

LE VITTIME CAUSATE DALLA INALAZIONE DEI FUMI

Lamberto MAZZIOTTI

DIREZIONE CENTRALE PER LA PREVENZIONE E LA
SICUREZZA TECNICA
Dirigente Area Protezione Passiva

- **E' noto che la maggior parte delle vittime a seguito di incendio è attribuibile alla inalazione dei fumi**
- **ma risulta ancora in fase di indagine il legame che può esistere tra il tipo o l'evoluzione di un incendio e le vittime provocate dalla inalazione dei fumi, anche in relazione alla loro posizione o ubicazione rispetto al luogo o locale di origine dell'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, SPESSO, DI GRANDE AIUTO: L'ANALISI SULLA BASE DI DATI

- Negli Stati Uniti esistono parecchi dati in basi ai quali, in funzione della natura dell'incidente (bruciature, inalazione di fumo ecc...), sono state classificate le morti da fuoco e su tali dati sono stati già eseguiti appositi studi.
- Un primo studio che viene indicato è quello 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 carbossemoglobina (corrispondenti al 50% di inquinamento del sangue da ossido di carbonio);

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

sul 18% venivano riscontrati danni termici apparentemente letali associati a livelli molto bassi di carbossemoglobina 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 presenti (per tale percentuale di vittime le cause possono invece ben essere ricondotte, 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 è quello di assumere 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.

Sempre negli Stati Uniti, altri dati vennero raccolti tra il 1979 e il 1985 (HARWOOD E HALL, 1989).

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.**

Una terza sorgente di dati è quella del Fire Department 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 (Tab. 3).

TABELLA 1

Vittime a causa di inalazione di fumi - a seguito incendio, in funzione del livello di estensione del danno e della ubicazione o posizione delle vittime. Nella tabella viene riportata la media annuale calcolata tra il 1986 ed il 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%)
Totali	172 (21%)	621 (78,3%)	793 (100%)

TABELLA 2

Vittime a causa delle alte temperature (ustioni, bruciature), in funzione del livello di estensione del danno e della ubicazione o posizione delle vittime. Nella tabella viene riportata la media annuale calcolata tra il 1986 ed il 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%)

TABELLA 3

Vittime a causa di inalazione di fumo e di bruciature/ustioni in incendi, in funzione del livello di estensione del danno e della ubicazione o posizione delle vittime. Nella tabella viene riportata la media annuale calcolata tra il 1986 ed il 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%)

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).

In definitiva i 2/3 delle morti per incendio 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).

Un altro dato che emerge è che 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.

QUALI TIPI DI EVOLUZIONE DI INCENDIO CONOSCIAMO?

BSI, British Standard Institution ha sviluppato un metodo per classificare gli incendi oggi normalmente accettato a livello internazionale, **METODO CHE PREVEDE 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).**

Le statistiche e le prove di laboratorio mostrano che 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, 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 (danni estesi ad altri ambienti rispetto a quello in cui il fuoco si è originato).

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 seguite su animali hanno confermato i dati precedenti ovvero hanno mostrato una esatta corrispondenza delle percentuali di morte da inalazione di fumi avvenute nella fase di pre-flashover, utilizzando vari prodotti in uso nelle costruzioni:

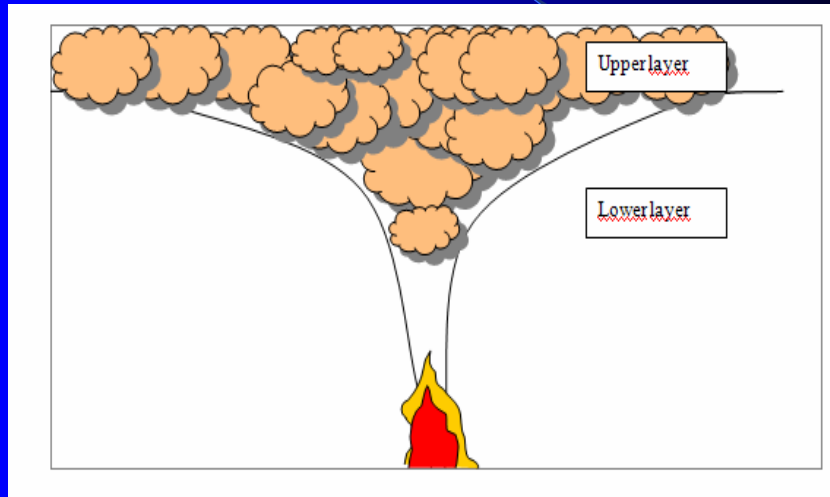
21 animali morti (topi) su 121 in totale sottoposti ad incendi iniziali o tipici della fase di pre-flashover (< del 20%).

E' stato giustificato con il fatto che l'effetto di stratificazione, tipico del pre-flashover, non provoca eccessive concentrazioni nelle parti basse dell'ambiente dove gli animali sono quindi riusciti a sopravvivere.

Ricordiamo che, dalla analisi delle precedenti tabelle, siamo già arrivati alla conclusione che le vittime nella stanza di origine (con danni solo nella stanza di origine ovvero in presumibili situazioni di pre-flashover), costituiscono solo 1/5 di quelle totalmente verificatesi a causa del fumo

ALCUNE NOTIZIE SCATURITE DALL'APPLICAZIONE DI MODELLI CON RIFERIMENTO ALLA FASE DI PRE FLASHOVER (Modello a due zone, CFAST versione 1.6)

I modelli che sono stati utilizzati sono quelli 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



ALCUNE CONSIDERAZIONE SUI VALORI LIMITI ADOTTATI

- **TEMPERATURA**

Gli effetti della temperatura, come esposizione limite sotto condizioni di incendio, sono tuttora in fase di studio e ricerca. Essi 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. Nella figura è stato assunto che la morte viene raggiunta quando la temperatura è di 100°C. Tale valore è stato approssimato anche con riferimento ad alcune prove sperimentali eseguite da Blockey nell'oramai lontano 1949, le quali non mostrarono minacce generalizzate di morti a questa temperatura. Infatti, secondo lo studioso, l'analisi dei dati induce a ritenere che 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. **Ma francamente questi valori a noi sembrano molto alti.**

Dati più realistici vengono da ZAPP (1974), un altro studioso della materia, il quale sostiene che temperature dell'ordine di 100° possono essere sopportate solo per alcuni minuti e solo sotto speciali condizioni (aria calma ad esempio) e molte persone non possono respirare quando la temperatura raggiunge i 65°C.

Sperimentazioni, infine, eseguite su maiali hanno mostrato che essi resistono a 120°C per circa 2 minuti senza danni apprezzabili, a 100°C per 5 minuti e a 90°C per circa 10 minuti.

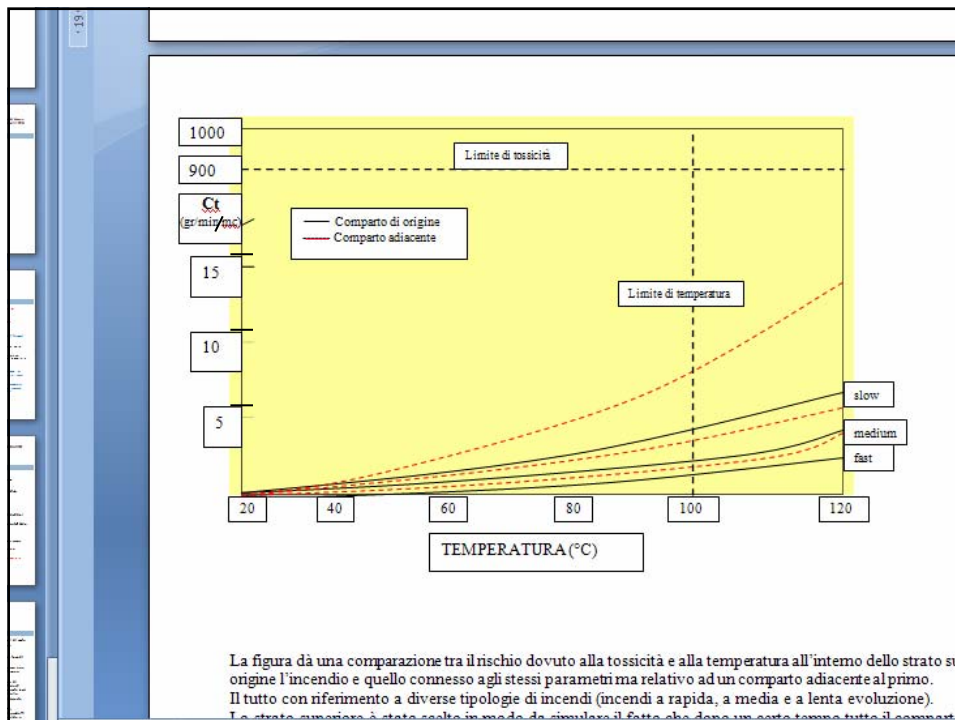
- **POTENZA TOSSICA Ct**

La minaccia della vita a causa dell'azione dei gas tossici prodotti dal fuoco dipende dal tempo di esposizione e dal livello di concentrazione dei gas presenti.

Il prodotto di questi due fattori (Ct) 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, e ciò con riferimento alla maggior parte di incendi che interessano tipologie di materiali usualmente presenti negli edifici con presenza di persone.

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



- 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).
- Prima del periodo necessario per raggiungere il limite di temperatura, un possibile stazionamento delle persone per 30 minuti richiede valori al di sotto di $0,1 \text{ gr}/\text{mc}$.
-
- **Si può anche vedere che l'importanza relativa della inalazione dei fumi cresce muovendosi 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.
- **Non si dovrebbero comunque tirare le conclusioni che, nelle condizioni di pre flashover previste dal modello, non vi siano morti 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 per provocare la morte, ma prima che il 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).

• ALCUNI CASI STUDIATI

1) Nel 1987 un incendio in una cucina posta al primo piano provocava la morte di tre persone che stavano nella stanza da letto al piano di sopra, una delle quali possedeva un contenuto di carbossiemoglobina nel sangue del 91%!

Levine e Nelson (1992) cercarono di ricreare la situazione, attraverso una combinazione di prove in scala reale e modellistica sugli incendi.

Il fuoco fu simulato in scala reale in una struttura di prova di sette piani con stanze pienamente strumentate. I modelli applicati (programma FAST versione 1.8 e HARVARD 1) simularono l'aumento della temperatura di pre-flashover e l'accumulo di monossido di carbonio nella stanza più lontana dal fuoco.

Prima del flashover, i livelli di CO nella stanza di origine dell'incendio erano vicini a 2000 ppm, appena vicino al limite di inabilità per un'esposizione di 30 minuti. Dopo il flashover, al terzo minuto, tali livelli aumentavano rapidamente fino a raggiungere 60000 ppm.

Nelle altre parti della struttura i livelli aumentavano anche fino a raggiungere oltre 50000 ppm. Questo esempio costituisce una ulteriore verifica circa la bassa mortalità di morte per inalazione di fumo prima del flashover.

2) Bukowski (1992) usò il modello FAST assieme ad Hazard per analizzare un fuoco che provocò la morte di 87 persone in un locale del quartiere Bronx di New York.

Egli ricreò, in sintesi, i dettagli relativi alla evoluzione dell'incendio, rappresentativi della situazione che si era verificata, includendo tempi e cause di morte per gli occupanti dell'edificio, sulla base dei dati e osservazioni ricavabili dall'incendio reale occorso.

Nella stanza di origine di fuoco (la sala di entrata del piano del ristorante a due stelle), valutò che le temperature e il flusso di calore avrebbero causato la inabilità delle persone entro 30 secondi dal momento della ignizione. I gas tossici non potevano causare inabilità per un successivo periodo di tempo di 10-30 secondi.

Al secondo piano dal quale erano stati recuperati la maggior parte delle vittime, si stimò che i gas tossici avrebbero causato l'inabilità dopo 320-390 secondi e la morte dopo 520 secondi.

La temperatura mai raggiungeva livelli sufficienti a causare incapacità, anche tenuto conto della presenza di sprinklers ubicati al soffitto delle scale posteriori, il cui funzionamento era previsto dopo 240 secondi.

CONCLUSIONI

Le condizioni di post - flashover risulterebbero necessarie perché si producano sufficienti quantità di fumo tali da provocare la morte per inalazione, non solo di persone presenti nel locale di origine del fuoco ma anche di persone presenti nei locali attigui

La maggior parte di vittime da fumo risultano spesso situate in locali diversi da quello in cui si è originato l'incendio

Entro la stanza di origine 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)

Anche sulla base di casi occorsi, 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

Risulta allora evidente come tali circostanze possano condizionare anche in modo importante l'allocazione ed il dimensionamento di sistemi di evacuazione del fumo in ambienti a rischio di incendio

BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE:

("Fire condition for smoke toxicity measurement", Gann, Babrauskas, Peacock, Fire and materials, Vol. 18, 1994)