



etea SICUREZZA

# SEMINARIO TECNICO

## Valutazione di Rischio Incendio

---

Ing. Giorgio Ravera



etea SICUREZZA

## **Protezione Passiva - Innovazioni industriali**

### **Tende tagliafumo e tagliafuoco**

#### **INDICE:**

- CHIMICA E FISICA DELL'INCENDIO – CONCETTI DI BASE
- INCENDI DI SOLIDI, LIQUIDI E GAS
- TEMPERATURE E LIMITI DI INFIAMMABILITA'
- TOSSICITA' DEI PRODOTTI DA COMBUSTIONE
- DINAMICA DELL'INCENDIO



etea SICUREZZA

- La combustione è un **processo di ossidazione** che, in natura, di solito ha luogo in presenza di ossigeno atmosferico.
- Nelle combustioni si liberano grandi quantità di **energia**
- La **temperatura** è il parametro che più influenza la velocità di reazione. Tutte le reazioni accelerano all'aumentare della temperatura



etea SICUREZZA

- Sotto una certa temperatura, detta appunto **temperatura di accensione** o **temperatura di ignizione**, le collisioni molecolari, abbastanza veloci da superare la barriera di attivazione, e quindi da dar luogo a complessi attivati, sono poco probabili e la combustione procede perciò in forma lenta o latente.
- Sopra la temperatura di accensione, invece, un gran numero di collisioni danno luogo a complessi attivati e perciò la concentrazione dei complessi attivati cresce e la combustione diventa più rapida.
- Se poi in un volume abbastanza grande combustibile e comburente, ben miscelati, si portano alla temperatura di accensione in un intervallo ristretto di tempo, la liberazione di energia può avere l'andamento di una **esplosione**. Tutto dipende dalle modalità di raggiungimento della temperatura di accensione nel tempo e nei diversi punti e quindi, essenzialmente, dai processi di scambio termico e di liberazione di energia in forma termica: è questo il problema della propagazione delle combustioni.



etea SICUREZZA

- Il propagarsi di un incendio e più in particolare di una fiamma richiede la presenza contemporanea di tre requisiti fondamentali:
  - • **combustibile**
  - • **comburente**
  - • **temperatura adeguata.**



etea SICUREZZA

- E' utile notare che la maggior parte delle combustioni avviene in **fase gassosa**.
- Ciò risulta ovvio per i **combustibili** che si presentano già come gas, ma vale anche per quelli liquidi e solidi. Infatti, nel caso dei combustibili liquidi, si ha prima una evaporazione del liquido (le molecole di combustibile che si trovano in fase liquida per effetto della temperatura passano in fase gassosa) e successivamente avviene la combustione del gas. Anche nei solidi si ha prima un passaggio dalla fase solida a quella di vapore (sublimazione) di alcune sostanze che bruciano subito e solo successivamente si ha la combustione del carbonio nel residuo.



etea SICUREZZA

- Indipendentemente dal tipo di combustibile da cui provengano, i gas si trovano a reagire con l'**ossigeno**: il **comburente**.



etea SICUREZZA

- Il terzo requisito fondamentale è la **temperatura**, che deve permettere alla miscela di combustibile e comburente una reazione di combustione. Questo può avvenire ad esempio per **innesco**. Una volta sviluppatasi la reazione di combustione in un punto, il calore che da questa si propaga riscalda le zone circostanti: tale riscaldamento determina l'innesco di altre reazioni di combustione e quindi la **propagazione** della fiamma.

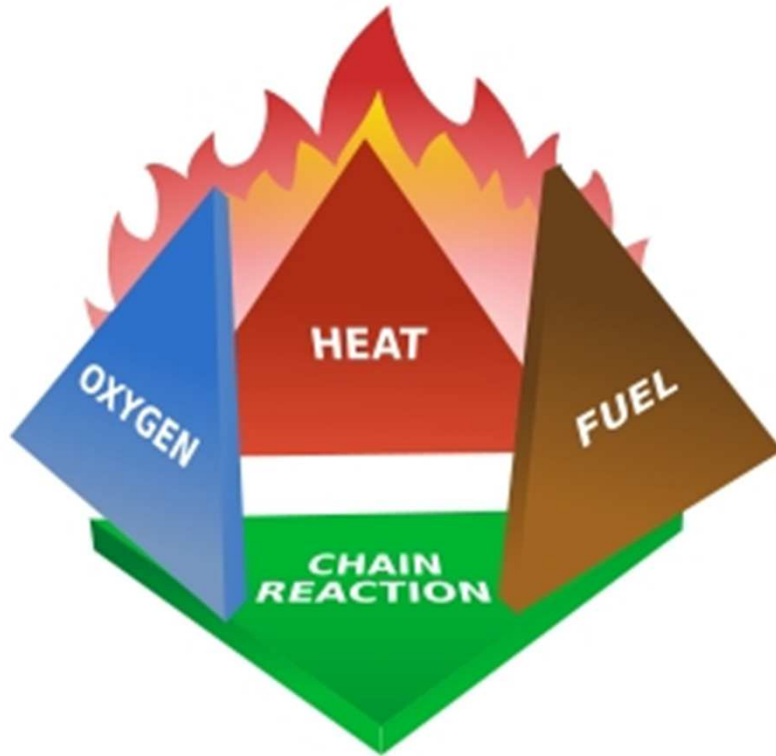




etea SICUREZZA

## Protezione Passiva - Innovazioni industriali

### Tende tagliafumo e tagliafuoco



#### TRE OSSERVAZIONI SUGLI INCENDI...

1. Il fuoco è una rapida ossidazione di un combustibile con sviluppo di gas caldi ed irraggiamento di calore.
2. Rimuovere uno dei quattro componenti del Tetraedro del Fuoco estinguerà l'incendio.
3. Ciò che brucia in un combustibile liquido sono i vapori che vengono emessi e non la parte liquida.

## TETRAEDRO DEL FUOCO



etea SICUREZZA

- La **velocità** con la quale la propagazione avviene varia notevolmente in relazione alla natura del gas, al rapporto tra combustibile e comburente, alle dimensioni dell'ambiente di combustione.
- Non è facile stabilire delle regole che permettano di prevedere la velocità di propagazione della fiamma poiché le variabili del fenomeno risultano troppo numerose.
- Si può tuttavia affermare che la velocità di propagazione è tanto maggiore quanto più la quantità di combustibile e quella di comburente risultano tra loro in un rapporto prossimo a quello detto **stechiometrico**, con cui effettivamente si combinano nella reazione di combustione.
- Per comprendere il fenomeno della propagazione di fiamma risultano molto importanti i seguenti parametri:
  - **limite superiore ed inferiore di infiammabilità**
  - **temperatura di infiammabilità**
  - **temperatura di accensione.**



etea SICUREZZA

- **Limiti di infiammabilità**
- Come abbiamo già sottolineato, affinché la combustione avvenga è necessaria la presenza contemporanea di un combustibile, di un comburente e di una temperatura al di sopra di una certa soglia. Risulta però necessario che il rapporto tra combustibile e comburente sia entro certi limiti, noti appunto come **limiti di infiammabilità**.
- I limiti di infiammabilità nel caso di combustibili gassosi vengono espressi come la **percentuale in volume di combustibile nella miscela aria - combustibile**.
- Si distinguono in **limite inferiore** e **limite superiore** di infiammabilità.
- Il limite **inferiore** di infiammabilità rappresenta la **minima concentrazione** di combustibile nella miscela aria-combustibile che consente a quest'ultima, se innescata, di reagire dando luogo ad una fiamma in grado di propagarsi a tutta la miscela.
- Il limite **superiore** di infiammabilità rappresenta la **concentrazione massima** di combustibile in presenza della quale il comburente, cioè l'aria, risulta insufficiente per dar luogo ad una fiamma in grado di propagarsi a tutta la miscela.



etea SICUREZZA

- Se il gas o vapore infiammabile è diluito con un eccesso d'aria, il calore sviluppato dall'accensione è insufficiente a far salire la temperatura degli strati adiacenti di miscela fino al punto di accensione. La fiamma non può propagarsi attraverso l'intera miscela ma si estingue. Se nella miscela è presente un eccesso di combustibile (al di sopra del limite superiore di infiammabilità), questo funzionerà da diluente, abbassando la quantità di calore disponibile agli strati adiacenti di miscela, fino ad impedire la propagazione della fiamma.



etea SICUREZZA

- L'ampiezza del **campo di infiammabilità** dei combustibili dipende dalla loro **reattività**, che a sua volta è determinata dal numero e dall'entità dei legami che tengono insieme gli atomi delle molecole. L'intervallo compreso tra il limite inferiore e il limite superiore di infiammabilità rappresenta il valore delle concentrazioni di combustibile entro le quali le condizioni risultano favorevoli alla propagazione della fiamma.



etea SICUREZZA

- **Temperatura di infiammabilità**

La **temperatura di infiammabilità** è la più bassa temperatura alla quale un combustibile liquido emette vapori sufficienti a formare con l'aria una miscela che, **se innescata**, brucia spontaneamente.

La conoscenza della temperatura di infiammabilità risulta molto importante ai fini della conservazione e del trasporto dei combustibili.



etea SICUREZZA

- Valori **bassi** della temperatura di infiammabilità indicano una **maggiore pericolosità** del combustibile:
  - temperature inferiori ai 20°C indicano sostanze esplosive (ad esempio benzina ed alcol);
  - temperature tra 21°C e 65°C indicano sostanze che esplodono solo se riscaldate;
  - temperature superiori ai 65°C indicano i normali combustibili (gasolio, olio combustibile e lubrificanti).



etea SICUREZZA

## • Temperatura di accensione

La **temperatura di accensione** rappresenta la temperatura minima alla quale un combustibile, in presenza d'aria brucia **senza necessità di innesco**.

Sostanza	Temperatura di accensione (°C) Valori indicativi
Acetone	540
Benzina	250
Gasolio	220
Idrogeno	560
Alcool metilico	455
Carta	230
Legno	220-250
Gomma sintetica	300
Metano	537





etea SICUREZZA

- **PARAMETRI DELLA COMBUSTIONE**
- E' molto difficile prevedere attraverso calcoli teorici lo sviluppo e la propagazione della combustione. E' possibile invece valutare alcuni parametri fondamentali che la influenzano e che forniscono elementi guida per la predisposizione delle difese contro gli incendi.
- I fattori che più influenzano le combustioni sono:
  - • il **potere calorifico** dei combustibili
  - • la **temperatura teorica di combustione**
  - • l'**aria teorica necessaria** alla combustione



etea SICUREZZA

- Il potere calorifico si definisce come la quantità di calore (espresso in kcalorie o in milioni di joule - MJ ) sviluppata dalla combustione di una quantità unitaria di combustibile (espressa in kg per i combustibili solidi e liquidi, per i gas in metri o in decimetri cubici misurati in condizioni normali, cioè a pressione atmosferica e a 0°C).
- L'**unità di misura** utilizzata per esprimere tale parametro è **MJ/kg** (mega Joule per chilogrammo) o **kcal/kg** (chilo calorie per chilogrammo). Un MJ corrisponde a 238 kcal.
- I **valori** del potere calorifico vanno dalle 900 kcal/m<sup>3</sup> del gas d'aria alle 11.000 kcal/kg delle benzine automobilistiche ed oltre.



etea SICUREZZA

- Per bruciare un combustibile sfruttando al massimo la sua capacità di produrre un effetto termico, è necessario farlo **combinare** con una **determinata quantità di ossigeno**.
- Tale ossigeno è in pratica fornito dall'**aria**, in cui è contenuto nel rapporto in volume di 1/5 circa (la restante parte è azoto più tracce di altri gas).
- La quantità di aria strettamente necessaria alla combustione dipende dalla composizione chimica del combustibile: l'aria necessaria è tanto maggiore quanto più elevato è il potere calorifico del combustibile.
- Nella pratica non è però sufficiente l'aria teorica: affinché si sviluppi la combustione completa occorre una quantità d'aria maggiore. La parte in più del valore teorico viene chiamata **eccesso d'aria**, e dipende dal tipo di combustibile. L'aria in eccesso non prende parte però alla combustione e la si trova pertanto nei prodotti.
- Un difetto d'aria provoca la formazione di prodotti intermedi, quali ad esempio l'ossido di carbonio.



etea SICUREZZA

- La temperatura della combustione è la **massima temperatura** alla quale possono essere portati, **teoricamente**, i prodotti di combustione dal calore svolto dalla combustione stessa. Tale parametro rappresenta un dato di rilevante interesse pratico in quanto da questo è possibile ricavare informazioni sulla **pericolosità** e sull'**evolversi** della combustione.
- La temperatura di combustione è condizionata dal potere calorifico del combustibile e dalla capacità termica dei prodotti di combustione.



etea SICUREZZA

- I gas di combustione sono quei prodotti della combustione che rimangono allo stato gassoso anche quando raggiungono, raffreddandosi, la temperatura ambiente di riferimento (15°C).
- La produzione di tali gas dipende dal tipo di combustibile, dalla percentuale di ossigeno presente e dalla temperatura raggiunta nell'incendio.
- Nella stragrande maggioranza dei casi, la **mortalità per incendio** è da attribuire all'**inalazione** di questi gas che producono danni biologici per anossia o per tossicità.
- Vediamo ora i principali gas di combustione.



etea SICUREZZA

## Ossido di carbonio

Gas tossico, spesso presente in grandi quantità negli incendi, costituisce di solito il pericolo più grande. E' sempre presente in grandi quantità quando si tratti di fuochi sviluppatasi in ambienti chiusi con scarsa ventilazione e in tutti i casi dove **scarseggia l'ossigeno** necessario alla combustione. **L'azione tossica** dell'ossido di carbonio è dovuta al fatto che esso altera la composizione del sangue: il monossido di carbonio forma infatti con l'emoglobina un composto (la carbossiemoglobina) che impedisce la formazione dell'ossiemoglobina, fondamentale per l'ossigenazione dei tessuti del corpo umano. L'esposizione in ambienti contenenti l'1,3% di monossido di carbonio produce incoscienza quasi istantaneamente e la morte dopo pochi minuti. La percentuale dello 0,15% per 1 ora o dello 0,05% per 3 ore può risultare mortale. La percentuale dello 0,4% è fatale in meno di 1 ora.



## **Anidride carbonica**

Si forma sempre in grandi quantità negli incendi. E' un gas asfissiante che in forte concentrazione provoca una accelerazione del ritmo respiratorio, con la conseguenza che, se sono presenti gas tossici, aumenta la quantità di sostanze tossiche immesse nell'organismo. Inoltre una percentuale del 5% di anidride carbonica nell'aria, la rende irrespirabile.



etea SICUREZZA

- Altri:
- Idrogeno solforato
- **Anidride solforosa**
- **Acido cianidrico**
- **Aldeide acrilica o acroleina**
- **Ammoniaca**
- **Fosgene**
- **Perossido di azoto**
- **Altro ancora...**





etea SICUREZZA

SOSTANZA	COMPOSTI TOSSICI DERIVANTI DA COMBUSTIONE	PRODOTTI MAGGIORMENTE TOSSICI
PVC	CO - CO <sub>2</sub> HCl (acido cloridrico) Benzene - Toluene	HCl - CO
Poliammidi	CO - CO <sub>2</sub> HCN (acido cianidrico)	HCN - CO
Poliesteri	CO - CO <sub>2</sub> HCN (acido cianidrico) (HCl per i materiali clorurati)	HCN - CO
Resine fenoliche	CO - CO <sub>2</sub> Fenolo e derivati	CO - Fenoli
Poliacrilici	CO - CO <sub>2</sub> Metacrilato di metile	CO - Metacrilato di metile
Polistirene	CO - CO <sub>2</sub> Toluene - Stirene - Benzene (idrocarburi aromatici)	CO - Idrocarburi aromatici
Legno e derivati	CO - CO <sub>2</sub>	CO
Lana	CO - CO <sub>2</sub> HCN (acido cianidrico)	CO - HCN



etea SICUREZZA

I **fumi** sono formati da piccolissime particelle solide (aerosol), liquide (nebbie o vapori condensati) disperse nei gas prodotti durante la combustione.

Salvo casi particolari quali la combustione del metano, la combustione è quasi sempre accompagnata dalla formazione di fumi; normalmente sono prodotti in quantità tali da impedire la visibilità ostacolando l'attività dei soccorritori e l'esodo delle persone. E' quindi il fumo il primo ostacolo che si deve evitare nei locali ove si sviluppa l'incendio.

Le **particelle solide** dei fumi sono costituite da sostanze incombuste: particelle di carbonio, catrami e ceneri. Queste, trascinate dai gas prodotti dalla combustione, formano il fumo di colore scuro.

Le **particelle liquide**, invece, sono costituite essenzialmente da vapor d'acqua proveniente dall'umidità dei combustibili, ma soprattutto dalla combustione dell'idrogeno. Al di sotto dei 100°C, quando i fumi si raffreddano, il vapor d'acqua condensa dando luogo a fumo di colore bianco.

Negli incendi l'eccesso d'aria non è mai assicurato, quindi vi è una notevole possibilità che all'interno dei fumi siano presenti gas tossici.



Il **calore** è la causa principale della propagazione degli incendi. Esso realizza l'aumento della temperatura di tutti i materiali e corpi esposti, provocandone il danneggiamento fino alla distruzione.

Oltre certi limiti, il calore causa all'uomo disidratazione dei tessuti, difficoltà respiratorie e scottature.

Una temperatura dell'aria di 150°C è da ritenersi sopportabile solo per brevissimo tempo e sempre che l'aria sia sufficientemente secca. Negli incendi, invece, sono presenti grandi quantità di vapore acqueo, così anche temperature di 50°C risultano estremamente dannose.



## **Fattori da cui dipende un incendio**

I principali **fattori** da cui dipende lo sviluppo e la modalità di propagazione di un incendio sono:

- compartimento
- carico d'incendio
- ventilazione
- velocità di combustione



L'incendio viene di solito distinto in tre fasi:

1. fase iniziale o di accensione
2. fase di incendio vero e proprio o a velocità di combustione costante
3. fase di estinzione o raffreddamento

La prima fase va dal primo apparire della fiamma al così detto **flashover** o infiammazione generalizzata; la seconda dal flashover al punto in cui la temperatura media raggiunge il suo valore massimo; la terza fase va dal punto di temperatura massimo fino all'estinzione totale. La fase di estinzione si ritiene completata quando la temperatura media raggiunge circa i 300°C.



etea SICUREZZA

