

# GLI ESTINGUENTI AEROSOL PIROTECNICI

Il loro metodo di estinzione degli incendi, la costruzione, il meccanismo di azione, il campo di impiego e gli effetti sull'ambiente e la salute

*Stefano Tiburzi - Progettista antincendio*

*Gli estinguenti aerosol pirotecnici (EAP) offrono un metodo unico di estinzione degli incendi per mezzo di una dispersione ultrafine di agente estinguente generato da una vaporizzazione attivata dal mezzo pirico e da una successiva condensazione. Un fumo dunque. L'aerosol agisce come un agente a saturazione essendo capace di spegnere focolai non irrorati direttamente ed avendo un lungo tempo di decadimento di questa capacità. Gli EAP dunque sono visti come potenziali sostituti degli halon 1301 e 1211 e contrariamente ad altre alternative agli halon offrono significativi vantaggi in ordine di dimensioni, costi e pesi. Inoltre gli EAP sono compatibili con l'ambiente non interferendo sui processi di distruzione dell'ozono (0 ODP) ed avendo valori di vita media in atmosfera (ALT) e potere di riscaldamento dell'atmosfera (GWP) insignificanti. Gli EAP sono utilizzabili sempre su fuochi di classe B, C, E; per i fuochi di classe A l'uso è adeguato se non vi è formazione di braci di dimensioni considerevoli: sono inefficaci su fuochi di classe D. Il loro uso va limitato alle aree non frequentate in quanto la generazione dell'aerosol oscura completamente la visuale. Come tutti gli estinguenti a saturazione, bisogna prendere precauzioni circa le ventilazioni e le aperture delle aree protette. Gli EAP non possono consi-*

*derarsi a tutti gli effetti dei Clean agent ma il depositarsi dell'aerosol non dovrebbe essere un grande problema se, dopo lo spegnimento, si attua una ventilazione per la rimozione del particolato.*

## **Quadro generale**

La continua attenzione ai comportamenti umani che influiscono sull'ambiente, ed in particolare l'influenza sullo stesso di particolari prodotti alogenati, ha indotto la Comunità Europea, a fronte del regolamento n. 3093/94, scaturito dal protocollo di Montreal relativo alle sostanze che riducono lo strato di ozono atmosferico, a porre fine all'uso di tutti gli estinguenti ricadenti nella famiglia degli Halon.

Gli halon, sviluppati durante la seconda guerra mondiale per risolvere i problemi relativi alla sicurezza antincendio degli aerei in volo, si sono dimostrati da subito ideali a causa del loro alto potere estinguente e della bassa tossicità; per di più il fatto che non fossero conduttivi e che non lasciassero residui dopo il loro impiego, ne ha decretato la classificazione di "clean agent" per antonomasia.

Da alcuni anni sono comparsi sul mercato prodotti antincendio che, pur non ricadendo nel campo dei prodotti alogenati, non essendo gas o liquidi bassobollenti han-

no comunque caratteristiche di impiego simili agli halon: i sistemi di Estinguenti Aerosol Pirotecnici (o pirici), gli EAP dunque.

L'EPA, Agenzia Statunitense per la Protezione dell'Ambiente (corrispondente all'ANPA italiana), nell'ambito delle ricerche sulle possibili sostanze e/o sistemi sostitutivi dell'halon, (Significant New Alternatives Policy -SNAP- Program) ha classificato tali prodotti come FEAS (Fire Extinguishing Aerosol System) ovvero powdered aerosol C, e per tali agenti estinguenti ha puntualizzato la non applicabilità della norma NFPA 2001 (norma della National Fire Protection Association non cogente in ambito Statunitense, ma di riferimento in tutto il mondo sull'impiego di "Clean Agent" il cui campo di applicazione non comprende gli EAP) e l'utilizzo solo in aree non occupate da personale a fronte di un utilizzo come "total flooding agent" ovvero estinguente per saturazione. L'utilizzo di EAP come "streaming agent" ovvero agente estinguente per irrorazione diretta, è ancora (alla data dei documenti visionati, giugno '95) in fase di valutazione.

La tecnologia degli EAP è nata in Russia negli anni '80 e si rifà direttamente all'esperienza acquisita da quel paese nello sviluppo dei propellenti solidi per il settore aerospaziale. Gli EAP sono diffusi in Russia in applicazioni indu-

## GLI ESTINGUENTI AEROSOL PIROTECNICI

striali e commerciali: gli stessi Vigili del fuoco di quel paese usano degli EAP come una specie di granata da lancio che spegnendo le fiamme permette un più facile intervento con l'acqua per lo spegnimento delle braci residue.

Attualmente la totalità, per quanto è divulgato, dei componenti base attivi degli EAP sono prodotti in Russia.

### Costruzione

I dispositivi pirotecnici sono usati in molte applicazioni come generatori di fuochi o di fumo e sono classificabili in via generale come composti di combustibili e comburenti che bruciando generano gli effetti desiderati. La teoria e l'uso dei dispositivi pirotecnici è ben conosciuta e gli EAP non sono diversi dagli altri artifici comunemente utilizzati.

Il progetto concettuale di un EAP è comune a tutti i costruttori.

Un contenitore metallico che non è un recipiente in pressione contiene la massa pirotecnica che può essere innescata elettricamente a strappo o a mezzo miccia (a volte la miccia costituisce essa stessa artificio di innesco sensibile alla temperatura). Prima della bocca da cui fuoriesce l'aerosol che a tutti gli effetti è il fumo prodotto dalla combustione della massa pirotecnica può essere presente un dispositivo per il raffreddamento dei fumi.

I dispositivi azionati elettricamente potranno essere asserviti a sistemi di rivelazione fumi o altro, né più né meno come i sistemi che utilizzano estinguenti gassosi.

La composizione della massa

pirotecnica non sempre è dichiarata apertamente dai costruttori e leggendo la loro letteratura si intuisce che i vari prodotti sono riconducibili a due categorie base:

Nitrato di potassio + Nitrocellulosa

Nitrato di potassio + Perclorato di potassio + Resina epossidica

Circa i dispositivi per raffreddare i fumi, ove presenti tali dispositivi non sempre indispensabili, anch'essi sono riconducibili a due principi di funzionamento:

- per via fisica attraverso labirinti metallici che fungono da radiatori;
- per via chimica attraverso la trasformazione di carbonato di calcio in calce viva con assorbimento di calore.

La reazione di combustione tra combustibile e comburente genera alte temperature, dell'ordine di 1000 gradi centigradi, il cui risultato è sali di potassio in fase gassosa. Questi gas condensano successivamente in nebbia liquida e infine in particolato solido che, essendo il risultato di una condensazione di gas, ha dimensioni minime (tra 0,5 e 4 micron  $\mu\text{m}$ ).

### Meccanismo di azione

Il meccanismo di azione degli EAP è di blocco dell'autocatalisi che si concretizza in una inibizione dei radicali che sostengono la reazione di combustione e si attua attraverso due azioni:

- Fisica
- Chimica

### Azione fisica

L'azione fisica di sottrazione di energia dalla fiamma è in primo luogo generata dal calore latente di trasformazione necessario al cambiamento di stato, da solido a liquido e da liquido a gas, dei sali di potassio costituenti l'aerosol.

L'azione fisica è anche legata alle caratteristiche chimico-fisiche dei metalli alcalini di cui il Potassio è parte. Questi elementi hanno potenziali di ionizzazione fra i più bassi e pertanto l'apporto di energia dato dalla fiamma è sufficiente a ionizzare, ovvero ad eliminare gli elettroni dall'atomo di potassio. Un atomo ionizzato è molto reattivo nei confronti di altri ioni presenti.

L'energia presente nella fiamma viene così ridotta di quella parte di energia necessaria a ionizzare.

La ionizzazione del potassio si manifesta con la caratteristica colorazione violetta della fiamma.

### Azione chimica

L'azione chimica si sviluppa durante la combustione; in effetti la combustione stessa è una serie di reazioni chimiche in cui interagiscono le molecole del combustibile, del comburente e parte delle molecole stesse, i radicali liberi, che vengono scisse dall'effetto stesso della temperatura generata dalla combustione. Questo processo di autosostentamento della reazione è conosciuto come autocatalisi.

I radicali sono per loro natura molto instabili e tendono, attraverso reazioni successive a portarsi ad un livello di stabilità finale.

## GLI ESTINGUENTI AEROSOL PIROTECNICI

Normalmente in una combustione i componenti principali in gioco sono:

ossigeno - idrogeno - carbonio

che generano come prodotti finali:

CO<sub>2</sub> (anidride carbonica)  
e H<sub>2</sub>O (acqua)

Durante la combustione si generano, oltre all'acqua e all'anidride carbonica, radicali liberi instabili di idrossido (ossidrile OH) che permettono alla reazione di proseguire.

Il potassio ionizzato, proveniente dalla scissione del carbonato (K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) o del cloruro (KCl) presente nell'aerosol, reagisce durante la combustione con i gruppi ossidrile OH (radicali liberi) formando KOH (idrossido di potassio) e quindi con la CO<sub>2</sub> formando di nuovo carbonato di potassio.

La reazione di combustione alimentata dalla presenza di radicali liberi a questo punto si interrompe e la fiamma si spegne.

L'idrossido di potassio che rimane tale quale nell'aerosol è pochissimo, qualche microgrammo, infatti il valore di PH (indice di alcalinità o acidità) delle polveri è variabile da circa 6,5 a 8,5, a seconda della casa costruttrice dell'EAP, a fronte di un valore di PH 12 riscontrabile in ambiente con presenza di KOH.

L'azione estinguente del carbonato di potassio non avviene né per soffocamento (allontanamento dell'ossigeno necessario alla combustione) come nella anidride carbonica o nei gas inertizzanti, né per raffreddamento (abbassa-

mento della temperatura sotto il livello in cui la reazione di combustione è possibile) come nell'acqua ma, con un meccanismo simile a quello dell'halon, attraverso una reazione indotta dalla fiamma stessa (reazione terminale della catena).

Da quanto sopra si evince che un parametro importante per valutare i vari tipi di EAP è la dimensione del particolato presente nell'aerosol: tanto più fine è questo tanto maggiore sarà la superficie esposta e quindi attiva nelle reazioni che si svolgono nella fiamma a parità di peso di sostanza attiva. Gli EAP senza il dispositivo di raffreddamento dei fumi producono in assoluto il particolato più fine e quindi hanno un rendimento migliore; seguono gli EAP con raffreddatore a labirinto ed infine quelli a carbonato di calcio con rendimenti di circa la metà dei primi ma con temperature dei fumi, all'uscita del dispositivo, prossime a 40 °C a 80 cm dalla bocca di diffusione.

### Campo di impiego

Gli EAP possono essere usati sia come agenti estinguenti a saturazione, sia come estinguenti ad irrorazione diretta. L'utilizzo in un modo o nell'altro dipende dalla costruzione dell'apparecchiatura che in un caso privilegerà una diffusione radiale, mentre nell'altro sarà progettata per consentire grandi concentrazioni proiettate a distanza.

Considerando il meccanismo di spegnimento, gli EAP si sono dimostrati molto efficaci nello spegnere fuochi di classe B e C. I fuo-

chi di natura elettrica, a volte classificati E, sono anch'essi ben controllati dagli EAP essendo peraltro un aerosol un dielettrico simile all'aria.

Per quanto riguarda i fuochi di classe A, essendo il meccanismo di spegnimento quello del blocco dell'autocatalisi senza raffreddamento della fiamma, l'uso degli EAP è simile a quello degli Halon per i quali la norma NFPA 12A ne prevede l'uso "generalmente limitato ai combustibili solidi che non diventino radicati" [letterale] ovvero, in pratica, che non diano luogo a braci in quantità consistenti. La limitazione è dovuta al fatto che in caso di braci la temperatura della brace non è così alta da ionizzare il potassio presente, che toccherebbe la reazione, ma è sufficiente a mantenere in vita le reazioni che coinvolgono l'ossidrile OH ed il carbonio C.

Riguardo ai fuochi di classe C, che nelle norme NFPA sono classificati in una unica categoria insieme ai fuochi di classe B; è doveroso ricordare la nota di "buonsenso" riportata nella norma NFPA 2001 al punto 3-4.2.1.1 che recita: "ATTENZIONE: In particolari condizioni può essere pericoloso spegnere un getto di gas infiammato. Come prima misura, chiudere l'alimentazione del gas". Il motivo è ovvio: un getto di gas infiammato è sicuramente pericoloso e potrà allargare l'incendio ma una fuga di gas incombusto può provocare, se innescata accidentalmente, una deflagrazione ben più catastrofica di un incendio.

Dal punto di vista formale e seguendo l'etimologia della dicitura

## GLI ESTINGUENTI AEROSOL PIROTECNICI

“Clean agent” [agenti puliti] gli EAP non possono considerarsi a pieno titolo “Clean agent” in quanto dopo il loro utilizzo lasciano depositare il particolato contenuto nell’aerosol relativo al 100% dell’agente estinguente. Bisogna però osservare che nella norma NFPA 2001 - Standard on Clean Agent Fire extinguishing Systems - edizione 1996, alla tabella 2-1.2 che descrive le caratteristiche di qualità degli agenti estinguenti presi in considerazione dalla norma, accetta un residuo non volatile di 0,05 grammi per 100 ml di estinguente.

Comparando i dati relativi alle concentrazioni minime di utilizzo degli estinguenti alogenati con le loro densità apparenti ne risulta che il residuo solido varia tra lo 0,3 e lo 0,5 grammi/metro cubo a fronte di un valore di 8 g/mc degli EAP.

Il residuo degli EAP può tuttavia essere facilmente aspirato da un aspirapolvere o diluito da un lavaggio con acqua.

### Ambiente e salute

#### Ambiente

Dal punto di vista del danno che gli EAP possono portare all’ambiente occorre prendere in considerazione due parametri:

ODP, Ozone Depletion Potential, [potenziale di distruzione dell’ozono] preso in considerazione dalla Conferenza di Montreal, che indica quanto un prodotto è attivo nei confronti dell’ozono atmosferico, misurato con un numero che definisce il rapporto con l’effetto prodotto dal triclorofluoro metano (FC1 1);

GWP, Global Warming Potential [potenziale globale di riscaldamento] che attualmente non è regolato da leggi ma di cui si sta occupando la Conferenza di Kyoto, che definisce un parametro (Kg-CO<sub>2</sub> 100 anni) per verificare quanto un prodotto contribuisce a incrementare l’effetto serra.

Altro parametro importante è ALT, Atmospheric LifeTime [vita atmosferica] misurato in numero di anni.

Gli EAP hanno ODP=0, GWP=0 e ALT trascurabile; quindi dal punto di vista ambientale sono prodotti il cui uso non presenta controindicazioni.

#### Salute

Per avere conforto sugli effetti sulla persona dell’aerosol prodotto dagli EAP si è verificato se i principali componenti, carbonato di potassio K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> e cloruro di potassio KC1, sono pericolosi per la salute da due punti di vista:

- effetto chimico, ovvero tossici o nocivi
- effetto fisico ovvero asfissianti o altro.

#### ● Effetto chimico

Consultando il “Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices” della ACGIH, associazione degli igienisti industriali americani, testo che è preso come riferimento in Italia nei rapporti tra sindacato e industria e il “The Merck Index 1989”, quasi una enciclopedia delle caratteristiche chimico fisiche di tutti i prodotti chimici conosciuti, si è constatato che:

- nel primo i due prodotti non sono presi in considerazione e,

visto che non sono prodotti recentemente scoperti, se ne è dedotto che dal punto di vista tossicologico non sono rilevanti;

- nel secondo, al titolo KCL ne descrive gli effetti relativi a mal di pancia e diarrea solo a fronte di ingestione.

#### ● Effetto fisico *Asfissia*

Il particolato prodotto dagli EAP ha una dimensione tra 0,5 e 4 micron  $\mu$ m. Le particelle più pericolose sono quelle di tale dimensione in quanto trattenute dall’albero bronchiale. Quindi una permanenza in ambiente saturo di aerosol di EAP è un fatto poco rilevante se coinvolge pochi atti respiratori e se il soggetto non è stato esposto ad altre situazioni di rischio. Il fatto che le particelle vengano trattenute porta come conseguenza che le dosi assunte sono in linea di principio cumulabili. Ma, considerando che i composti presenti nell’aerosol sono solubili, ne consegue che, salvo considerazioni sulle conseguenze di una assimilazione dei composti del potassio per via endobronchiale, per la quale sono in corso indagini, l’esposizione all’aerosol di EAP può ingenerare problemi respiratori per diminuzione di capacità respiratoria data da intasamento delle vie aeree solo per esposizioni protratte nel tempo senza effetto di accumulo.

#### ● Effetto fisico *Offuscamento*

L’innescò di EAP genera una nuvola di aerosol che offusca la vista e già dalla distanza di 50 cm è

## GLI ESTINGUENTI AEROSOL PIROTECNICI

impossibile distinguere alcunché. Ne consegue che, in caso di utilizzo di EAP in zone presidiate, il problema dell'evacuazione dei presenti è prioritario e problematico. L'esperienza delle compagnie aeree, sensibili al problema dell'evacuazione di passeggeri in presenza di fumo, raccomanda l'uso di luci rivolte verso i passeggeri che indichino il percorso di esodo, tuttavia, data l'eccezionale capacità di offuscamento degli aerosol in questione, la cosa andrebbe verificata sperimentalmente.

### Progettazione impiantistica

Il rapporto tra quantità di miscela pirotecnica impiegata e capacità di spegnimento è dato attualmente dal costruttore del sistema; il dosaggio in ambiente chiuso varia da 20 a 100g/mc.

La variabilità di tali valori, non essendo allo stato attuale una norma di calcolo unificata dipende da:

- la composizione del composto pirico
- la realizzazione del sistema di diffusione dell'aerosol
- dalla presenza o meno e dal tipo di raffreddatori
- dalle esperienze dei singoli costruttori.

C'è da notare inoltre che, sebbene il comportamento sul fuoco degli EAP sia simile a quello degli Halon e dei sostituti fluorurati, tuttavia, e la cosa può sembrare lapalissiana, un aerosol non è un gas che si distribuisce uniformemente solo in base al rapporto tra quantità diffusa e volume protetto, ma è soggetto in un primo tempo all'azione di galleggia-

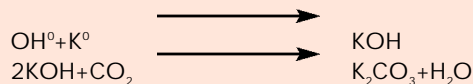
#### Ossidazione dell'idrogeno in una fiamma



#### Ossidazione dell'ossido di carbonio in una fiamma



#### Blocco dell'autocatalisi



#### Legenda

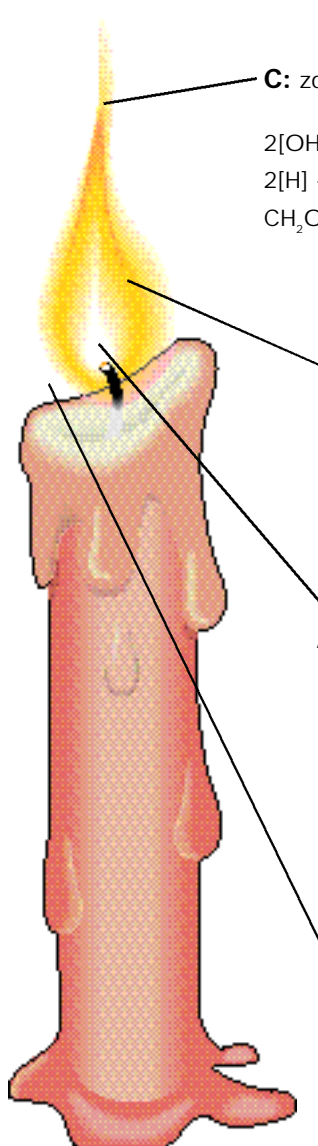
$H_2$	molecola idrogeno	stabile
$O_2$	molecola ossigeno	stabile
$H_2O$	molecola acqua	stabile
$H^\circ$	atomo idrogeno	instabile
$O^\circ$	atomo ossigeno	instabile
$OH^\circ$	radicale ossidrilico	instabile
$X^\circ$	radicale generico	instabile
$CO$	ossido di carbonio	instabile
$CO_2$	anidride carbonica	stabile
$KOH$	idrossido di potassio	stabile
$K_2CO_3$	carbonato di potassio	stabile

#### Applicazioni tipiche

Cabine elettriche	B.T. Piattaforme petrolifere	Macchine operatrici
Quadri elettrici	Vani motore veicoli	Apparati elettronici
Sottopavimenti CED	Locomotori e vagoni	Macchine da stampa
Archivi	Depositi infiammabili	Sala pompe infiammabili
Stazioni di servizio carburanti	Ripetitori radio	Trasformatori
Stive di carico	Generatori elettrici	
Stazioni riduzione gas	Sala macchine	Biblioteche

## GLI ESTINGUENTI AEROSOL PIROTECNICI

**REAZIONI TIPICHE ALL'INTERNO DI UNA FIAMMA  
DI METANO**



**C:** zona ossidante

$$2[\text{OH}] = \text{H}_2\text{O} + [\text{O}]$$

$$2[\text{H}] + [\text{O}] = \text{H}_2\text{O}$$

$$\text{CH}_2\text{O} + 2[\text{O}] = \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$$

**B:** zona riducente

$$\text{CO} + [\text{OH}] = [\text{H}] + \text{CO}_2$$

$$[\text{CH}_3] + [\text{O}] = \text{CH}_2\text{O} + [\text{H}]$$

**A:** zona fredda

$$2\text{CH}_4 + \text{O}_2 = [\text{CH}_3] + \text{CO} + [\text{OH}] + 4[\text{H}]$$

$$[\text{CH}_3] + [\text{O}] = \text{CH}_2\text{O} + [\text{H}]$$

zona di carburazione  
tra ossigeno e gas prodotti  
dal surriscaldamento  
dei materiali combustibili  
(in questo caso metano)

mento causata dai gas caldi di reazione che lo spingono verso l'alto e in seguito all'azione della gravità che tende a farlo sedimentare. È quindi necessario per il calcolo delle quantità di proget-

to che venga parametrizzato, qualche produttore lo ha già fatto, un coefficiente di forma del locale da proteggere.

Gli EAP non hanno bisogno di controlli periodici. Tutti i costrutto-

ri li garantiscono per almeno 15 anni di efficienza.

In linea di massima il procedimento da seguire per dimensionare un sistema di spegnimento a EAP è il seguente:

1. Calcolare il volume dell'ambiente da proteggere;
2. definire il coefficiente relativo al tipo di fuoco da estinguere;
3. definire il coefficiente relativo alle forme dell'ambiente da proteggere;
4. definire il coefficiente relativo a perdite di aerosol per aperture non chiudibili;
5. definire il coefficiente relativo al modo in cui è disposto il contenuto dell'ambiente;
6. definire il valore di un coefficiente di sicurezza.
7. A questo punto sappiamo la quantità totale necessaria di prodotto pirico.
8. Dividere la quantità totale in un certo numero di dispositivi in modo che il raggio di azione (dato del costruttore) di ogni dispositivo copra tutta la superficie dell'ambiente.

### Conclusioni

Le conclusioni finali circa l'uso degli EAP sono dunque le seguenti:

- Gli EAP non sono agenti estinguenti puliti ma il grado di inquinamento da particolato non è significativo se l'aerosol viene disperso prima che deposi-

## GLI ESTINGUENTI AEROSOL PIROTECNICI

ti.

- Gli EAP sono estremamente efficienti come agenti estinguenti a fronte di dosaggi tra 20 e 100 g/mc. Come estinguenti a saturazione essi hanno bisogno di ambienti confinati chiusi o con rateo di ventilazione conosciuto. L'uso sui fuochi di classe A deve essere accompagnato da una accurata ricognizione per eliminare le braci covanti.

Il potenziale corrosivo degli EAP è minimo a fronte delle minime quantità impiegate e per la bassa alcalinità del particolato. L'uso con libri e archivi è consigliato essendo la carta suscettibile all'ambiente acido.

- Gli EAP non sono dannosi per l'ambiente.
- Gli EAP sono di lunga vita.
- Basse esposizioni all'aerosol generato dagli EAP non dovrebbero avere conseguenze sulla salute. Comunque il particolato prodotto non è tossico.

