E RIGIDEZZA DEL SINGOLO MATERIALE COSTRUTTIVO, IN FUNZIONE DELLA TEMPERATURA RAGGIUNTA

Acciaio



Calcestruzzo



RIDUZIONE DI RESISTENZA DELL'ELEMENTO STRUTTURALE

CURVE DI RIDUZIONE DELLA RESISTENZA ($k_{y,\theta}$) E DELLA RIGIDEZZA ($k_{E,\theta}$) DELL'ACCIAIO

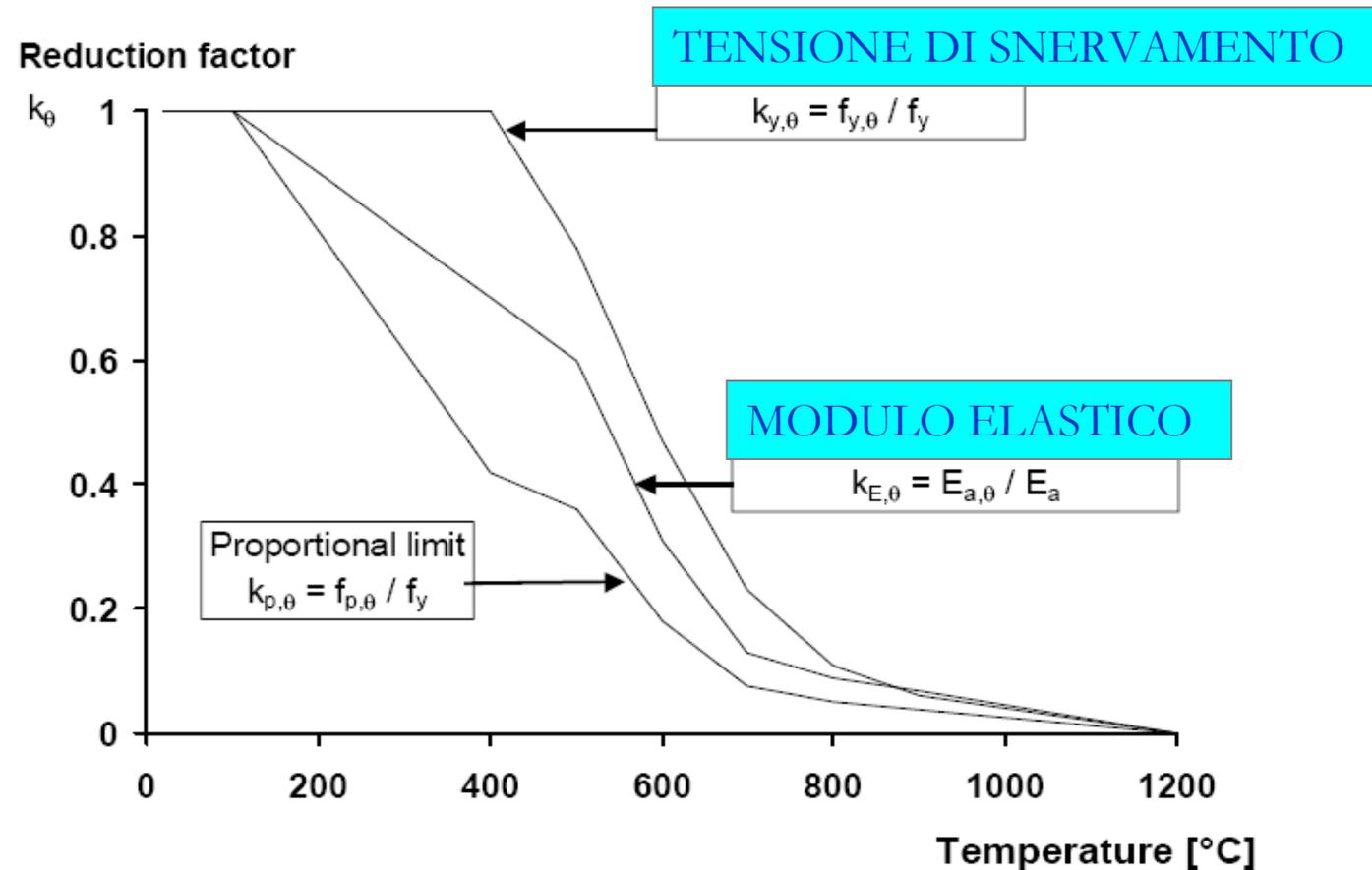
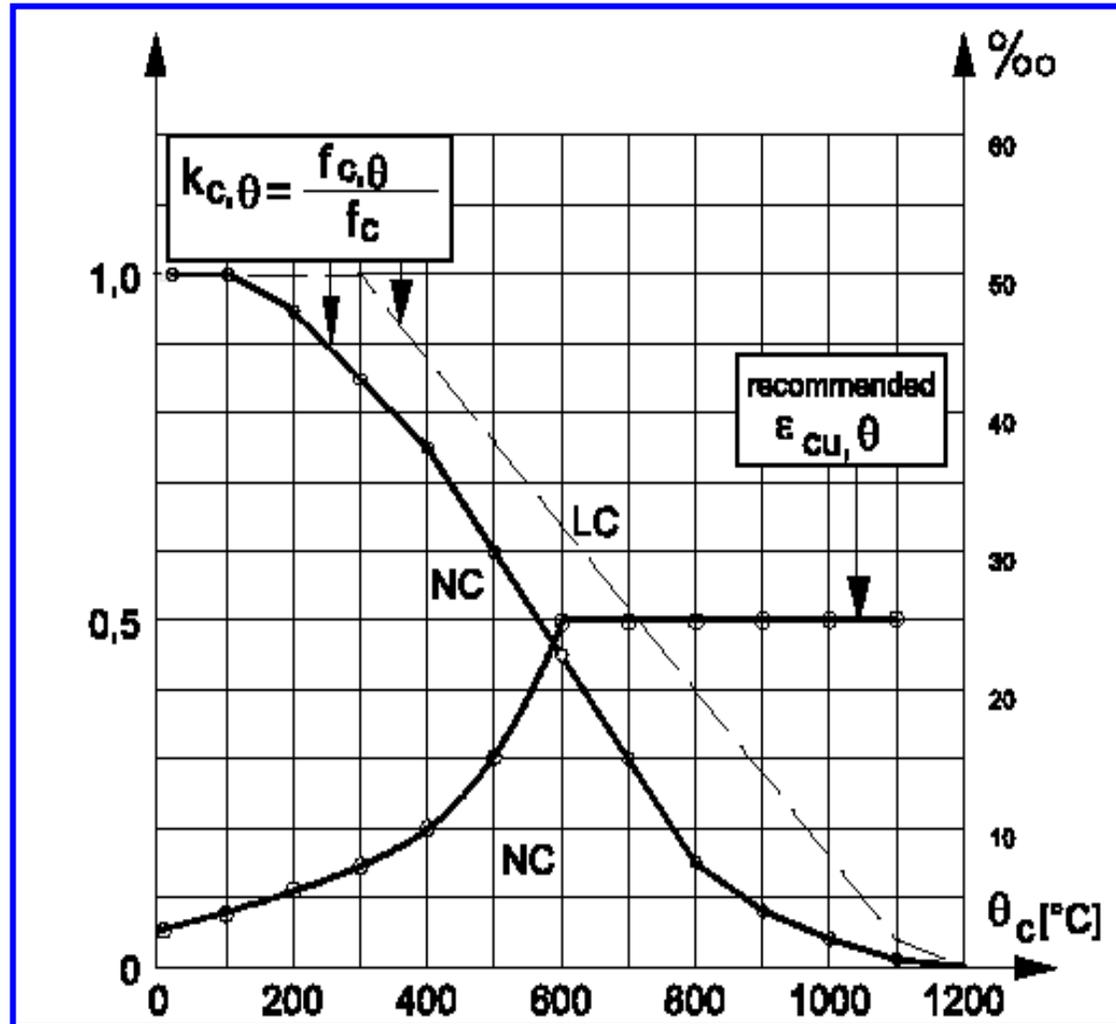


Figure 3.2: Reduction factors for the stress-strain relationship of carbon steel at elevated temperatures

CURVE DI RIDUZIONE DELLA RESISTENZA ($k_{c,\theta}$) DEL CALCESTRUZZO

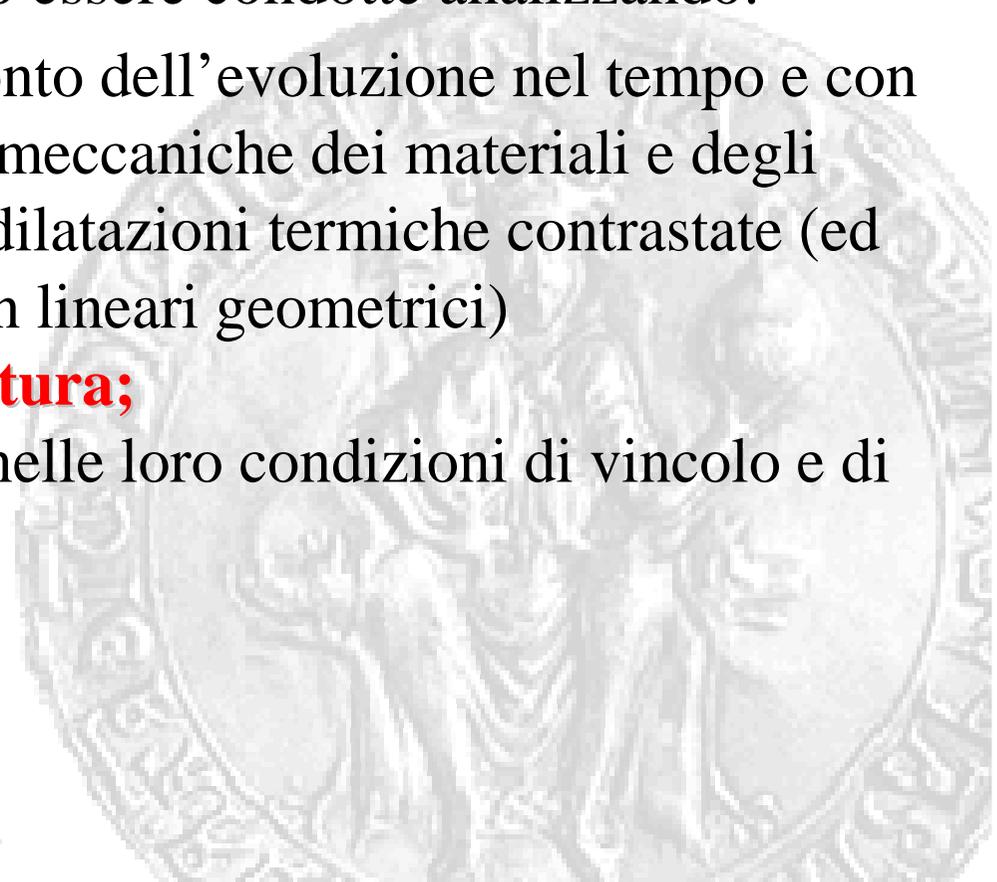


Fattori di riduzione della resistenza e della rigidezza
per il calcestruzzo normale(NC) e alleggerito(LC)

LA VERIFICA DI RESISTENZA AL FUOCO

Le **verifiche di sicurezza** possono essere condotte analizzando:

- l'**intera struttura**, tenendo conto dell'evoluzione nel tempo e con la temperatura delle proprietà meccaniche dei materiali e degli effetti iperstatici indotti dalle dilatazioni termiche contrastate (ed eventualmente degli effetti non lineari geometrici)
- **parti significative della struttura;**
- **elementi strutturali singoli**, nelle loro condizioni di vincolo e di carico;



ANALISI PER SINGOLI ELEMENTI O SOTTOSTRUTTURE

NTC 2008: Si deve tener conto degli **effetti delle sollecitazioni iperstatiche** dovute alle dilatazioni termiche contrastate a meno che non sia riconoscibile a priori che esse sono trascurabili o favorevoli o siano implicitamente tenute in conto nei modelli semplificati e conservativi di comportamento strutturale in caso di incendio.

