

La Rivista **antincendio** presenta
dal 1949 la rivista dell'esperienza e della prevenzione civile

FORUM di
PREVENZIONE
INCENDI 2008

Roma,
18 giugno 2008

Gruppo EPIC



Dal 1949

In collaborazione con

Dipartimento dei Vigili del fuoco del Soccorso Pubblico e della Difesa Civile
Commissione Speciale Permanente per la Sicurezza del Patrimonio Culturale Nazionale
UNI - Ente Nazionale Italiano di Unificazione

APPROCCIO PRESTAZIONALE E PROGETTAZIONE STRUTTURALE IN CONDIZIONI DI INCENDIO: I PARCHEGGI MULTIPIANO FUORI TERRA

ing. Sandro Pustorino

(sandro.pustorino@sis-ingegneria.com)

Coordinatore della



Commissione per la Sicurezza
delle Costruzioni in Acciaio
in caso d'Incendio

CONTENUTI

- ▶ Sicurezza strutturale in condizioni di incendio
Il requisito ai sensi della Direttiva Prodotti da Costruzione [89/CEE/106]
- ▶ Evoluzione dei metodi di calcolo per la progettazione strutturale
Approccio prescrittivo e approccio prestazionale
- ▶ Applicazione al caso degli edifici multipiano fuori terra
adibiti a parcheggio di autovetture

SICUREZZA IN CASO DI INCENDIO

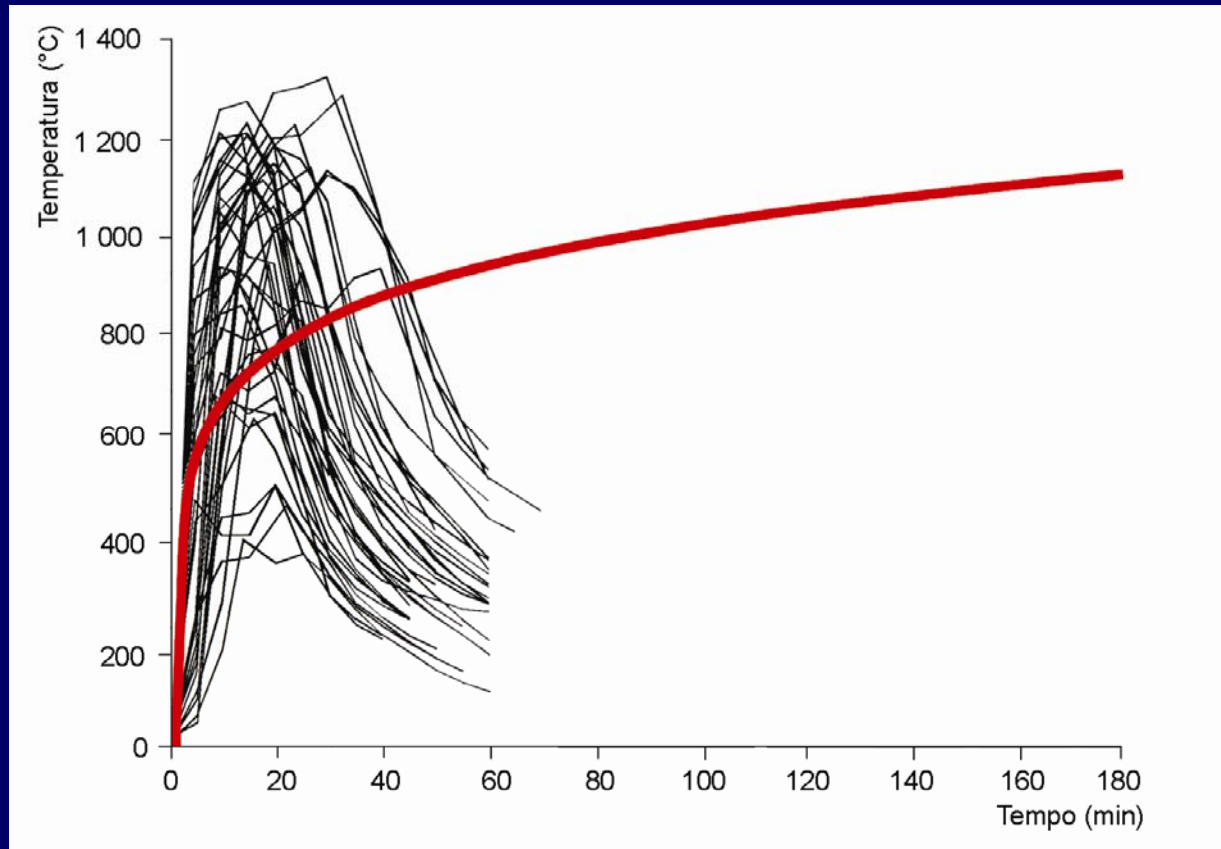
“Le costruzioni devono essere progettate e costruite in modo tale che, nel caso di sviluppo di un incendio:

- la capacità portante delle strutture sia garantita per un determinato periodo di tempo
- la produzione e la propagazione di fiamme e di fumi all'interno delle costruzioni sia limitata
- la propagazione dell'incendio alle costruzioni vicine sia limitata
- gli occupanti possano abbandonare la costruzione o essere messi in salvo
- sia presa in considerazione la sicurezza delle squadre di soccorso

Procedure
per soddisfare il requisiti essenziale,
Sicurezza in caso di Incendio

- prove sperimentali
condotte secondo regolamenti **armonizzati** o linee guida fornite da EOTA (European Organization for Technical Approval)
ETA Guidelines (ETAGs)
- metodi di calcolo e progettuali di tipo **armonizzato**
EUROCODICI
- una combinazione di prove sperimentali e metodi di calcolo armonizzati

L'Incendio: curve temperatura-tempo reali e curva standard



Il caso di incendio: Il progetto della sicurezza nell'approccio prestazionale

1 - CRITERI DI CALCOLO (1994-1998)

Gruppo di Ricerca

Comitato Consultivo

ProfilARBED Research (*Lux*)

Service d'Incendie des Sapeurs Professionnels

Univ. di Bochum (*Germania*)

Brandschutzsachverständiger

CTICM, (*Francia*)

Ministère de l'Intérieur, Direction de la Sécurité Civile

TNO, (*Olanda*)

Ministerie van Binnenlandse Zaken

Università ETH (*Svizzera*)

Bureau de Controle SECO

Università di Liegi (*Belgio*)

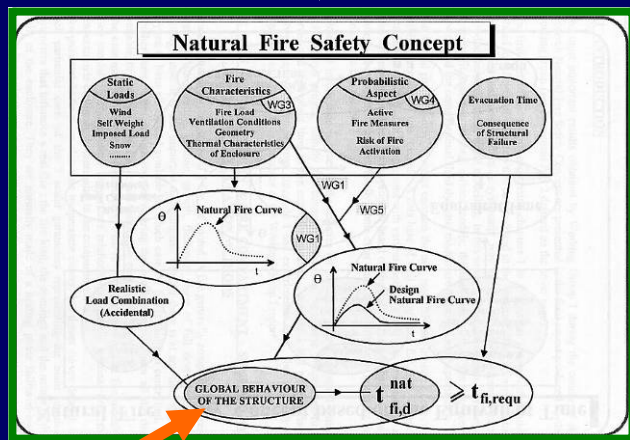
Department of the Environment

BCSA (*Gran Bretagna*)

Dirección General de la Vivienda, la Arqu. y el Urb.

Labein (*Spagna*)

Ministero dell'Interno - CSE Capannelle



2 – VERIFICA SPERIMENTALE (1998-2001)

Laboratori europei per test di incendi in scala reale:

CTICM, (*Francia*)

TNO, (*Olanda*),

DSTV, (*Germania*)

VTT, (*Finlandia*)

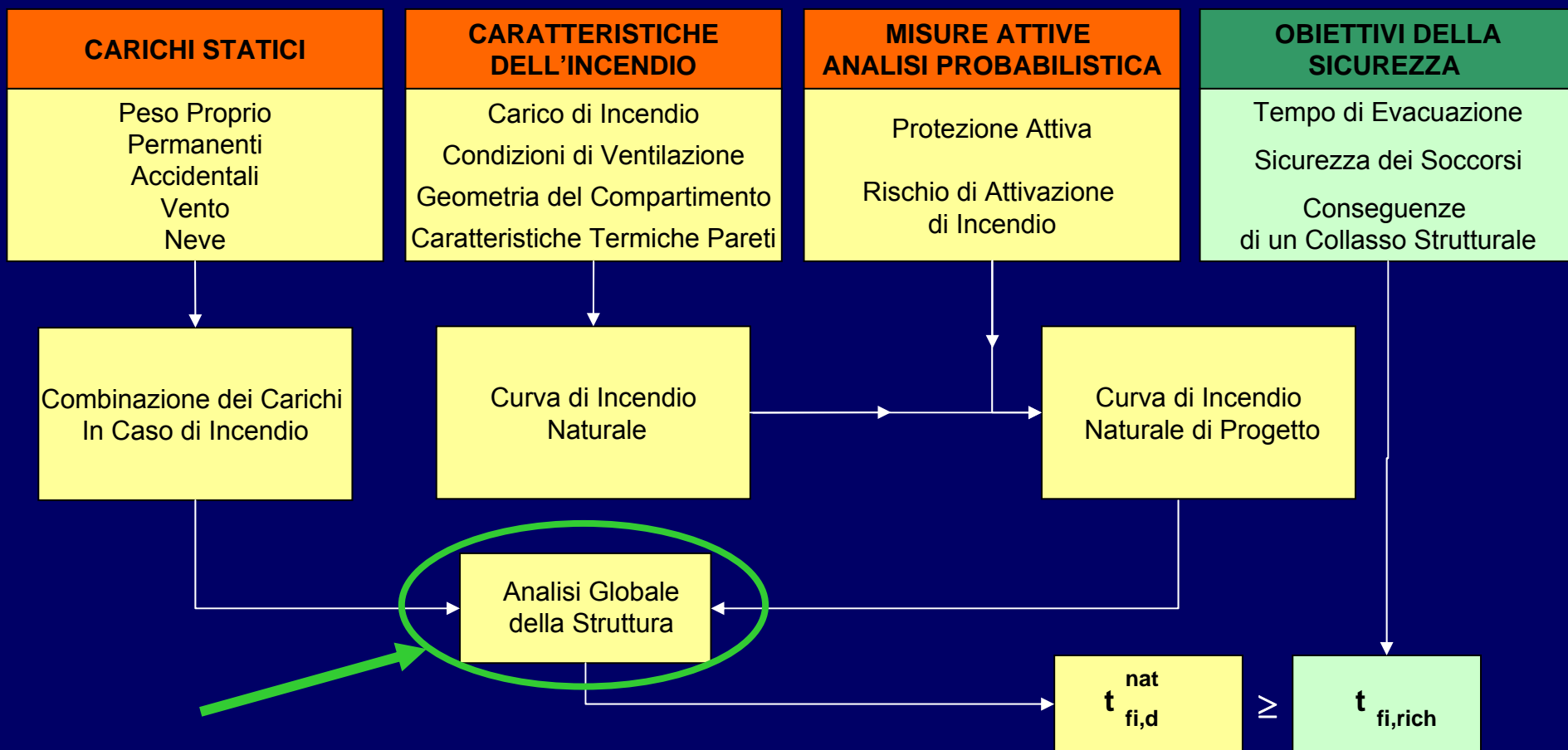
BRE (*Gran Bretagna*)



EN 1991-1-2 “Azioni sulle strutture esposte all'incendio”

Il caso di incendio: Il progetto della sicurezza nell'approccio prestazionale

Schema generale per l'analisi della sicurezza strutturale in caso di incendio



Criteri di progettazione

- ▶ La capacità del sistema strutturale in caso di incendio si determina sulla base della capacità portante propria degli elementi strutturali singoli, di porzioni di struttura o dell'intero sistema costruttivo, comprese le condizioni di carico e di vincolo.
- ▶ Le deformazioni ed espansioni imposte o impedito dovute ai cambiamenti di temperatura per effetto dell'esposizione al fuoco producono sollecitazioni indirette che normalmente devono essere tenuti in considerazione.
- ▶ Le sollecitazioni indirette possono essere trascurate quando è riconoscibile a priori che esse sono trascurabili o favorevoli ovvero quando i requisiti di sicurezza all'incendio sono valutati in riferimento alla curva nominale d'incendio e alle classi di resistenza al fuoco.

La combinazione dei carichi [EN 1990]

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_d + (\psi_{1,1} \text{ oppure } \psi_{2,1}) \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

$G_{k,j}$ carichi permanenti agenti sulla struttura

P eventuali azioni di precompressione

A_d azione termica indiretta dovuta all'incendio

$Q_{k,i}$ carichi variabili agenti sulla struttura

ψ_1 coefficiente di combinazione per i valori frequenti delle azioni variabili;

ψ_2 coefficiente di combinazione per i valori quasi permanenti delle azioni variabili.

La scelta del valore frequente o quasi permanente per l'azione variabile principale è stabilita nell'annesso nazionale.

La combinazione dei carichi: il contributo A_d

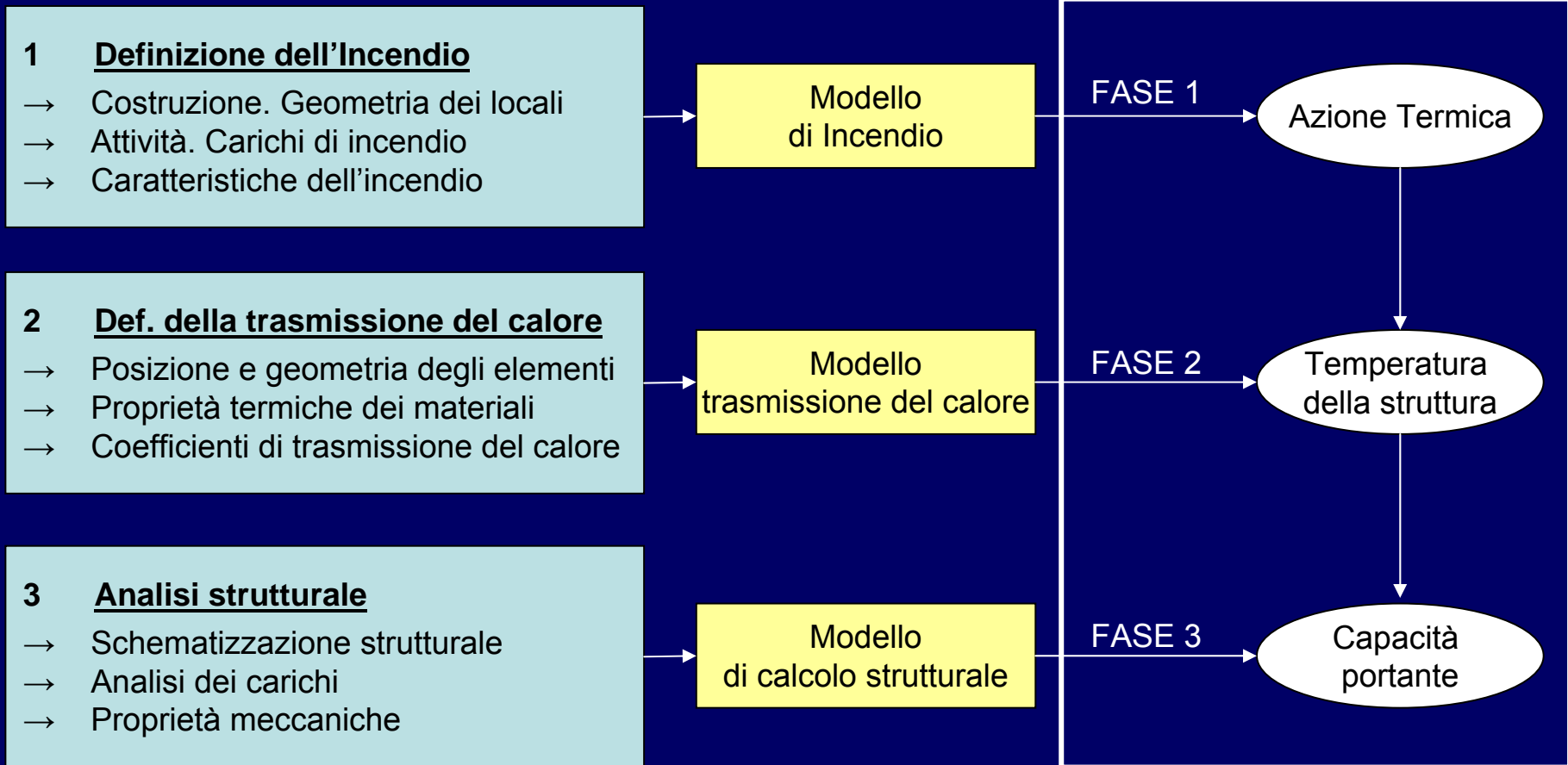
A_d azioni indirette dell'incendio
forze e momenti interni causati dalle espansioni termiche

Eurocodici: EN 1991-1-2 [4.1 (4)]

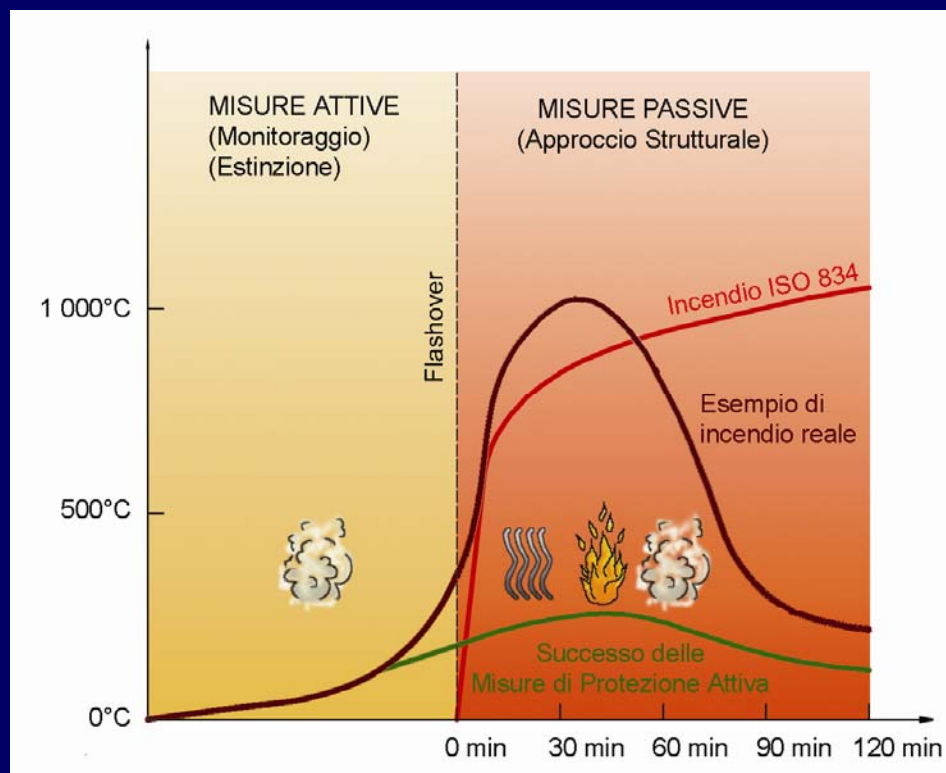
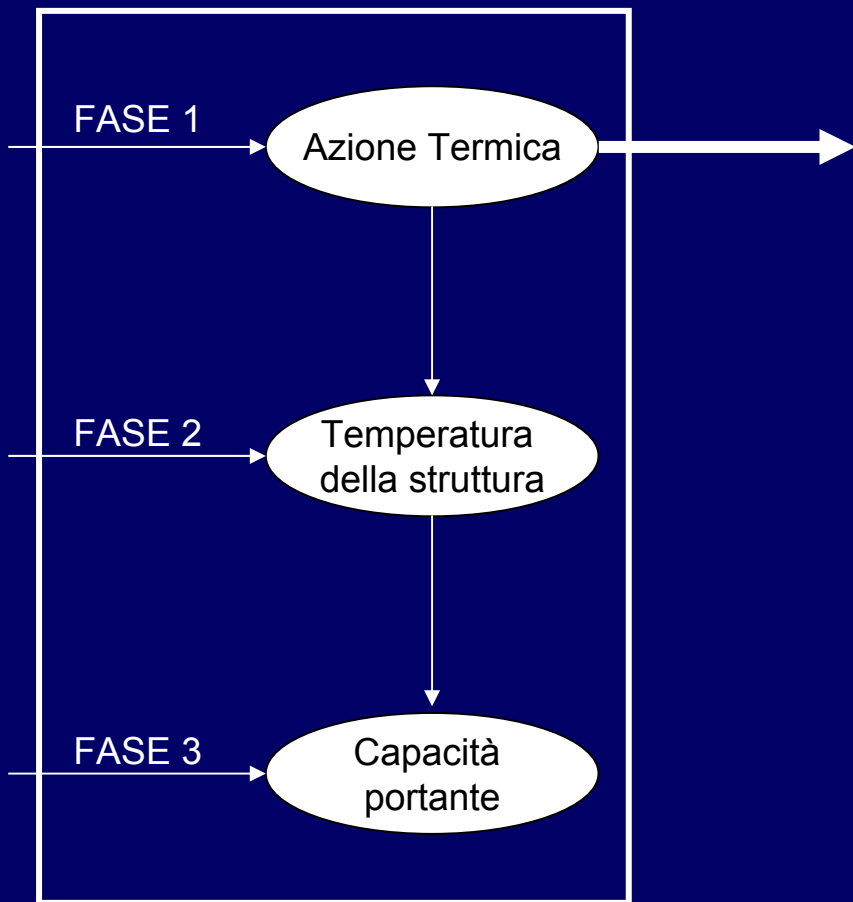
Generalità

- (1)P Espansioni imposte e vincolate e deformazioni causate da variazioni di temperatura conseguenti all'esposizione al fuoco producono effetti di azioni, per esempio forze o momenti, che devono essere considerati con l'esclusione di quei casi dove le azioni:
- possono essere riconosciute trascurabili o a favore di sicurezza a priori;
 - sono introdotte per mezzo di modelli e condizioni di vincolamento scelte a favore di sicurezza, e/o sono implicitamente comprese nel calcolo per effetto di requisiti di sicurezza al fuoco definiti in modo conservativo.
- (4) Non occorre considerare le azioni indirette dagli elementi adiacenti quando i requisiti di sicurezza in caso di incendio si riferiscono ad elementi in condizioni di incendio normalizzato.

Analisi strutturale in condizioni di incendio: approccio prestazionale e strutture di acciaio

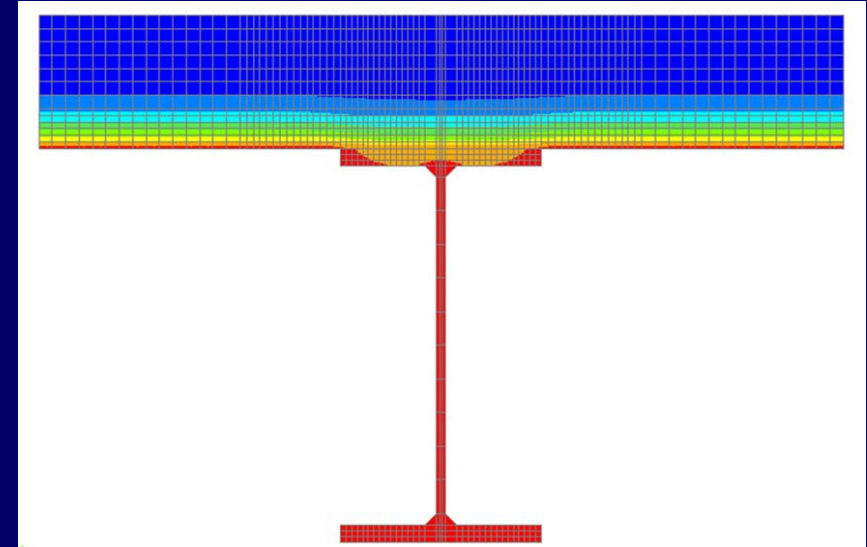
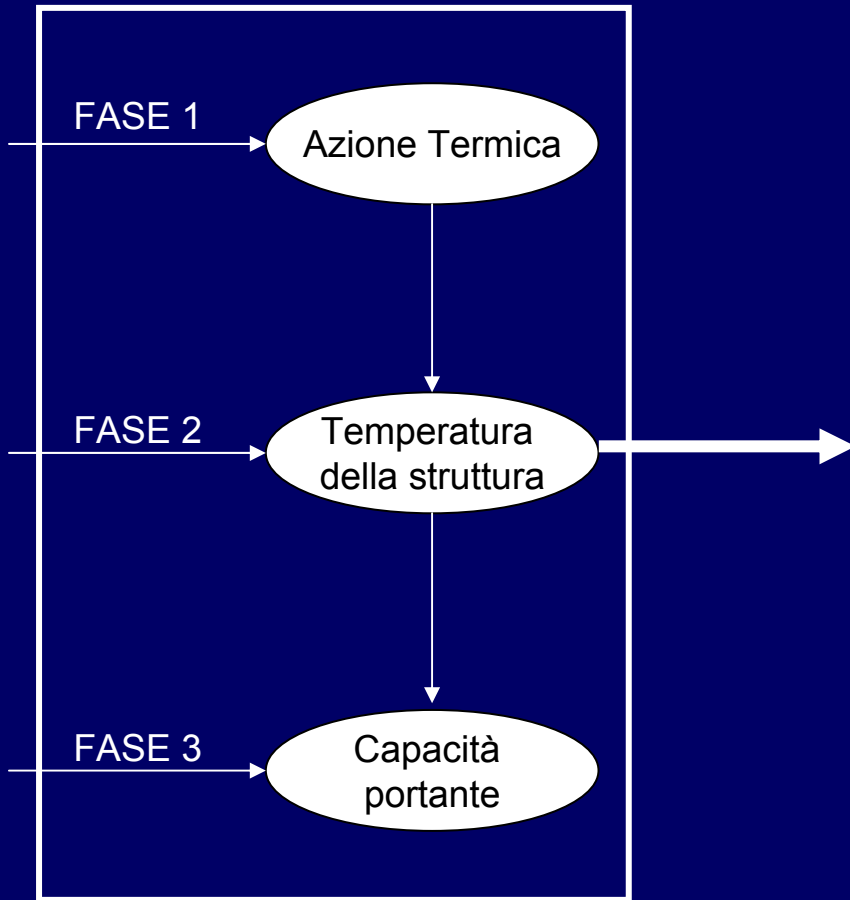


Analisi strutturale in condizioni di incendio: approccio prestazionale e strutture di acciaio



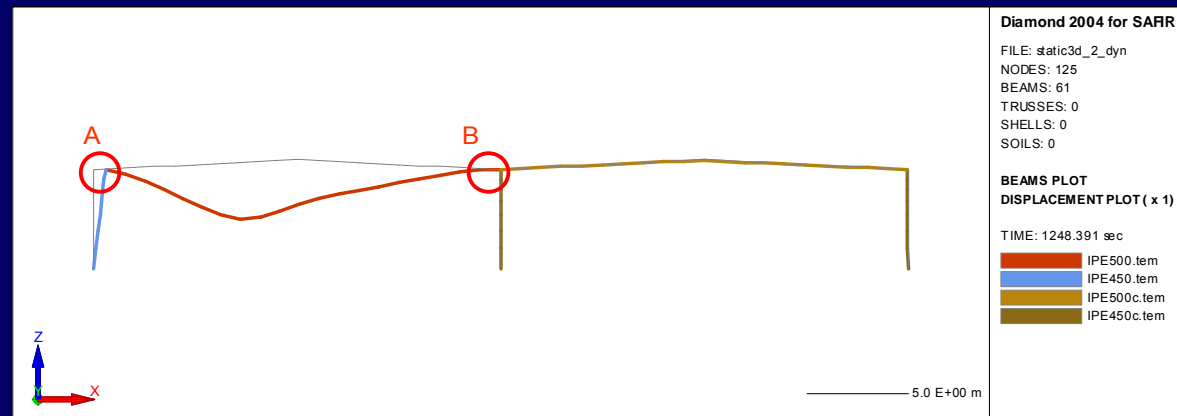
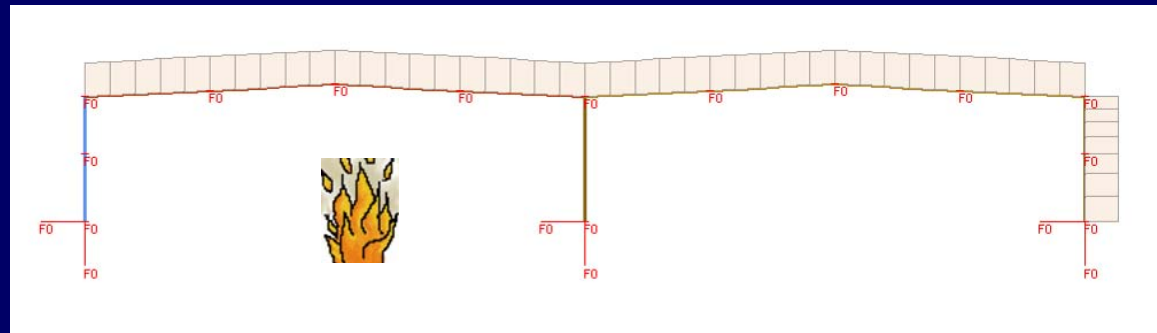
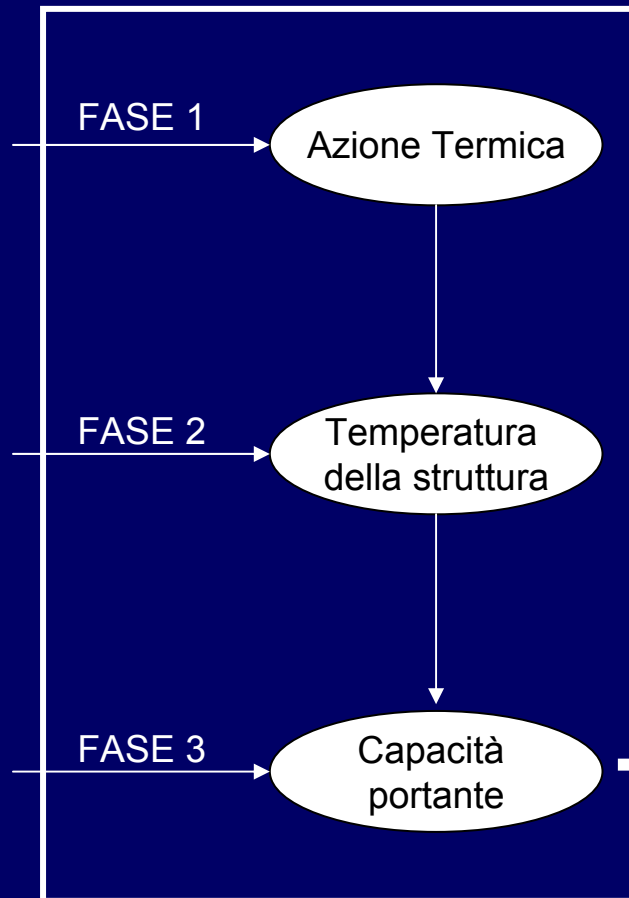
FASE 1

Analisi strutturale in condizioni di incendio: approccio prestazionale e strutture di acciaio



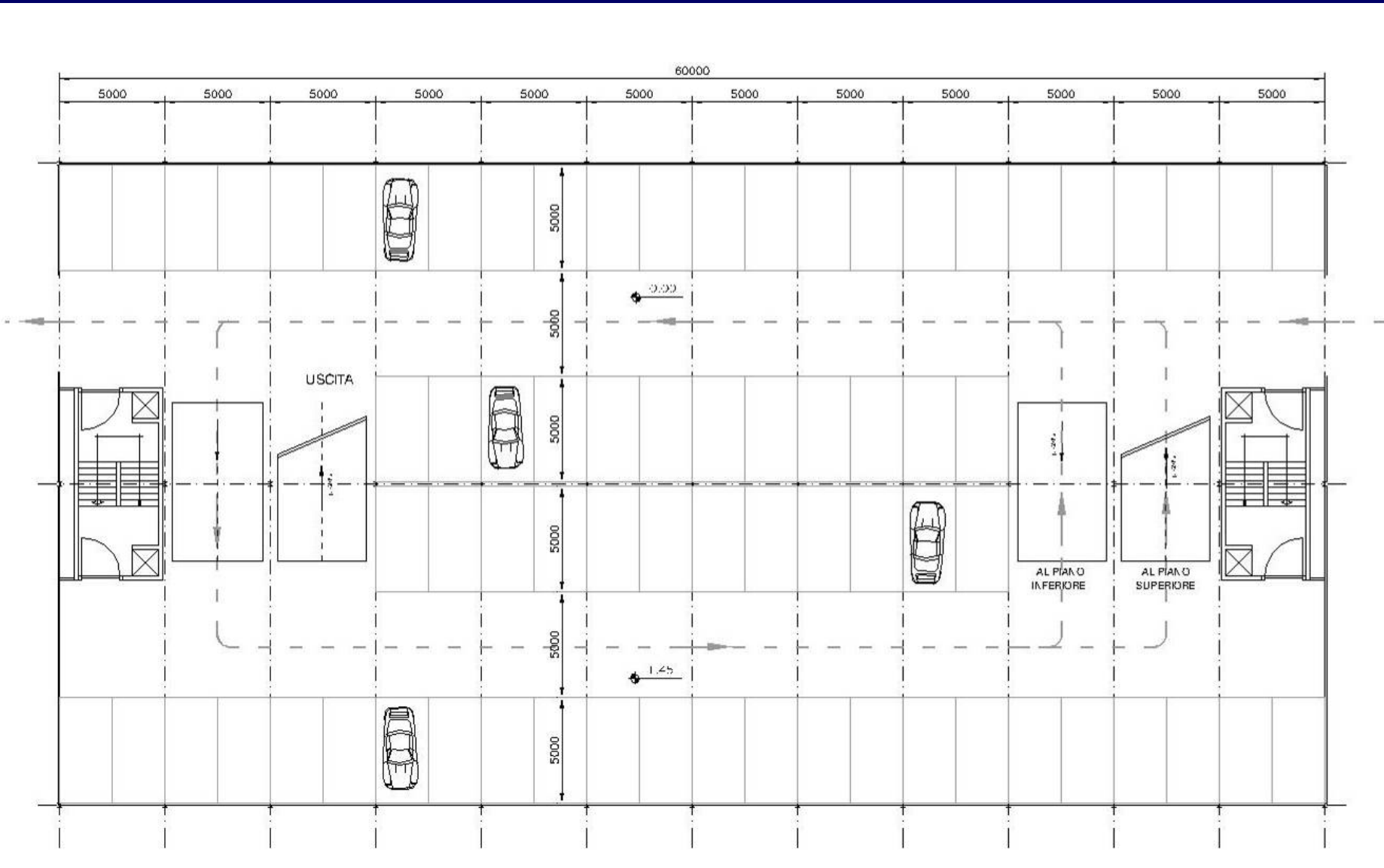
FASE 2

Analisi strutturale in condizioni di incendio: approccio prestazionale e strutture di acciaio



FASE 3

Il caso dei parcheggi multipiano: la sicurezza strutturale in caso di incendio



Il caso dei parcheggi multipiano: la sicurezza strutturale in caso di incendio



Una realizzazione in Lussemburgo

I parcheggi multipiano fuori terra: la sicurezza strutturale in caso di incendio



APPROCCIO PRESTAZIONALE

- ▶ Def. degli scenari di incendio più pericolosi
- ▶ 1 - Azione termica sulle strutture portanti
→ ricerca dei massimi effetti sulla struttura
- ▶ 2 - Risposta termica della struttura
→ analisi termica di acciaio e cemento armato
- ▶ 3 - Risposta meccanica della struttura
→ solai in sistema misto acciaio-cl
→ nessun crollo per tutta la durata dell'incendio

Il caso dei parcheggi multipiano: la sicurezza strutturale in caso di incendio

■ Classificazione delle auto

Classificazione sulla base del potenziale termico

Tipo	Categoria 1	Categoria 2	Categoria 3	Categoria 4	Categoria 5
Peugeot	106	306	406	605	806
Renault	Tingo-Clio	Megane	Laguna	Safrane	Espace
Citroen	Saxo	ZX	Xantia	XM	Evasion
Ford	Fiesta	Escort	Mondeo	Scorpio	Galaxy
Opel	Corsa	Astra	Vectra	Omega	Frontera
Fiat	Punto	Bravo	Tempra	Croma	Ulysse
Wolkswagen	Polo	Golf	Passat	-	Sharan
Potenziale calorifico	6000 MJ	7500 MJ	9500 MJ	12000 MJ	

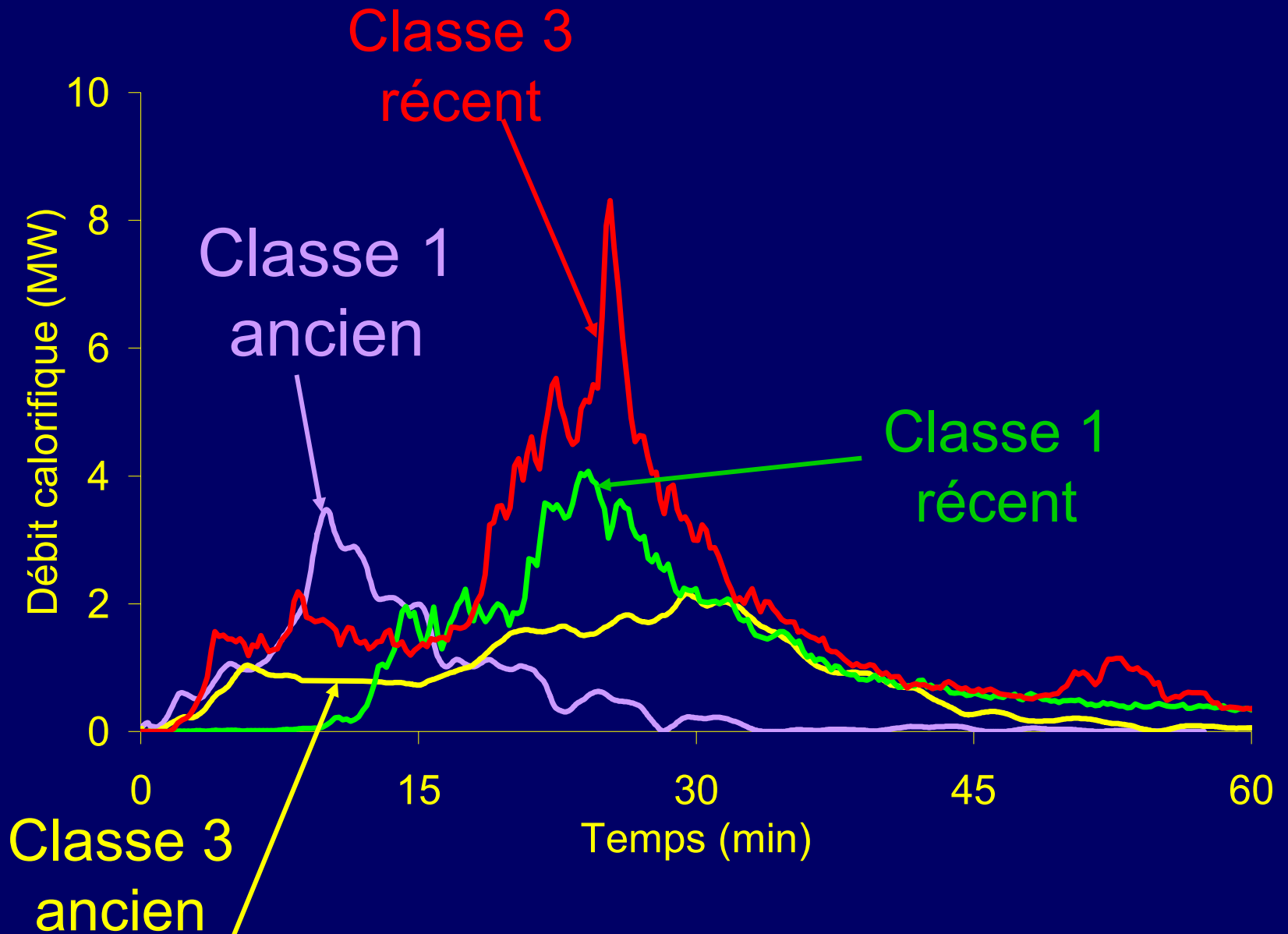
Modelli in circolazione tra il 1995 e il 1998

- Le prove sperimentali per la definizione della curva RHR

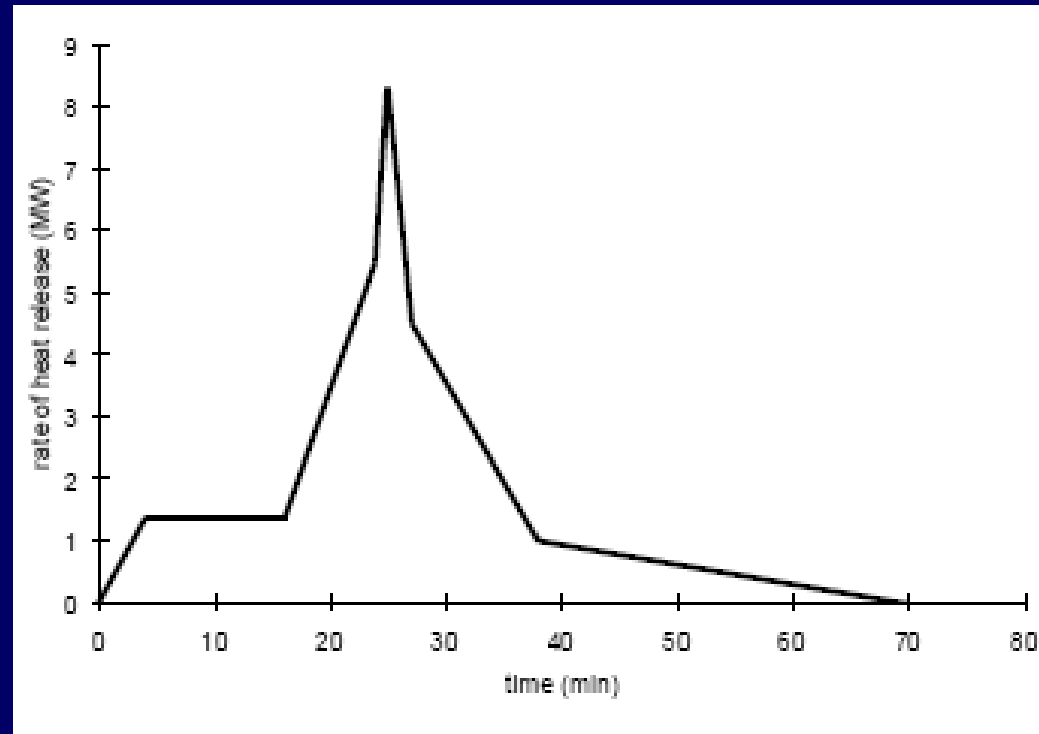


I parcheggi multipiano e la sicurezza strutturale in caso di incendio: la verifica sperimentale

- Curva RHR di auto, per categorie ed epoca

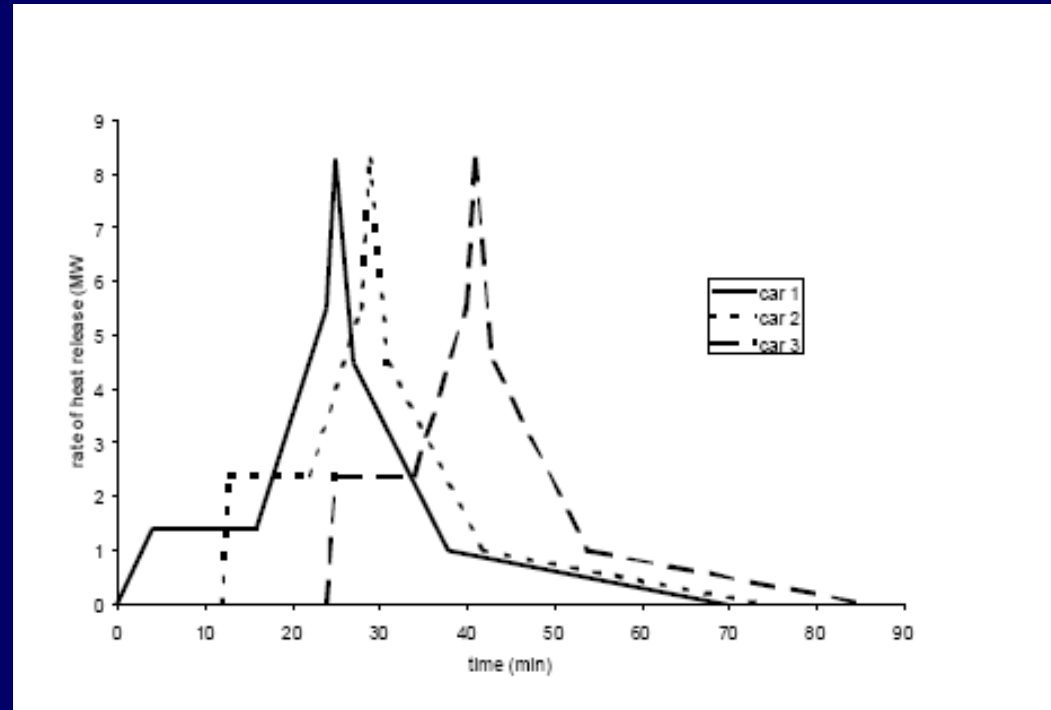
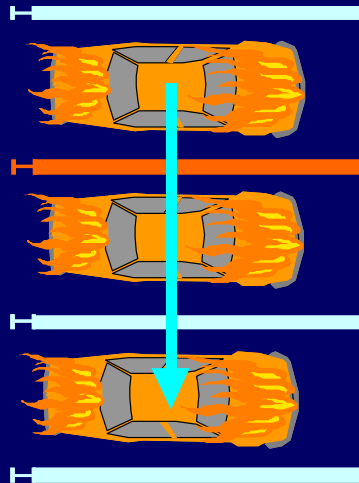


- Curva RHR di progetto di un'auto di classe 3



involuppo delle registrazioni

■ Curva RHR di progetto di tre auto di classe 3

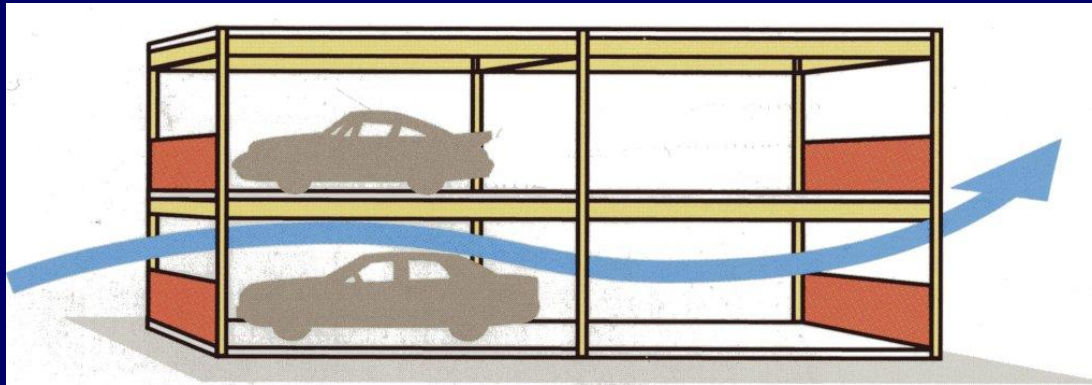


► Intervallo di tempo tra la combustione di due auto: 12 min

I parcheggi multipiano: la sicurezza strutturale in caso di incendio

I parcheggi aperti

■ I parcheggi ventilati



► Definizione di parcheggio aperto (minimi requisiti di ventilazione naturale)

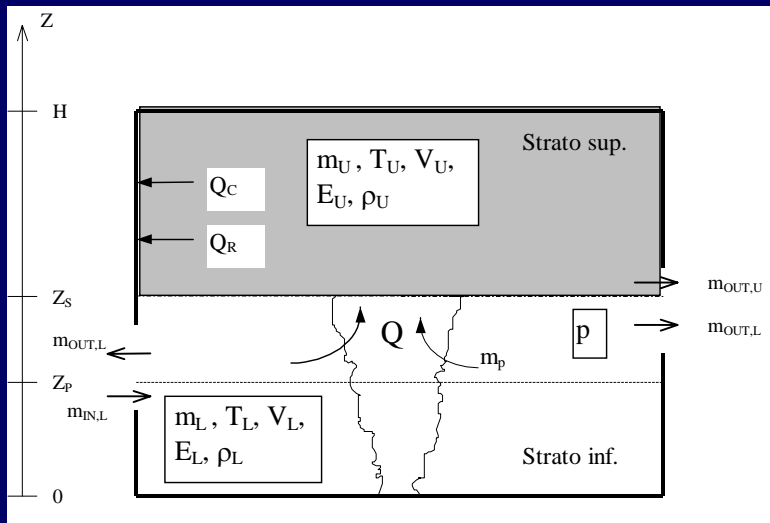
Parcheggi con aperture sulle facciate in cui sono verificate le seguenti condizioni:

- ad ogni livello le aperture sono poste almeno su due facciate opposte;
- la superficie di apertura sia almeno 50% della superficie delle pareti su cui si trovano;
- la distanza tra facciate opposte aperte sia inferiore a 75 m;
- la superficie di apertura ad ogni livello > 5% della superficie in pianta del livello.

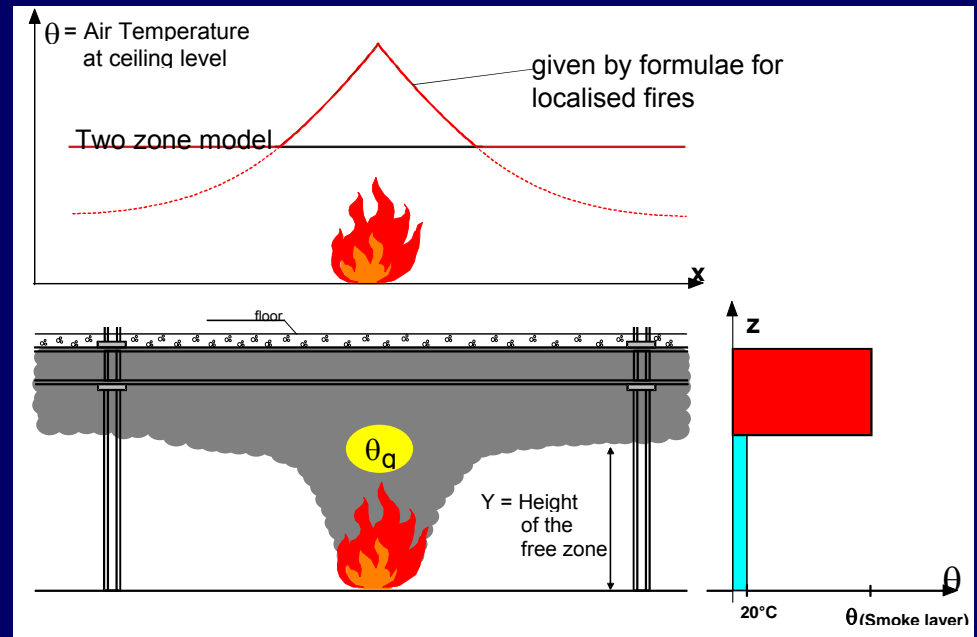
► Dall'analisi statistica e sperimentale:

I possibili casi di incendio sono incendi di tipo localizzato

Applicazione dei modelli a zona ad incendi di tipo pre-flashover



Modello a due zone



Combinazione di modello a 2 zone ed incendi localizzati

- I test in scala reale: calibrazione dei modelli di calcolo



I parcheggi multipiano e la sicurezza strutturale in caso di incendio: la verifica sperimentale

0 min



Test 1

I parcheggi multipiano e la sicurezza strutturale in caso di incendio: la verifica sperimentale



I parcheggi multipiano e la sicurezza strutturale in caso di incendio: la verifica sperimentale

33 min



I parcheggi multipiano e la sicurezza strutturale in caso di incendio: la verifica sperimentale



36 min

I parcheggi multipiano e la sicurezza strutturale in caso di incendio: la verifica sperimentale

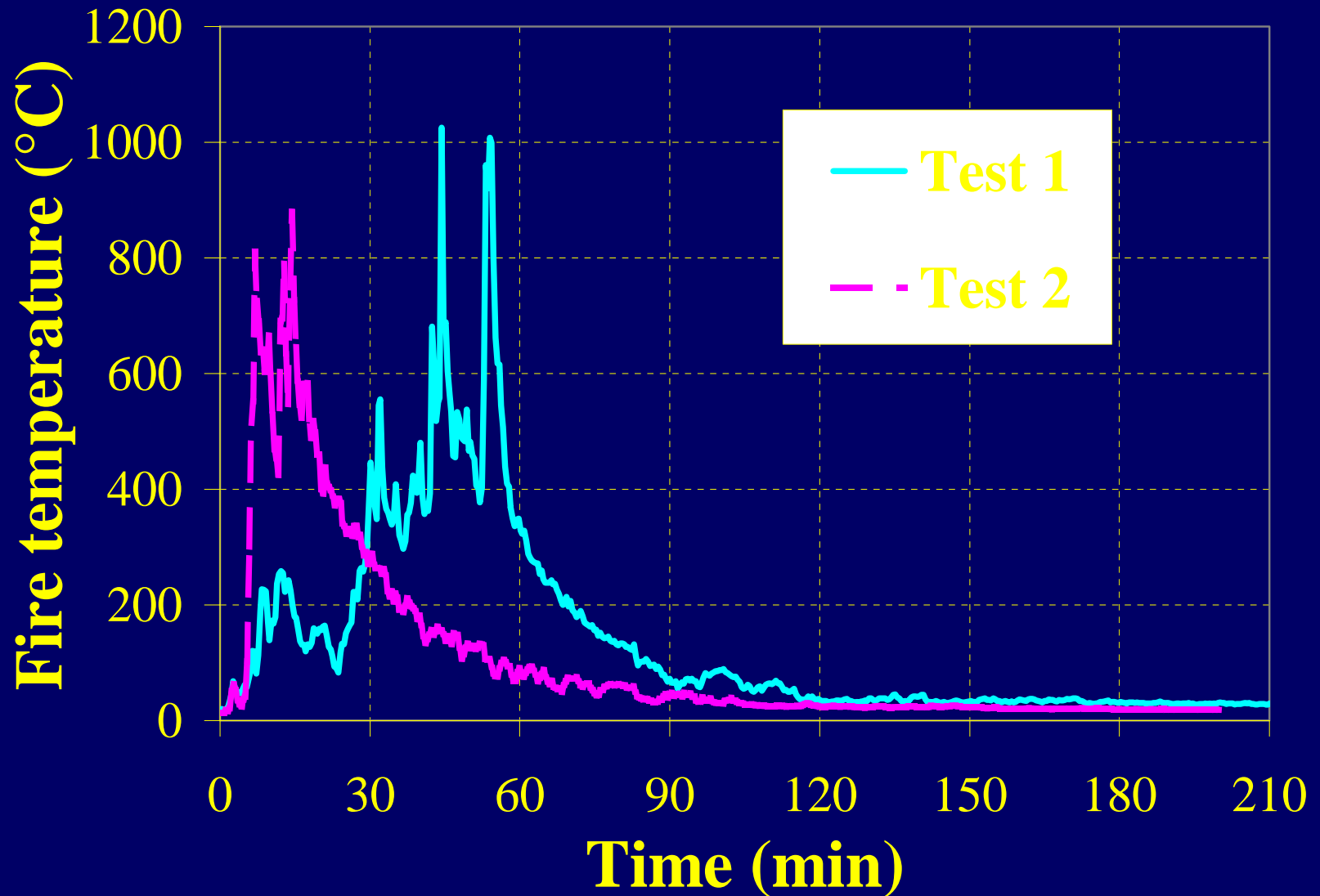
46 min



62 min

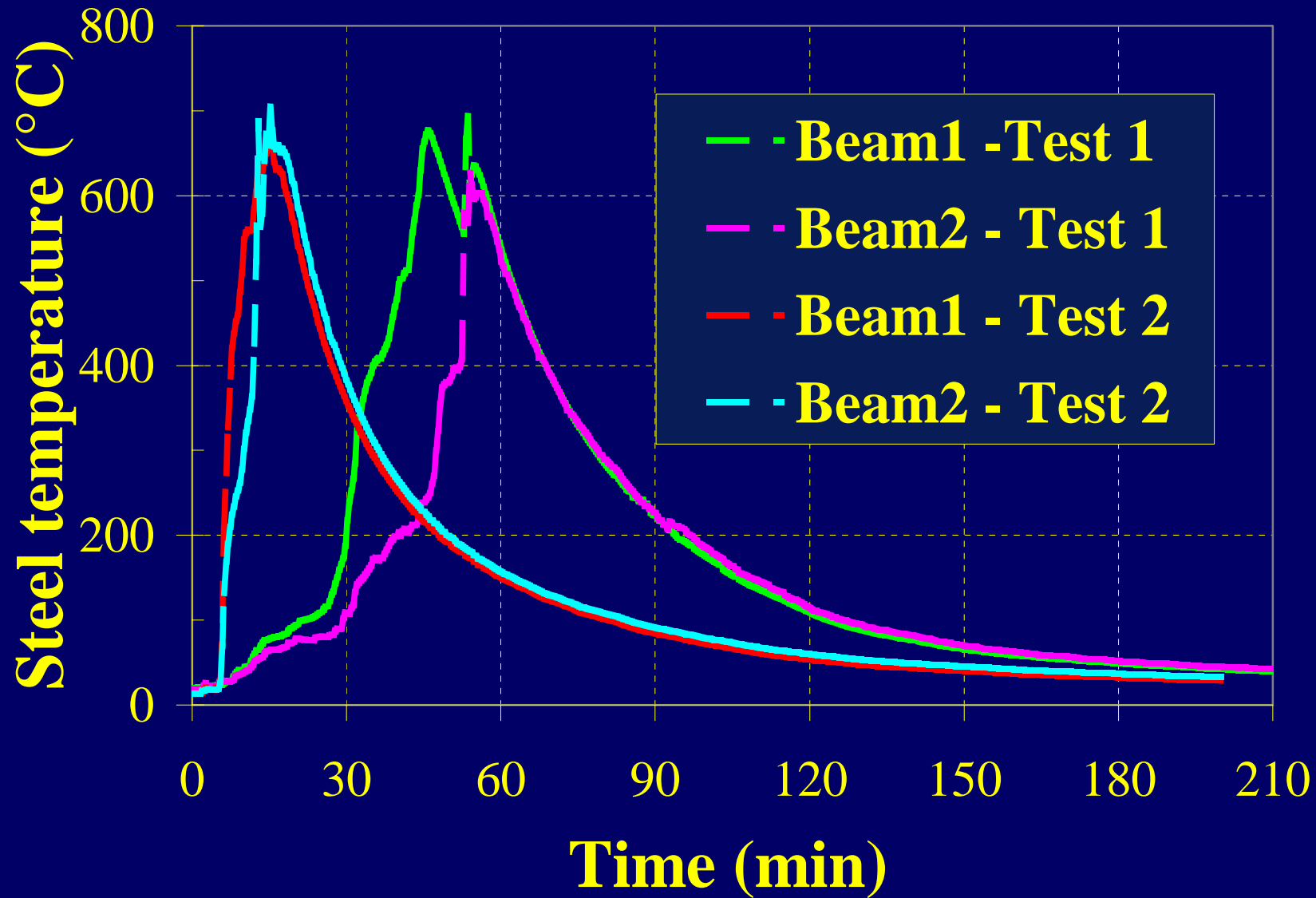


- I test in scala reale: calibrazione dei modelli di calcolo



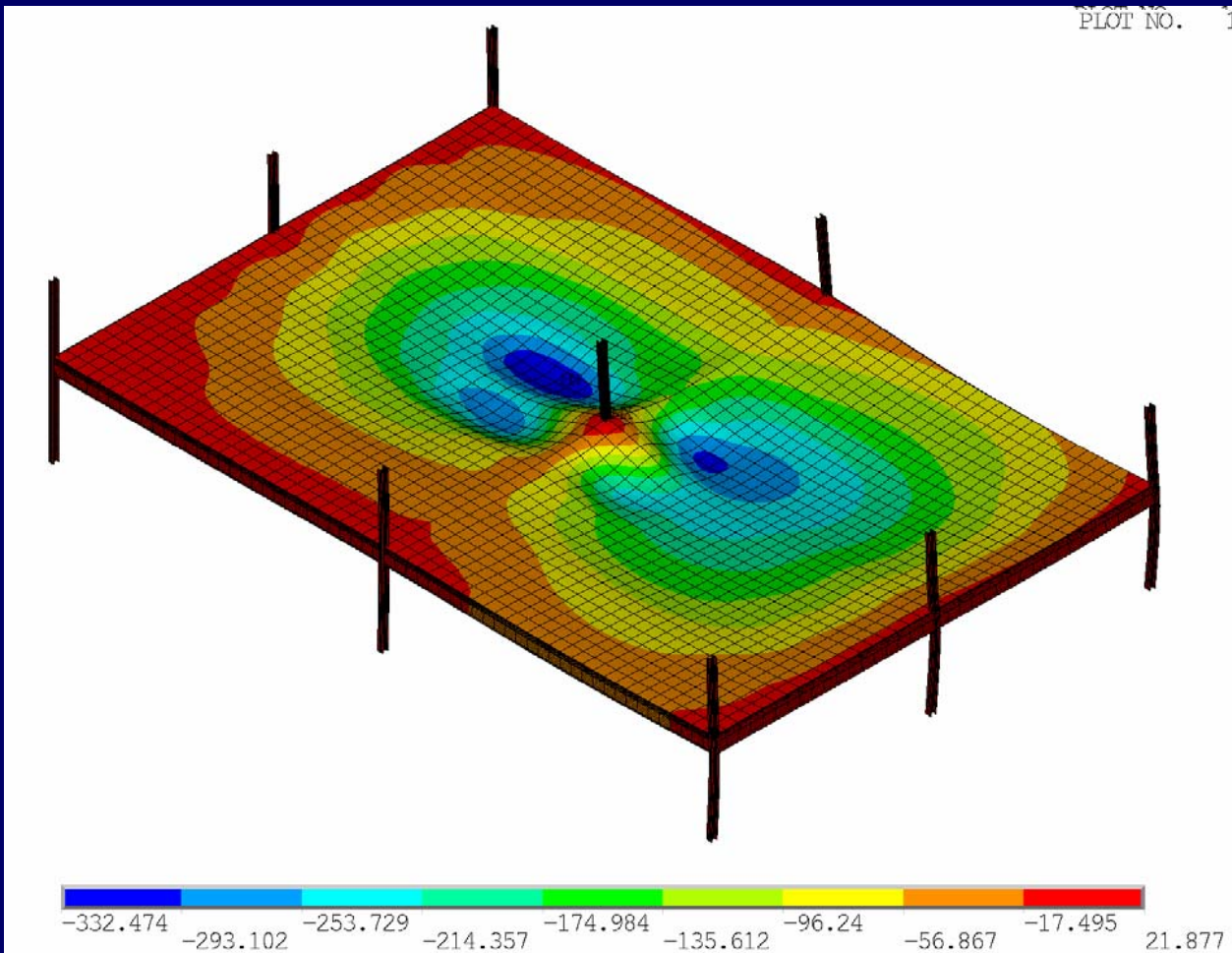
I parcheggi multipiano e la sicurezza strutturale in caso di incendio: la verifica sperimentale

- I test in scala reale: calibrazione dei modelli di calcolo



I parcheggi multipiano e la sicurezza strutturale in caso di incendio: la verifica sperimentale

- Validazione del modello per il calcolo strutturale



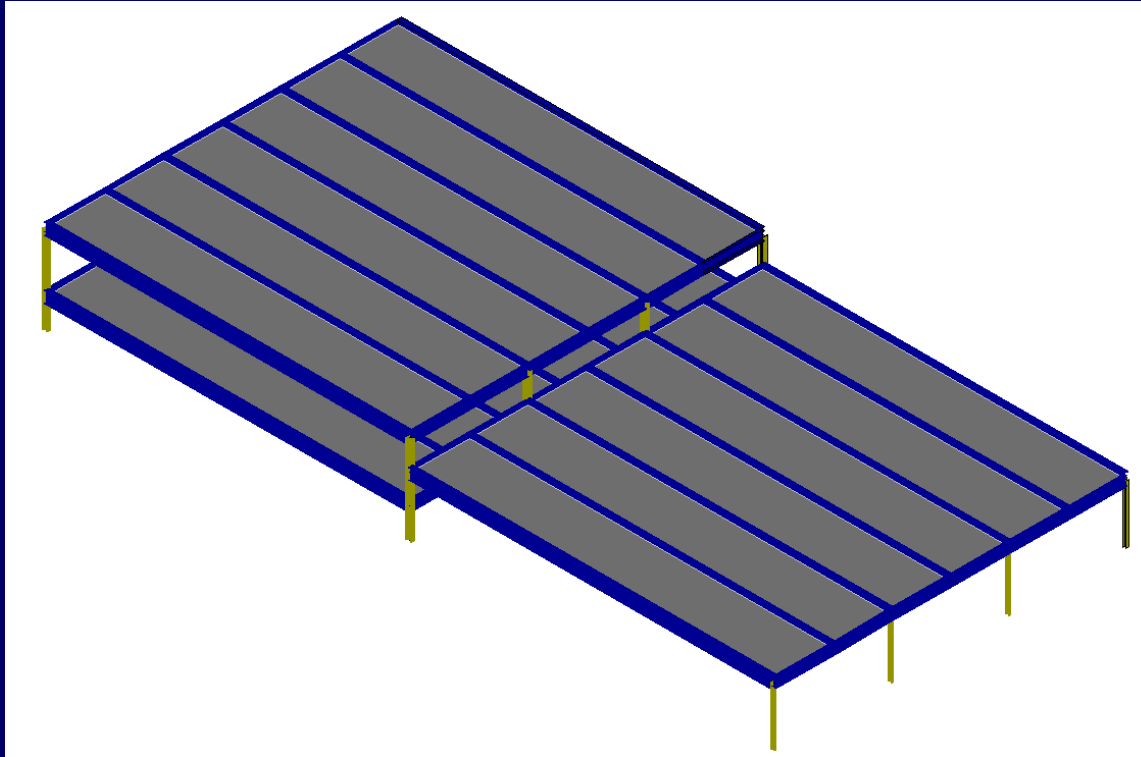
20 min

32 min

60 min

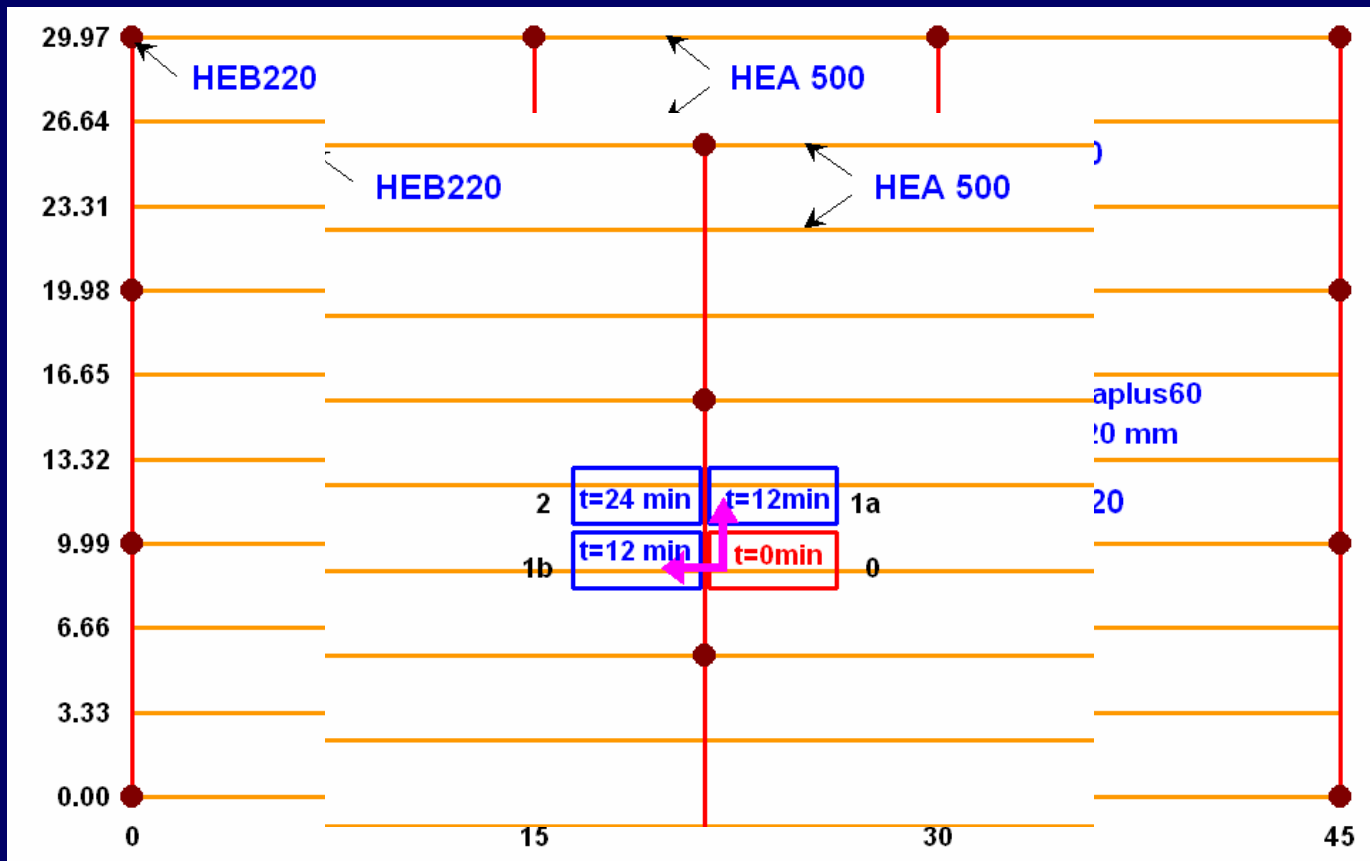
I parcheggi multipiano e la sicurezza strutturale in caso di incendio: il progetto secondo l'approccio prestazionale

- Il modello per il calcolo strutturale



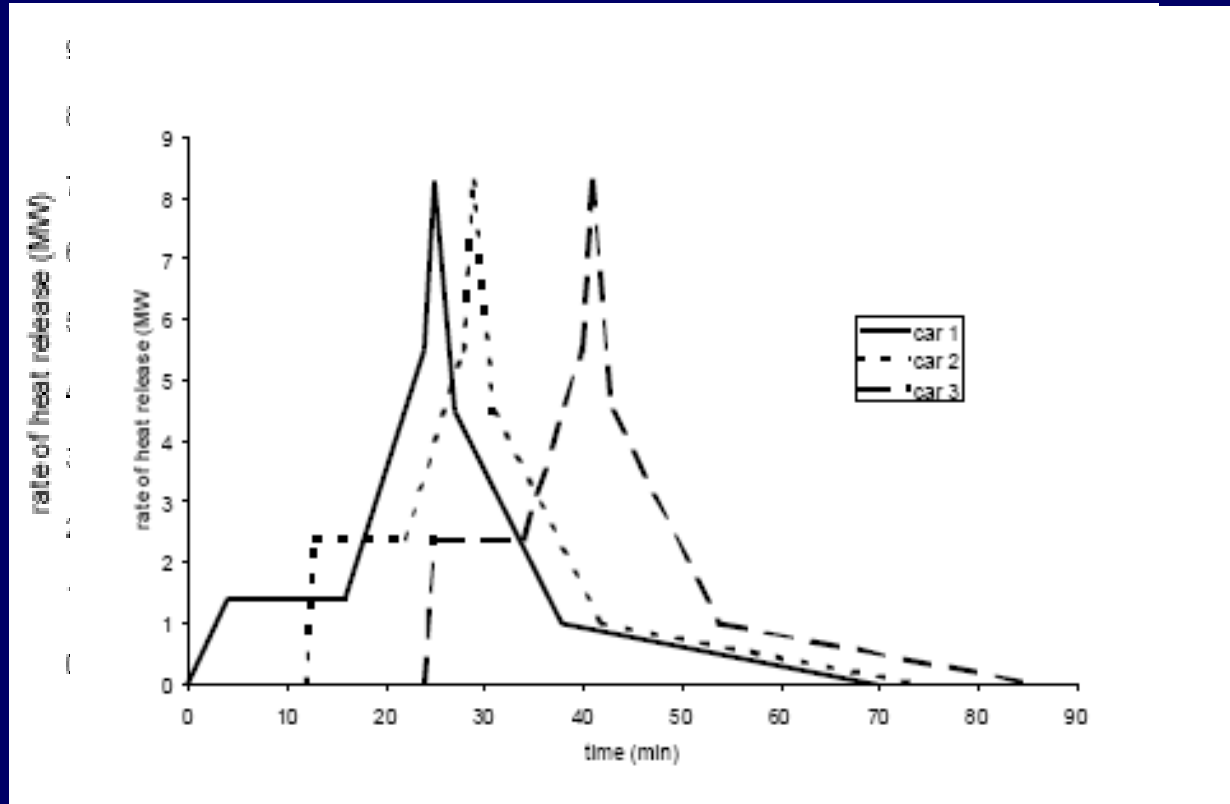
I parcheggi multipiano e la sicurezza strutturale in caso di incendio: il progetto secondo l'approccio prestazionale

■ Definizione degli scenari di incendio



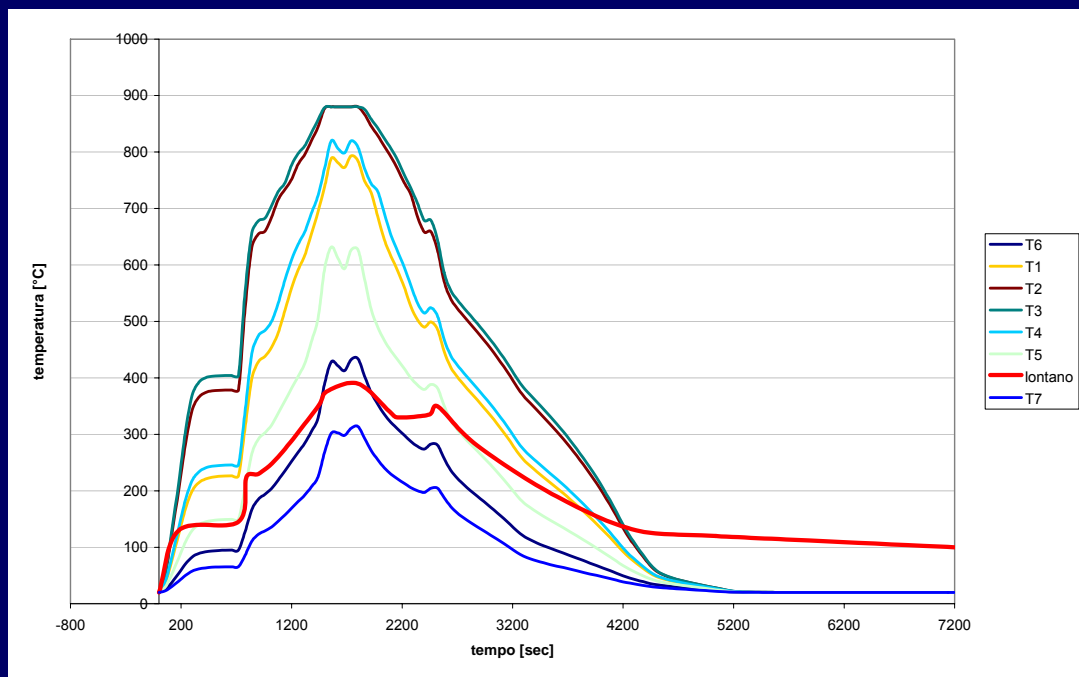
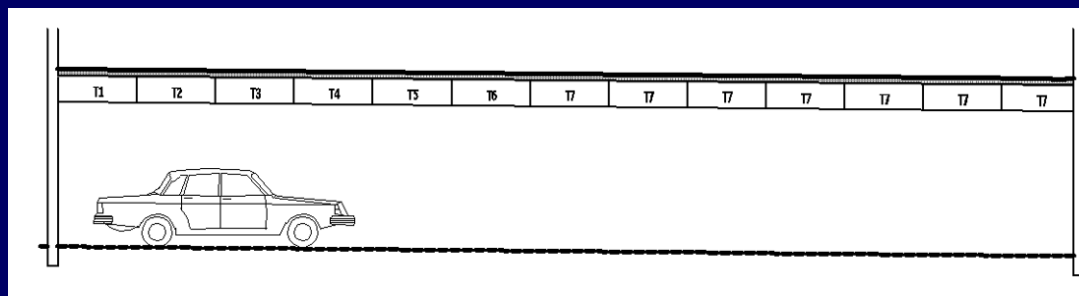
I parcheggi multipiano e la sicurezza strutturale in caso di incendio: il progetto secondo l'approccio prestazionale

■ Definizione della curva RHR



I parcheggi multipiano e la sicurezza strutturale in caso di incendio: il progetto secondo l'approccio prestazionale

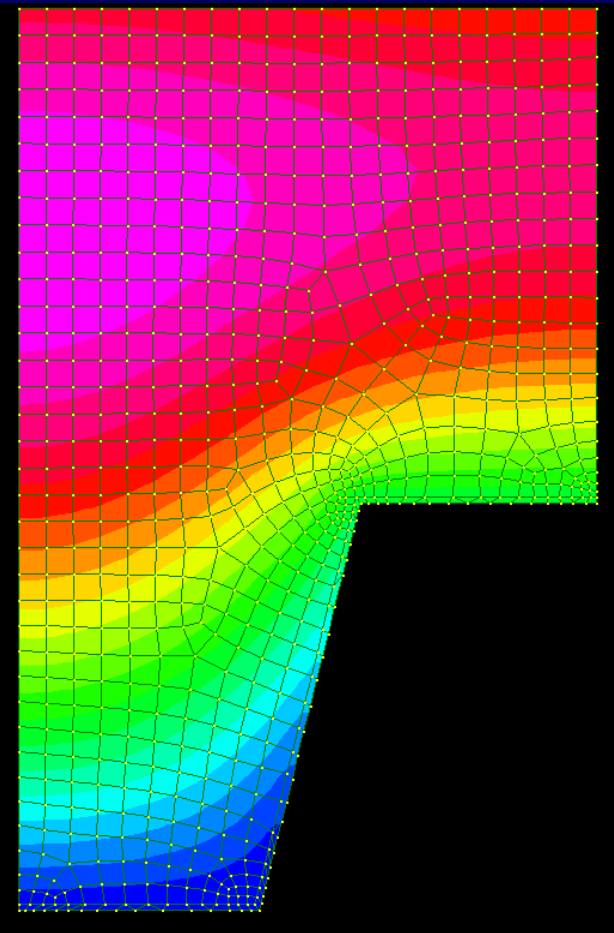
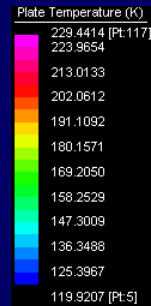
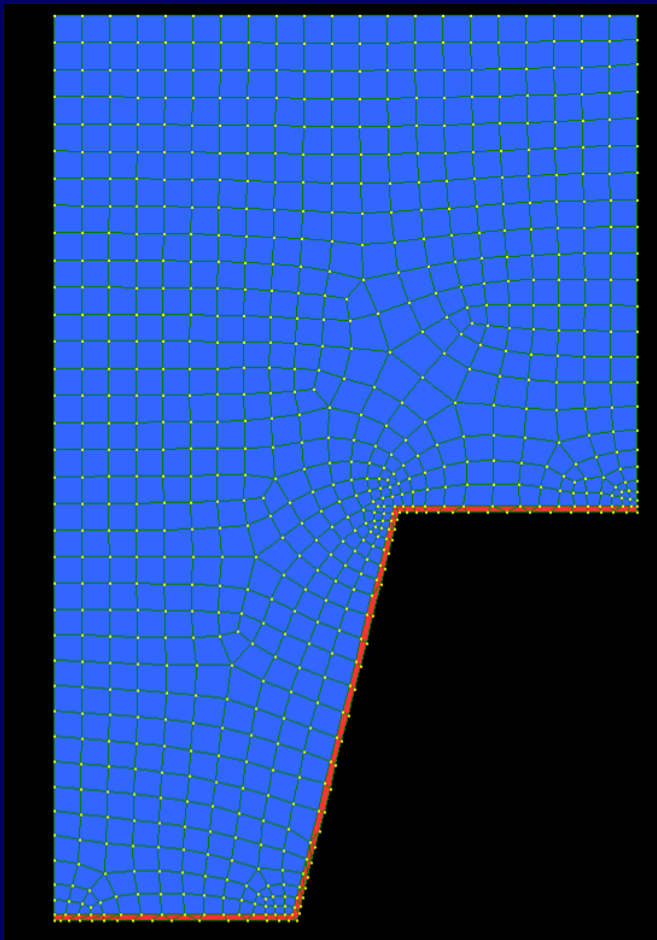
- Modelli per il caso di incendio localizzato



Temperature ottenute da modello di incendio localizzato

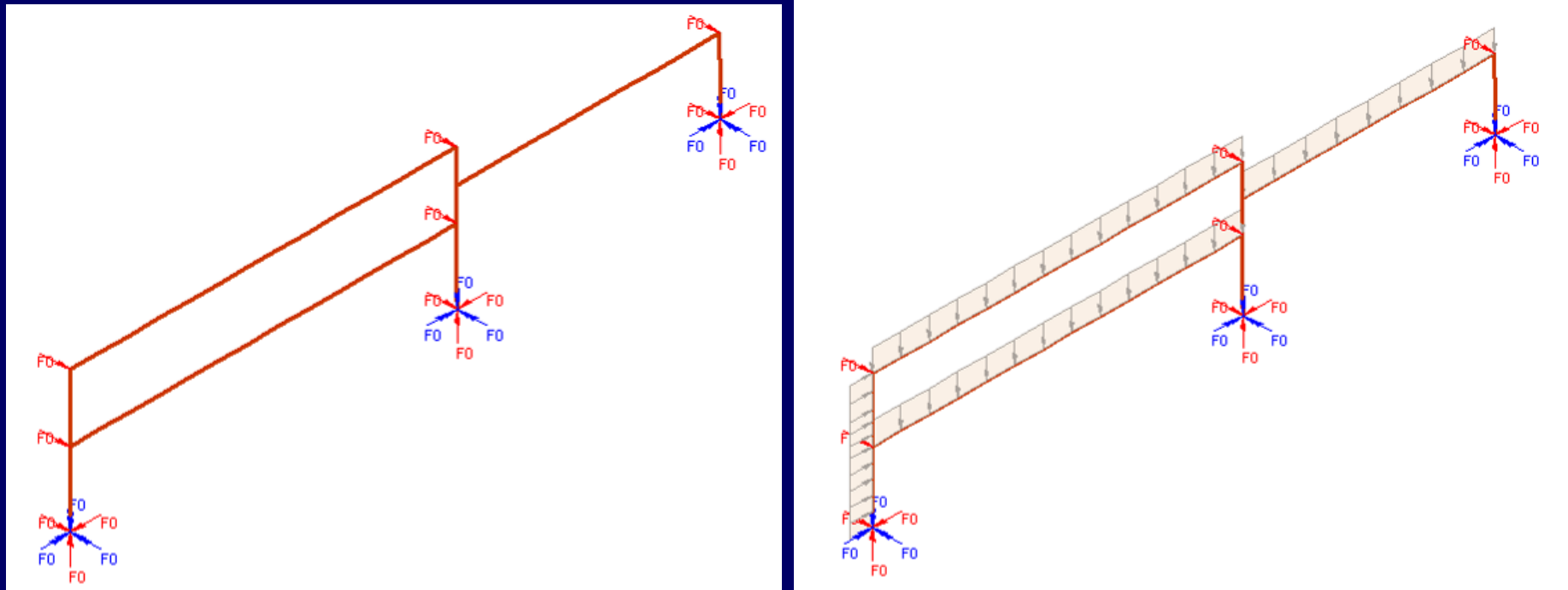
I parcheggi multipiano e la sicurezza strutturale in caso di incendio: il progetto secondo l'approccio prestazionale

■ L'analisi strutturale: la risposta termica



I parcheggi multipiano e la sicurezza strutturale in caso di incendio: il progetto secondo l'approccio prestazionale

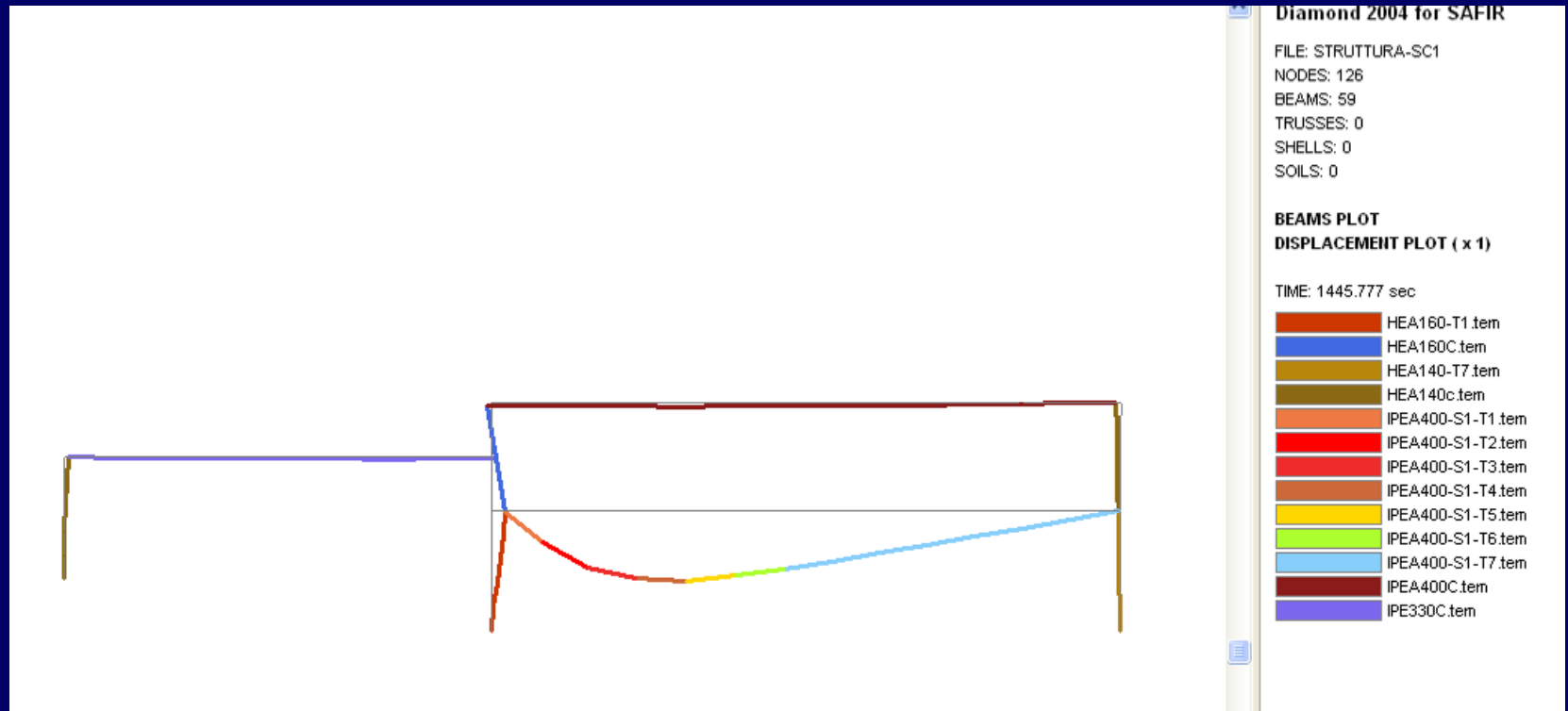
- L'analisi strutturale: la risposta meccanica



Modello di calcolo strutturale (Safir)
(modello 2D, verifica con modello 3D)

I parcheggi multipiano e la sicurezza strutturale in caso di incendio: il progetto secondo l'approccio prestazionale

■ L'analisi strutturale: la risposta meccanica

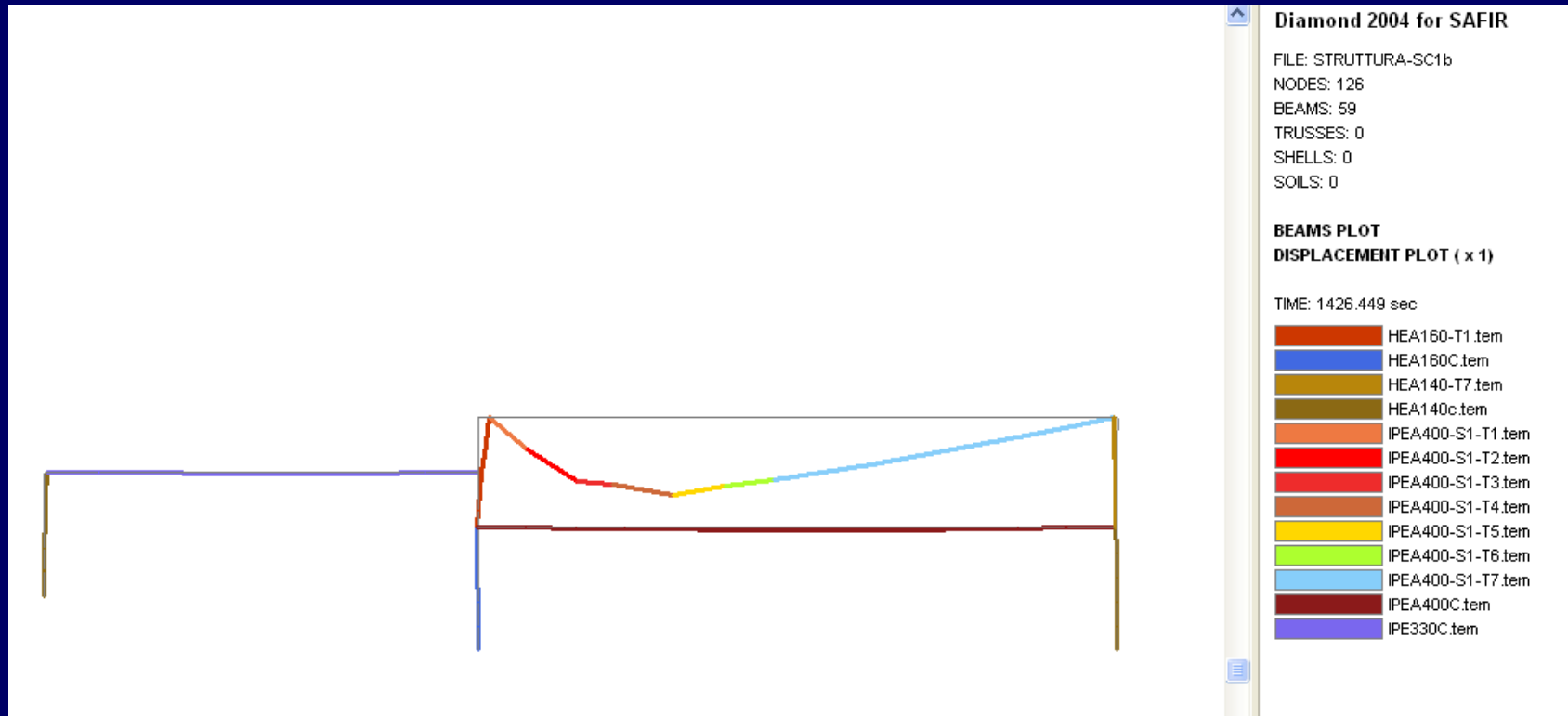


Modello di calcolo strutturale (Safir) – Scenario 1

Struttura in acciaio non protetto dimensionata a freddo: crisi dopo 1445 sec

I parcheggi multipiano e la sicurezza strutturale in caso di incendio: il progetto secondo l'approccio prestazionale

■ L'analisi strutturale: la risposta meccanica

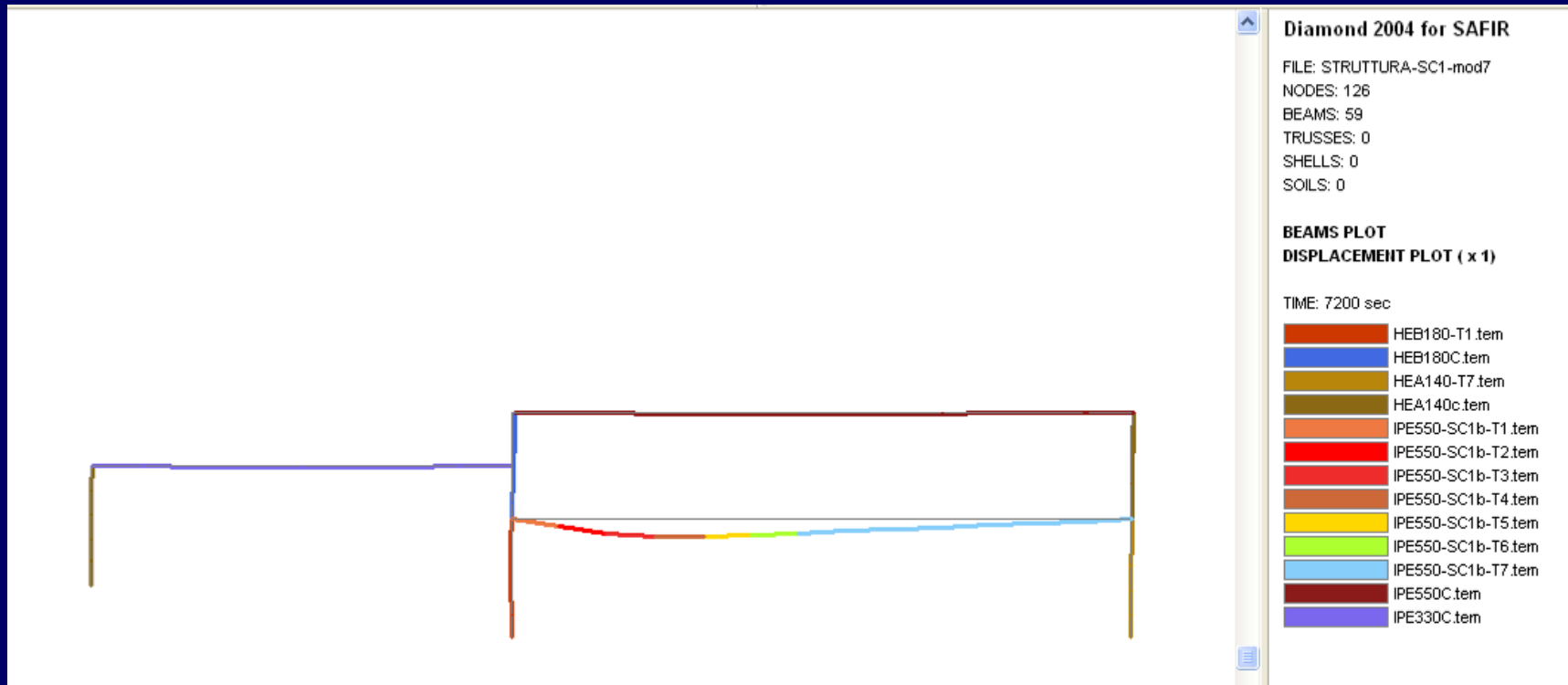


Modello di calcolo strutturale (Safir) – Scenario 1b

Struttura in acciaio non protetto dimensionata a freddo: crisi dopo 1426 sec

I parcheggi multipiano e la sicurezza strutturale in caso di incendio: il progetto secondo l'approccio prestazionale

■ L'analisi strutturale: la risposta meccanica



Modello di calcolo strutturale (Safir) – Scenario 1b
Struttura in acciaio non protetto progettata in condizioni di incendio:
stabilità verificata per tutta la durata dell'incendio



Nomogramma: Metodo grafico di valutazione della resistenza al fuoco di strutture di acciaio (basato su EN 1993-1-2, Luglio 2005)

Uso:

- pre-dimensionamento
- controllo

Nomogramma

Metodo grafico di valutazione della resistenza al fuoco di strutture in acciaio (basato su EN 1993-1-2 Luglio 2005)



Premessa

Il 20 gennaio 2006, su iniziativa di Fondazione Promozione Acciaio e con la partecipazione del Ministero dell'Interno, è stata costituita la **Commissione per la Sicurezza delle Costruzioni in Acciaio in caso di Incendio**.

La Commissione Tecnica, che è composta da rappresentanti nazionali nel campo della ricerca europea, da esponenti del Ministero dell'Interno coinvolti nella definizione del quadro normativo nazionale, da docenti universitari e da liberi professionisti, si propone come un vero e proprio punto di riferimento a livello nazionale per professionisti e operatori di settore italiani sul tema del fuoco.

Il "Nomogramma", primo fra i diversi strumenti tecnici che la **Commissione per la Sicurezza delle Costruzioni in Acciaio in caso di Incendio** intende divulgare, è un semplice supporto operativo, basato sull'Eurocodice EN1993-1-2, a disposizione del professionista per la stima della resistenza al fuoco delle strutture di acciaio.

È sempre possibile un aggiornamento sui lavori della Commissione consultando il sito: www.promozioneacciaio.it

1- INTRODUZIONE

Le richieste di resistenza al fuoco per le strutture (classi di resistenza R30/R60/R90...) sono stabilite dai regolamenti vigenti. Tali requisiti sono fissati in generale sulla base della destinazione d'uso degli edifici, dell'altezza e della superficie in pianta dell'edificio, del carico di incendio, del numero di persone presenti e dell'effetto delle misure di protezione adottate quali, ad esempio gli sprinkler, la rete di idranti, gli evacuatori di fumo e calore, i sistemi di rivelazione, la facilità di accesso degli operatori VVF, etc.

Il presente report descrive il metodo analitico per il calcolo per elementi di acciaio basato sul procedimento semplificato tratto dal documento europeo: **EN 1993-1-2 - Progettazione delle strutture di acciaio. Parte 1-2: Regole generali - Progettazione strutturale contro l'incendio (Luglio 2005)**.

I metodi analitici sono i procedimenti di riferimento per il calcolo di strutture ed elementi strutturali. Essi possono essere attuati in forme avanzate o semplificate, come nel presente report, attraverso il ricorso a grafici o tabelle. I metodi analitici, alternativi in generale alle prove di laboratorio, possono essere da esse integrati, come nel caso della determinazione del contributo offerto dai sistemi protettivi.

2 - PRINCIPI DI CALCOLO

2.1 - Ipotesi generali

Il procedimento di calcolo è applicato ad elementi sottoposti a trazione pura, flessione pura o compressione pura. Il metodo non è applicabile ad elementi soggetti a sollecitazioni composte e a fenomeni di svergolamento. Non sono inclusi metodi di calcolo per elementi con sezione composta acciaio-clt. La sezione risulta verificata fino a che la resistenza di progetto è superiore alle sollecitazioni di progetto:

$$E_{n,d} \leq R_{fi,d,t} \quad [2.1]$$

dove

$E_{n,d}$ sollecitazione di progetto dell'elemento in caso di incendio, ottenuta attraverso la combinazione dei carichi definita nel Testo Unitario "Norme Tecniche per le Costruzioni".

$R_{fi,d,t}$ resistenza di progetto della sezione durante l'incendio, al tempo t , calcolata in accordo a EN 1993-1-2 ($\gamma_{M,fi} = 1.0$).

Le ipotesi principali sono quelle valide nell'ambito del metodo di calcolo semplificato per singoli elementi:

- la curva di incendio impiegata nel calcolo è la curva temperatura-tempo nominale standard (ISO834);
- la temperatura è uniforme sull'elemento strutturale ad ogni istante;
- si trascurano gli effetti delle dilatazioni termiche;
- per le sezioni di classe di duttilità 4 la temperatura critica è 350°C;
- il procedimento è valido per tutti i tipi di acciaio indicati in EN 10025.

2.2 - Caratteristiche meccaniche dell'acciaio alle alte temperature

Le caratteristiche meccaniche dell'acciaio cambiano al variare della temperatura (Fig. 1). Per un elemento con distribuzione di temperatura uniforme la temperatura critica è definita come la temperatura per la quale la resistenza diventa uguale alla sollecitazione dovuta ai carichi applicati.

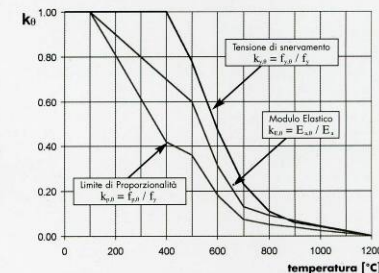


Fig. 1: Curve di riduzione delle caratteristiche meccaniche dell'acciaio

“Approccio prestazionale e progettazione strutturale in condizioni di incendio: i parcheggi multipiano fuori terra”

S. Pustorino - Forum di Prevenzione Incendi 2008 – Roma, 18/06/08



“Nomogramma” – Resistenza al fuoco

“NOMOGRAMMA”

Metodo grafico di valutazione della resistenza al fuoco di
strutture in acciaio



http://www.promozioneacciaio.it/fuoco_home.php

FINE

Grazie per la vostra attenzione