

Prevenzione incendi

Principi della combustione

Principi della Combustione

Combustione

Reazione chimica, sufficientemente rapida, tra una sostanza **combustibile** e una sostanza **comburente**, in presenza di una **sorgente di calore**

Effetti

Sviluppo di energia (*calore, fiamma, luce*)
trasformazione delle sostanze (*prodotti della combustione*)

Fuoco

Manifestazione visibile della combustione

Principi della Combustione

Combustione

Può avvenire con o senza sviluppo di fiamme superficiali L'assenza di fiamma superficiale indica che la sostanza combustibile non è più in grado di sviluppare particelle volatili

Comburente

Normalmente è l'ossigeno contenuto nell'aria, ma esistono sostanze che contengono nella loro molecola una quantità di ossigeno sufficiente a determinare una combustione (es. celluloidi, esplosivi)

Principi della Combustione

Condizioni necessarie

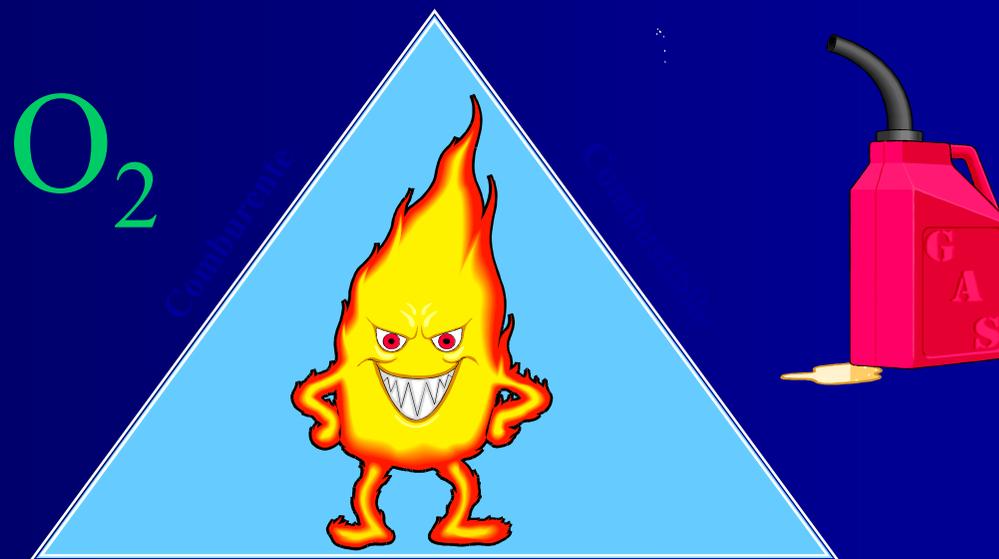
presenza di **COMBUSTIBILE**

presenza di **COMBURENTE**

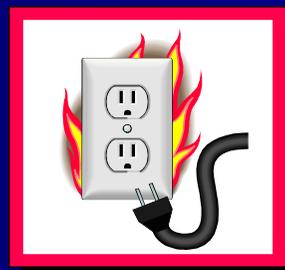
presenza di **INNESCO** (*fiamma o scintilla*)

Solo la presenza contemporanea di tali elementi può dar luogo al fenomeno dell'incendio e, quindi, il venire meno di uno di essi ne determina lo spegnimento

Il triangolo del fuoco



Innesco, energia di attivazione



Principi della Combustione

Estinzione dell'incendio

esaurimento del combustibile

allontanamento o separazione della sostanza combustibile dal focolaio d'incendio

soffocamento

separazione del comburente dal combustibile o riduzione della sua concentrazione nell'aria

raffreddamento

sottrazione di calore fino a ottenere una temperatura inferiore a quella necessaria per il mantenimento della combustione

Principi della Combustione

Classificazione degli incendi

classe A → incendi di solidi combustibili

classe B → incendi di liquidi infiammabili

classe C → incendi di gas infiammabili

classe D → incendi di metalli combustibili

Principi della Combustione

Innesco

È l'elemento che, a contatto con la miscela infiammabile, determina la reazione di combustione

Requisiti:

- 1. Temperatura superiore a quella di accensione della miscela*
- 2. Apporto di energia calorifica*
- 3. Durata del tempo di contatto*

Principi della Combustione

Sorgenti d'innesco

Accensione diretta: contatto tra una fiamma, scintilla o altro materiale incandescente con un combustibile, in presenza di ossigeno *(es. operazioni di taglio e saldatura, fiammiferi e mozziconi di sigaretta, lampade e resistenze elettriche, scariche statiche)*

Accensione indiretta: calore di innesco trasmesso per convezione, conduzione o irraggiamento termico *(correnti d'aria calda generate da un incendio e diffuse tramite vano scala o altri collegamenti verticali; propagazione di calore attraverso elementi metallici strutturali degli edifici)*

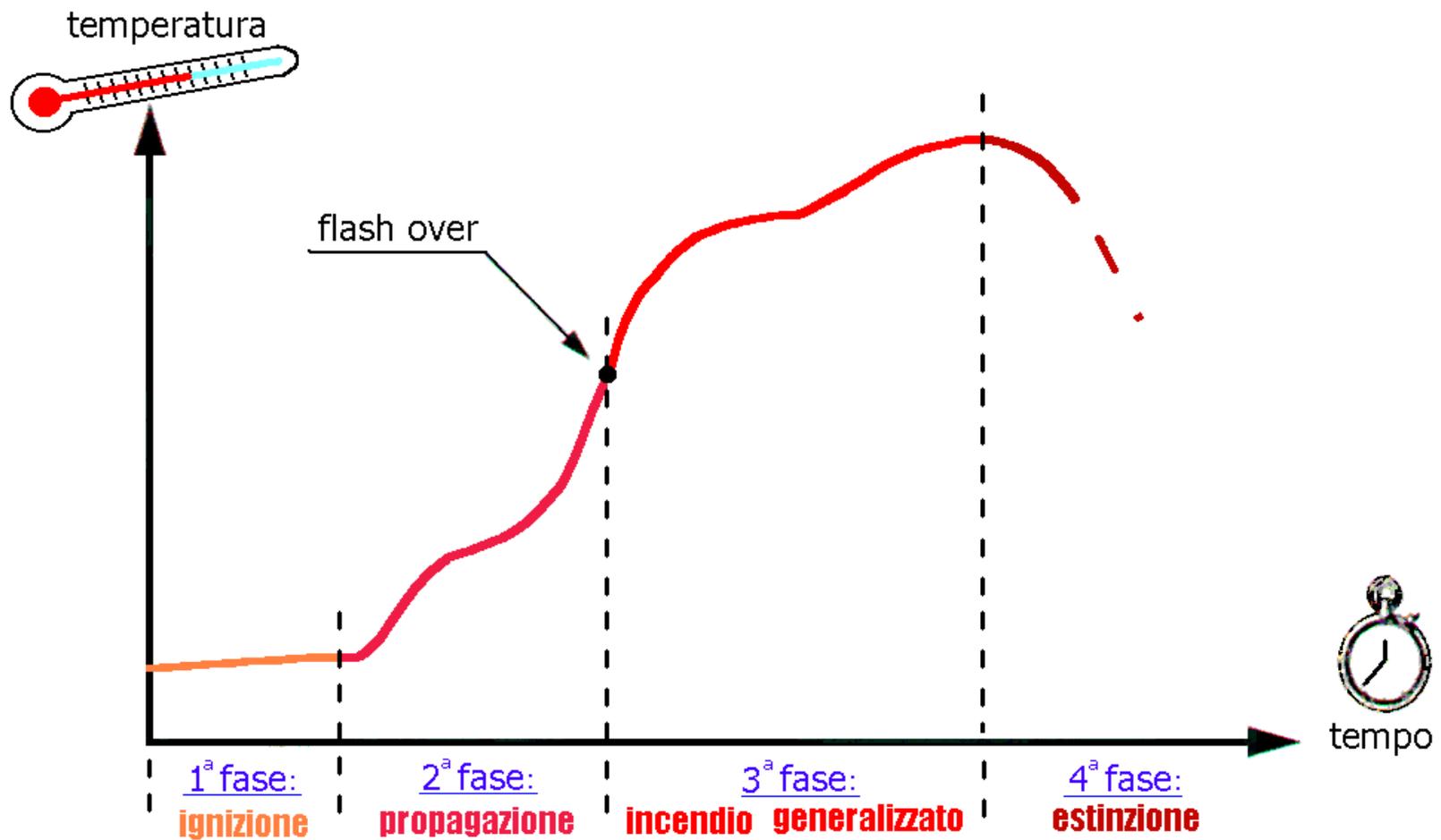
Principi della Combustione

Sorgenti d'innescò

Attrito: calore prodotto dallo sfregamento di due materiali *(es. malfunzionamento di parti meccaniche quali cuscinetti, motori, etc.)*

Autocombustione: calore prodotto dallo stesso combustibile nei casi di lenti processi di ossidazione, reazioni chimiche, decomposizioni esotermiche in assenza d'aria, azione biologica *(es. cumuli di carbone, stracci o segatura imbevuti di liquidi infiammabili, polveri di ferro o nichel, fermentazione di vegetali)*

Dinamica dell'incendio



Dinamica dell'incendio

Fase di ignizione

- Infiammabilità del combustibile
- Possibilità di propagazione della fiamma
- Grado di partecipazione al fuoco del combustibile
- Geometria e volume degli ambienti
- Ventilazione dell'ambiente

Fase di propagazione

- Produzione di gas tossici e corrosivi
- Riduzione visibilità per i fumi di combustione
- Rapido aumento delle temperature
- Aumento dell'energia di irraggiamento

Dinamica dell'incendio

Incendio generalizzato (flash-over)

- Brusco incremento della temperatura
- Crescita esponenziale della velocità di combustione
- Forte aumento di emissioni di gas e particelle incandescenti
- Autoaccensione dei combustibili vicini al focolaio

Estinzione e raffreddamento

- Decremento delle temperature interne causa la progressiva diminuzione dell'apporto termico residuo e la dissipazione di calore tramite i fumi

La combustione

GLI ELEMENTI



=



+

CO_2
 H_2O (vapore)
Ecc.

Combustibile

Comburente

Innesco

Fuoco

Prodotti di combustione

LE CONDIZIONI



Temperatura di infiammabilità

%

Campo di infiammabilità



Temperatura di accensione



Temperatura teorica di combustione

Temperatura Accensione o Autoaccensione

Sostanze	Temperatura accensione (°C)
Acetone	540
Benzina	250
Gasolio	220
Idrogeno	560
Alcool metilico	455
Carta	230
Legno	220-250
Carbon coke	550
Gomma sintetica	300
Gas di città	560
G.P.L.	350-450
Metano	537

Minima temperatura alla quale la miscela combustibile-comburente inizia a bruciare in modo continuo senza ulteriore apporto di calore o energia dall'esterno

Temperatura Teorica di Combustione

Sostanze	Temperatura di combustione (°C)
Idrogeno	2205
Metano	2050
Petrolio	1800
Propano	2230

- Il più elevato valore di temperatura che può essere
- raggiunto nei prodotti di combustione di una sostanza

Aria Teorica di Combustione

Sostanze	Aria teorica di combustione (Nmc/Kg)
Legno	5
Carbone	8
Benzina	12
Alcool etilico	7,5
Polietilene	12,2
Propano	13
Idrogeno	28,5

- Quantità di aria necessaria per raggiungere la
- combustione completa di tutti i materiali combustibili

Potere Calorifico

Sostanze	Potere calorifico inferiore (MJ/Kg)
Legno	17
Carbone	30-34
Benzina	42
Alcool etilico	25
Polietilene	35-45
Propano	46
Idrogeno	120

Quantità di calore prodotta dalla combustione completa dell'unità di massa o di volume di una determinata sostanza combustibile

Temperatura Infiammabilità

Sostanze	Temperatura Infiammabilità (°C)
Gasolio	65
Acetone	-18
Benzina	-20
Alcool metilico	11
Alcool etilico	13
Toluolo	4
Olio lubrificante	149

Minima temperatura alla quale i liquidi combustibili / infiammabili emettono vapori in quantità tale da formare con l'aria una miscela capace di bruciare in caso d'innesco

Limiti di infiammabilità

Sostanze	Campo di infiammabilità (% in volume)	
	Limite inferiore	Limite superiore
Acetone	2,5	13
Ammoniaca	16	25
Benzina	0,7 – 1,1	8
Gasolio	0,6	6,5
Idrogeno	4	75,6
Metano	5	15

Individuano il campo di infiammabilità all'interno del quale si verifica, in caso di innesco, l'accensione e la propagazione della fiamma nella miscela

Limite inferiore → la minima % in volume di vapore della miscela, al di sotto della quale non si ha accensione in presenza di innesco per carenza di combustibile

Limite superiore → la massima % in volume di vapore della miscela, al di sopra della quale non si ha accensione in presenza di innesco per eccesso di combustibile

Campo di esplosività

Quanto più i valori di miscelazione combustibile – aria sono interni al campo di infiammabilità, tanto più la combustione si sviluppa con violenza e rapidità, assumendo sempre più carattere esplosivo

La velocità massima di combustione si ottiene, generalmente, in corrispondenza del rapporto stechiometrico della miscela

Il “*campo di esplosività*” risulta pertanto costituito da valori di miscelazione interni al “*campo di infiammabilità*”, entro i quali la combustione avviene con le caratteristiche dell’esplosione

Ne consegue che l’esplosione è, a tutti gli effetti, un processo di combustione, che avviene però con velocità di propagazione del fronte di fiamma molto superiore alla normale velocità di fiamma di un incendio

Campo di esplosività

Miscela infiammabile

Valori di miscelazione combustibile – aria interni al
“*campo di infiammabilità*”

Miscela esplosiva

Valori di miscelazione combustibile – aria interni al
“*campo di esplosività*”

Una esplosione si propaga nell'ambiente circostante con una geometria approssimativamente sferica, producendo *calore, luce (fiamma)* e un rapido aumento di *pressione* (es. *una esplosione di vapori confinata in ambiente chiuso può generare una pressione fino a 9 bar (90.000 kg/mq.)*)

Esplosione

Definizione

Rapida espansione di gas dovuta a reazione chimica di combustione

Effetti fisici

produzione di calore, onda d'urto, picco di pressione

Conseguenze

- distruzione meccanica delle strutture
- ustioni generalizzate, di gravità inversamente proporzionale alla distanza
- incendio delle sostanze combustibili liquide, e di quelle solide facilmente accendibili (*per il ridotto tempo di azione del fenomeno, non sufficiente per incendiare tutte le sostanze solide combustibili*)

Esplosione

Può differenziarsi in

Deflagrazione

Allorché il fronte di fiamma si muove a velocità subsonica

Detonazione

Allorché il fronte di fiamma si muove a velocità supersonica

Gli effetti distruttivi delle detonazioni sono maggiori rispetto a quelli delle deflagrazioni

Esplosione

Può aver luogo quando gas, vapori o polveri infiammabili vengono innescati, entro il loro “*campo di esplosività*”, da una sorgente in possesso di sufficiente energia

In particolare in un ambiente chiuso saturo di gas, vapori o polveri l'aumento della temperatura dovuto al processo di combustione sviluppa un aumento di pressione che può arrivare fino a 8 ~ 9 volte la pressione iniziale

Il modo migliore di proteggersi dalle esplosioni sta nel prevenire la formazione di miscele infiammabili nel luogo di lavoro, in quanto, a differenza degli incendi, risulta estremamente difficoltoso disporre di misure che siano in grado di fronteggiarne gli effetti

Scoppio

Il fenomeno dello “*scoppio*” consiste nella rottura violenta e improvvisa di un contenitore per eccesso di pressione interna, dovuta alla dilatazione di fluidi (*liquidi o gas*)

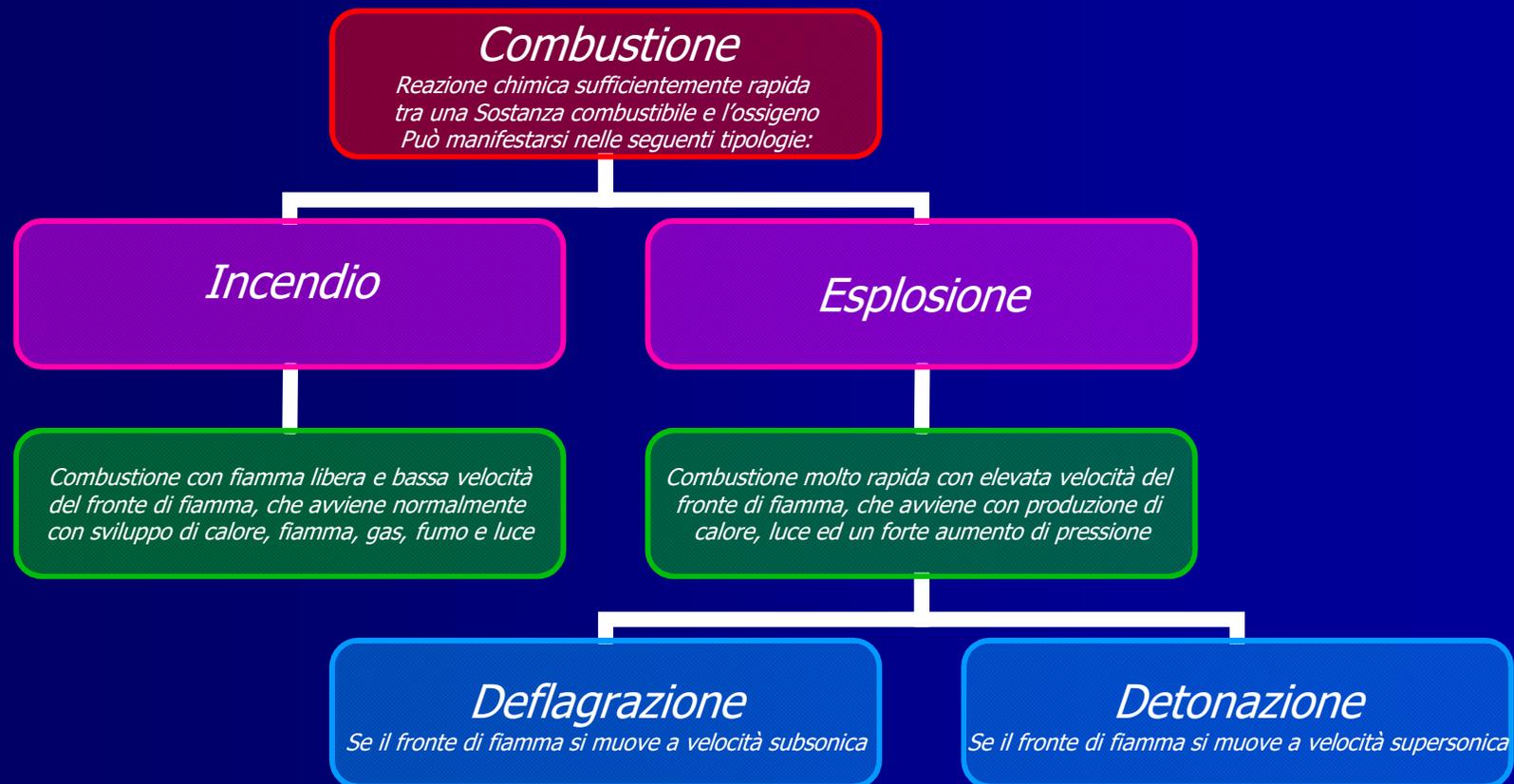
Una frequente causa di scoppio è l’aumento di temperatura per eventi esterni al contenitore (*es. calore di un incendio*)

Il fenomeno dello “*scoppio*” non deve essere confuso con quello della “*esplosione*”

Principi della combustione



Principi della combustione



Combustione sostanze solide

Parametri

- ❖ Pezzatura e forma del materiale
- ❖ Grado di porosità del materiale
- ❖ Composizione chimica
- ❖ Contenuto di umidità del materiale
- ❖ Condizioni di ventilazione

Processo di combustione

1^a fase – Pirolisi

decomposizione della parte volatile con formazione di miscele infiammabili. Inizia con temperatura esterna $>$ di quella di accensione ed il processo si autoalimenta – reazione a catena – fino ad esaurimento dei gas volatili.

2^a fase – Carbonizzazione

formazione di braci e ceneri costituite dai prodotti di combustione dei residui carboniosi della stessa combustione

Combustione liquidi infiammabili

Combustione

Si verifica quando, in corrispondenza della superficie di separazione tra pelo libero del liquido e mezzo che lo sovrasta, i vapori del liquido, miscelandosi con l'ossigeno dell'aria in concentrazioni comprese nel campo di infiammabilità, vengono innescati



Per bruciare in presenza di innesco un liquido infiammabile deve passare dallo stato liquido a quello di vapore

In base alla loro temperatura di infiammabilità i liquidi infiammabili vengono così classificati:

Categoria A → punto infiammabilità inferiore a 21°C

Categoria B → punto infiammabilità tra 21°C e 65°C

Categoria C → punto infiammabilità superiore a 65°C

Classificazione liquidi infiammabili

Sostanze	Temperatura Infiammabilità (°C)	Categoria
Gasolio	65	C
Acetone	-18	A
Benzina	-20	A
Alcool metilico	11	A
Alcool etilico	13	A
Kerosene	37	B
Toluolo	4	A
Olio lubrificante	149	C

Gas Infiammabili

Caratteristiche fisiche

Gas leggero

- Densità rispetto all'aria $< 0,8$ (*idrogeno, metano, etc.*)
- Liberato dal proprio contenitore tende a stratificare verso l'alto

Gas pesante

- Densità rispetto all'aria $> 0,8$ (*acetilene, GPL, etc.*)
- Liberato dal proprio contenitore tende a stratificare ed a permanere nella parte bassa dell'ambiente, ovvero a penetrare in cunicoli o aperture poste a livello del piano di calpestio

Conservazione Gas Infiammabili

Gas compressi

Conservati allo stato gassoso, ad una pressione $>$ di quella atmosferica, in appositi recipienti (*bombole con pressione a qualche centinaio di atmosfere*) o veicolati attraverso tubazioni (*rete distribuzione gas metano a bassa pressione per utenze civili*)

Gas liquefatti

Vengono liquefatti a temperatura ambiente mediante compressione (*butano, propano, ammoniaca, cloro*). Vantaggio di poter conservare grossi quantitativi di prodotto in spazi ridotti (*1 litro di gas liquefatto può sviluppare, nel passaggio di fase, fino a 800 litri di gas*)

Conservazione Gas Infiammabili

Gas refrigerati

Possono essere conservati in fase liquida mediante refrigerazione alla temperatura di equilibrio liquido-vapore con livelli di pressione modesti, assimilabili alla pressione atmosferica

Gas disciolti

Conservati in fase gassosa disciolti dentro un liquido ad una determinata pressione (*es. CO₂ disciolta in acqua gassata*)

Conservazione Gas Infiammabili

Gas compressi	Pressione di stoccaggio (<i>bar</i>)
Metano	300
Idrogeno	250
Gas nobili	250
Ossigeno	250
Aria	250
Anidride carbonica	20

Conservazione Gas Infiammabili

Gas liquefatti	Grado di riempimento (<i>kg/dm³</i>)
Ammoniaca	0,53
Cloro	1,25
Butano	0,51
Propano	0,42
GPL miscela	0,43-0,47
Anidride carbonica	0,75

Prodotti della Combustione

Fumi

Sono formati da **piccolissime particelle solide** (*aerosol di sostanze incombuste, per carenza di ossigeno, che danno luogo a fumo di colore scuro*) e/o **liquide** (*costituite essenzialmente da vapore d'acqua che, al di sotto dei 100°C, condensa dando luogo a fumo di colore bianco*)

Gas di combustione

Prodotti della combustione che rimangono allo stato gassoso anche quando, raffreddandosi, raggiungono la temperatura ambiente di riferimento (*15°C*)

Prodotti della Combustione

Fiamme

Sono costituite dall'emissione di luce conseguente alla combustione dei gas che si sviluppano in un incendio

Calore

Determina l'aumento della temperatura di tutti i materiali, provocandone il danneggiamento e la distruzione

Effetti dell'incendio sull'uomo

Cause

- 🕯 **Gas di combustione**
- 🕯 **Fiamma**
- 🕯 **Calore**
- 🕯 **Fumo**

Effetti

- ⊞ **Anossia** (*causa la riduzione del tasso di ossigeno nell'aria*)
- ⊞ **Azione tossica dei fumi**
- ⊞ **Riduzione della visibilità**
- ⊞ **Azione termica**

Gas di combustione

Ossido di carbonio	Anidride carbonica
Acido cianidrico	Fosgene
Idrogeno solforato	Ammoniaca
Anidride solforosa	Ossido e perossido di azoto
Aldeide acrilica	Acido cloridrico

Nella stragrande maggioranza dei casi la mortalità per incendio deve essere attribuita all'inalazione di questi gas