

# Forum di Prevenzione Incendi

MILANO, 26 OTTOBRE 2011

## *DANNI DA FUMO - DATI STATISTICI E INGEGNERIA ANTINCENDIO*



MINISTERO DELL'INTERNO - DIPARTIMENTO DEI VIGILI DEL FUOCO, DEL SOCCORSO PUBBLICO E  
DELLA DIFESA CIVILE

Direzione Centrale per la Prevenzione e la Sicurezza Tecnica  
Dott. Ing. Lamberto Mazziotti – [lamberto.mazziotti@vigilfuoco.it](mailto:lamberto.mazziotti@vigilfuoco.it)



E' noto che la maggior parte delle vittime a seguito di incendio è attribuibile alla inalazione dei fumi

Ma in che misura ciò avviene?

E quale è il legame che esiste tra entità del danno prodotto dalla inalazione dei fumi (n. vittime) e l'evoluzione di un incendio?

Ci si pone quindi il problema di identificare quelle condizioni di incendio per le quali l'inalazione dei fumi, da parte delle persone coinvolte, può essere fattore predominante di danno o, addirittura, di morte.



## STRUMENTO IMPORTANTE E DI GRANDE AIUTO:

### "IL DATO STORICO-STATISTICO"

Negli Stati Uniti esistono parecchi dati in basi ai quali, in funzione della natura dell'incidente (bruciature/ustioni, inalazione di fumo ecc...), sono stati classificati i decessi da fuoco e su tali dati sono stati già eseguiti appositi studi.

#### 1) STUDIO ESEGUITO Da Berl e Halpin, nel 1978

Esso si basa sull'analisi di una serie di dati che riportano **473** vittime da incendio, avvenute tra il **1972** ed il **1977** nello Stato del Maryland.

Lo studio è unicamente basato sui risultati derivanti da autopsie eseguite sulle vittime da parte di personale medico.

L'analisi, pertanto, non fa riferimento ad informazione sulla dinamica dell'incendio o a notizie/informazioni "tecniche" da parte del personale di soccorso.

**ANALISI, QUINDI, INCENTRATA SU INFORMAZIONI RIGUARDANTI IL LIVELLO DI CARBOSSIEMOGLOBINA NEL SANGUE DELLE VITTIME !**



## QUESTI I RISULTATI

Sul 48% delle vittime sono stati riscontrati livelli letali di carbossiemoglobina (corrispondenti al 50% di inquinamento da ossido di carbonio nel sangue)

sul 26% delle vittime sono stati rilevati valori di inquinamento del sangue da carbossiemoglobina compresi tra il 30% e il 50%, assieme ad altre circostanze (avvelenamento da cianuro, difetti cardiaci preesistenti ecc.)

sul 18% sono stati riscontrati danni termici apparentemente letali associati a livelli molto bassi di carbossiemoglobina nel sangue (< 30%)

una percentuale di vittime pari all' 8% è stata considerata come associabile a "danni fisici non direttamente derivante dall'incendio" o comunque derivante da cause non note o sconosciute



L'analisi dei dati mostra che una percentuale di vittime pari al 74% risulta associabile alla inalazione dei fumi

Essa rappresenta, infatti, i 3/4 del totale delle vittime occorse !

Solo una percentuale corrispondente a 1/4 delle vittime non va associata alla presenza e quindi alla inalazione dei fumi (cause riconducibili, in larga parte, al calore presente oppure alle fiamme provocate dalla ignizione di vestiti o di altro materiale posto nelle immediate vicinanze delle stesse vittime).

Comunque l'approccio seguito nello studio è basato sulla assunzione che la presenza di ossido di carbonio è la causa più facile di morte e che ogni altra eventuale causa di morte dovrebbe essere considerata solo dopo avere verificato che la presenza di ossido di carbonio nel sangue non sia sufficiente a spiegare la morte.

In definitiva tale approccio sembra sovrastimi l'importanza della inalazione dei fumi in generale e della presenza di CO in particolare.



## 2) Studio eseguito da HARWOOD E HALL (USA) nel 1989 sulla base di dati di incidenti raccolti tra il 1979 e il 1985

A differenza dei precedenti questi dati prendono in considerazione altri fattori o circostanze che hanno condizionato il verificarsi delle morti, con un peso maggiore dato alle alte temperature a cui le persone decedute sono state sottoposte durante l'incendio (a seguito di ignizione dei vestiti oppure di ignizione di altri materiali infiammabili nelle vicinanze)...

**ma anche in questo caso... è stato riscontrato un rapporto di 2 a 1 tra i morti per inalazione dei fumi e i morti derivanti da altre cause**

**Sono stime certamente più basse di quelle precedenti, ma sempre molto significative per potere affermare che la maggior parte delle vittime è determinata dalla inalazione dei fumi ovvero dei gas contenuti nei fumi**



### 3) DATI DEL "FIRE DEPARTEMENT(USA)"

I dati raccolti dal Fire Department degli Stati Uniti risalgono agli anni compresi tra il 1986 ed il 1990. Questi dati non sono dati medici in quanto le informazioni sono state fornite da addetti o funzionari del soccorso.

Essi, pertanto, non tengono conto di autopsie sulle vittime ma solo di dati tecnici e ambientali rilevati o osservati dopo l'evento.

Manca quindi il dato medico, ma ci accorgeremo che questa non è una grande limitazione !

Molti dati, inoltre, sono stati raccolti come vittime causate dal "calore e dal fumo assieme" senza specificare il relativo contributo di ciascun dei due fattori.



## TABELLA 1

Vittime solo a causa di inalazione di fumi, in funzione del livello di estensione del danno e della ubicazione o posizione delle vittime (media annuale 1986 - 1990)

ESTENSIONE DEL DANNO CAUSATO DALLE FIAMME			
UBICAZIONE DELLE VITTIME	CONFINATI NELLA STANZA O COMPARTIMENTO IN CUI HA AVUTO ORIGINE L'INCENDIO	ESTESI OLTRE LA STANZA O COMPARTIMENTO IN CUI HA AVUTO ORIGINE L'INCENDIO	Totali
Vicino al punto di origine del fuoco	12 (1,6%)	29 (3,7%)	41 (5,2%)
Nella stanza o compartimento in cui ha avuto origine l'incendio ma non vicino alla sorgente di ignizione	46 (5,8%)	69 (8,8%)	115 (14,5%)
Al di fuori della stanza o compartimento di origine dell'incendio	114 (14,30%)	522 (65,8%)	636 (80,1%)
Non classificati	0	1 (0,1%)	(0,1%)
<b>Totali</b>	<b>172 (21%)</b>	<b>621 (78,3%)</b>	<b>793 (100%)</b>

2/3 delle vittime (65,8%) si trovano al di fuori della stanza di origine del fuoco quando i danni sono estesi in altre stanze

Solo il 5,2% delle vittime si trova vicino al fuoco, ancorché i danni siano estesi anche a compartimenti attigui. Il 19,7% sono in totale le vittime che stanno nella stanza di origine dell'incendio





## TABELLA 2

Vittime solo a causa delle alte temperature (ustioni, bruciature), in funzione del livello di estensione del danno e della ubicazione o posizione delle vittime (media annuale 1986 - 1990).

ESTENSIONE DEL DANNO CAUSATO DALLE FIAMME			
UBICAZIONE DELLE VITTIME	CONFINATI NELLA STANZA O COMPARTIMENTO IN CUI HA AVUTO ORIGINE L'INCENDIO	ESTESI OLTRE LA STANZA O COMPARTIMENTO IN CUI HA AVUTO ORIGINE L'INCENDIO	Totali
Vicino al punto di origine del fuoco	65 (30.3%)	36 (16.7%)	101(47.0%)
Nella stanza o compartimento in cui ha avuto origine l'incendio ma non vicino alla sorgente di ignizione	20 (9.1%)	36 (16.9%)	56 (26.0%)
Al di fuori della stanza o compartimento di origine dell'incendio	4 (2.1%)	52 (24.1%)	56 (26.2%)
Non classificati	1(0.4%)	1 (0.4%)	2 (0.9%)
Totali	90 (41.9%)	125 (58.1%)	216 (100%)


Il 73% delle vittime si trova nel luogo di origine del fuoco



### TABELLA 3

Vittime a causa di inalazione di fumo e di bruciature/ustioni, in funzione del livello di estensione del danno e della ubicazione o posizione delle vittime (media annuale 1986 - 1990).

ESTENSIONE DEL DANNO CAUSATO DALLE FIAMME			
UBICAZIONE DELLE VITTIME	CONFINATI NELLA STANZA O COMPARTIMENTO IN CUI HA AVUTO ORIGINE L'INCENDIO	ESTESI OLTRE LA STANZA O COMPARTIMENTO IN CUI HA AVUTO ORIGINE L'INCENDIO	Totali
Vicino al punto di origine del fuoco	201 (6.9%)	326 (11.3%)	527 (18.2%)
Nella stanza o compartimento in cui ha avuto origine l'incendio ma non vicino alla sorgente di ignizione	174 (6.0%)	544 (18.8%)	717 (24.8%)
Al di fuori della stanza o compartimento di origine dell'incendio	104 (3.6%)	1523 (52.8%)	1628 (56.4%)
Non classificati	2(0.1%)	13 (0.5%)	15 (0.5%)
Totali	481 (16.7%)	2406 (83.3%)	2887 (100%)

 = 43%



**L'ESAME DEI DATI MOSTRA CHE SOLO A CAUSA DEL FUMO SI SONO VERIFICATE 793 VITTIME MENTRE SOLO A CAUSA DELLE ALTE TEMPERATURE (USTIONI) SI SONO VERIFICATE 216 VITTIME**

**QUESTO SIGNIFICA CHE I MORTI DA FUMO SONO STATI 3,6 VOLTE SUPERIORI A QUELLI CAUSATE DALL'AZIONE DELLE FIAMME (CALORE)**

### **2/3 delle vittime sono state causate dalla inalazione di fumo!**

**Il numero di vittime diminuisce nel corso di un incendio quando i danni sono concentrati nella stanza di origine (tabella 3).**

**i morti causati dal calore (temperatura) sono per la maggior parte concentrati vicino alla sorgente di ignizione, ma questi aumentano mano mano che il danno si estende ad altri locali adiacenti a quello in cui ha avuto origine l'incendio (tabella 2).**

**Le vittime causate dall'azione del fumo, invece, sono per la maggior parte concentrati al di fuori della stanza di origine e, quando i danni sono estesi anche ad altri locali adiacenti, il numero cresce in modo esorbitante con un rapporto di 5 a 1 circa!**

**IN ALTRI TERMINI, CERTAMENTE ESISTE UN LEGAME IMPORTANTE TRA IL NUMERO DELLE VITTIME E LA LORO POSIZIONE RISPETTO ALLA SORGENTE DI IGNIZIONE, MA ESISTE UN LEGAME CHE APPARE ANCORA PIÙ RILEVANTE TRA IL NUMERO DELLE VITTIME E LA ESTENSIONE DEL DANNO CAUSATO DAL FUOCO, CHE POSSIAMO OVVIAMENTE CONSIDERARE IN DIRETTA CONNESSIONE CON LO STADIO DI EVOLUZIONE DELL'INCENDIO.**



**MINISTERO DELL'INTERNO - DIPARTIMENTO DEI VIGILI DEL FUOCO, DEL SOCCORSO PUBBLICO E DELLA DIFESA CIVILE**

**Direzione Centrale per la Prevenzione e la Sicurezza Tecnica  
Dott. Ing. Lamberto Mazziotti – [lamberto.mazziotti@vigilfuoco.it](mailto:lamberto.mazziotti@vigilfuoco.it)**



## QUALI TIPI DI EVOLUZIONE DI INCENDIO CONOSCIAMO?

### BSI (British Standard Institution) - SEI CLASSI O TIPI DI INCENDIO

1. Fuochi di tipo covante i quali si autosostengono (es. sigarette sulla tappezzerie oppure sul letto);
2. Ossidazione veloce senza fiamma a seguito di processi di decomposizione;
3. Decomposizione dovuta a pirolisi senza sviluppo di fiamma (cavi elettrici surriscaldati);
4. Fuochi con sviluppo di fiamma ma senza effetti visibili di propagazione (Pre-flashover);
5. Fuochi interamente sviluppati in presenza di alta ventilazione (Post-flashover, incendi controllati dal combustibile);
6. Fuochi interamente sviluppati in presenza di bassa ventilazione (Post-flashover, incendi controllati dalla ventilazione).

Gli incendi indicati ai p.ti 1, 2 e 3 hanno di norma basse produzioni di fumo ed è difficile che provochino condizioni critiche o letali (statistiche e le prove di laboratorio, eccetto che per una piccola frazione di vittime relativamente vicine alla sorgente del fuoco, ovviamente qualora gli stessi non evolvano e quindi si esauriscano in tali fasi). Gli incendi importanti sono quelli indicati ai numeri **4, 5 e 6**.

Abbiamo peraltro intuito precedentemente, dai dati tabellati, che la maggior parte delle vittime occorrono in una fase di post - flashover poiché è presumibile che a maggiori danni rilevati corrispondano evoluzioni estreme dell'incendio.



TEST DI LABORATORIO che hanno simulato le condizioni di pre-flash over: obiettivo connesso all'ottenimento di notizie sulla mortalità in tali condizioni (Fonte: NIST 1988, 1991, test in scala reale, prove su animali)

Confermano i dati precedenti ovvero mostrano una esatta corrispondenza delle precedenti percentuali riferite alla inalazione di fumi nella fase di pre-flashover, utilizzando vari prodotti in uso nelle costruzioni:

1988

Table 4. Results from pre-flashover animal exposures in tests of FR commodities

Test	Total animals exposed	Total animals dead
F1	18	0
FX1	18	0
FX1a	18	11

1991

Table 5. Results from pre-flashover animal exposures in first validation series

Test material	Total animals exposed	Total animals dead
Douglas fir	12	6
PVC	6	0

1994

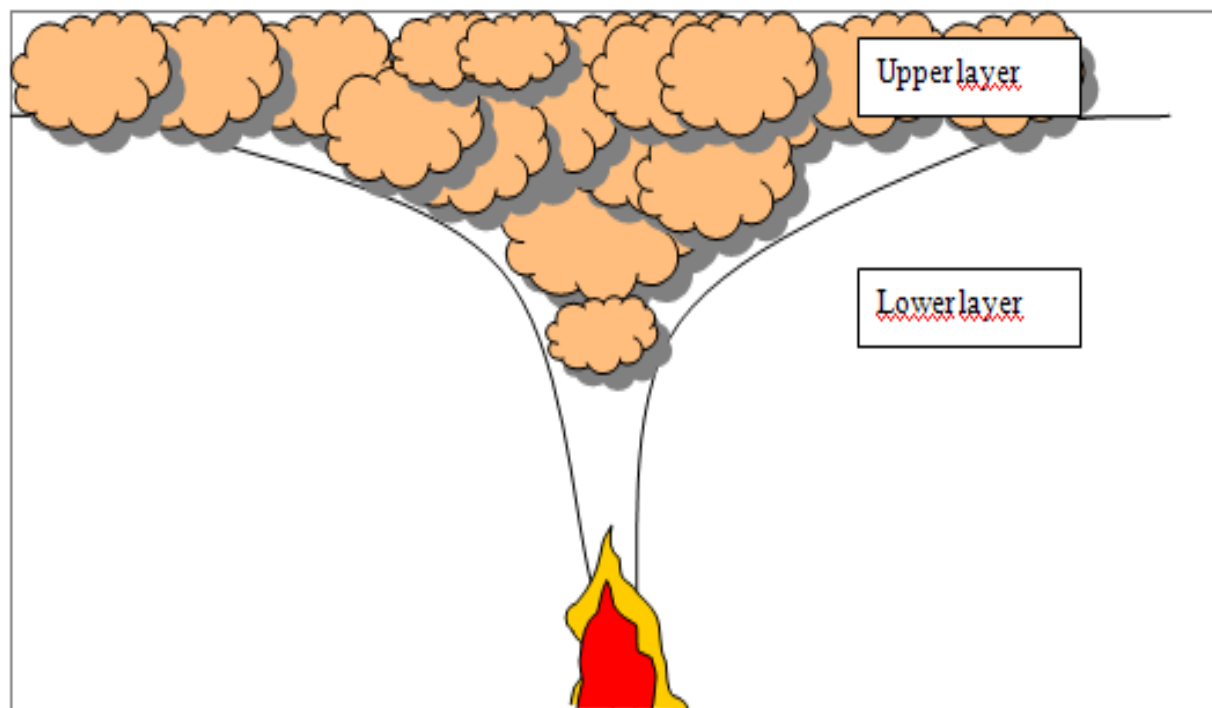
Table 6. Results from pre-flashover animal exposures in second validation series

Test material	Total animals exposed	Total animals dead
Cork board	12	0
Melamine/vermiculite composite marine board	36	4



## Fire Engineering - APPLICAZIONE MODELLI CON RIFERIMENTO ALLA FASE DI PRE FLASHOVER (Modello a due zone, CFAST versione 1.6)

Il modello utilizzato è quello a zone ed in particolare quello a 2 zone, attraverso il quale viene considerato che la spinta di galleggiamento dei gas caldi prodotti da un incendio causa una stratificazione (2 strati), uno caldo superiore e uno meno caldo o freddo che è quello inferiore



MINISTERO DELL'INTERNO - DIPARTIMENTO DEI VIGILI DEL FUOCO, DEL SOCCORSO PUBBLICO E DELLA DIFESA CIVILE

Direzione Centrale per la Prevenzione e la Sicurezza Tecnica  
Dott. Ing. Lamberto Mazziotti – [lamberto.mazziotti@vigilfuoco.it](mailto:lamberto.mazziotti@vigilfuoco.it)



# I VALORI LIMITI ADOTTATI

## TEMPERATURA --- VALORE LIMITE ASSUNTO PARI A 100°C

Gli effetti di T dipendono non solo dal tempo di esposizione, ma anche da altri fattori come l'umidità relativa e l'interazione tra il calore e i gas presenti.

**Blockey** (1949 Prove sperimentali)  $\Rightarrow$  persone adulte vestite ed in uno stato di inattività possono resistere a 100°C anche per 30 minuti prima che la loro condizione di vita diventi insopportabile; a 75°C si può invece vivere per circa 60 minuti.

**ZAPP** (1974)  $\Rightarrow$  temperature dell'ordine di 100° possono essere sopportate solo per alcuni minuti e solo sotto speciali condizioni (es. aria calma) e molte persone non possono respirare quando la temperatura raggiunge i 65°C

**Sperimentazioni eseguite su maiali**  $\Rightarrow$  resistono a 120°C per circa 2 minuti senza danni apprezzabili, a 100°C per 5 minuti e a 90°C per circa 10

**ISO -TR 13387-8:1999 + ISO/DTS 13571**  $\Rightarrow$  prendono in considerazione sia le esposizioni che causano dolori e ustioni sulla pelle (Flusso di calore radiante) sia le esposizioni che possono provocare il Colpo di calore o ipertermia (Flusso di calore convettivo), introducendo il concetto di DOSE FRAZIONATA INVALIDANTE (Fractional incapacitating dose) calcolata come somma dei due effetti.

Flusso calore Radiante = limite di tolleranza per esposizione della pelle = 2,5 kW/m<sup>2</sup> ( 200°C).

Al di sotto di tale livello l'esposizione può essere tollerata per parecchi minuti. Tale tempo decresce rapidamente fino a 4 secondi circa quando tale flusso diviene pari a 10kW/m<sup>2</sup>.

Flusso di calore convettivo = possibilità di ustioni a temperatura al di sopra di 121°C e ipertermia a temperature inferiori



## POTENZA TOSSICA $C_t$

La minaccia della vita a causa dell'azione dei gas tossici presenti nei fumi di un incendio dipende dal tempo di esposizione e dal livello di concentrazione dei gas presenti.

Il prodotto di questi due fattori ( $C_t$ ) è tipicamente usato per caratterizzare l'esposizione di una persona.

Molti studi mostrano che il valore di **900 gr x min/mc** si può assumere come valore limite di riferimento connesso alla letalità da fumo (effetto irritante + effetto tossico dei gas), e ciò con riferimento alla maggior parte di incendi che interessano tipologie di materiali usualmente presenti negli edifici con presenza di persone (materiali non identificati sia per qualità che per quantità - vedi anche punto 7.4 della ISO/DTS 13571).

Tale valore proposto viene fuori da una concentrazione di 30 gr/mc per una esposizione pari a 30 minuti.





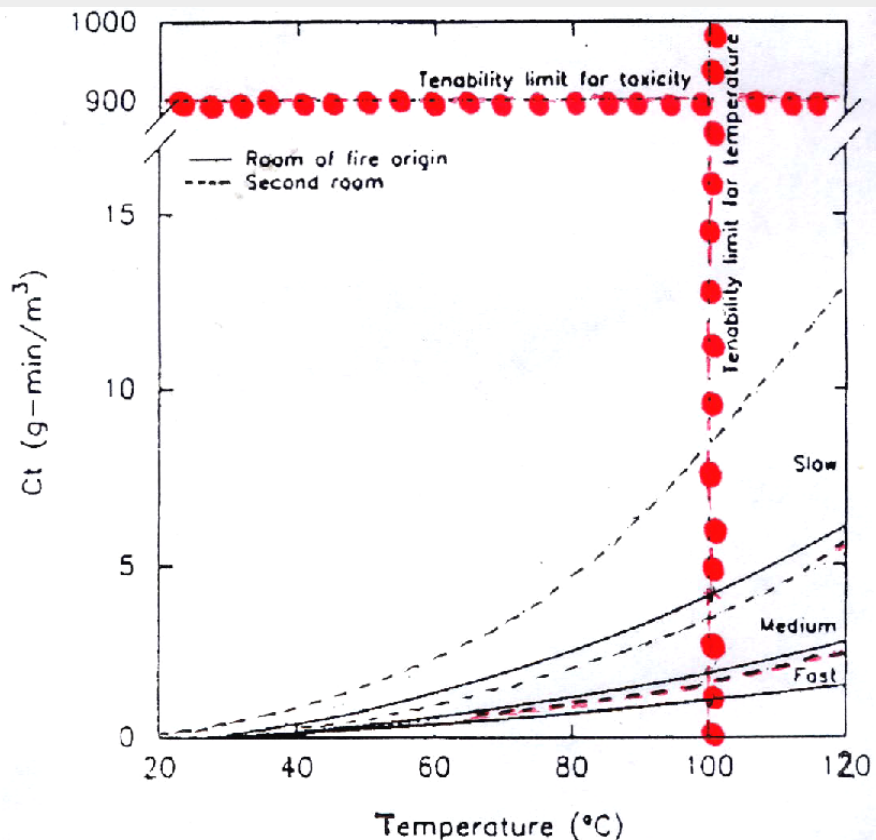


Figure 1. Relative impact of toxicity and thermal effects in the room of fire origin and a second connected room for a range of fire growth rates.

La prima cosa che si nota è che vi sono differenze passando da un incendio lento ad uno veloce. Possiamo, infatti, vedere che la crescita lenta del fuoco produce, a parità di temperatura con le altre tipologie di fuochi, una più alta concentrazione di gas tossici.

Questo fatto accade perché la perdita di calore tra lo strato caldo superiore ed i muri esterni avviene molto più velocemente rispetto alla diluizione dei fumi.

Per tutti i fuochi il limite di temperatura, all'interno dello strato dei fumi caldi, sia nella stanza di origine che in quella adiacente, viene raggiunto prima del limite di tossicità.

Se facciamo riferimento al limite termico, un valore di  $Ct = 0,1 - 3 \text{ gr} \times \text{min}/\text{mc}$  dovrebbe essere sufficiente ad uccidere per inalazione all'interno della stanza di origine quando però viene a sommarsi l'effetto del calore o della temperatura (azione contemporanea).

Si osserva anche il fatto che è improbabile pensare a vittime da fumo in una fase di pre flash over poiché quando viene raggiunto il limite termico ( $100^\circ\text{C}$ ), per pensare a vittime da inalazione dal fumo, dovremmo ammettere per 30 minuti di esposizione un valore di  $LC50$  pari a  $0,1 \text{ gm}^{-3}$  e a nessun materiale da costruzione risultano comunemente associabili valori così bassi di  $LC50$ .

Si può anche vedere che l'importanza relativa della inalazione dei fumi cresce muovendoci dal comparto di origine a quello adiacente. E ciò può essere dovuto al fatto che la perdita di calore dallo strato di fumo nella stanza adiacente avviene più velocemente della diluizione dei gas caldi all'interno dell'aria contenuta nella stanza stessa.



Ma... Non si dovrebbero comunque tirare le conclusioni che, nelle condizioni di pre-flashover previste dal modello, non vi siano vittime all'interno della stanza di origine **A CAUSA DEL FUMO**

Dalla tabella 1 circa il 7% delle vittime causate dal solo fumo (danni solo nella stanza di origine) è stato trovato nella stanza di origine. Allora si può presumere che queste persone devono essere state molto vicine alla sorgente di ignizione. Essi hanno respirato il fumo per un tempo sufficientemente lungo e tale da provocare la morte, ma prima che lo stesso fumo si fosse ben disperso all'interno dello strato superiore.

Poiché i danni da calore nella tabella 1 non sono stati identificati come contributo alla fatalità (come invece sono stati rilevati nella tabella 3), gli incendi non devono avere prodotto sufficienti fiamme o calore tali da provocare danni (questo è ragionevole per fuochi di tipo 1 che rimangono tali finché la morte non sopraggiunge come ad esempio fumatori a letto con caduta di sigaretta e successiva ignizione del letto o dei mobili imbottiti vicini).



## CONCLUSIONI

- Le condizioni di post - flashover risulterebbero necessarie perché si producano sufficienti quantità di fumo tali da provocare la morte per inalazione, soprattutto di persone presenti nei locali attigui al locale di origine del fuoco (R=1/5)
- le vittime per inalazione di fumi di un incendio si verificano in maniera predominante dopo che l'incendio ha superato la fase di flash over
- La maggior parte di vittime da fumo risulta in genere situata in locali diversi da quello in cui si è originato l'incendio
- Entro la stanza di origine dell'incendio l'inalazione dei fumi sembra avere meno importanza dell'effetto termico (solo una piccola parte di vittime si verifica a causa della inalazione di fumi tossici all'interno della stanza di origine, presumibilmente a causa di inalazione di effluenti per lungo tempo)



- **L'IMPORTANZA DELLA SCELTA DEI MATERIALI (Es. euroclassi per la reazione al fuoco...oggi ne sappiamo di più!)**
- **L'IMPORTANZA DI UNA CORRETTA SCELTA E DIMENSIONAMENTO DEGLI IMPIANTI DI PROTEZIONE ATTIVA (NEL CASO SPECIFICO IMP. EVACUAZIONE FUMI)**



"Fire condition for smoke toxicity measurement"

**Richard Gann, Vytenis Babrauskas, Richard D. Peacock  
(NIST)**

- **LE TECNICHE DELLA FIRE ENGINEERING** sono in grado di interpretare i dati storico - statistici disponibili su incendi occorsi con danni alle persone, possono quindi costituire modelli di previsione e di conseguente progettazione degli impianti
- **I DATI STORICO - STATISTICI** possono rappresentare uno dei migliori strumenti di validazione dei modelli utilizzati.



**MINISTERO DELL'INTERNO - DIPARTIMENTO DEI VIGILI DEL FUOCO, DEL SOCCORSO PUBBLICO E DELLA DIFESA CIVILE**

Direzione Centrale per la Prevenzione e la Sicurezza Tecnica  
Dott. Ing. Lamberto Mazziotti – [lamberto.mazziotti@vigilfuoco.it](mailto:lamberto.mazziotti@vigilfuoco.it)



... E... vi ringrazio per la vostra  
cortese attenzione



**MINISTERO DELL'INTERNO - DIPARTIMENTO DEI VIGILI DEL FUOCO, DEL SOCCORSO PUBBLICO E  
DELLA DIFESA CIVILE**

Direzione Centrale per la Prevenzione e la Sicurezza Tecnica  
Dott. Ing. Lamberto Mazziotti – [lamberto.mazziotti@vigilfuoco.it](mailto:lamberto.mazziotti@vigilfuoco.it)

