

## LA PROGETTAZIONE DEI SISTEMI CLEAN AGENT

L.Borghetti

*HUGHES ASSOCIATES EUROPE srl*  
Via Vincenzo Monti 52, 20017 Rho – MI. ITALY  
Tel.+ 39 02 93904340.- Fax: + 39 02 93904328  
E-Mail: [hailb@tin.it](mailto:hailb@tin.it)

La progettazione dei sistemi Clean Agent, con l'avvento delle alternative agli Halons, richiede una ingegneria più accurata che non nel passato. Molto spesso i progettisti o chi deve scegliere il sistema di protezione antincendio più adeguato per proteggere dei beni di alto valore e sensibili agli effetti collaterali dell'agente estinguente si trovano nel dilemma di dover scegliere non solo l'agente estinguente ma anche di dover giudicare se il progetto che riceveranno sia congruente con lo stato dell'arte più aggiornato e che risponda agli standard attualmente in forza.

Una serie di estinguenti disponibili sul mercato ed adatti a soddisfare tali requisiti sono i nuovi estinguenti gassosi oggi identificati come "alternative agli Halons"; gli Halons storicamente erano gli estinguenti principe per tali applicazioni.

Il bando, per motivi ambientali, degli Halons ha posto la necessità di studiare delle alternative adatte alla loro sostituzione.

A tale scopo sono stati condotti studi di ricerca in diverse direzioni, esplorando opportunità di soluzioni più o meno ortodosse. Probabilmente, per la prima volta nella ricerca di nuovi estinguenti, sono stati introdotti dei nuovi concetti sia per l'analisi dei problemi specifici di ogni singolo estinguente che per la ricerca delle soluzioni applicative.

Oggi, dopo anni di ricerca e sviluppo industriale, si è arrivati alla definizione di due grandi famiglie di alternative agli halons: alternative "in kind" ed alternative "not in kind".

Come si puo' intuire le alternative "in kind" identificano degli agenti estinguenti con caratteristiche molto simili agli Halons, mentre le alternative "not in kind" identificano agenti estinguenti o tecnologie molto diverse che hanno dimostrato di poter efficacemente sostituire gli Halons nelle loro applicazioni. Al momento sono ancora in corso studi, probabilmente nel prossimo futuro ulteriori tecnologie alternative troveranno applicazione commerciale.

Le alternative agli halons piu' utilizzate al momento sono le alternative "in kind", ovvero agenti estinguenti gassosi che si dividono in due gruppi: agenti estinguenti halocarbon, molto simili ai vecchi halons, ovvero gas liquefatti e compressi, e gas inerti, che sono gas compressi. Benche' le due tecnologie abbiano alcune caratteristiche diverse sono state accomunate con la denominazione "clean agent"; in quanto il loro uso non comporta rischi di danni collaterali o rilascio di residui dovuti all'agente estinguente.

I sistemi a clean agent ovvero gas sono utilizzati per la protezione di spazi contenenti oggetti di grande valore o per proteggere equipaggiamenti, impianti o informazioni critiche.

Le applicazioni tipiche sono: Telecomunicazioni, Elettronica, Sale computer, Sale Controllo Sale Macchine.

Gli standard internazionali di riferimento per la progettazione di impianti utilizzando gas estinguenti sono:

ISO 14520 1/15 Gaseous fire-extinguishing systems First Edition August 2000

NFPA 2001 Standard for Clean Agent Fire Extinguishing Systems 2000 Edition

UL 2166 Standard for Halocarbon Clean Agent Extinguishing Systems Units, First Edition March 31, 1999

UL 2127 Standard for Inert Gas Clean Agent Extinguishing System Units,  
First Edition March 31, 1999

CEN prEN 14520 1/15 Fixed Firefighting Systems Gas Extinguishing  
Systems

UNI 10877 1/15 Sistemi di estinzione incendi ad estinguenti gassosi,  
Aprile 2000

Gli standard citati non includono l'anidride carbonica, che e' coperta da  
specifiche norme, in quanto in uso da moltissimo tempo e che non puo'  
essere accomunata agli altri gas estinguenti poiche' i parametri di utilizzo  
specifici relegano l'anidride carbonica al solo uso in aree non occupate da  
persone.

La corretta progettazione degli impianti e la loro affidabilita' e' influenzata  
da alcuni parametri critici quali:

- ?? Concentrazioni di estinzione (Extinguishing Concentrations)
- ?? Fattori di Sicurezza e di Progetto (Safety/Design factors)
- ?? Concentrazioni massime di Esposizione (Concentration/Exposure  
Limits)
- ?? Programma computerizzato per la progettazione (Design Software)
- ?? Decomposizione Termica (Thermal Decomposition)
- ?? Ritenzione dell'agente estinguente nel volume protetto (Agent  
Retention)
- ?? Sovrappressione del volume protetto e superficie di rilascio (Enclosure  
Pressure and Venting)

Il processo di estinzione dei clean agents avviene per i seguenti fenomeni:

- ?? Incremento della capacita' termica dell'ambiente in cui si sviluppa il  
fuoco, risultante in un aumento della quantita' di energia necessaria  
per innalzare la temperatura dell'aria comburente alla temperatura  
delle fiamme.
- ?? Diluizione dell'ossigeno, con conseguente ridotta produzione di calore.

?? Per reazione endotermica (assorbimento di energia) per reazioni di decomposizione dell'agente estinguente in presenza di elevato calore (fiamme). La scomposizione dell' agente estinguente genera dei radicali che catturando ossigeno non lo rendono disponibile per la reazione di combustione.

Gli halocarbons utilizzano tutti i tre meccanismi per incrementare la perdita di calore del fuoco fino al punto in cui l'incendio non e' piu' autosostentato.

I gas inerti estinguono il fuoco riducendo la temperatura delle fiamme al di sotto del livello necessario per mantenere la combustione. Cio' e' ottenuto riducendo la concentrazione dell'ossigeno ed incrementando la capacita' termica dell'aria. I gas inerti non utilizzano il terzo meccanismo.

Determinare le corrette concentrazioni di progetto e' uno degli aspetti piu' critici dei sistemi a gas.

La concentrazione di progetto e' determinata dalla seguente equazione:

$$DC=(EC \times SF) + DF \quad \text{dove:}$$

DC= Design Concentration (concentrazione di progetto)

EC= Extinguishing Concentration (concentrazione di estinzione)

SF= Safety Factor (fattore di sicurezza)

DF= Design Factor (fattore di progetto)

Le concentrazioni di estinzione sono determinate con protocolli di prova e per ogni specifico combustibile da considerare nel progetto.

La concentrazione di progetto si ottiene incrementando la concentrazione di estinzione con l'appropriato fattore di sicurezza (secondo NFPA; ISO; CEN; UNI), ed infine con i fattori di progetto necessari per compensare situazioni particolari dello specifico impianto.

I protocolli per la determinazione delle concentrazioni di estinzione riportati dagli standard citati sono molto simili come metodi e filosofia generale, variando solamente per alcuni dettagli. Tali protocolli di test sono stati sviluppati sperimentalmente e verificati da diversi laboratori pertanto sono considerati rappresentativi della realta' (probabile scenario di fuoco) e ripetibili con grande affidabilita'.

Ad oggi gli standard NFPA e UL sono completati in tutti gli aspetti progettuali, mentre ISO, CEN, UNI sono in corso di completamento formale, per trattare l'argomento in maniera esaustiva si fara' riferimento a NFPA e UL, i rimanenti standard saranno aggiornati, entro pochi mesi, allo stesso livello (con alcune differenze di dettaglio).

#### **DETERMINAZIONE DELLE CONCENTRAZIONI DI ESTINZIONE SECONDO NFPA 2001, 2000 EDITION:**

##### Combustibili di Classe A:

?? UL 2127 e UL 2166

?? Catasta di legno in volume di prova di 100 m<sup>3</sup>

?? Focolaio di lastre di plastica in volume di prova di 100 m<sup>3</sup> (Fig 1).

Il test e' condotto utilizzando 3 tipi diversi di polimeri (PMMA, PP, e ABS). Tali combustibili sono considerati un ragionevole caso peggiore di incendio di Classe A per rischi protetti con Clean Agents.

PMMA = Polymethyl methacrylate; PP = Polypropylene; ABS = Acrylonitrile-butadiene-styrene polimer

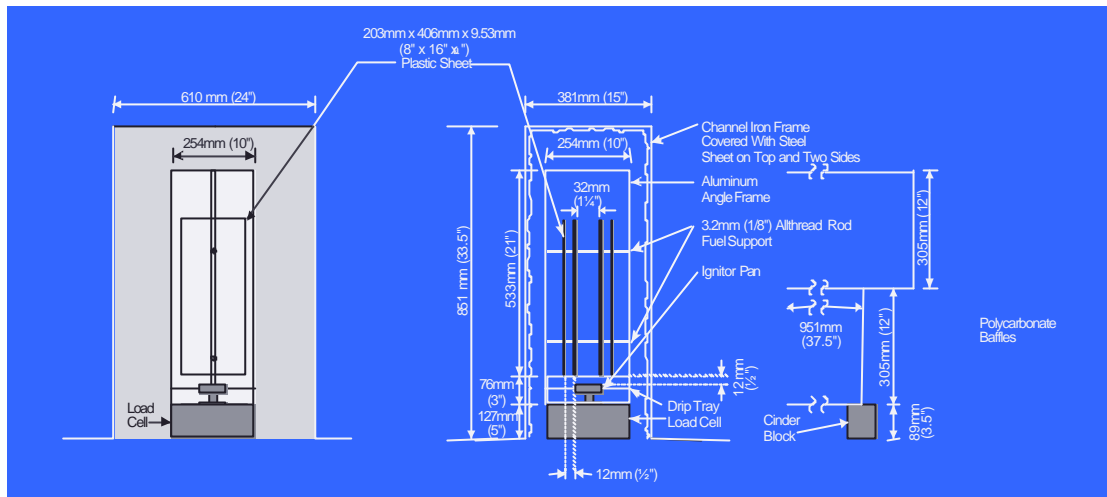


Fig. 1: Focolaio con lastre di plastica secondo UL Class A test

### Combustibili di Classe B:

?? Cup burner

?? Test in scala reale (UL and IMO)

Il protocollo IMO include sia vasche che spray fires di eptano e combustibile diesel. Il volume minimo di test e' di 500 m<sup>3</sup>, l'intensita' di energia sviluppata dagli scenari di fuoco e' elevata.

Il cup burner test consiste in un camino come schematicamente descritto nella Figura. 2, dove una fiamma laminare brucia al sopra di una piccola tazza di combustibile. Il camino e' percorso da un flusso composto da una miscela di aria ed agente estinguente, una appropriata strumentazione consente di misurare la percentuale di estinguente, la minima concentrazione che permette di estinguere la fiamma e' la concentrazione di estinzione di quell'agente estinguente per quel combustibile.

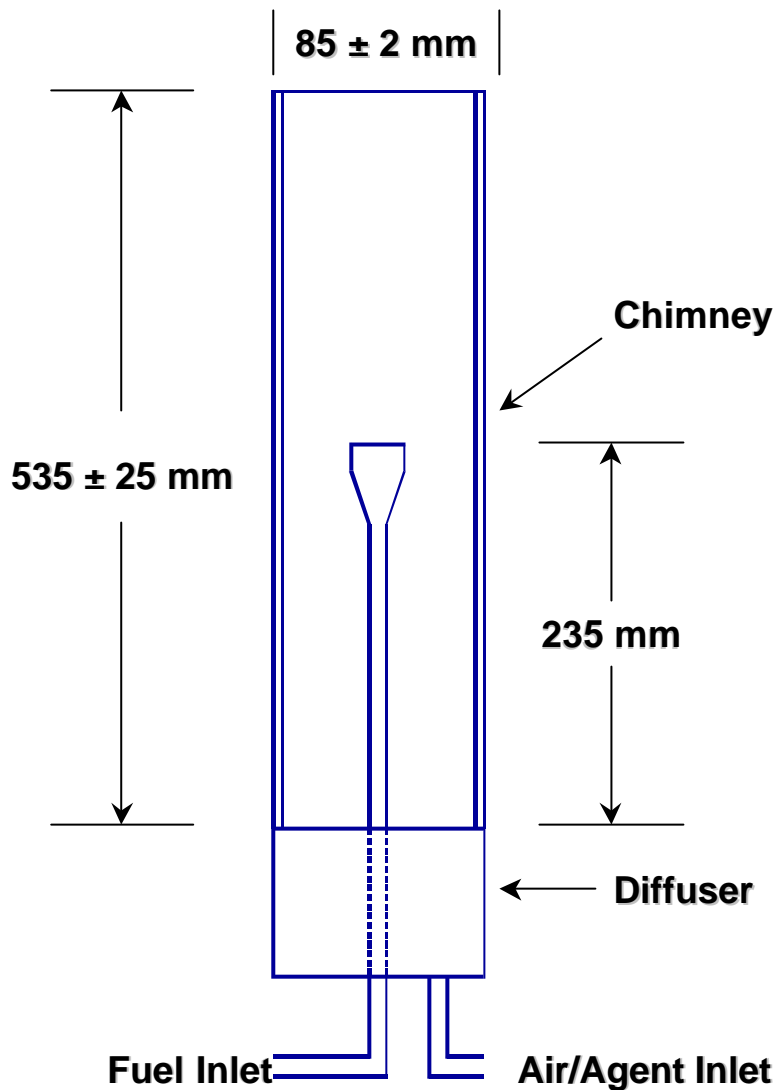


Fig 2: Apparato Cup Burner

Un inconveniente del cup burner test e' la variabilita' dei risultati (per lo stesso agente e per lo stesso combustibile) fra i vari laboratori. La standardizzazione delle procedure di test, dell'apparato e della strumentazione, (che sono in corso) rendera' minime tali differenze.

La Tabella 1 riporta la comparazione degli attuali. valori secondo ISO 14520 e valori riportati da diversi laboratori utilizzando il protocollo ISO.

Tabella 1: Concentrazioni di estinzione per eptano:

Agent	ISO Values	Other ISO Burner Values	Difference (%)
IG-01 (Ar)	37.5	40.8	8.8
IG-1 (N <sub>2</sub> )	33.6	30.2	11.3
IG-541	33.8	31.9, 30.6	10.4
IG-55	32.3		
FC-3110	5.9	5.3	11.3
HFC-23	12	12.3	2.5
HFC-227ea	6.6	6.6	0

Esistono alcuni scenari in cui non e' corretto utilizzare le concentrazioni di estinzione determinate con i protocolli standard. Per esempio nel caso in cui si permetta all'incendio di bruciare per lungo tempo prima di procedere alla scarica dell'agente estinguente tutti gli oggetti in vicinanza del fuoco saranno surriscaldati, sia che si tratti di elementi metallici e/o strutture sia si tratti di oggetti di arredamento.

Il fenomeno fornira' energia da irraggiamento di ritorno allo stesso fuoco/incendio, l'energia incrementera' ulteriormente la temperatura delle fiamme, mentre allo stesso momento l'agente tentera' di ridurre la temperatura delle fiamme fino al punto di spegnimento del fuoco.



In questi casi si dovrà aggiungere una quantità addizionale di agente estinguente per contrastare l'effetto della energia supplementare fornita all'incendio.

Quanto descritto è un classico caso in cui si dovrà applicare un adeguato fattore di progetto per compensare il problema specifico.

Il fenomeno è sintetizzato nella Figura 3.

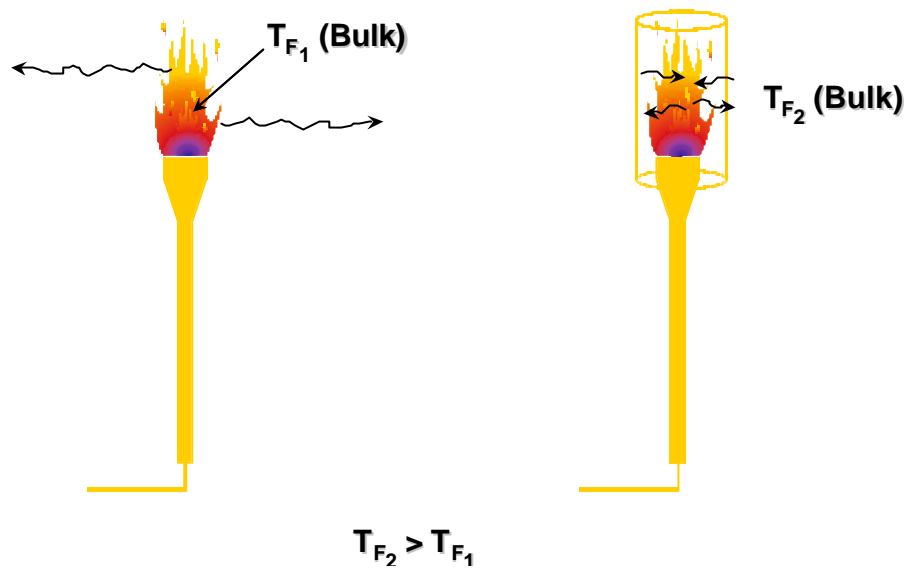


Fig 3

### **CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE SULLE CONCENTRAZIONI DI SPEGNIMENTO:**

- ?? Le concentrazioni di spegnimento sono determinate da test che evidenziano alcune variazioni nei risultati
- ?? L'energia radiante di ritorno può rendere necessario un incremento della concentrazione di spegnimento, ciò è dovuto da lunghi tempi di preaccensione e dalla presenza di superfici metalliche surriscaldate.
- ?? Il progettista dovrà determinare la corretta compensazione (fattore di progetto) da applicare in caso di situazioni particolari di rischio.

I fattori di sicurezza:

NFPA 2001, 2000 Edition prescrive:

- ?? 30% – per rischi di combustibili di Classe B, e per sistemi di estinzione attivati manualmente.
- ?? 20% – per rischi di combustibili di Classe A
- ?? 10% – per Inerting
- ?? Design Factors - fattori di progetto aggiuntivi per compensare situazioni di rischio specifiche.

ISO 14520, First Edition (August 2000) prescrive:

- ?? 30% – per rischi di combustibili di Classe A e B
- ?? 10% – per Inerting

La ragione di richiedere un fattore di sicurezza piu' elevato per i sistemi ad attuazione manuale e' dovuto alla possibilita' che prima della attuazione del sistema l'incendio possa bruciare a lungo, con conseguente incremento della energia radiante di ritorno, che come abbiamo visto richiede un incremento della quantita' di agente estinguente.

Un ulteriore beneficio ottenuto incrementando la concentrazione dell'agente estinguente e' la significativa riduzione dei prodotti di decomposizione e di HF rispetto ai dati ottenuti utilizzando le concentrazioni di spegnimento.

Lo standard NFPA considera anche fattori di progetto aggiuntivi per compensare specifiche situazioni di rischio.

I fattori di sicurezza sono utilizzati per incrementare la affidabilita' del sistema di spegnimento, compensando alcune imprecisioni di progetto e/o errori, imperfezioni nel determinare la concentrazioni di spegnimento, ed altre imprecisioni non riscontrate.

Nella ultima edizione delle norme NFPA e' stato introdotto il concetto dei Design Factors (fattori di progetto). Il fattore di progetto e' una quantita' addizionale di agente estinguente che compensa dei fattori di rischio conosciuti dal progettista, che richiedono un incremento della quantita' di agente estinguente. I fattori di progetto sono concettualmente diversi dai fattori di sicurezza, in quanto i primi devono compensare delle situazioni conosciute, mentre i fattori di sicurezza servono per compensare dei problemi che non sono stati evidenziati o riconosciuti.

Alcuni fattori di progetto specifici che si devono considerare generalmente durante la progettazione dei sistemi utilizzando Clean Agents sono:

- ?? Numero dei Tee delle tubazioni di distribuzione (numero delle divisioni di flusso).
- ?? Pressione/livello (altezza sul livello del mare) del volume protetto.
- ?? Aperture del volume protetto che non possono essere chiuse.
- ?? Geometria particolare del volume protetto e del potenziale rischio.
- ?? Ostacoli che possano influenzare la distribuzione dell'agente estinguente.

L'elemento piu' importante del progetto e' il calcolo di flusso del sistema di tubazioni che distribuiscono il gas all'interno del volume protetto. Dovremo far riferimento ai requisiti delle norme NFPA e UL in quanto gli altri standard, al momento, non includono specifici requisiti, che verranno introdotti nella prossima revisione in discussione.

Requisiti di accuratezza (precisione) dei calcoli di flusso (comparazione fra i parametri calcolati e le misure effettuate durante i test di validazione della accuratezza del software):

**Halocarbons secondo UL 2166:**

- ?? Massa dell'agente estinguente scaricata da ogni ugello:  $\pm 10\%$  con deviazione standard inferiore a 5%
- ?? Tempo di scarica:  $\pm 1$  secondo
- ?? Pressione all'ugello:  $\pm 10\%$

**Gas Inerti secondo UL 2127:**

- ?? Volume dell'agente estinguente scaricato da ogni ugello:  $\pm 10\%$  con deviazione standard inferiore a 5%.
- ?? Tempo di scarica:  $\pm 10$  secondi.
- ?? Pressione all'ugello:  $\pm 10\%$

**IL FATTORE DI PROGETTO PER COMPENSARE INACCURATEZZE DOVUTE AI TEE (DIVISIONI DI FLUSSO)**

Lo scopo del fattore di progetto per i Tee e' di compensare le inaccurately dovute a flussi di estinguente che passano attraverso diverse divisioni di flusso, in quanto quando un sistema supera il numero di 4 divisioni, non si puo' essere matematicamente sicuri che la accuratezza richiesta dalle norme sia rispettata, pertanto e' necessario procedere ad una compensazione.

Il fattore di progetto per Tee multipli non deve essere applicato se il sistema sara' collaudato con una scarica reale e saranno verificati tutti i parametri critici.

Probabile distribuzione della massa di agente per sistemi contenuti da 2 a 20 T:

I due grafici seguenti dimostrano perche' dobbiamo applicare in fattore di progetto per le divisioni di flusso. L'esperienza ha dimostrato che la accuratezza massima e' piu' o meno 5% con una certezza del 90%, significa che il 90% delle misure di quantita' di agente estinguente sara'

entro una tolleranza di più o meno 5% rispetto ai risultati del calcolo. Assumendo che l'errore abbia caratteristiche random, la probabilità può essere rappresentata da una distribuzione Gaussiana. Ciò è rappresentato dalla curva per 2 Tee (divisioni di flusso), con deviazione standard del 0.0304.

Per sistemi con numerose divisioni di flusso l'errore sicuramente aumenterà, e la accuratezza delle previsioni della quantità di agente scaricato da ciascun ugello diminuirà, l'ammontare dell'errore può essere calcolato per ogni numero di Tee, il grafico di Fig 4 ne riporta 20.

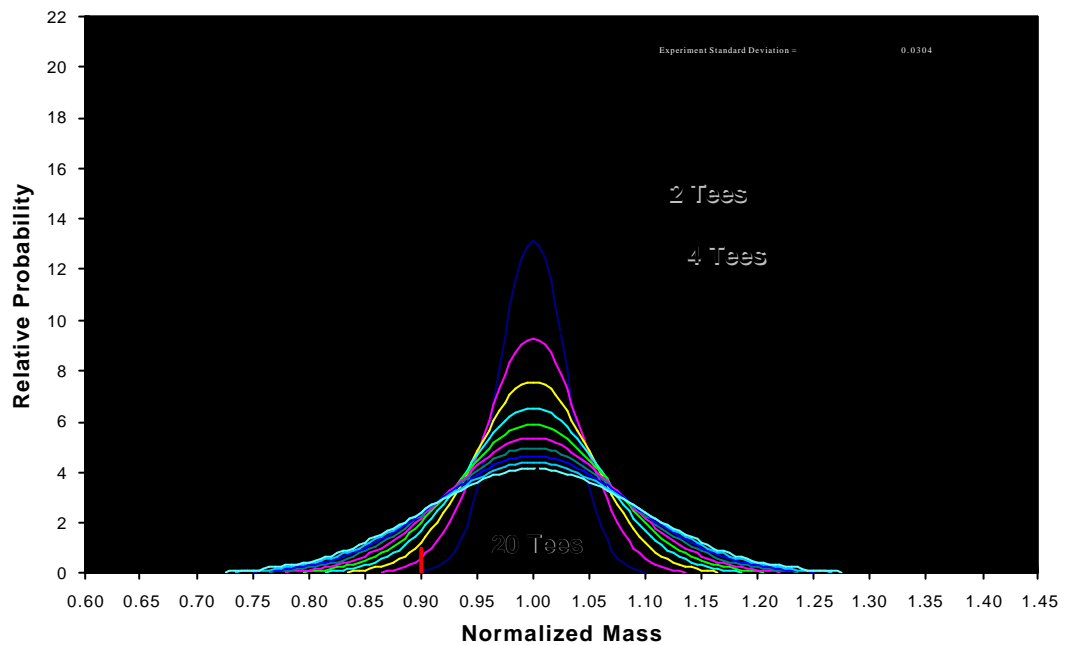


Fig 4

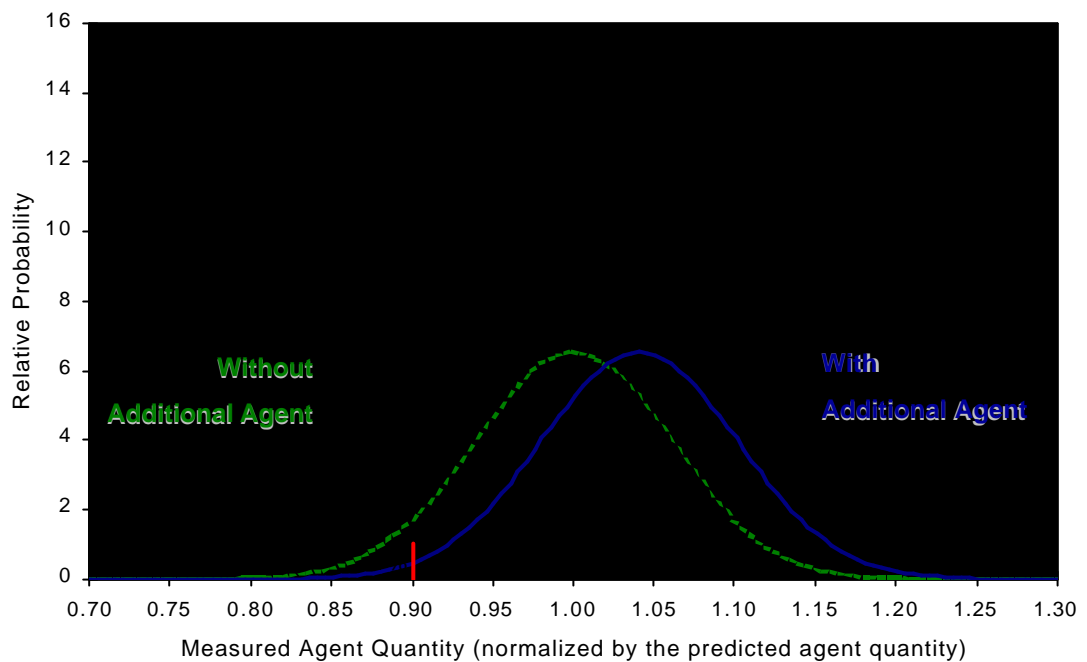


Fig 5: Calcolo della probabile distribuzione della quantità di agente in un sistema con 8 Tee (deviazione standard = 0.0608)

Si assume che un sistema a clean agent debba avere (come minimo requisito) il 99% degli ugelli che scaricano il 90% della quantità di agente calcolata. Pertanto sarà utilizzato al massimo 1/2 del fattore di sicurezza per Classe A o 1/3 per la Classe B per compensare il 99% degli ugelli.

Se prendiamo in considerazione un sistema con 8 Tee (Fig 5), per una distribuzione calcolata senza fattore di progetto (deviazione standard 0,0608), l'area della curva rappresentante l'1% del sistema, corrisponde a un valore normalizzato della massa dell'agente di 0,859. Pertanto un numero decisamente superiore del 1% degli ugelli scaricherà meno del 90% della quantità calcolata di agente. Per compensare l'inconveniente si dovrà aumentare la quantità di agente da scaricare. Aumentando la quantità di agente si sposterà la curva delle probabilità, per esempio per un sistema con 8 Tee la quantità di agente da aggiungere sarà 4.1% (0,90-0.859), cioè assicurerà che il 99% degli ugelli scaricherà almeno il 90% della quantità di agente calcolata.

Fortunatamente non sara' necessario eseguire calcoli complessi, lo standard NFPA contiene i valori gia' calcolati. I fattori di progetto per i gas inerti sono inferiori dei fattori per halocarbons, cio' e' dovuto al fatto che il flusso dei gas inerti e' calcolabile con maggiore accuratezza essendo un flusso in singola fase e che inoltre e' meno sensibile alla imprecisioni dei tubi.

Tabella 2: Fattori di progetto per T

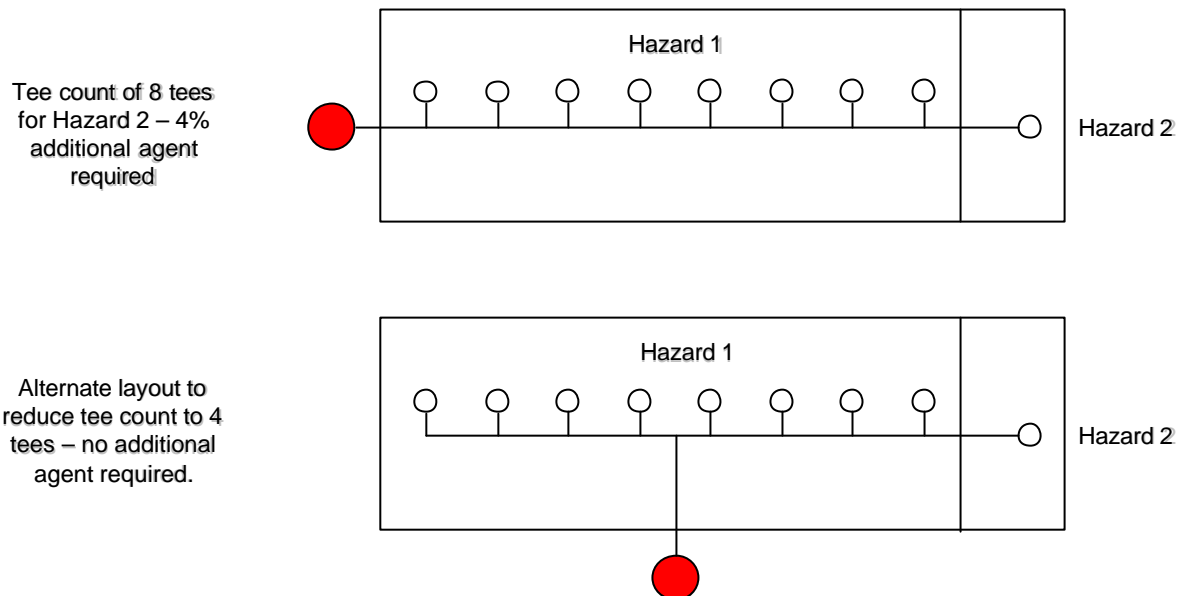
<b>DESIGN FACTOR TEE COUNT</b>	<b>HALOCARBON DESIGN FACTOR</b>	<b>INERT GAS DESIGN FACTOR</b>
0-4	0.00	0.00
5	0.01	0.00
6	0.02	0.00
7	0.03	0.00
8	0.04	0.00
9	0.05	0.01
10	0.06	0.01
11	0.07	0.02
12	0.07	0.02
13	0.08	0.03

**Esempio:**

Il primo grafico mostra cosa puo' accadere se il numero dei Tee non e' stato considerato. Gli ugelli del Rischio 1 scaricheranno piu' agente che la quantita' calcolata, ed in Rischio 2 alla fine della linea no ricevera' agente

sufficiente, il fattore di progetto per Tee serve per compensare il problema.

Si potrebbe ridurre il fattore di progetto per Tee spostando lo stoccaggio (bombola) dell'agente estinguente in una posizione più favorevole o addirittura vicino al rischio 2.



### Fattore di progetto per compensare la pressione (altezza sul mare) del volume protetto

- ?? La quantità di agente estinguente deve essere compensata se la pressione ambiente (ovvero altezza sul mare) del volume protetto varia più dell'11% dalla pressione standard a livello del mare.
- ?? Esistono altre situazioni in cui la pressione dell'ambiente protetto può essere diversa dalla pressione standard a livello del mare ad esempio in camere iperbariche, miniere, o installazioni dove per necessità particolari viene creata una atmosfera artificiale con pressioni più alte o inferiori alla standard.
- ?? Negli standard sono contenute tavole con coefficienti di correzione.



## Fattori di progetto addizionali

Situazioni particolari del rischio protetto devono essere accuratamente valutate per poter formulare un progetto corretto del sistema di protezione. Questa necessita' non e' specifica dei soli impianti a clean agent, ma in generale di tutta la scienza antincendio, per questo motivo qualsiasi progetto di protezione deve essere eseguito da persona esperta e competente, certificato da una terza parte qualificata ad eseguire queste valutazioni, in particolare per progetti di protezioni utilizzando Clean Agents. Nessun standard, ovviamente, puo' contenere tutte le casistiche particolari e specifiche delle piu' disparate applicazioni e rischi, questa conoscenza fa parte del bagaglio di esperienza del progettista.

Alcuni fattori di progetto addizionali ricorrenti sono:

- ?? Aperture del volume protetto che non possono essere chiuse: sono compensate con una quantita' aggiuntiva di agente estinguente che compensera' la quantita' persa, o con un sistema con scarica prolungata di agente estinguente.
- ?? Particolari geometrie del volume protetto o del combustibile: sono compensate con ugelli di scarica addizionali e/o una quantita' addizionale di agente estinguente.
- ?? Test in scenario reale su grandi volumi e complesse geometrie, come ad esempio nelle sale macchine delle navi secondo il protocollo IMO, hanno dimostrato che con geometrie complesse e presenza di ostacoli, la concentrazione dell'agente estinguente non e' omogenea, e puo' variare anche di piu' o meno 20% in diversi punti del volume.
- ?? Ostruzioni ed ostacoli come: condotti, cavi, apparecchi di illuminazione, etc. possono ostacolare il raggiungimento di una concentrazione omogenea di estinguente nel volume protetto, e devono essere compensati riducendo il coverage degli ugelli, quindi aumentandone il numero.

## **Limiti di concentrazione ed esposizione delle persone agli agenti estinguenti:**

?? E' necessario come linea di principio, evitare esposizioni agli agenti estinguenti non necessarie, a tale scopo devono essere installati, quando necessari, sistemi di ritardo della scarica, per permettere l'evacuazione del personale dal volume protetto, e dispositivi ottici e sonori di attivazione allarme e scarica all'interno ed all'esterno del volume protetto.

?? Per clean agent halocarbon le concentrazioni ammesse massime per le persone sono valutate in funzione della sensibilizzazione cardiaca, utilizzando il protocollo di Reinhardt. Gli acronimi utilizzati per le definizioni sono:

?? NOAEL-No Observable Adverse Effect Level (massimo valore di esposizione all'agente estinguente ovvero concentrazione, a cui non vengono riscontrati effetti collaterali)

?? LOAEL-Lowest Observable Adverse Effect Level (minimo valore di esposizione all'agente estinguente ovvero concentrazione a cui vengono riscontrati effetti collaterali)

?? PBPK- Physiologically-Based Pharmacokinetic, model che considera la concentrazione massima ammissibile nel sangue dell'agente estinguente ed il tempo necessario per raggiungerla.

?? Per i gas inerti le concentrazioni massime ammesse per le persone sono valutate misurando l'ossigeno residuo nell'ambiente dopo la scarica dell'agente estinguente, pertanto:

?? Una concentrazione di ossigeno residuo del 12% viene assunta come valore di NOAEL

?? Una concentrazione di ossigeno residuo del 10% viene assunta come valore di LOAEL

?? Il protocollo PBPK non e' applicabile ai gas inerti.

## **Concentrazioni massime di utilizzo:**

?? Per aree normalmente occupate:

?? Halocarbons

?? Fino al NOAEL

?? Fino al LOAEL con applicazione dei tempi di esposizione ammessi dal PBPK

?? Per gas inerti

?? Fino al 43% (%v/v) corrispondente al 12% di ossigeno residuo, con una esposizione massima di 5 minuti

?? Per aree normalmente non occupate:

?? Halocarbons.

?? Fino al 24% (16% di ossigeno residuo) limitando la possibile esposizione entro i tempi ammessi dal protocollo PBPK.

?? Per gas inerti:

?? Fino al 52% (10% di ossigeno residuo) limitando la possibile esposizione a non oltre 3 minuti.

?? Fino al 62% (8% di ossigeno residuo) limitando la possibile esposizione a non oltre 30 secondi.

Se il volume protetto non è fisicamente occupabile da persone non ci sono limiti alla concentrazione massima.

## **Il software di calcolo di flusso del sistema**

Il programma di calcolo di flusso serve per dimensionare correttamente il sistema a clean agent; in particolare deve determinare con accuratezza i tempi di scarica, la pressione agli ugelli, e la quantità di agente scaricato dagli ugelli.

In generale gli impianti non sono verificati con test di scarica, pertanto il programma di calcolo è il mezzo che permette di assicurare la corretta realizzazione del sistema di protezione, secondo i requisiti degli standard

di riferimento e della buona ingegneria. Al momento lo standard e le autorità di listing che fanno riferimento a precise caratteristiche del programma di calcolo sono NFPA e UL, gli altri standard sono in corso di completamento.

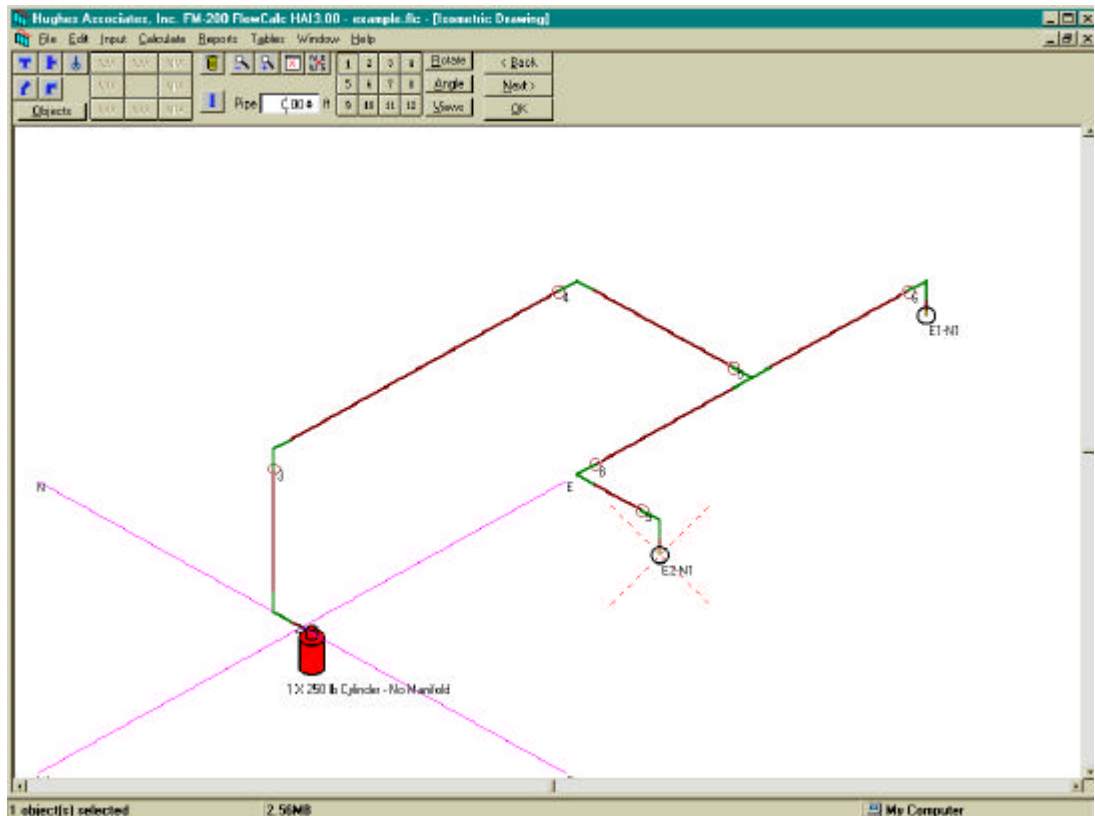


Fig 6: Esempio di schermata di un programma di calcolo per sistemi utilizzando HFC 227 ea

Il programma di calcolo non può considerare o risolvere qualsiasi problema di progettazione, pertanto deve essere utilizzato da un progettista competente e deve contenere limiti e messaggi di errore per prevenirne un uso non corretto. Il programma di calcolo deve essere ovviamente certificato da un laboratorio indipendente che ne assicura la validità, usualmente per il mercato americano i laboratori di riferimento sono UL e FM (ma non esclusivamente) che accettano e certificano i programmi di calcolo.

Tutto ciò assicura ragionevolmente che il programma di calcolo è adeguato ai requisiti necessari per soddisfare le necessità di una corretta progettazione.

Tutti i software di calcolo sono riferiti ad uno specifico hardware, ovvero sono dedicati e sviluppati a precisi componenti di impianto.

Alcuni programmi hanno la capacità di poter acquisire o trasferire il layout delle tubazioni a programmi CAD, inoltre alcuni hanno la capacità di accettare suggerimenti o dati imputati dal progettista (ad esempio diametri di sezioni di tubo) caratteristica molto utile per eseguire retrofit su impianti esistenti.

Un programma di calcolo pertanto deve possedere le seguenti caratteristiche:

- ?? Validazione (listing o approvazione) da parte di un laboratorio terzo.
- ?? Servizio tecnico di supporto e follow-up prestato da parte della società che ha implementato il software.
- ?? Utilizzo di hardware di impianto (componenti) di qualità e caratteristiche adeguate (componenti meccanici certificati).
- ?? Deve contenere limiti matematici di applicazione e messaggi di errore.

Un progetto correttamente eseguito oltre essere eseguito da persone competenti della materia deve essere rivisto ed accettato da un ente terzo e/o da una autorità avente giurisdizione (che potrebbe anche essere il proprietario del sistema di protezione).

### **Verifica sperimentale della precisione dei parametri significativi del programma di calcolo.**

- ?? Esecuzione di test di scarica utilizzando diverse configurazioni di tubazioni per verificare se i parametri misurati corrispondono ai parametri calcolati.
- ?? Esecuzione di test per stabilire i limiti di calcolo quali:
- ?? Minimo e massimo orifizio di scarica dell'ugello rispetto alla sezione del tubo

- ?? Tipo di Tee, orientamento dei Tee, e limiti delle divisioni di flusso.
- ?? Massimo sbilanciamento dell' inizio della scarica dagli ugelli.
- ?? Massimo sbilanciamento della fine della scarica dagli ugelli.
- ?? Massimo volume delle tubazioni occupato dall'agente liquefatto verso il volume delle bombole

### **Come avviene la certificazione di un software di calcolo:**

Generalmente avviene in due fasi

Esecuzione di una serie di test sperimentali prima della presenza formale degli enti di listing.

- ?? Vengono testati alcuni sistemi con 3/4 ugelli.
- ?? Ogni test deve contenere il piu' grande numero di parametri limite possibile.
- ?? Tutti i limiti devono essere verificati almeno una volta nel corso dei test.
- ?? Tutti i test devono superare positivamente i criteri di approvazione.
- ?? Tutti i dati saranno raccolti in un documento da sottomettere alle autorita' di listing assieme ai fogli di calcolo, ed ai disegni delle sistemi.

Esecuzione di una serie di test sperimentali alla presenza delle autorita' di listing (UL e FM per il mercato americano).

- ?? Verranno scelti due sistemi da verificare fra i sistemi presentati nella documentazione.
- ?? Verranno ripetuti tutti i test sperimentali gia' eseguiti, ed i risultati dovranno confermare i risultati positivi gia' ottenuti.
- ?? Verranno richiesti dalle autorita' di listing almeno 3 nuove configurazioni di tubazioni da testare, i nuovi layout dovranno contenere:
- ?? I limiti di calcolo, ad esempio:
- ?? Minima fill density
- ?? Massimo tempo di scarica.
- ?? Massimo sbilanciamento della fine scarica degli ugelli.

- ?? Minimo flusso nelle tubazioni per mantenere un flusso turbolento. (halocarbons)
- ?? Minimo orifizio di scarica rispetto al tubo.
- ?? Verifica della divisione di flusso 50:50 (bull Tee).
- ?? Verifica della divisione di flusso 85:15 (side Tee).
- ?? Le tubazioni saranno dimensionate con l'utilizzo del software.
- ?? Si eseguiranno i test sperimentali e tutti i test ed i relativi parametri dovranno superare positivamente i criteri di approvazione.

**Composizione della atmosfera del volume protetto ad estinzione avvenuta.**

Thermal Decomposition Products. (Prodotti di Decomposizione Termica)

- ?? Tutti gli halocarbons quali: Halon 1301, HFC 227 ea, HFC 23, HFC 125 HFC 36a contatto con le fiamme ed il calore producono acido fluoridrico (HF) in quantita' dipendente dai parametri di applicazione.
- ?? I gas inerti quali: IG-100, IG-01, IG-55, IG-541, e CO2 non formano prodotti di decomposizione termica.
- ?? La quantita' di TDP dipende da:
  - ?? Dimensioni del fuoco verso le dimensioni del volume protetto
  - ?? Tempi di scarica dell'agente estinguente
- ?? Fattori di sicurezza (utilizzando una quantita' di agente superiore alla minima quantita' di spegnimento si riduce la formazione di prodotti di decomposizione termica, tempi di scarica brevi ed elevate concentrazioni di progetto riducono il tempo di contatto delle fiamme con concentrazioni di agente povere, che formano decomposizione, pertanto riducendo l'ammontare della decomposizione termica).

Il grafico di Fig 7 riporta i risultati di test eseguiti con diversi agenti estinguenti, diverse concentrazioni di progetto, dimensioni del volume diverse e specifici protocolli di test.

Il test NRC a 7.6% e 8.8% con FM 200 (HFC 227 ea) dimostra l'effetto di una concentrazione superiore di agente risultante in una minore produzione di decomposizione.

Grosse dimensioni del fuoco verso le dimensioni del volume corrispondono ad alte concentrazioni di HF ed anche a pericolose situazioni quali: ridotte concentrazioni di ossigeno, elevato sviluppo di calore, elevate concentrazioni di monossido di carbonio, etc.

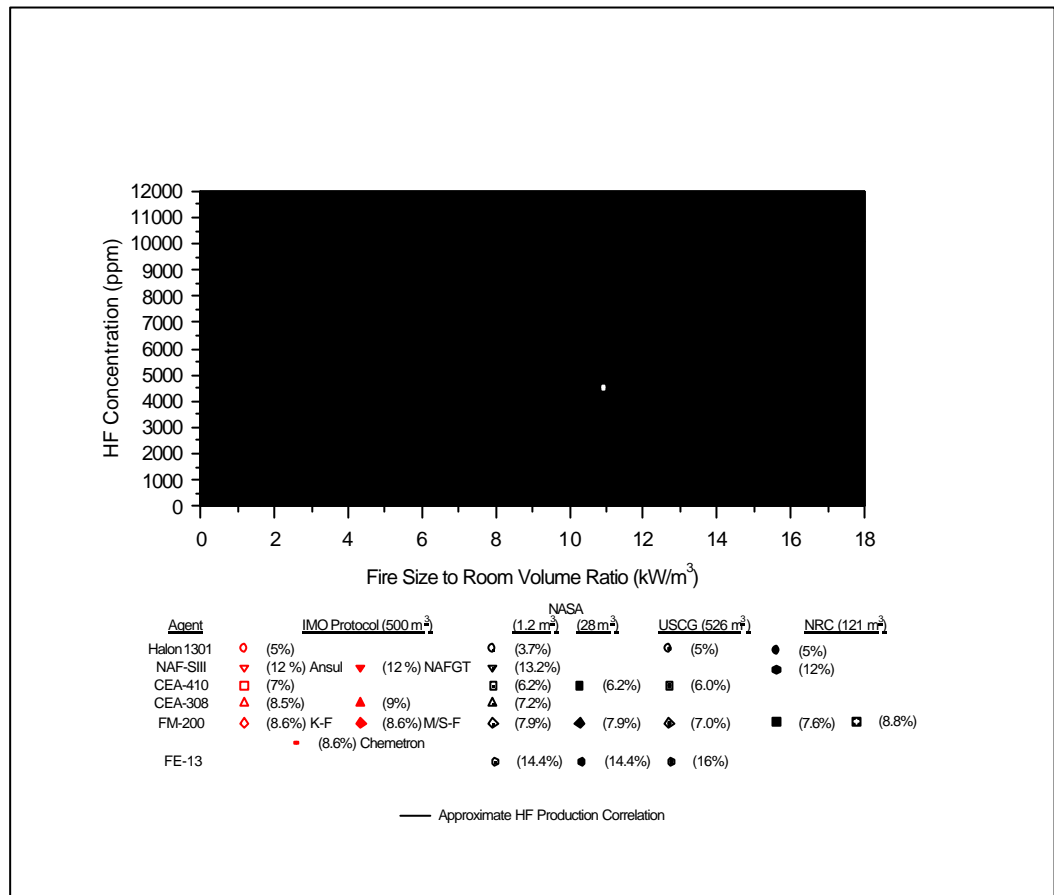


Fig 7

### Rischi associati alla decomposizione termica

?? Il pericolo maggiore e' associato alla presenza di persone nel volume protetto, generalmente gli equipaggiamenti contenuti nel rischio protetto sono meno sensibili delle persone alla presenza di HF.



?? Il livello di pericolo per HF e' stato misurato come Dangerous Toxic Loading to Human, e rappresenta la soglia di pericolo per la salute delle persone ed e' stato valutato da Meldrum a 12.000 ppm-minuto ovvero una esposizione a 12.000 ppm di HF per 10 minuti. (1200 ppm per 10 minuti corrisponde sperimentalmente ad una dimensione di fuoco verso il volume del rischio di 2 kw/m<sup>3</sup>).

Meldrum, M., Toxicology of Substances in Relation to Major Hazards: Hydrogen Fluoride, Health and Safety Executive (HSE) Information Centre, Sheffield S37HQ, England, 1993

?? Una rivelazione incendio rapida ed un intervento di estinzione immediato sono i mezzi per contenere al minimo la formazione di decomposizione termica.

Il grafico di Fig 8 riporta concentrazioni di HF risultanti da test condotti su materiali e scenari tipici di industrie di elettronica e computers.



Fig 8

### **Permanenza dell'agente estinguente nel volume protetto**

La permanenza dell'agente estinguente nel volume protetto permette il completo spegnimento del fuoco in particolare per i combustibili che formano braci, o scenari che coinvolgono elementi metallici che ancora surriscaldati potrebbero provocare la riaccensione dei combustibili, permettendo alle braci o alle superfici surriscaldate di raffreddare, mantenendo la atmosfera inerte. In particolare e' necessario prolungare il tempo di permanenza nel caso che non ci sia una interruzione automatica dell'energia elettrica.

I protocolli di test per combustibili di classe A (UL, ISO, CEN) prescrivono un tempo minimo di permanenza dell'agente estinguente nel volume protetto di 10 minuti.

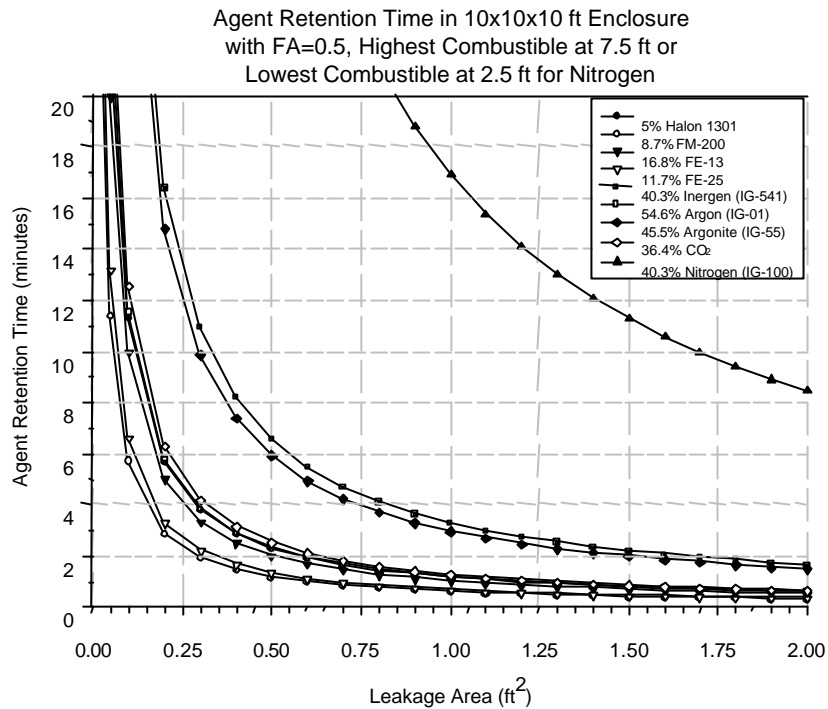


Fig 9

Gli standard prescrivono la esecuzione (prima della progettazione del sistema e periodicamente durante la sua vita operativa per verificare se ci sono stati cambiamenti dell' integrita' del volume protetto che potrebbe influire sulla efficacia della protezione) del Door Fan Integrity Test.

Questo test e' in grado di valutare l'integrita' del volume da proteggere, valutare il tempo di permanenza i ogni specifico estinguente. In funzione dei dati rilevati il progettista sara' in grado di valutare se deve applicare dei fattori di progetto aggiuntivi, o provvedere alla messa in caratteristica della integrita' del volume.

Il test si basa sulla valutazione dei parametri misurati dalla strumentazione alla luce del modello matematico che considera il fenomeno della interfaccia discendente fra l'aria in ingresso nel volume e la miscela di aria piu' estinguente ivi residente dopo la scarica. L'azoto rappresenta una

eccezione poiche' la miscela aria-agente estinguente e' piu' leggera dell'aria pertanto l'interfaccia e' ascendente invece che discendente.

L'area totale di perdita e' risolta dalla seguente equazione:

Il tempo, T, per la interfaccia discendente al livello, H, nel volume e':

$$T = 2A_{encl} [(K_3 H_{encl})^{0.5} - (K_3 H)^{0.5}] / K_3 F_{ACDA} Leak$$

dove

$$K_3 = 2g (p_{mix} - p_{air}) / [p_{mix} + p_{air}(FA/(1.0-FA))]$$

Normalmente si assume che alla fine del tempo di permanenza considerato la altezza della interfaccia di separazione fra aria e miscela aria-agente sia uguale o piu' superiore alla massima altezza (minima altezza per l'azoto) del materiale combustibile all'interno del volume.

Il grafico di Fig 10 riporta la comparazione del tempo di permanenza (nello stesso scenario di test) per diversi Clean Agents per concentrazioni al 30% superiore ai valori di cup burner.

Il maggior tempo di ritenzione dell'azoto e' ingannevolmente piu' favorevole in quanto molto piu' facilmente il combustibile piu' basso e' molto piu' vicino al pavimento che non il combustibile piu' alto sia vicino al soffitto.

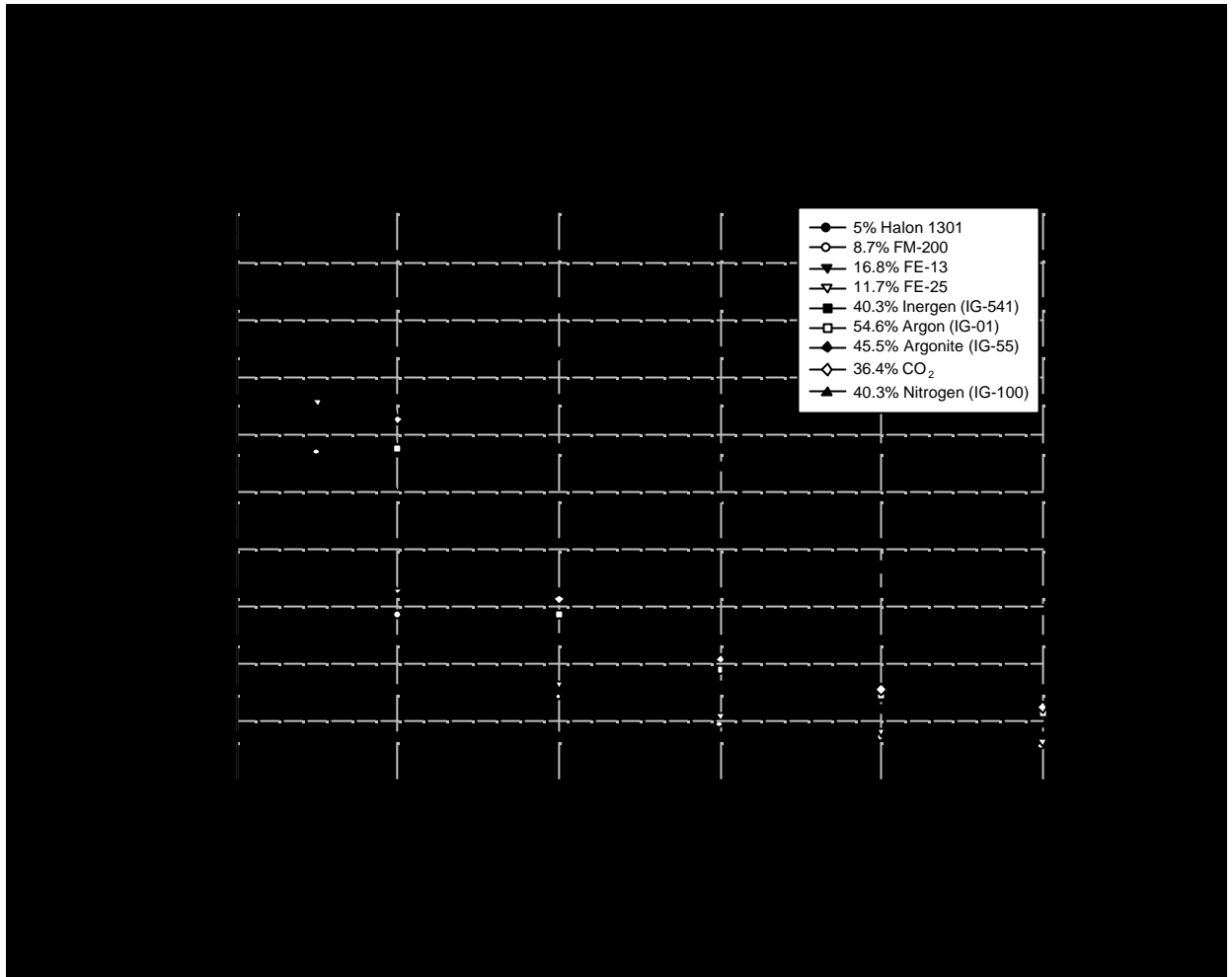


Fig 10

### **Pressurizzazione del volume protetto e superfici di sfogo della pressione.**

La pressurizzazione del volume protetto dipende dai seguenti fattori:

?? Area totale di perdita (aperture e/o perdite del volume).

?? Concentrazioni di progetto.

?? Rateo di scarica dell'agente (tempo di scarica)

?? Per gli agenti halocarbon (gas liquefatti) come l'Halon 1301, Hfc 227 ea, HFC 23, HFC 125 HFC 36, il volume subira' due impulsi di pressione: il primo negativo dovuto alla rapida riduzione della temperatura causata dalla vaporizzazione dell'agente all'interno del volume.

?? Il secondo impulso sara' positivo, causato dal volume dell' agente aggiunto ed alla sua espansione poiche' si riscaldera', la grandezza dei

due impulsi di pressione e' proporzionale al calore di vaporizzazione dell'agente, piu' elevato sara' il calore di vaporizzazione piu' grande sara' la grandezza dell' impulso di pressione negativa e inferiore sara' la grandezza dell'impulso di pressione positiva.

La applicazione di superfici di sfogo della pressione lavora in maniera antagonista al tempo di permanenza. La distribuzione delle aree di perdita e' ininfluente per la considerazione della sovrappressurizzazione del volume, e' importante che sia sufficiente indipendentemente della sua localizzazione.

Il grafico Fig 11 mostra il tipico addivenire del fenomeno per un agente halocarbon.(FM 200/HFC 227 ea).

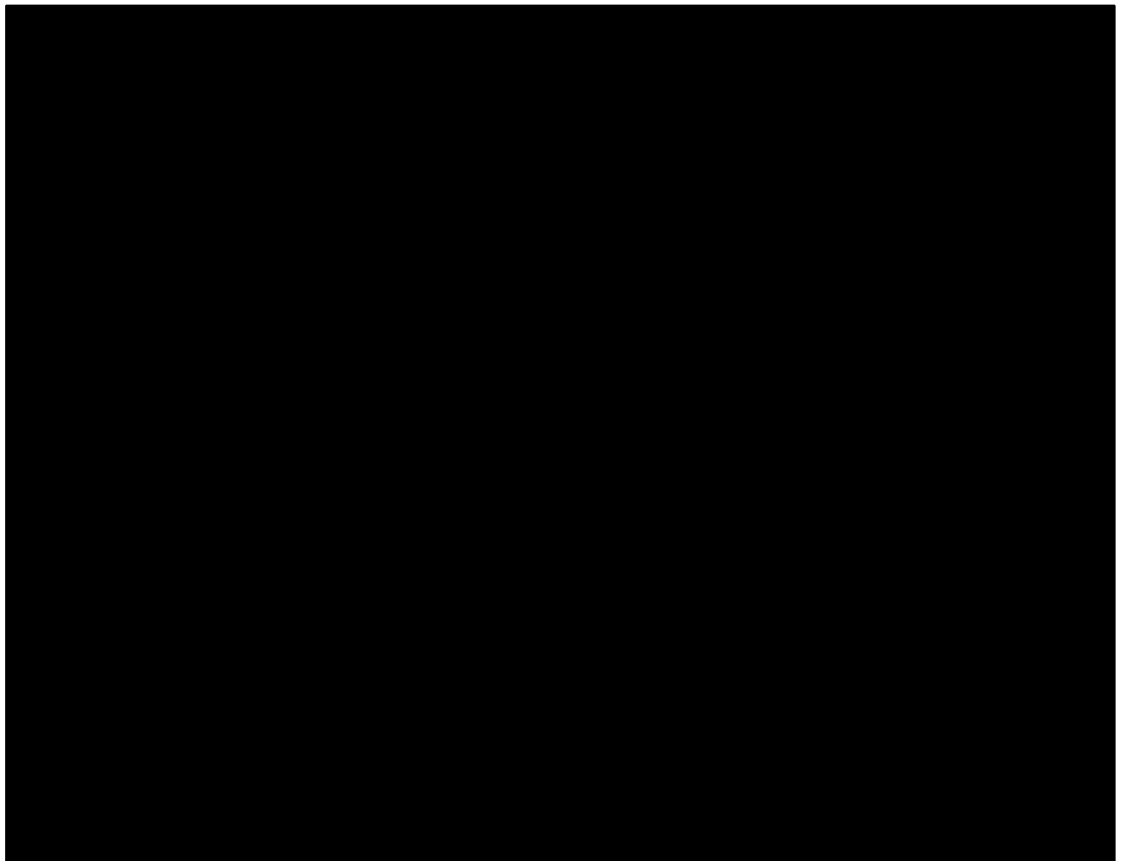


Fig 11

Il grafico Fig 12 riporta i risultati di una serie di test condotti utilizzando l'agente estinguente HFC 227 ea (FM 200) variando le superfici di perdita del volume per diverse concentrazioni di agente, in un volume di 85 m<sup>3</sup> (3000ft<sup>3</sup>).

Le aree di perdita utilizzate per il test corrispondono a dei tempi di ritenzione di variabili da 10 a 30 minuti.



Fig 12

Per gli agenti gas inerti (gas compressi) quali, IG -01, IG-100, IG-55, IG-541, il volume subirà un unico impulso di pressione:

?? La massima pressione del volume corrisponderà al massimo rateo di apporto dell'agente estinguente.

?? La sovrappressione generata dai gas inerti è più facilmente calcolabile (rispetto agli halocarbons) poiché la acquisizione di calore dal volume protetto è sensibilmente ridotta.

?? Benche' nel caso dei gas inerti la sovrappressione sia piu' facile da calcolare, assume valori decisamente elevati, ponendo dei problemi di stabilita' dei volumi protetti che devono essere correttamente valutati.

Nel caso siano disponibili dettagliati calcoli di flusso e corrette informazioni dei volumi protetti, la sovrappressione puo' essere calcolata in modo affidabile con una appropriata equazione di stato.

Il grafico Fig 13 riporta l'andamento delle pressioni di un sistema calcolato con il software per i calcoli di flusso

Fig

13

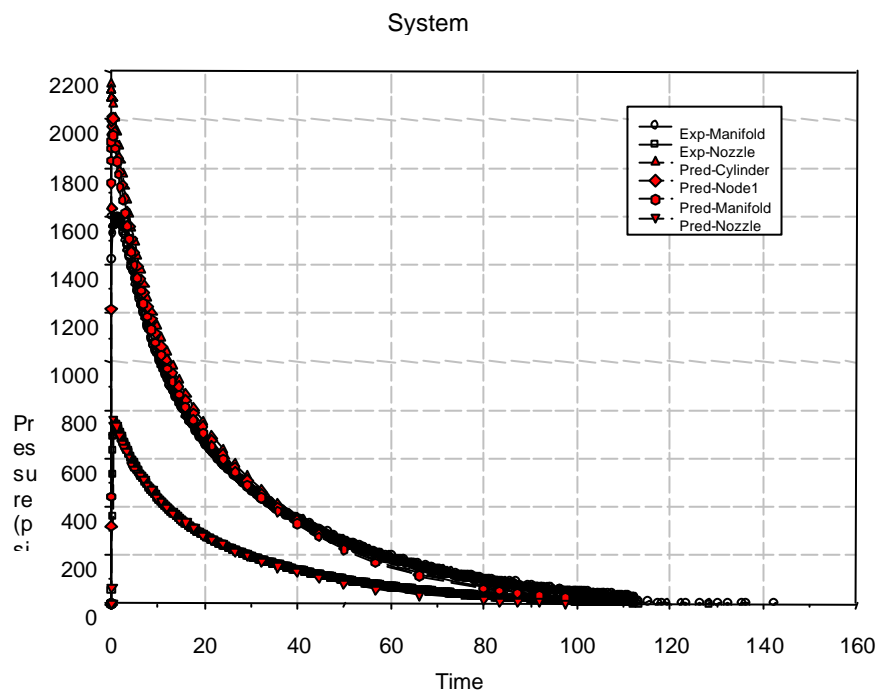


Fig 13

Il grafico Fig 14 riporta le sovrappressioni calcolate del volume protetto comparate con le sovrappressioni misurate. L'area totale di perdita e' derivata dal Enclosure Integrity Door Fan Test.



In mancanza di dettagliati ed affidabili calcoli di flusso del sistema, e' possibile calcolare la sovrappressione del volume protetto, derivandola dalla equazione dell'orifizio (area di perdita) e da una assunzione riguardante il valore di picco del flusso scaricato.

$$D_{pencl} = [Q_{agent,max} / (C_d A_{Leak} (2g/pmixg) 0.5)]^2$$

La relazione fra il valore medio del flusso ed il valore massimo e' dipendente dalla configurazione del sistema. Generalmente si applica un fattore di correzione conservativo, risultante in una area superiore del dispositivo di evacuazione della sovrappressione.

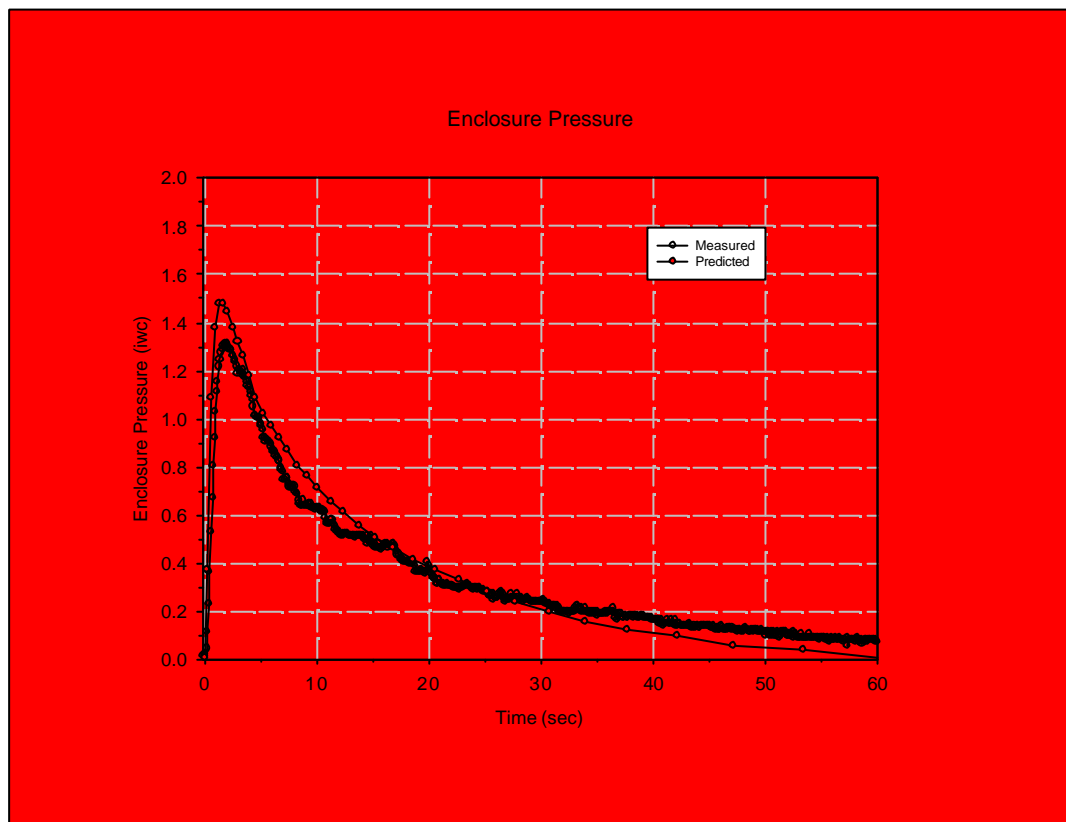


Fig 14

### Resistenza del volume protetto:

?? Varia secondo il tipo di costruzione, probabilmente inferiore a quanto si possa immaginare.

- ?? 500 Pa puo' essere considerato un valore conservativo.
- ?? Sono necessari dispositivi di evacuazione delle sovrappressioni nel caso che la sovrappressione risultante sia superiore al valore che ragionevolmente sia ammesso dalla resistenza della struttura o dei suoi elementi deboli.
- ?? Particolare attenzione deve essere fatta nella valutazione di volumi realizzati con strutture leggere o/o alluminio e vetrate.
- ?? Nelle applicazioni in cui si suppone uno sviluppo di fuoco modesto poiche' il sistema di estinzione e' attuato da una rivelazione incendio tempestiva e non siano presenti particolari combustibili, il contributo del fuoco allo sviluppo della sovrappressione puo' essere modesto, nel caso invece si possa supporre un potenziale sviluppo di un incendio dimensioni piu' importanti si dovra' considerare anche la contribuzione allo sviluppo della sovrappressione da parte dell' incendio.

#### **CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE:**

- ?? Le concentrazioni di spegnimento sono determinate a mezzo di test, e sono specifiche per ogni agente e per ogni combustibile. E' necessario considerare la relazione fra il rischio reale ed i dati disponibili.
- ?? La ultima edizione dello standard NFPA 2001 include un fattore di sicurezza del 30% per i combustibili di Classe B e per i sistemi ad attuazione manuale.
- ?? Lo standard ISO 14520 richiede un fattore di sicurezza del 30% sia per combustibili di Classe A che B.
- ?? Lo standard CEN probabilmente prescrivera' alcuni accorgimenti ancora piu' cautelativi.
- ?? Lo standard UNI 10877 e' in corso di revisione e verra' adeguato alla ultima edizione di ISO 14520, in futuro si dovra' allineare con i requisiti dello standard CEN.
- ?? Per alcune protezioni il fattore di sicurezza minimo non e' sufficiente . Il progettista deve considerare tutti i parametri che possono influire sulla affidabilita' del sistema.

- ?? Lo standard NFPA 2001 permette di utilizzare gli halocarbons con concentrazioni superiori al NOAEL se si utilizzeranno mezzi/procedure per limitare il tempo di esposizione delle persone ai tempi derivati dalla applicazione del protocollo PBPK.
- ?? E' essenziale l'utilizzo di un software di calcolo affidabile e di validita' provata/certificata.
- ?? Un sistema di rivelazione incendi ed attuazione rapida sono i mezzi per limitare la produzione di decomposizione termica sia dell'agente estinguente che da parte dell'incendio. Questa situazione deve essere particolarmente valutata quando sia richiesta una azione di estinzione rapida, quindi vanno considerati i tempi di erogazione degli estinguenti. (10 secondi per halocarbons, 1 minuto o piu' per i gas inerti ed l'anidride carbonica).
- ?? Il tempo di permanenza dell'agente estinguente all'interno del volume protetto dipende dalla concentrazione (quantita') di agente, dell'area totale di perdita, e dalla ubicazione delle perdite.
- ?? Non esiste una prescrizione di quanto deve essere protratto il tempo di permanenza dell'agente estinguente, il progettista dovra' valutare il rischio e considerare la possibilita' di sorgenti di ignizione persistenti dopo la scarica, quanto tempo sara' necessario per permettere l'estinzione delle braci, ed il tempo necessario poiche' le superfici surriscaldate si raffreddino.
- ?? Le sovrappressioni sviluppate all'interno dei volumi protetti dipendono dal tipo di agente estinguente, la concentrazione di progetto, l'area di perdita, ed il tempo di scarica.
- ?? Se la sovrappressione eccede la resistenza delle strutture e componenti del volume protetto si dovranno installare dei dispositivi di evacuazione della sovrappressione.