

MINISTERO DELL'INTERNO
Dipartimento dei Vigili del Fuoco, del Soccorso Pubblico e della Difesa Civile
Direzione Centrale per la Prevenzione e la Sicurezza Tecnica
CONVEGNO
“L'APPROCCIO INGEGNERISTICO ALLA SICUREZZA ANTINCENDIO”
Istituto Superiore Antincendi – Roma, 06 Novembre 2007

ESPERIENZE PROGETTUALI CON L'USO DEL METODO PRESTAZIONALE

ing. Sandro Pustorino
(sandro.pustorino@sis-ingegneria.com)
Coordinatore della
Commissione per la Sicurezza delle Costruzioni di Acciaio in caso di Incendio



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

CONTENUTI

- ▶ Sicurezza strutturale in condizioni di incendio
Le strutture di acciaio e la sicurezza in condizioni di incendio

- ▶ Evoluzione dei metodi di calcolo per la progettazione
L'approccio prescrittivo e l'approccio prestazionale

- ▶ L'applicazione al caso degli edifici multipiano adibiti a parcheggio di autovetture



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

S. Pustorino **“Esperienze progettuali con l'uso del metodo prestazionale”**
Istituto Superiore Antincendi – Roma, 06/11/07 2/60



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



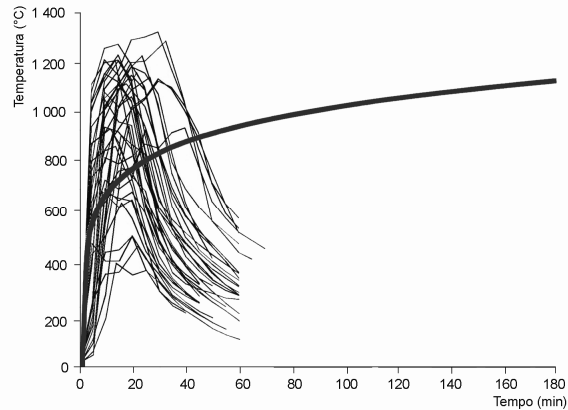
Procedure **per soddisfare il requisiti essenziale,** **Sicurezza in caso di Incendio**

- 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



Capacità portante di una struttura esposta ad incendio: l'AZIONE TERMICA

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



Capacità portante di una struttura esposta ad incendio: l'AZIONE TERMICA

I modelli di incendio previsti da EN1991-1-2

APPROCCIO PRESCRITTIVO:

- ▶ relazioni temperatura-tempo: incendi nominali
- ▶ incendio standard
- ▶ incendio da idrocarburi
- ▶ incendio esterno

APPROCCIO PRESTAZIONALE (INGEGNERISTICO):

- ▶ relazioni temperatura-tempo: curve parametriche
- ▶ modelli a zona (per incendi pre-flashover: incendi localizzati)
- ▶ modelli di fluidodinamica computazionale (CFD)



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

1 - CRITERI DI CALCOLO (1994-1998)

Gruppo di Ricerca

ProfilARBED Research (Lux)
 Univ. di Bochum (Germania)
 CTICM, (Francia)
 TNO, (Olanda)
 Università ETH (Svizzera)
 Università di Liegi (Belgio)
 BCSA (Gran Bretagna)
 Labein (Spagna)
 Structura Engineering (Italia)

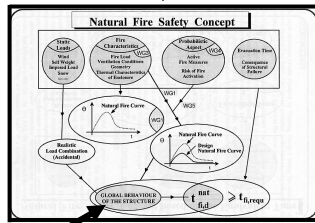
Comitato Consultivo

Service d'Incendie des Sapeurs Professionnels
 Brandschutzsachverständiger
 Ministère de l'Intérieur, Direction de la Sécurité Civile
 Ministerie van Binnenlandse Zaken
 Bureau de Controle SECO
 Department of the Environment
 Dirección General de la Vivienda, la Arqu. y el Urb.
 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"

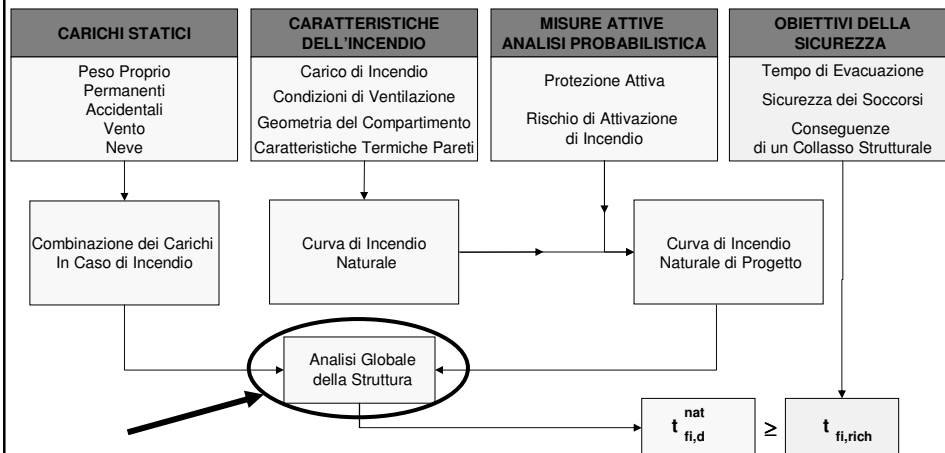


S. Pustorino "Esperienze progettuali con l'uso del metodo prestazionale"
 Istituto Superiore Antincendi – Roma, 06/11/07 7/60



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

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



S. Pustorino "Esperienze progettuali con l'uso del metodo prestazionale"
 Istituto Superiore Antincendi – Roma, 06/11/07 8/60



Il quadro normativo nazionale: il D.M.Int. 9 marzo 2007

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.



Gli Eurocodici: analisi strutturale in condizioni di incendio

La combinazione dei carichi [EN 1990]

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

$G_{k,j}$ 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.

In EN 1991.1.2 è consigliato il valore quasi permanente



Gli Eurocodici: analisi strutturale in condizioni di incendio

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)]

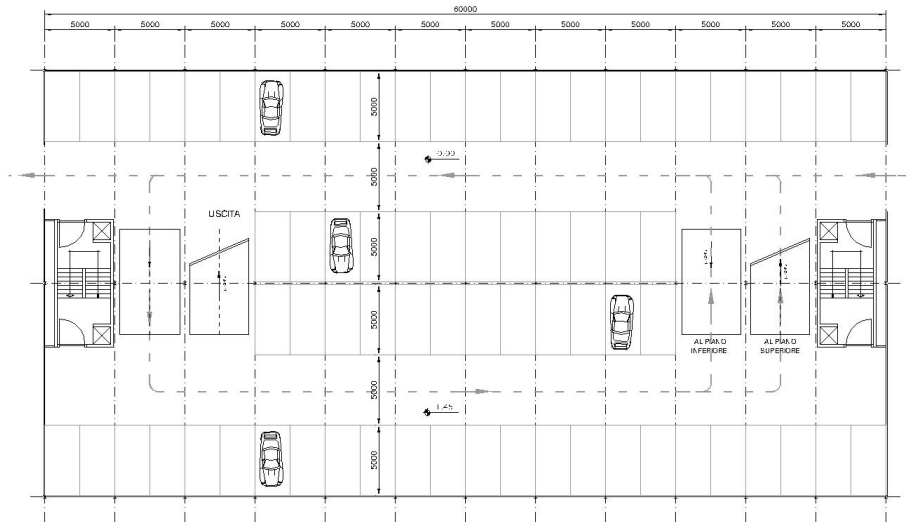
Generalità

- (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.



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



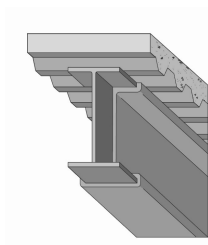
Il caso dei parcheggi multipiano: la sicurezza strutturale in caso di incendio



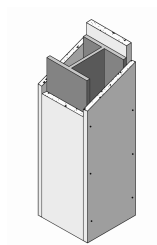
Una realizzazione in Lussemburgo

Il caso dei parcheggi multipiano: la sicurezza strutturale in caso di incendio
2 modi diversi di procedere

- 1) Approccio prescrittivo: strutture portanti R90



cementizi spruzzati



pannelli prefabbricati

Il caso dei parcheggi multipiano: la sicurezza strutturale in caso di incendio
2 modi diversi di procedere

2) Approccio prestazionale

- ▶ Definizione degli scenari di incendio di progetto più pericolosi
- ▶ Analisi globale della struttura portante
- ▶ Verifica della stabilità della struttura portante per tutta la durata dell'incendio di progetto



Il caso dei parcheggi multipiano: la sicurezza strutturale in caso di incendio
La ricerca pre-normativa

■ Indagine statistica di incendi in parcheggi

Classificazione sulla base del potenziale termico

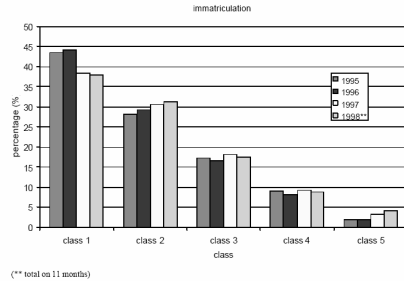
Tipo	Categoria 1	Categoria 2	Categoria 3	Categoria 4	Categoria 5
Peugeot	106	306	406	605	806
Renault	Tingo-Clio	Megane	Laguna	Safrane	Espace
Citroen	Saxo	ZX	Xantia	XM	Evasion
Ford	Fiesta	Escort	Mondeo	Scorpio	Galaxy
Opel	Corsa	Astra	Vectra	Omega	Frontera
Fiat	Punto	Bravo	Tempra	Croma	Ulysse
Wolkswagen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

Modelli in circolazione tra il 1995 e il 1998



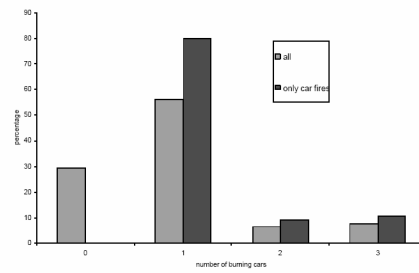
Il caso dei parcheggi multipiano: la sicurezza strutturale in caso di incendio
La ricerca pre-normativa

■ Indagine statistica di incendi in parcheggi

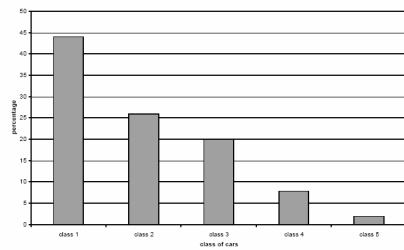


(** total on 11 months)

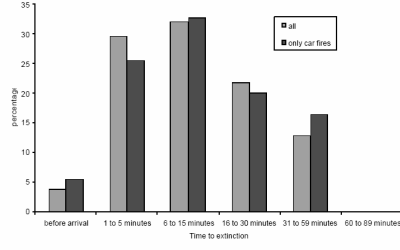
Distr. sul mercato in base alla classificazione



Parigi - 55 casi di incendio (72 auto coinvolte)



Parigi - Su 50 casi di incendio



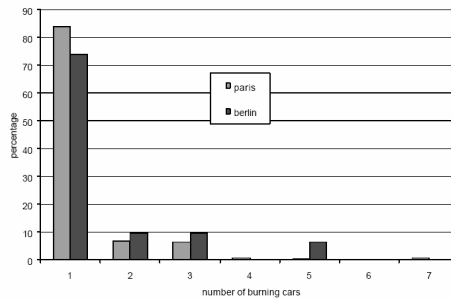
Tempi di estinzione dell'incendio

Il caso dei parcheggi multipiano: la sicurezza strutturale in caso di incendio
La ricerca pre-normativa

■ Indagine statistica di incendi in parcheggi

Berlino - Casi di incendio in base alla classificazione

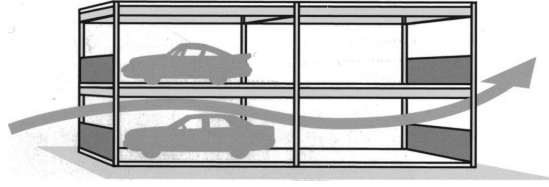
Numero di auto	1994	1995	1996	1997	1998	Totale	Percentuale
0	18	13	8	13	5	57	65
1	7	2	2	6	6	23	26
2	1	1	0	1	0	3	3,4
3	1	1	0	0	1	3	3,4
4	0	0	0	0	0	0	0
5	1	0	1	0	0	2	2,2



Parigi+Berlino - Casi di incendio in base alla classificazione

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.

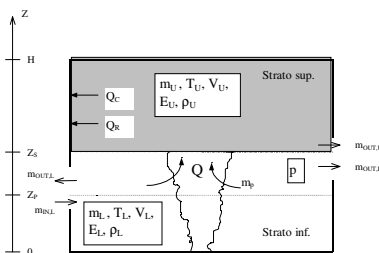
► Dall'analisi statistica e sperimentale:

I possibili casi di incendio sono **incendi di tipo localizzato**

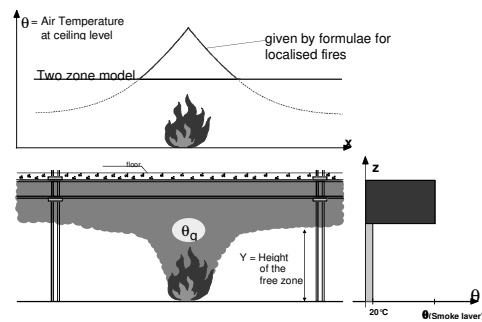


Capacità portante di una struttura esposta ad incendio: l'AZIONE TERMICA

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



Modello a due zone

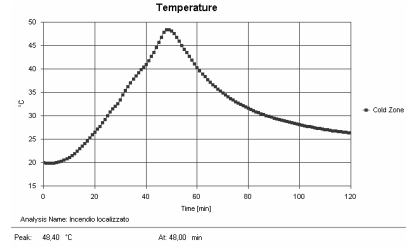
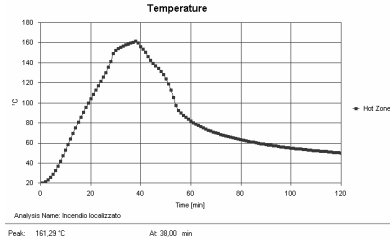


Combinazione di modello a 2 zone ed incendi localizzati

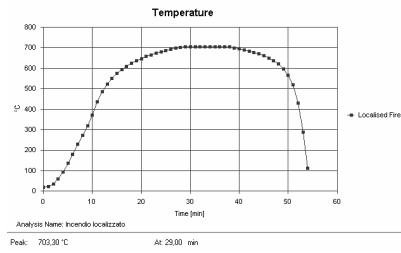


Capacità portante di una struttura esposta ad incendio: l'AZIONE TERMICA

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



Modello a 2 zone:
strato superiore



Modello a 2 zone:
strato inferiore

Incendio
localizzato



Commissione per la Sicurezza
delle Costruzioni in Acciaio
in caso di incendio

S. Pustorino "Esperienze progettuali con l'uso del metodo prestazionale"
Istituto Superiore Antincendi – Roma, 06/11/07 21/60



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

- Le prove sperimentali per la definizione della curva RHR



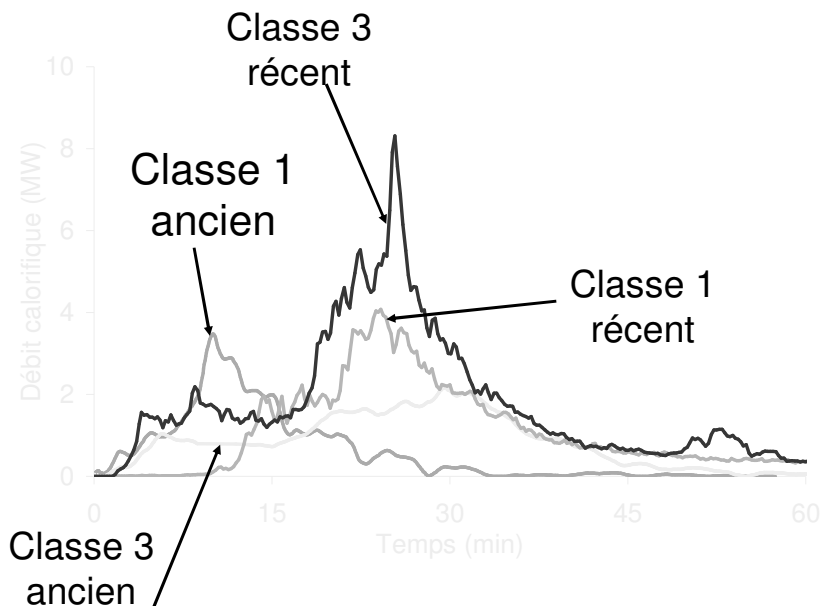
Commissione per la Sicurezza
delle Costruzioni in Acciaio
in caso di incendio

S. Pustorino "Esperienze progettuali con l'uso del metodo prestazionale"
Istituto Superiore Antincendi – Roma, 06/11/07 22/60



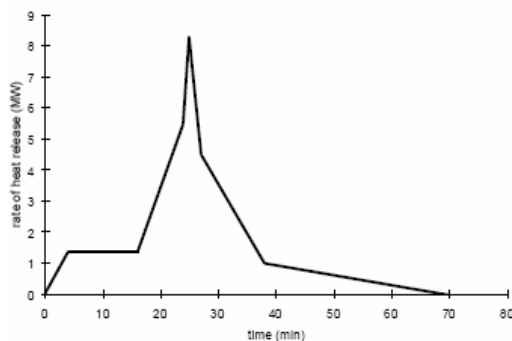
I parcheggi multipiano e la sicurezza strutturale in caso di incendio: la verifica sperimentale

- Curva RHR di auto, per categorie ed epoca



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

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

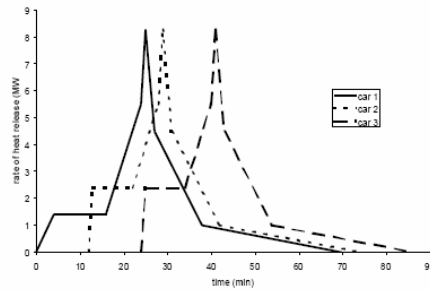
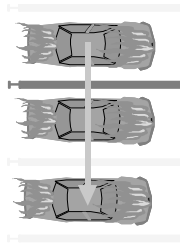


(involuppo delle registrazioni)



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

- Curva RHR di progetto di tre auto di classe 3

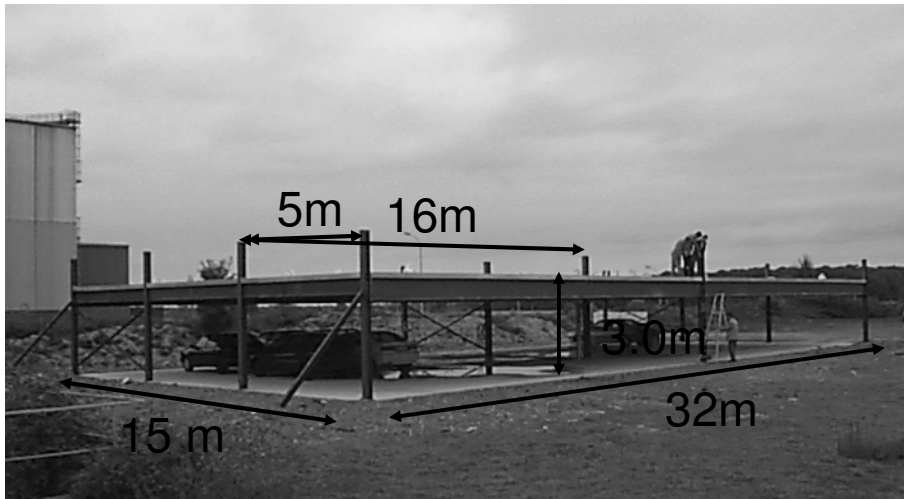


- Intervallo di tempo tra la combustione di due auto: 12 min



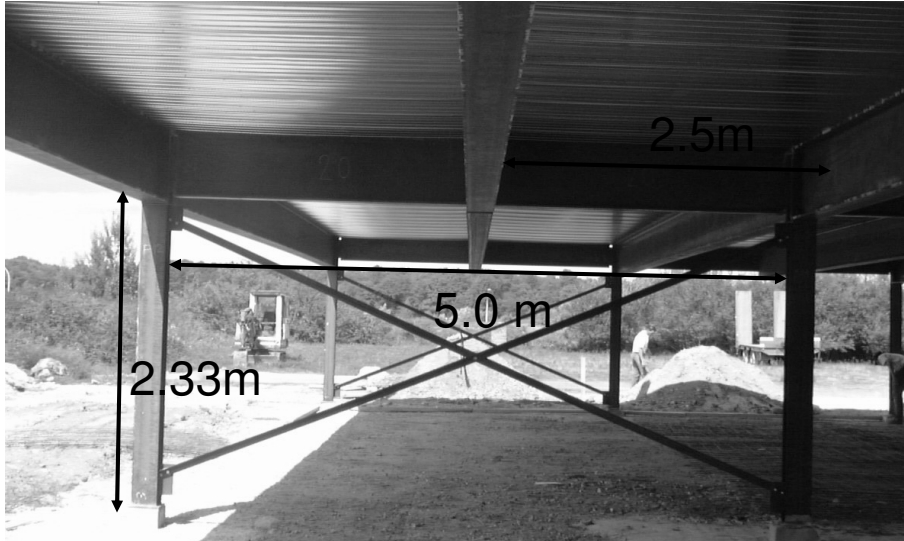
I parcheggi multipiano e la sicurezza strutturale in caso di incendio: la verifica sperimentale

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



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

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



S. Pustorino "Esperienze progettuali con l'uso del metodo prestazionale"

Istituto Superiore Antincendi – Roma, 06/11/07 27/60



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



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

