

La combustione dei pneumatici



*I prodotti
e la loro evoluzione
al variare
della temperatura
e della quantità
d'aria
a disposizione.*

I pneumatici sono materiali polimerici (il 45% del loro peso è costituito da elastomeri) con una struttura relativamente complessa.

L'elevata concentrazione di sostanza organica ridotta rende i pneumatici un substrato ossidabile nonché suscettibile di combustione. Il potere calorifero legato alla loro combustione è relativamente elevato (circa 8500 kcal/kg), in pratica 1 kg di pneumatici sviluppa la stessa quantità di calore di circa 0,7 kg di olio combustibile. Per queste ragioni, esistono diversi studi mirati al loro utilizzo come combustibile e nel 1996 già 27 fornaci di cementerie del nord America utilizzavano pneumatici a tale scopo. Tuttavia la difficoltà di avere un'auto-ignizione, e quindi la necessità di utilizzare delle fiamme pilota e la tossicità dei prodotti della loro combustione, hanno certamente contribuito ad una scarsa diffusione dei pneumatici come combustibile.

Il problema delle emissioni di prodotti tossici e mutageni diventa ancora più drammatico nel caso delle combustioni incontrollate. Attraverso indagini di laboratorio, nei fumi della combustione dei pneumatici, sono stati isolati più di 100 prodotti organici tra cui idrocarburi leggeri (metano, acetilene, etilene,...), composti monoaromatici (benzene, toluene, xilene,...), idrocarburi policiclici aromatici (naftalene, pirene, fenantrene), composti parzialmente ossigenati (naftolo, dibenzofurano, diossine,...) ed altri composti eterociclici. Come se non bastasse la discreta presenza di zolfo (mediamente 1,5%) e di azoto (mediamente 0,4%) nei pneumatici è responsabile della produzione degli ossidi nocivi quali SO_x (ossidi di zolfo) ed NO_x (ossidi di azoto).

L'esposizione a fumi così carichi di prodotti dannosi può rappresentare rilevanti rischi sia acuti sia cronici per la salute dell'uomo. In particolare, i rischi dipendono dal tempo e dal grado di esposizione, e mediamente gli effetti sono: irritazioni

La combustione dei pneumatici

alla pelle, agli occhi e alle mucose; danni al sistema nervoso centrale ed al sistema respiratorio; cancro. L'EPA (Environmental Protection Agency) stima che le emissioni da combustione incontrollata di pneumatici siano 13.000 volte più mutagene delle emissioni della combustione del carbone. Tuttavia è intuitivo pensare che la concentrazione di gas emessi dipenda, oltre che dalla composizione del pneumatico, anche dalle condizioni di temperatura e di aria disponibile a cui avviene la combustione. In quest'ottica, una ricerca recente è stata compiuta utilizzando un reattore da laboratorio a temperatura e flusso di aria controllati. I fumi sviluppati dalla combustione di qualche grammo di pneumatico sono stati raccolti e analizzati attraverso gas cromatografia accoppiata alla spettroscopia di massa (questo accoppiamento risulta uno dei più potenti e versatili tra le metodologie analitiche per lo studio di miscele complesse di composti volatili). Con questa tecnica è stato possibile evidenziare una diversa dipendenza delle concentrazioni di composti emessi dalla combustione dei pneumatici al variare della temperatura e

della quantità di aria disponibile per la combustione. Quest'ultimo parametro, in genere, è indicato con il rapporto tra la massa di aria disponibile e quella stechiometricamente necessaria alla combustione completa di tutto il materiale presente ($\lambda = v_{\text{disponibile}} / v_{\text{stechiometrico}}$).

Tale rapporto è indicato con il termine inglese "bulk air ratio" e si rivela di fondamentale importanza nel controllo dei processi di combustione in genere ed è un indice della quantità di ossigeno presente nel processo: valori di $\lambda > 1$ rappresentano combustioni che procedono in eccesso di ossigeno mentre per $\lambda = 0$ il processo attivo è la pirolisi (decomposizione in assenza di ossigeno, indotta dal calore).

L'effetto di λ sulle emissioni di monossido di carbonio (CO) e di diossido di carbonio (CO₂) è quello tipico per le combustioni di materiale organico in genere. In particolare, la quantità relativa di diossido di carbonio emessa aumenta progressivamente all'aumentare della quantità di aria presente mentre per il monossido di carbonio si ha un massimo di emissione per $\lambda = 0,5$ (cioè per una quantità d'aria



Incendio in un deposito di pneumatici

La combustione
dei pneumatici



pari alla metà di quella stechiometrica richiesta per la combustione completa). Per valori di $\lambda > 1$ non sono riscontrabili concentrazioni apprezzabili di monossido di carbonio.

Più complessa e variegata è l'emissione dei composti organici volatili, i quali sono classificabili in tre distinte categorie rispetto alle concentrazioni rivelate al variare dell'apporto di aria e a temperatura costante pari a 850°C. I tre casi sono elencati di seguito:

1. Composti la cui emissione si riduce con l'aumento di λ , fanno parte di questa categoria gli idrocarburi policiclici aromatici, che risultano praticamente assenti a $\lambda > 1,25$;

2. Composti che mostrano un massimo di emissione intorno a $\lambda = 0,5$ per poi essere praticamente assenti quando la quantità di aria supera quella stechiometrica, si inseriscono in quest'ambito composti parzialmente ossidati come alcoli, furani, acidi organici,...

3. Composti che incrementano in concentrazione se la quantità di aria disponibile è più elevata, tipici esempi sono gli idrocarburi alifatici e le amidi. In riferimento all'effetto della temperatura sui prodotti emessi durante la combustione dei pneumatici, sono individuabili due classi distinte di composti:

1. Idrocarburi monoaromatici e composti parzialmente ossidati, la cui concentrazione decresce all'aumentare della temperatura e risultano praticamente assenti per temperature superiori a 1000°C;

2. Idrocarburi policiclici aromatici, per i quali le concentrazioni emesse presentano un massimo intorno a 850°C.

Altri studi recenti, sul comportamento dei pneumatici al riscaldamento ad alte temperature, sono stati condotti attraverso misure termogravimetriche. Questa tecnica consiste nel sottoporre a riscaldamento controllato il campione, mentre se ne misura la perdita in peso dovuta all'allontanamento dei prodotti volatili. La procedura può essere ripetuta utilizzando rispettivamente atmosfera inerte (azoto) e aria in modo da distinguere le perdite in peso, dovute a processi pirolitici, da quelle dovute alla combustione.

I risultati ottenuti su alcuni campioni di pneumatici mostrano che la temperatura, a cui si innescano processi pirolitici, è pari a circa 300°C e che la combustione con consumo di ossigeno può aversi solo a temperature maggiori di 480°C.

In conclusione vorrei dedicare alcune parole al controllo ed all'estinzione della combustione dei pneumatici data l'esistenza di particolari complicanze, in aggiunta ai rischi legati alla tossicità delle emissioni già mostrate. La particolarità della forma dei pneumatici rende estremamente complicato il raggiungimento di tutta la superficie in combustione da parte degli estinguenti, e permette all'aria di intrappolarsi e quindi di continuare ad alimentare la combustione. L'elevato potere calorifero è un ulteriore elemento di difficoltà.

Come in ogni caso il rimedio più efficace è certamente "la prevenzione", tuttavia, nei casi in cui l'incendio è in atto, le linee guida fornite dall'EPA per questo genere di incendi consistono nell'immediato isolamento del materiale in fiamme e la sua estinzione mediante immersione in acqua. In alternativa, si può utilizzare acqua nebulizzata, nel caso in cui non fosse disponibile una riserva d'acqua utile per l'immersione dei pneumatici. L'uso di un flusso di acqua diretto si è rivelato meno efficace.

In molti casi il controllo dell'incendio è stato eseguito soffocando la combustione con materiale di riempimento (sabbia per esempio), tuttavia in questi casi è possibile avere fumi altamente nocivi e duraturi che necessitano una sorveglianza continua ed un monitoraggio dei gas emessi per alcune settimane. La tossicità di questi fumi è legata alla presenza di elevate concentrazioni di idrocarburi policiclici aromatici (prodotti cancerogeni), le cui emissioni incrementano quando la quantità di aria disponibile è scarsa (valori di $\lambda < 1$), come già mostrato in precedenza.