

**Corso di specializzazione in prevenzione incendi  
ai fini dell'iscrizione dei professionisti negli elenchi del  
Ministero dell'Interno di cui all'art. 1 della L. 818/84**

# ***GENERALITÀ SULLA COMBUSTIONE E SOSTANZE PERICOLOSE***

*Lezione 2.1*

# ***Generalità sulla combustione***

- Principi della combustione
- Prodotti della combustione
- Parametri fisici della combustione
- Dinamica degli incendi
- Effetti degli incendi sull'uomo

**Combustione**



**reazione chimica  
sufficientemente rapida**

**sostanza combustibile**



**comburente**



**innesco**



- calore,
- fiamma
- gas
- fumo e
- luce

**Reagente 1**

**Reagente 2**

**Prodotti della reazione**

# Principi della combustione

La **combustione** è qualunque reazione chimica nella quale un **combustibile**, sostanza ossidabile, reagisce con un **comburente**, sostanza ossidante, **liberando energia**, in genere sotto forma di **calore**.



*Esempio*

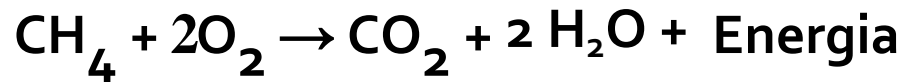
Combustione Idrogeno



Combustione Carbonio

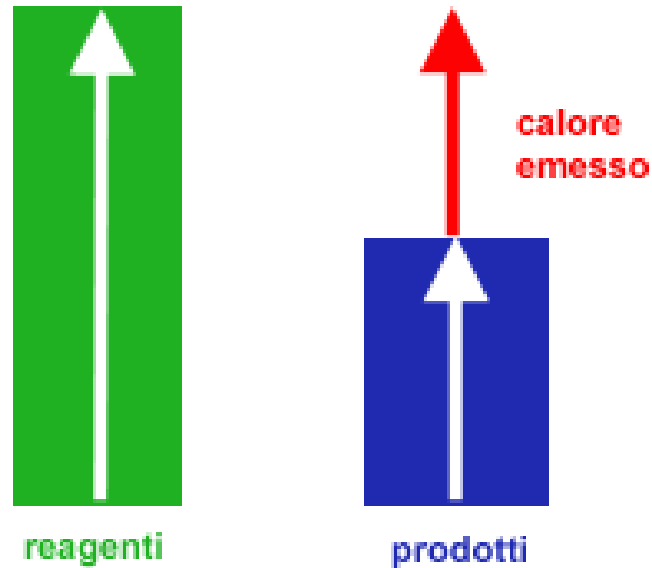


Combustione Metano



# Principi della combustione

Nelle reazioni di combustione i reagenti hanno più energia dei prodotti di reazione e la differenza di energia tra reagenti e prodotti è pari al **calore emesso**.



# Velocità di combustione

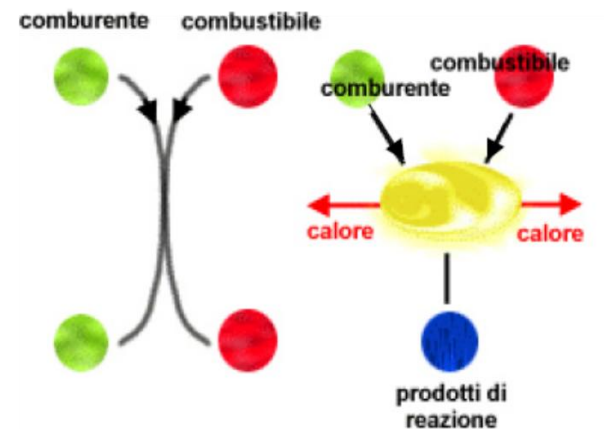
Il processo di combustione è legato all'energia con la quale avviene l'urto tra molecole di combustibile e di comburente.

Questa energia necessaria ad avviare il processo di combustione viene detta **energia di attivazione**

---

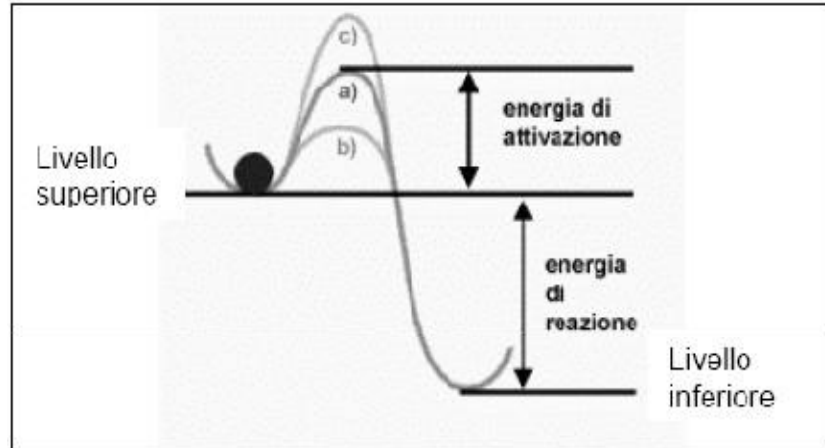
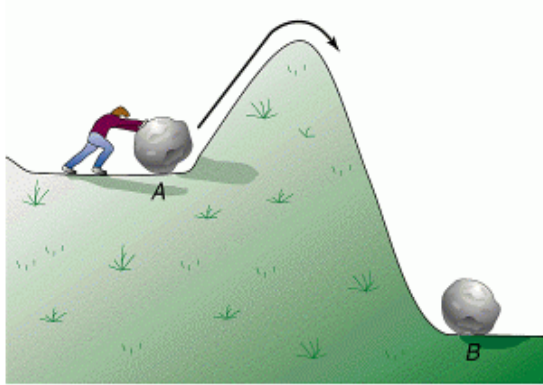
La **temperatura** è il parametro che **più** influenza la **velocità di reazione**.

Tutte le reazioni accelerano all'aumentare della temperatura.



# Velocità di combustione

## Barriera di attivazione



Un **catalizzatore** fa procedere la reazione più velocemente perché fornisce un percorso alternativo in cui la barriera di attivazione è più bassa (curva b).  
Al contrario l'inibitore rallenta la reazione perché innalza la barriera stessa (curva c)







Le condizioni necessarie per avere una combustione sono:

- presenza del combustibile
- presenza del comburente
- presenza di una sorgente di calore

solo la **contemporanea** presenza di questi tre elementi dà luogo al fenomeno dell'incendio, di conseguenza al mancare di almeno uno di essi l'incendio si spegne.

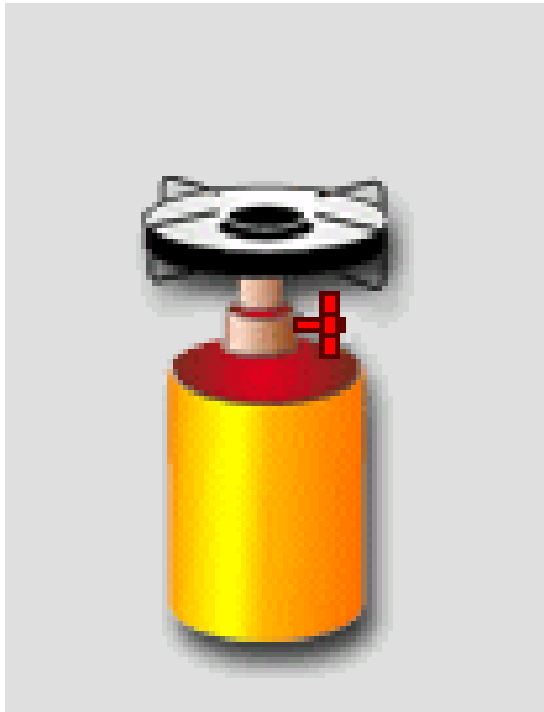
Per ottenere lo **spegnimento** dell'incendio si può ricorrere a tre sistemi:



**TRIANGOLO DEL FUOCO**

- **esaurimento** del combustibile
- **soffocamento**
- **raffreddamento**

Normalmente per lo spegnimento di un incendio si utilizza una combinazione delle tre operazioni



## **ESAURIMENTO DEL COMBUSTIBILE**

**allontanamento o separazione  
della sostanza combustibile dal  
focolaio d'incendio**



## **RAFFREDDAMENTO**

**sottrazione di calore fino ad ottenere una temperatura inferiore a quella necessaria al mantenimento della combustione**



## **SOFFOCAMENTO**

**separazione del comburente  
dal combustibile o riduzione  
della concentrazione di  
comburente in aria**

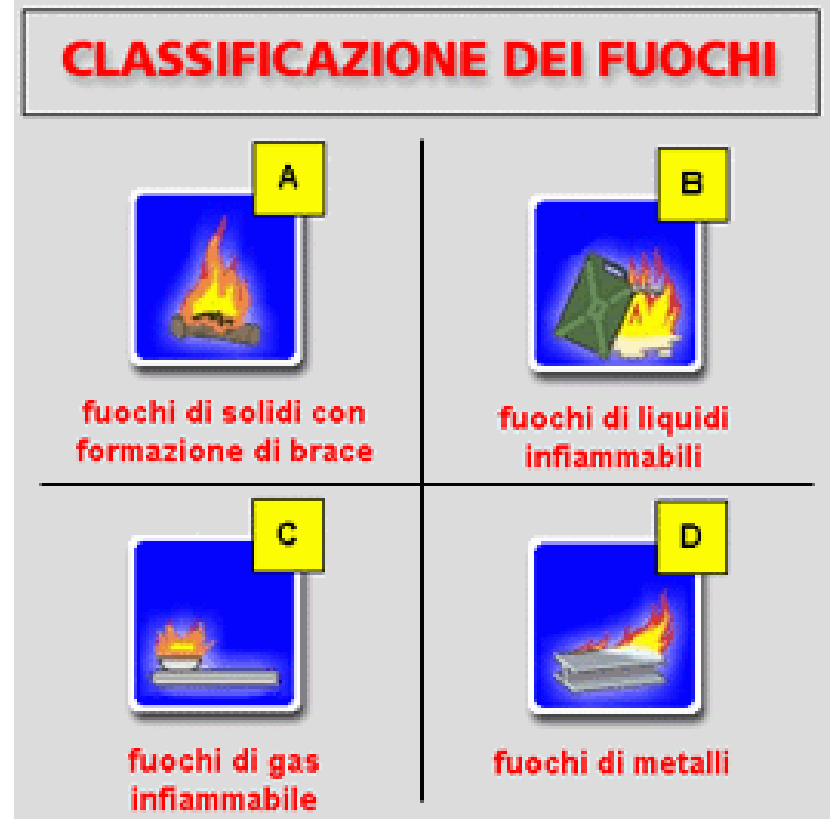
# ***Gli elementi che caratterizzano la combustione***



- Nella quasi totalità dei casi, il comburente è l'ossigeno naturalmente contenuto nell'aria
- L'incendio si caratterizza
  - per tipo di combustibile
  - per il tipo di sorgente d'innesco.

# *La classificazione degli incendi*

- CLASSE **A**  
incendi di materiali solidi
- CLASSE **B**  
incendi di liquidi infiammabili
- CLASSE **C**  
incendi di gas infiammabili
- CLASSE **D**  
incendi di metalli combustibili



Tale classificazione consente un'opportuna scelta del tipo di estinguente

# *Le sorgenti d'innesco*

**Nella ricerca delle cause d'incendio, sia a livello preventivo che a livello di accertamento, è fondamentale individuare tutte le possibili fonti d'innesco, che possono essere suddivise in quattro categorie:**

- ***Accensione diretta***
- ***Accensione indiretta***
- ***Attrito***
- ***Autocombustione o riscaldamento spontaneo***



## ACCENSIONE DIRETTA

quando una fiamma, una scintilla o altro materiale incandescente entra in contatto con un materiale combustibile in presenza di ossigeno

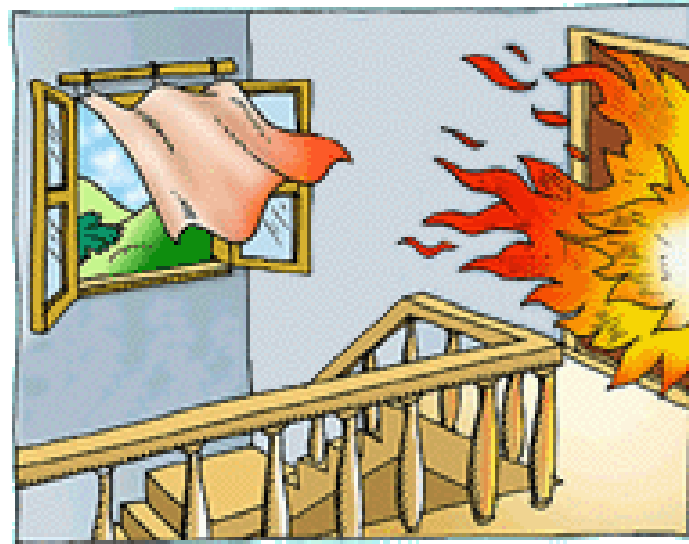
*Esempi: operazioni di taglio e saldatura, fiammiferi e mozziconi di sigaretta, lampade e resistenze elettriche, scariche statiche*



## ACCENSIONE INDIRECTA

quando il calore d'innescò si trasmette nelle forme della convezione, conduzione e irraggiamento termico.

*Esempi: correnti di aria calda generate da un incendio e diffuse attraverso un vano scala o altri collegamenti verticali negli edifici; propagazione di calore attraverso elementi metallici strutturali degli edifici*



## ***ATTRITO***

**quando il calore è prodotto dallo sfregamento di due materiali**

*Esempi: malfunzionamento di parti meccaniche rotanti quali cuscinetti, motori; urti; rottura violenta di materiali metallici*



## **AUTOCOMBUSTIONE o RISCALDAMENTO SPONTANEO**

**quando il calore viene prodotto dallo stesso combustibile come ad esempio lenti processi di ossidazione, reazione chimiche, decomposizioni esotermiche in assenza d'aria, azione biologica**

*Esempi: cumuli di carbone, stracci o segatura imbevuti di olio di lino, polveri di ferro o nichel, fermentazione di vegetali*



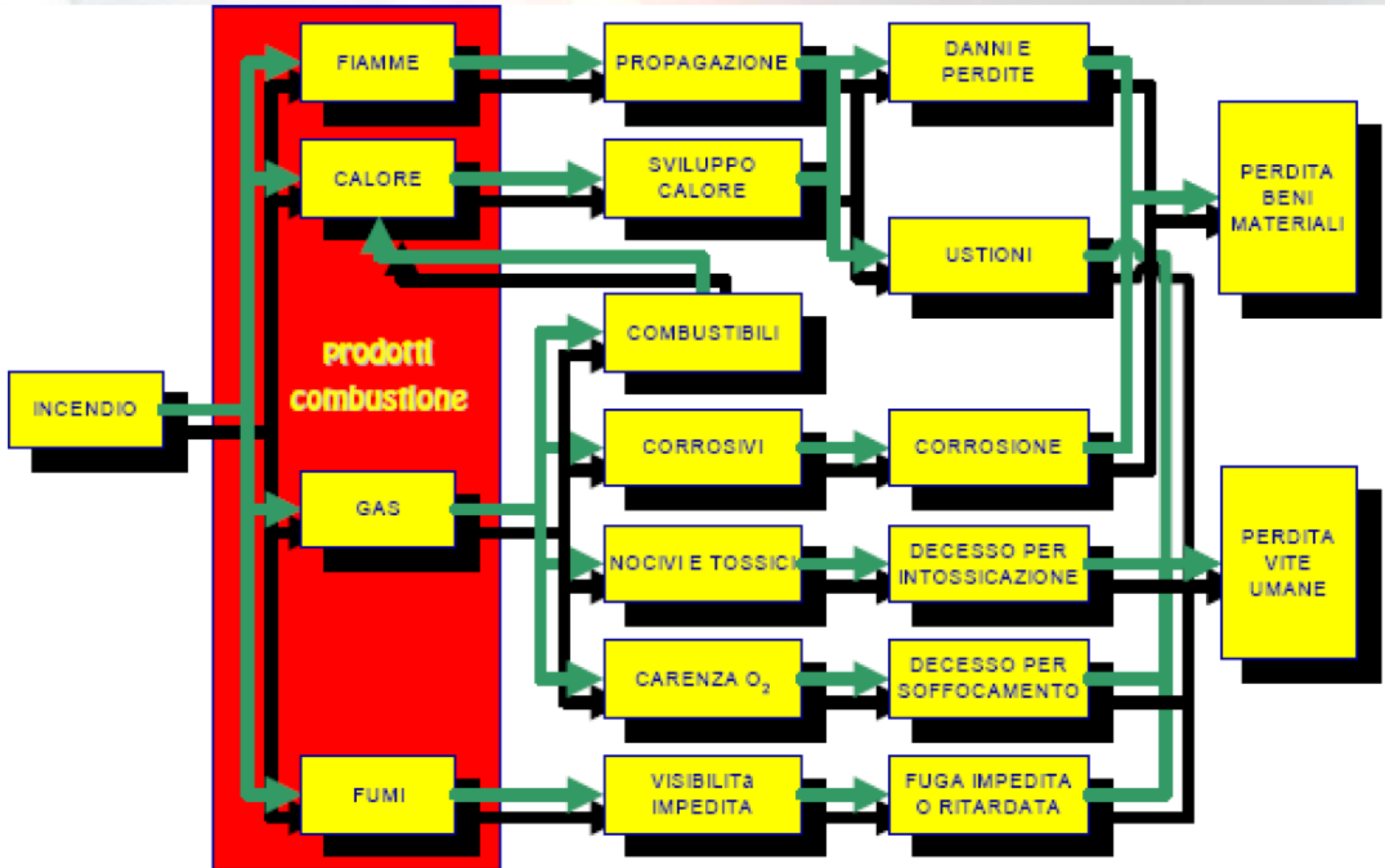
# *Prodotti della combustione*

I prodotti della combustione sono suddivisibili in quattro categorie:

- *fiamme*
- *gas di combustione*
- *fumo*
- *calore*

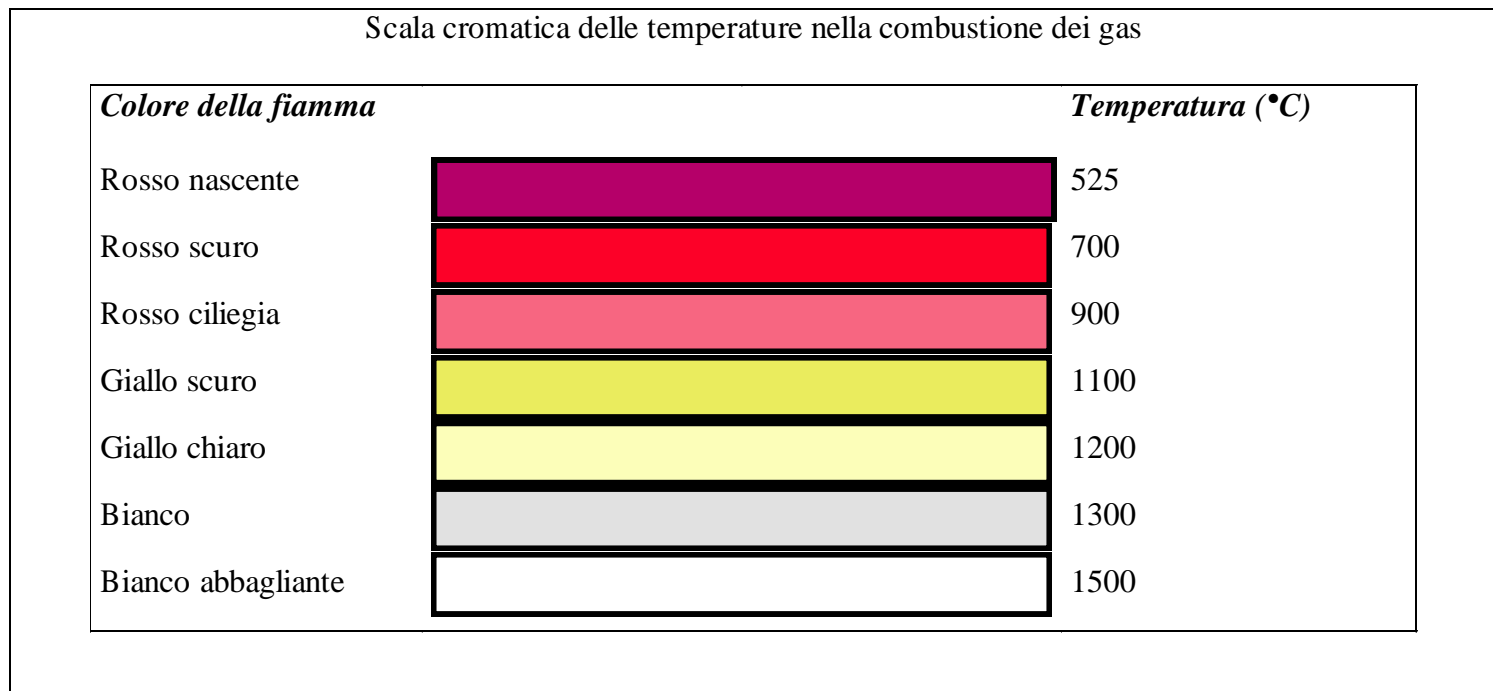


# Prodotti della combustione



# Fiamme

- Le fiamme sono costituite dall'emissione di luce conseguente alla combustione di gas sviluppatasi in un incendio
- In particolare nell'incendio di combustibili gassosi è possibile valutare approssimativamente il valore raggiunto dalla temperatura di combustione dal colore della fiamma



# Gas di combustione

- 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

## Principali **GAS DI COMBUSTIONE**

*ossido di carbonio*

*anidride carbonica*

*idrogeno solforato*

*anidride solforosa*

*acido cianidrico*

*aldeide acrilica*

*fosgene*

*ammoniaca*

*ossido e perossido di azoto*

*acido cloridrico*

**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**



# *Fumi*

- I **fumi** sono particelle solide e liquide
- Le **particelle solide** sono **sostanze incombuste** (aerosol), trascinate dai gas caldi prodotti dalla combustione stessa e rendono il fumo di colore scuro.
- Le **particelle liquide** (nebbie o vapori condensati) invece, sono costituite essenzialmente da vapor d'acqua che al di sotto dei  $100^{\circ}\text{C}$  condensa dando luogo a fumo di color bianco.

**Normalmente sono prodotti in quantità tali da impedire la visibilità ostacolando l'attività dei soccorritori e l'esodo delle persone**




# *La combustione*

- **La combustione è caratterizzata da numerosi parametri fisici e chimici, i principali dei quali sono i seguenti:**
  - temperatura di accensione
  - temperatura teorica di combustione
  - aria teorica di combustione
  - potere calorifico
  - temperatura di infiammabilità
  - limiti di infiammabilità e di esplosibilità

# Temperatura di accensione o di autoaccensione

É la **minima temperatura** alla quale la miscela combustibile/comburente **inizia a bruciare spontaneamente** in modo continuo senza ulteriore apporto di calore o di energia dall'esterno.

SOSTANZE	Temperatura di accensione (°C) <i>valori indicativi</i>
acetone	540
benzina	250
gasolio	220
idrogeno	560
alcool metilico	455
carta	230
legno	220-250
gomma sintetica	300
metano	537



# Potere calorifico (MJ/Kg o MJ/mc)

**É la quantità di calore  
prodotta dalla  
combustione completa  
dell'unità di massa o di  
volume di una  
determinata sostanza  
combustibile**

SOSTANZE	Potere calorifico inferiore (MJ/Kg)
legno	17
carbone	30-34
benzina	42
alcool etilico	25
polietilene	35-45
propano	46
idrogeno	120

# Temperatura di infiammabilità (°C)

É la **temperatura minima** alla quale i **LIQUIDI** combustibili emettono **vapori in quantità** tali da incendiarsi in caso di innesco



SOSTANZE	Temperatura di infiammabilità (°C)
gasolio	65
acetone	-18
benzina	-20
alcool metilico	11
alcool etilico	13
toluolo	4
olio lubrificante	149

# Limiti di infiammabilità (% in volume)

## LIMITE INFERIORE DI INFIAMMABILITÀ:

la più bassa concentrazione in volume di vapore della miscela al di sotto della quale non si ha accensione in presenza di innesco per carenza di combustibile

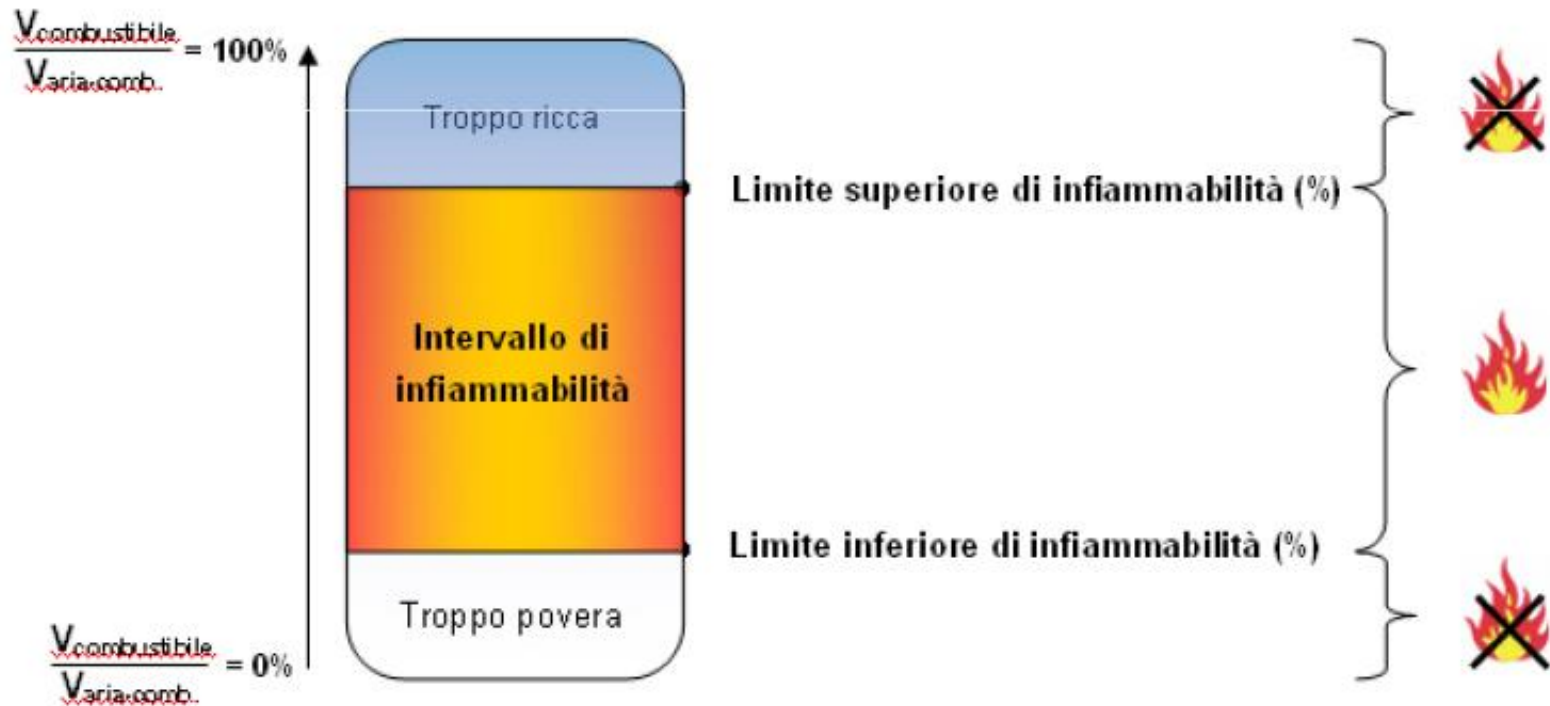
## LIMITE SUPERIORE DI INFIAMMABILITÀ:

la più alta concentrazione in volume di vapore della miscela al di sopra della quale non si ha accensione in presenza di innesco per eccesso di combustibile

Tali limiti individuano il **campo di infiammabilità** all'interno del quale si ha, in caso d'innesco, l'accensione e la propagazione della fiamma nella miscela

SOSTANZE	Campo di infiammabilità ( % in volume)	
	limite inferiore	limite superiore
acetone	2,5	13
ammoniaca	15	18
benzina	1	6,5
gasolio	0,6	6,5
idrogeno	4	75,6
metano	5	15

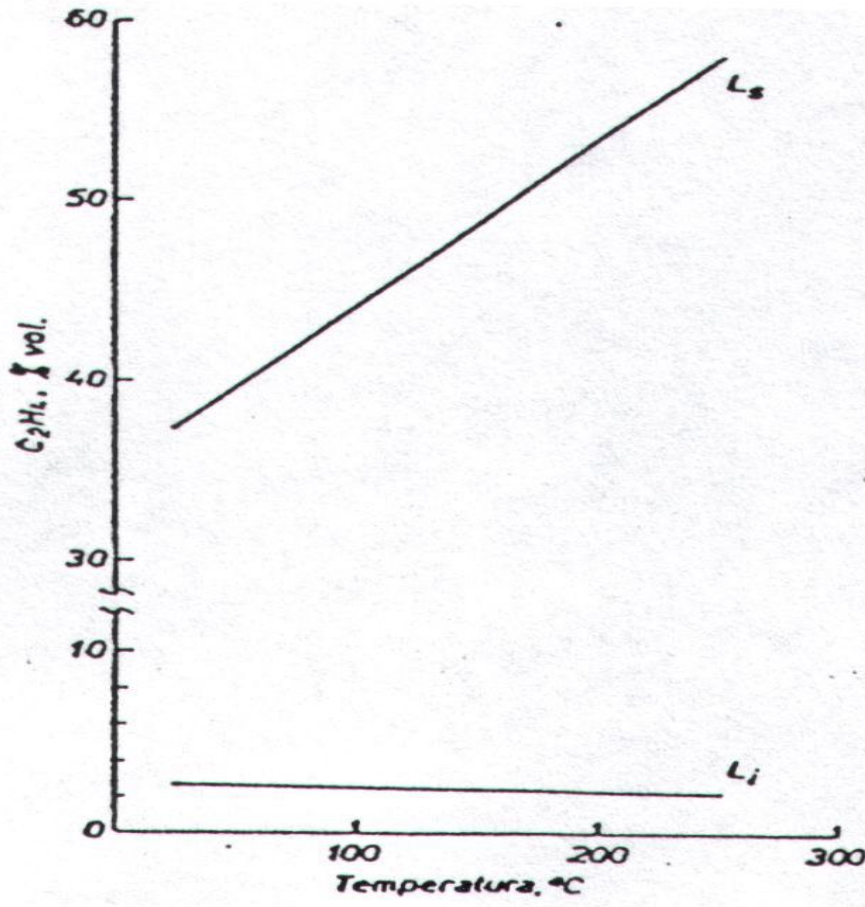
# Limiti di infiammabilità (% in volume)



# Influenza della temperatura sull'infiammabilità

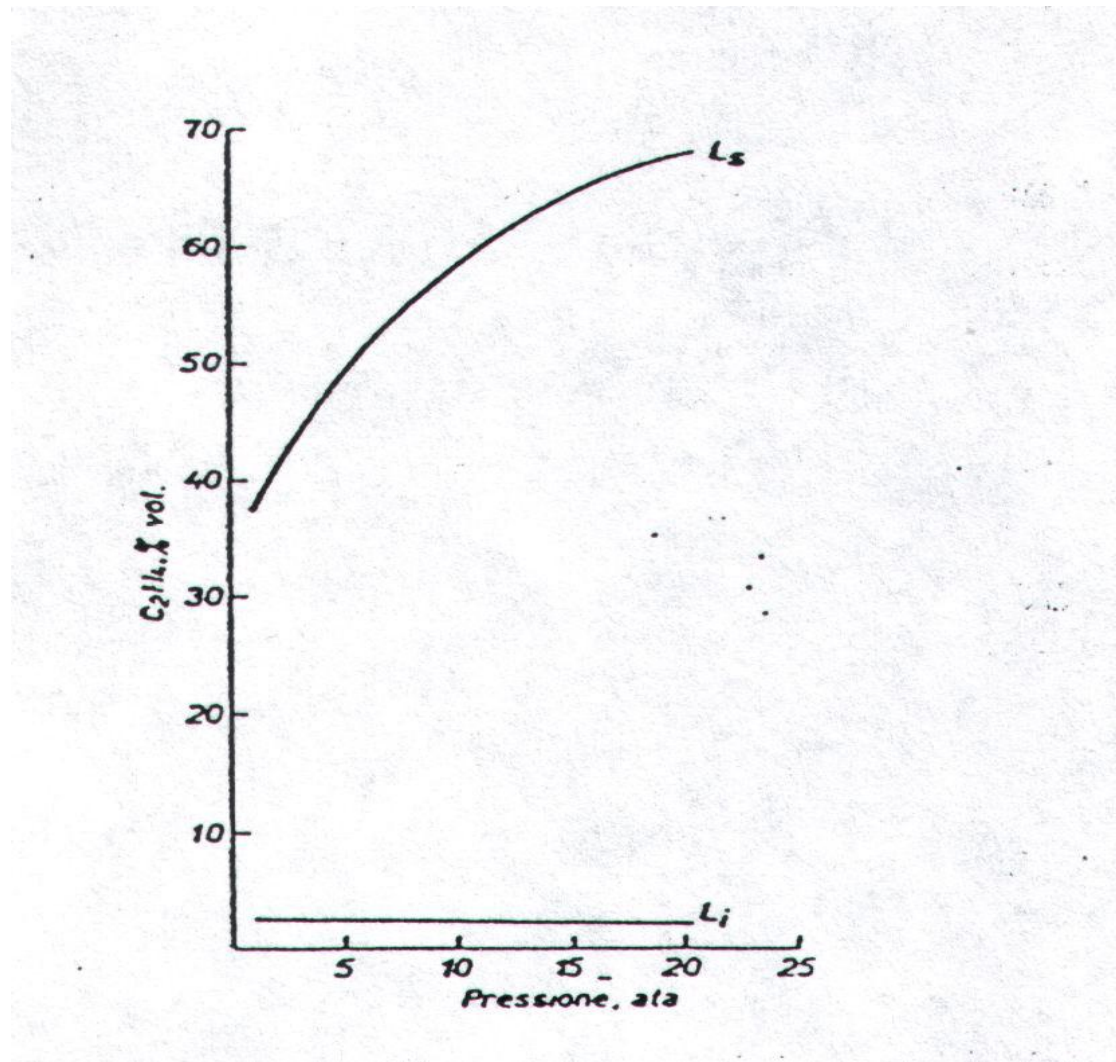
- La temperatura influenza il grado di infiammabilità agendo sulla velocità di reazione, sui limiti di infiammabilità, sulla tensione di vapore, sulla velocità di propagazione della fiamma, ecc.
- Solitamente, aumentando la temperatura, la zona di infiammabilità si allarga, attraverso la diminuzione del limite inferiore e, soprattutto, l'aumento del limite superiore.



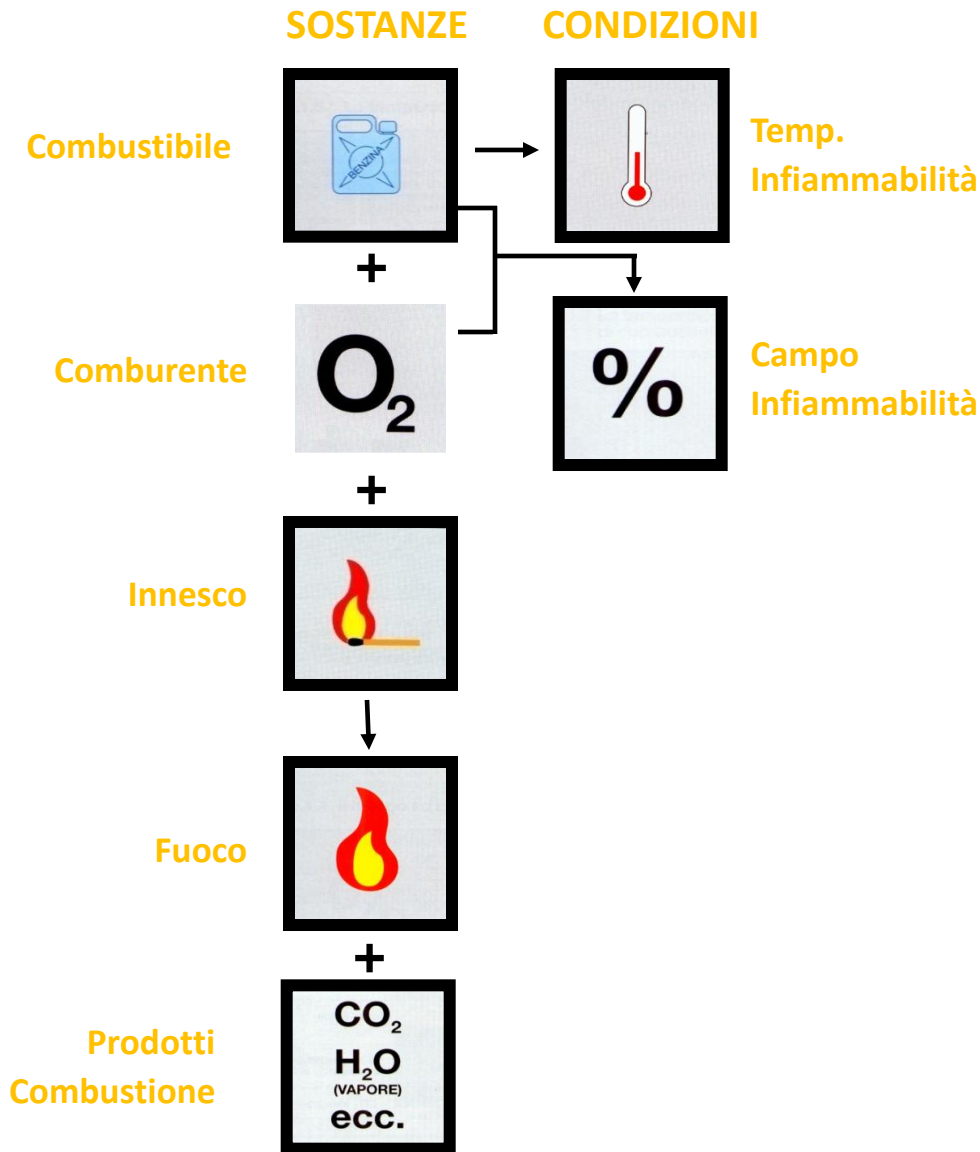


# Influenza della pressione sull'infiammabilità

- Anche la pressione influenza i limiti di infiammabilità, la velocità di reazione, la velocità di propagazione della fiamma, ecc.
- All'aumentare della pressione la zona di infiammabilità si allarga, soprattutto per l'aumento del limite superiore, come osservato in precedenza per gli effetti della temperatura, mentre al diminuire della pressione la sua ampiezza si riduce.



# La Combustione (Riepilogo)



## REAZIONE CHIMICA

sufficientemente rapida che avviene tra due sostanze diverse,

## COMBUSTIBILE

e

## COMBURENTE

dette

## REAGENTI

a contatto tra loro in varia composizione percentuale e determinate condizioni fisiche (T, P) producendo come effetto

## ENERGIA

(calore e luce)

e

## PRODOTTI DELLA

## COMBUSTIONE

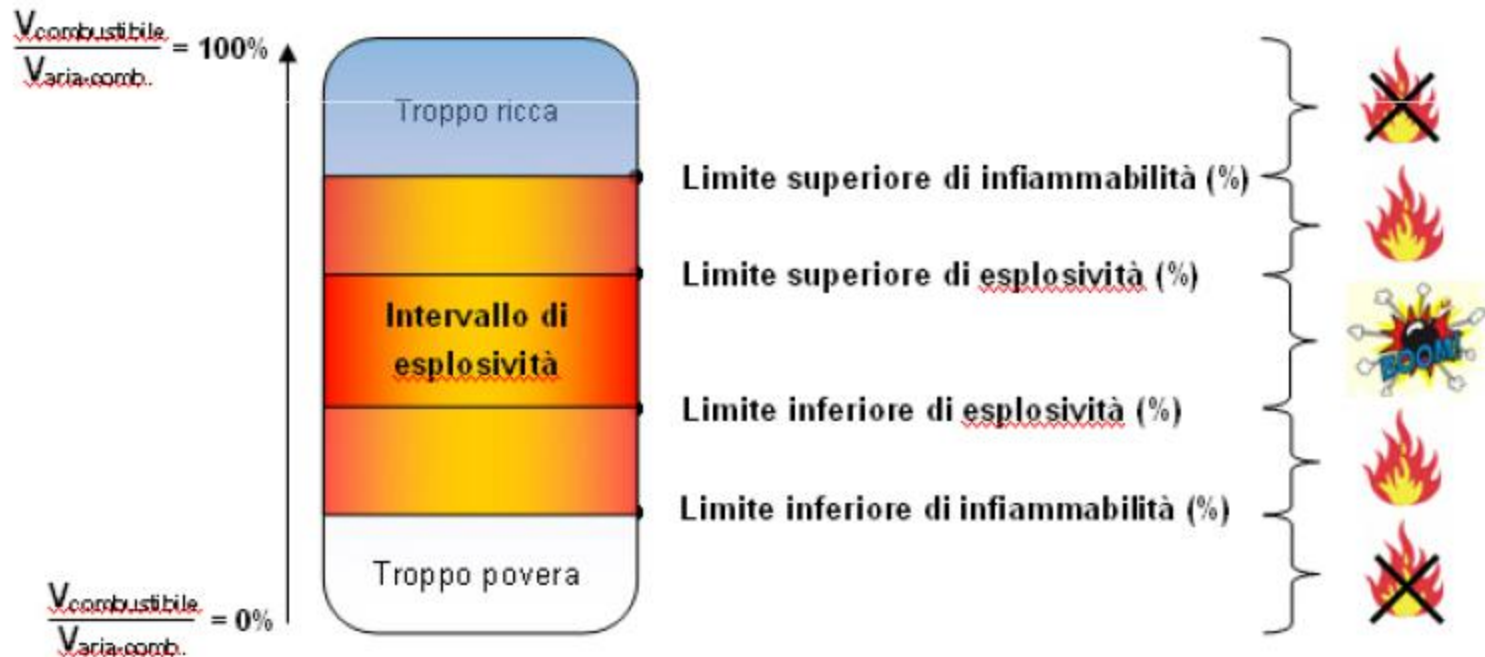
# *Esplosione*

- L'esplosione è il risultato di una **rapida espansione di gas** dovuta ad una reazione chimica di combustione.
- Gli effetti della esplosione sono: produzione di **calore**, una **onda d'urto** ed un **picco di pressione**.
- Quando la reazione di combustione si propaga alla miscela infiammabile non ancora bruciata con una **velocità minore di quella del suono** la esplosione è chiamata **DEFLAGRAZIONE**.
- Quando la reazione procede nella miscela non ancora bruciata con **velocità superiore a quella del suono** la esplosione è detta **DETONAZIONE**.
- Gli effetti distruttivi delle detonazioni sono maggiori rispetto a quelli delle deflagrazioni .
- **Una esplosione può aver luogo quando gas, vapori o polveri infiammabili, entro il loro campo di esplosività, vengono innescati da una fonte di innesco avente 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 ad 8 volte la pressione iniziale.
- **Il modo migliore di proteggersi dalle esplosioni sta nel prevenire** la formazione di miscele infiammabili nel luogo ove si lavora, in quanto è estremamente difficoltoso disporre di misure che fronteggiano gli effetti delle esplosioni come è invece possibile fare con gli incendi.

# *Esplorazione e Limiti di esplosività*

Affinché l'esplosione possa avvenire occorre che la composizione della miscela sia compresa entro certi **limiti detti di esplosività**.

All'esterno di tali limiti la miscela può ancora reagire, ma con velocità bassa non esplosiva



# *La combustione dei solidi*

## **PIROLISI:**

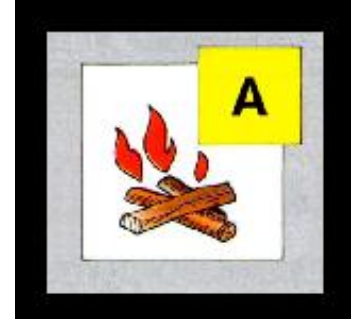
Fenomeno per il quale una sostanza solida portata ad una determinata temperatura emette vapori infiammabili.

Terminato questo fenomeno di distillazione dei solidi la combustione continua in assenza di fiamma sotto forma di brace.

Parte dell'energia rilasciata dalle fiamme sotto forma di irraggiamento termico, riscalda il solido stesso favorendo ulteriore pirolisi; così il processo si autoalimenta fino all'esaurimento di tutte le sostanze volatili, per proseguire senza fiamma sotto forma di braci.

I principali fattori che influenzano la combustione dei solidi sono:

- o **natura;**
- o **grado di porosità del materiale;**
- o **pezzatura e forma (rapporto tra il volume e la superficie esterna);**
- o **contenuto di umidità;**
- o **condizioni di ventilazione.**

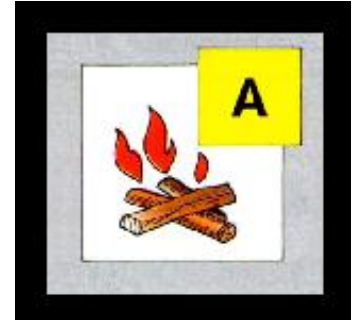




# *La combustione dei solidi*

Alcune materie solide combustibili, come la **CELLULOIDE** e gli **ESPLOSIVI**, hanno nella loro composizione chimica l'ossigeno necessario alla loro combustione.

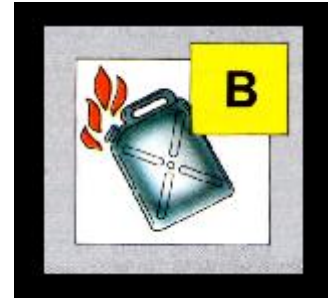
Una materia è tanto più infiammabile quanto più bassa è la sua temperatura di accensione; da notare che il **FOSFORO GIALLO** ha una T di accensione di 30°C, ma se viene sottilmente diviso, si accende a T inferiori in quanto, a seguito della ossidazione in aria, le particelle di fosforo raggiungono la temperatura di accensione.





# *La combustione dei liquidi infiammabili*

- Tutti i liquidi sono in equilibrio con i propri vapori che si sviluppano in misura differente a seconda delle condizioni di pressione e temperatura sulla superficie di separazione tra pelo libero del liquido e mezzo che lo sovrasta.
- Nei liquidi infiammabili la combustione avviene proprio quando, in corrispondenza della suddetta superficie, i **vapori dei liquidi**, miscelandosi con l'ossigeno dell'aria in concentrazioni comprese nel campo di infiammabilità, sono opportunamente innescati.



## **CARATTERISTICHE DI PERICOLOSITÀ:**

- o elevato potere calorifico (1Kg  $\approx$  10.000 Kcal)
- o naturale tendenza all'evaporazione
- o rapida propagazione dell'incendio
- o minima energia d'innescio
- o minor peso specifico rispetto all'acqua (tendono a galleggiare)
- o maggiore densità dei vapori rispetto all'aria (tendono ad accumularsi in basso)

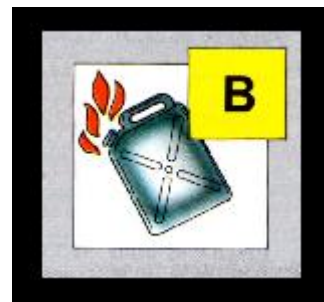
# La combustione dei liquidi infiammabili

L'indice della maggiore o minore combustibilità (= pericolosità) di un liquido è fornito dalla **temperatura di infiammabilità**

In base alla temperatura di infiammabilità i liquidi infiammabili sono classificati come segue:

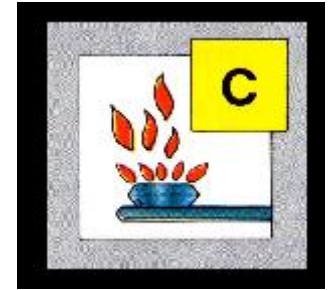
SOSTANZE	Temperatura di infiammabilità (°C)	Categoria
gasolio	65	C
acetone	-18	A
benzina	-20	A
alcool metilico	11	A
alcool etilico	13	A
toluolo	4	A

**Categoria A** *temperatura di infiammabilità* < **21 °C**  
**Categoria B** **21 °C** ≤ *temperatura di infiammabilità* < **65 °C**  
**Categoria C** *temperatura di infiammabilità* ≥ **65 °C**



# *I gas infiammabili*

La combustione avviene quando il gas miscelandosi con l'ossigeno dell'aria in concentrazioni comprese nel campo di infiammabilità, viene opportunamente innescato.



I gas infiammabili ai fini della combustione hanno un comportamento simile a quello dei vapori dei liquidi infiammabili, con la pericolosa differenza che si **miscelano naturalmente con l'aria**.

Caratteristica principale che contraddistingue le sostanze gassose da quelle solide e liquide, è la **capacità di diffondersi rapidamente nell'ambiente** dando luogo a miscele che innescate, con **apporti minimi di energia**, in pochi secondi sviluppano fiamme che raggiungono temperature dell'ordine di 1000 °C.

Nelle applicazioni civili ed industriali i gas, compresi quelli infiammabili, sono generalmente contenuti in recipienti atti ad impedirne la dispersione incontrollata nell'ambiente.

# *I gas infiammabili*

possono essere classificati come segue:

## ***GAS LEGGERO***

Gas avente densità rispetto all'aria inferiore a 0,8 (idrogeno, metano, etc.)

- Un gas leggero quando liberato dal proprio contenitore tende a stratificare verso l'alto.



# *I gas infiammabili*

## ***GAS PESANTE***

**Gas avente densità rispetto all'aria superiore a 0,8 (GPL, acetilene, etc.)**

- **Un gas pesante quando liberato dal proprio contenitore tende a stratificare ed a permanere nella parte bassa dell'ambiente ovvero a penetrare in cunicoli o aperture praticate a livello del piano di calpestio.**



# ***GAS COMPRESSI***

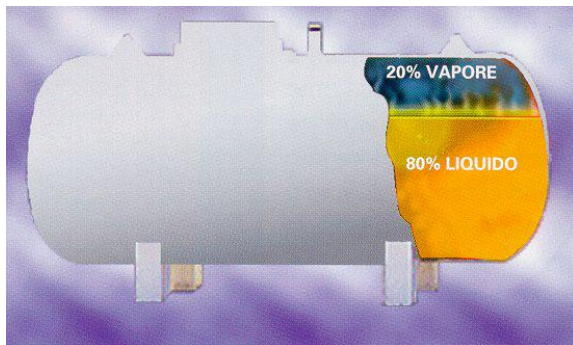
- Gas che vengono conservati allo stato gassoso ad una pressione superiore a quella atmosferica in appositi recipienti detti bombole o trasportati attraverso tubazioni. La pressione di compressione può variare da poche centinaia di millimetri di colonna d'acqua (rete di distribuzione gas metano per utenze civili) a qualche centinaio di atmosfere (bombole di gas metano e di aria compressa)



GAS	Pressione di stoccaggio (bar) <i>valori indicativi</i>
metano	300
idrogeno	250
gas nobili	250
ossigeno	250
aria	250
CO <sub>2</sub> (gas)	20

# GAS LIQUEFATTO

- Gas che per le sue caratteristiche chimico-fisiche può essere liquefatto a temperatura ambiente mediante compressione (butano, propano, ammoniaca, cloro).
- Il vantaggio della conservazione di gas allo stato liquido consiste nella possibilità di detenere grossi quantitativi di prodotto in spazi contenuti, in quanto un litro di gas liquefatto può sviluppare nel passaggio di fase fino a 800 litri di gas.
- I contenitori di gas liquefatto debbono garantire una parte del loro volume geometrico sempre libera dal liquido per consentire allo stesso l'equilibrio con la propria fase vapore; pertanto è prescritto un limite massimo di riempimento dei contenitori detto *grado di riempimento*.



GAS LIQUEFATTO	Grado di riempimento (kg/dm <sup>3</sup> )
ammoniaca	0,53
cloro	1,25
butano	0,51
propano	0,42
GPL miscela	0,43-0,47
CO <sub>2</sub>	0,75



- ***GAS REFRIGERATI***

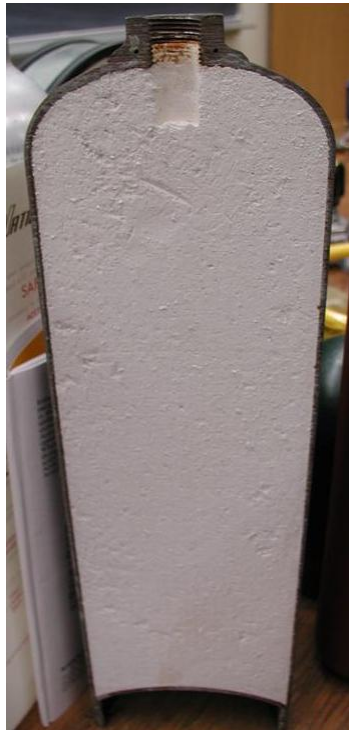
- Gas che possono essere conservati in fase liquida mediante refrigerazione alla temperatura di equilibrio liquido-vapore con livelli di pressione estremamente modesti, assimilabili alla pressione atmosferica.





- ***GAS DISCIOLTI***

- Gas che sono conservati in fase gassosa disciolti entro un liquido ad una determinata pressione (ad es.: acetilene disciolto in acetone, anidride carbonica disciolta in acqua gassata - acqua minerale)

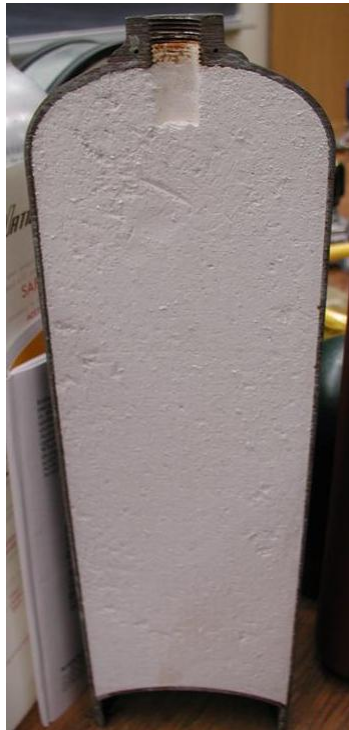


**L'acetilene viene immagazzinato in bombole all'interno di una massa solida porosa dove è disciolto grazie all'introduzione di un solvente (acetone o dimetilformammide) con pressioni di carica che superano le 10 atm.**

Tale tecnica di caricamento è utilizzata in quanto l'acetilene semplicemente compresso a pressioni superiori a 1,5 – 2 atm può iniziare la sua reazione di dissociazione



Molto pericolosa in quanto incontrollabile e con sviluppo di grande quantità di energia.



Per evitare ciò l'acetilene richiede di essere immagazzinato allo stato disciolto per pressioni superiori 1,5 atm.

**Il fenomeno distruttivo della dissociazione può avvenire comunque al verificarsi di una o più delle seguenti circostanze:**

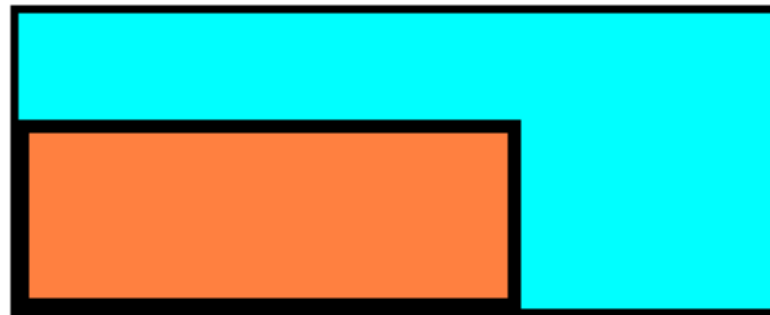
- Riscaldamento oltre una certa Temperatura (350-500 °C) del gas o della superficie metallica del contenitore;**
- Urto violentissimo del recipiente;**
- Accensione spontanea, per elettrizzazione, del gas secco uscente ad alta velocità da una fessura;**
- Esplosione di acetiluri metallici nella massa gassosa (acetiluro di rame)**

# Fattori da cui dipende un incendio

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

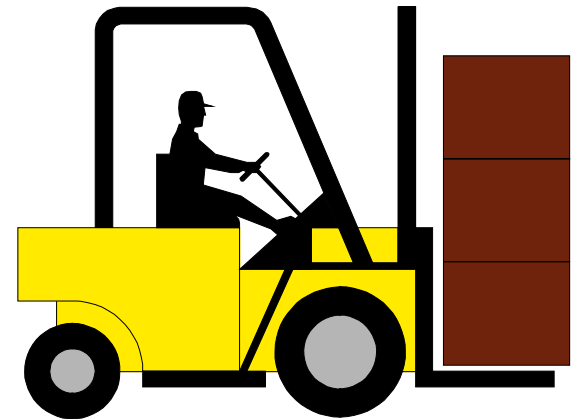
# Compartimento

E' un **settore di edificio** delimitato da elementi costruttivi atti ad impedire, per un prefissato periodo di tempo, la **propagazione dell'incendio** e/o dei **fumi** e a limitare la **trasmissione termica**



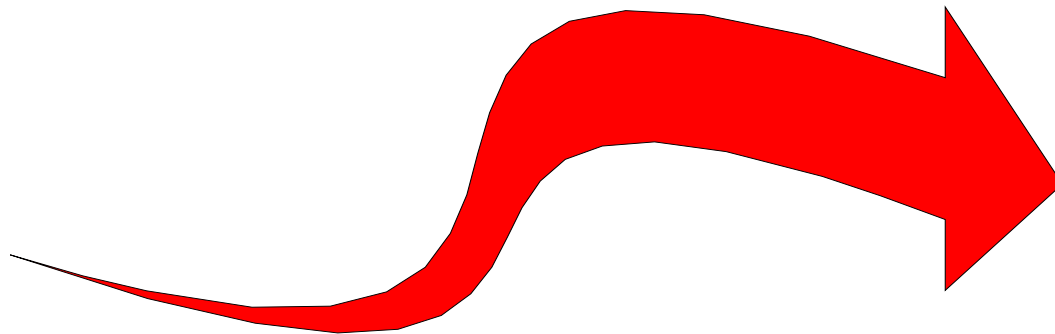
# Carico d'incendio

**E' la **quantità di calore**  
che si svilupperebbe per  
combustione completa di  
tutti i materiali  
combustibili contenuti nel  
compartimento**



# Ventilazione

**La portata volumetrica  
d'aria entrante  $Q_a$   
(litri/ora) che va ad  
alimentare l'incendio con  
il comburente**



# Velocità di combustione

Dipende:

- **dalla ventilazione**, *se c'è* carenza di ossigeno

- **dagli strati di combustibile**, se la disponibilità di ossigeno è più che sufficiente

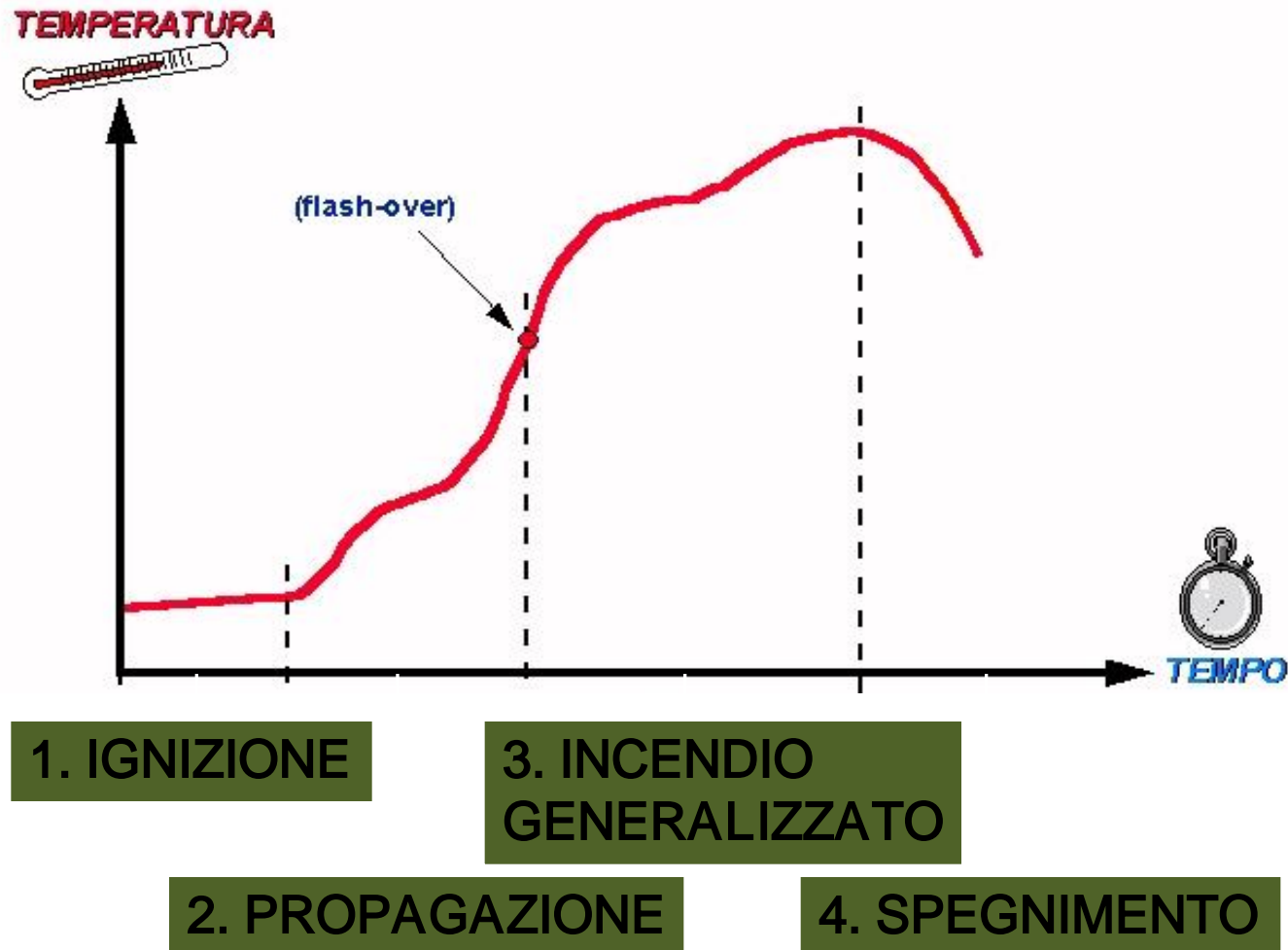


# Altri fattori da cui dipende un incendio

- caratteristiche geometriche del locale e delle aperture
- ampiezza del locale
- proprietà termiche dei materiali e delle strutture che limitano il locale (conduttività e capacità termica).

# *Dinamica di un incendio tipo*

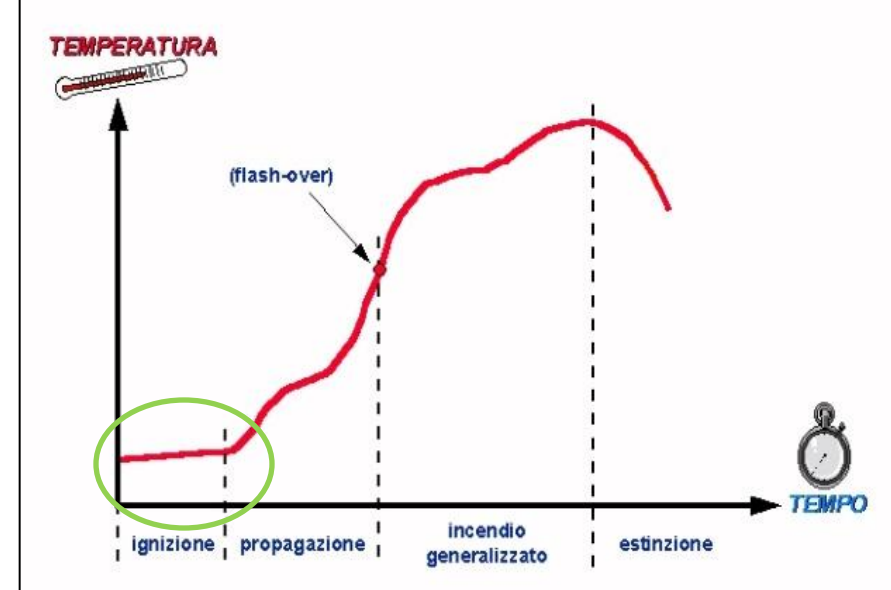
Nell'evoluzione dell'incendio si possono individuare quattro fasi caratteristiche :



# 1. Fase di ignizione

dipende dai seguenti fattori:

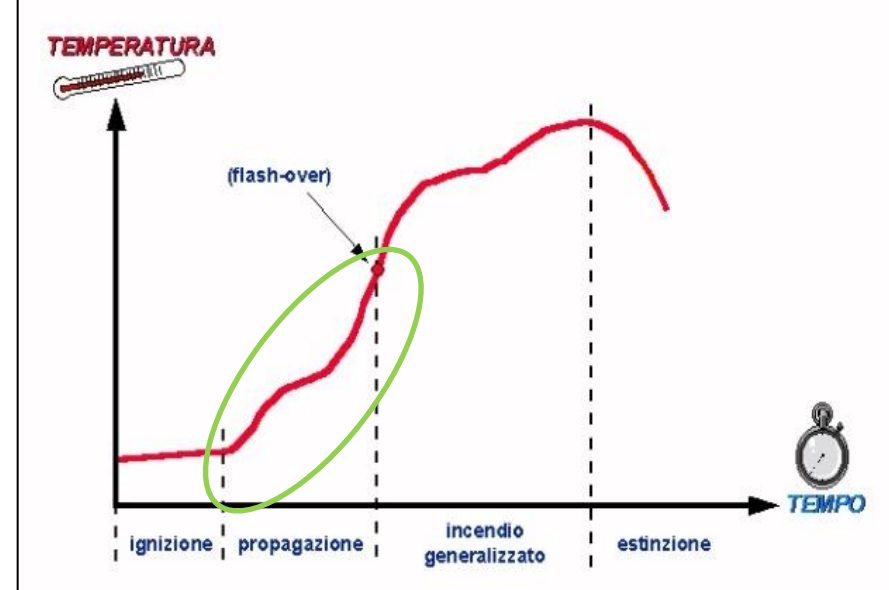
- ◆ *infiammabilità del combustibile;*
- ◆ *possibilità di propagazione della fiamma;*
- ◆ *grado di partecipazione al fuoco del combustibile (“reazione al fuoco”);*
- ◆ *geometria e volume degli ambienti;*
- ◆ *possibilità di dissipazione del calore nel combustibile;*
- ◆ *ventilazione dell’ambiente;*
- ◆ *caratteristiche superficiali del combustibile;*
- ◆ *distribuzione nel volume del combustibile, punti di contatto.*



## 2. Fase di propagazione

è caratterizzata da:

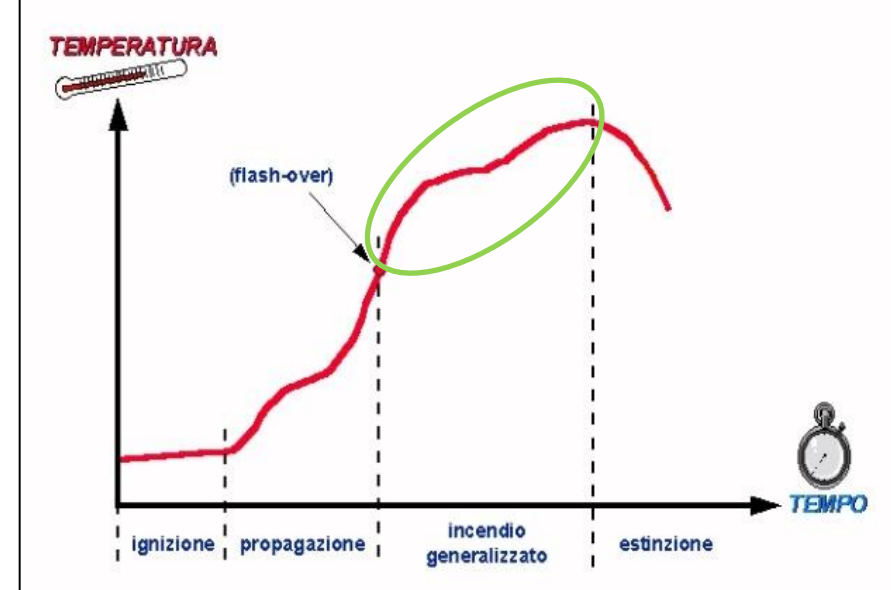
- ◆ *produzione dei gas tossici e corrosivi;*
- ◆ *riduzione di visibilità a causa dei fumi di combustione;*
- ◆ *aumento della partecipazione alla combustione dei combustibili solidi e liquidi;*
- ◆ *aumento rapido delle temperature;*
- ◆ *aumento dell'energia di irraggiamento.*



### 3. Fase di incendio generalizzato

caratterizzato da:

- ◆ *brusco incremento della temperatura;*
- ◆ *crescita esponenziale della velocità di combustione;*
- ◆ *forte aumento di emissioni di gas e di particelle incandescenti, che si espandono e vengono trasportate in senso orizzontale, e soprattutto in senso ascensionale; si formano zone di turbolenze visibili;*
- ◆ *i combustibili vicini al focolaio si autoaccendono, quelli più lontani si riscaldano e raggiungono la loro temperatura di combustione con produzione di gas di distillazione infiammabili;*

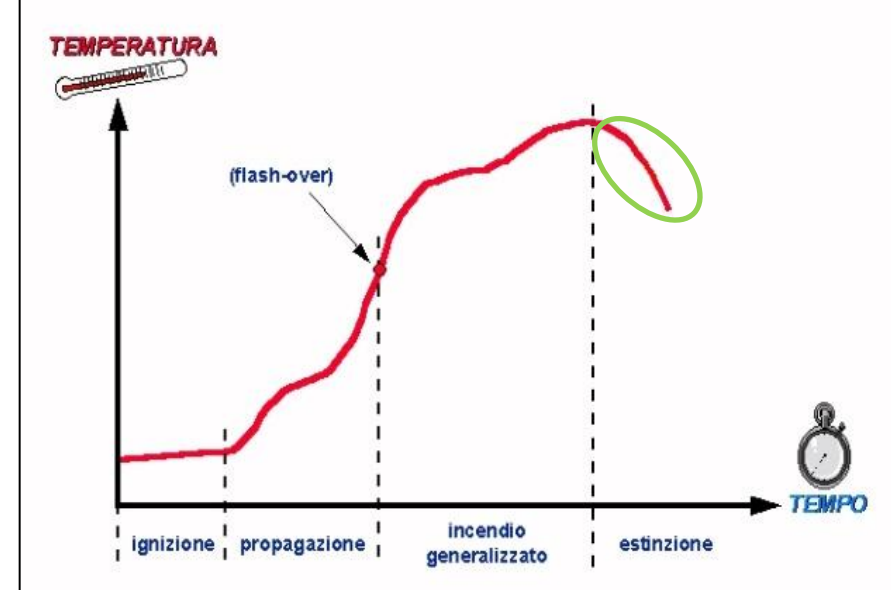








## 4. Fase di spegnimento



*Quando l'incendio ha terminato di interessare tutto il materiale combustibile ha inizio la fase di decremento delle temperature all'interno del locale a causa della progressiva diminuzione dell'apporto termico residuo e della dissipazione di calore attraverso i fumi e di fenomeni di conduzione termica.*

# Meccanismi di propagazione dell'incendio

Le **correnti di fumo** nella zona di combustione contribuiscono alla propagazione attraverso:

- **termo espansione dell'aria causata dall'aumento di temperatura:** un aumento della temperatura provoca infatti un proporzionale aumento del volume occupato dal gas. Durante un incendio questo fenomeno provoca la rottura delle finestre e delle porte;



# Meccanismi di propagazione dell'incendio

- **effetti camino:** quando la temperatura negli ambienti si è stabilizzata il principale meccanismo di movimento dei fumi diventa il tiraggio. Il tiraggio per manifestarsi ha bisogno di camini quali scale, vani ascensore, cavedii e così via. Di qui la pericolosità negli edifici di tutti gli attraversamenti di piano non protetti adeguatamente;

# Meccanismi di propagazione dell'incendio

- **eventuali azioni del vento:** il vento può far muovere verticalmente il fumo, ma il suo effetto principale è di determinare un movimento orizzontale non solo del fumo ma anche dell'incendio;
- **funzionamento improprio della ventilazione meccanica:** gli impianti di ventilazione se non progettati adeguatamente possono causare rapidi trasferimenti di fumo e calore nell'edificio attraverso le condotte di passaggio dell'aria. Di qui la necessità delle serrande tagliafuoco e di sistemi di arresto automatico degli impianti. Gli impianti di ventilazione possono tuttavia esser progettati anche per l'estrazione dei fumi in caso di incendi e venire così integrati nel sistema di protezione dell'edificio.

# Meccanismi di propagazione dell'incendio

La propagazione a distanza degli incendi, oltre che per effetto della **convezione** dei fumi caldi, può aver luogo per **conduzione** attraverso le strutture di separazione. A causa della continuità che esiste tra le diverse parti di un edificio, la propagazione termica attraverso le pareti e solette può portare alla temperatura di accensione anche sostanze combustibili contenute in locali non direttamente investiti dalle fiamme.

# Meccanismi di propagazione dell'incendio

Altro meccanismo importante per la propagazione degli incendi è **l'irraggiamento termico**. Il calore per irraggiamento può essere trasmesso direttamente dalla sorgente al ricevitore per via elettromagnetica. La potenza irradiata diminuisce con il quadrato della distanza e quindi l'irraggiamento è tanto più pericoloso quanto più vicini sono i corpi interessati. Non tutta la superficie esterna di un edificio in preda a fiamme interne irradia poi in uguale misura: meno pericolose sono le pareti, soprattutto se dotate di buona resistenza al fuoco e quindi capaci di non aumentare troppo la temperatura. Al contrario risultano molto pericolose le aperture e, in genere, tutte le superfici che lasciano vedere le fiamme.

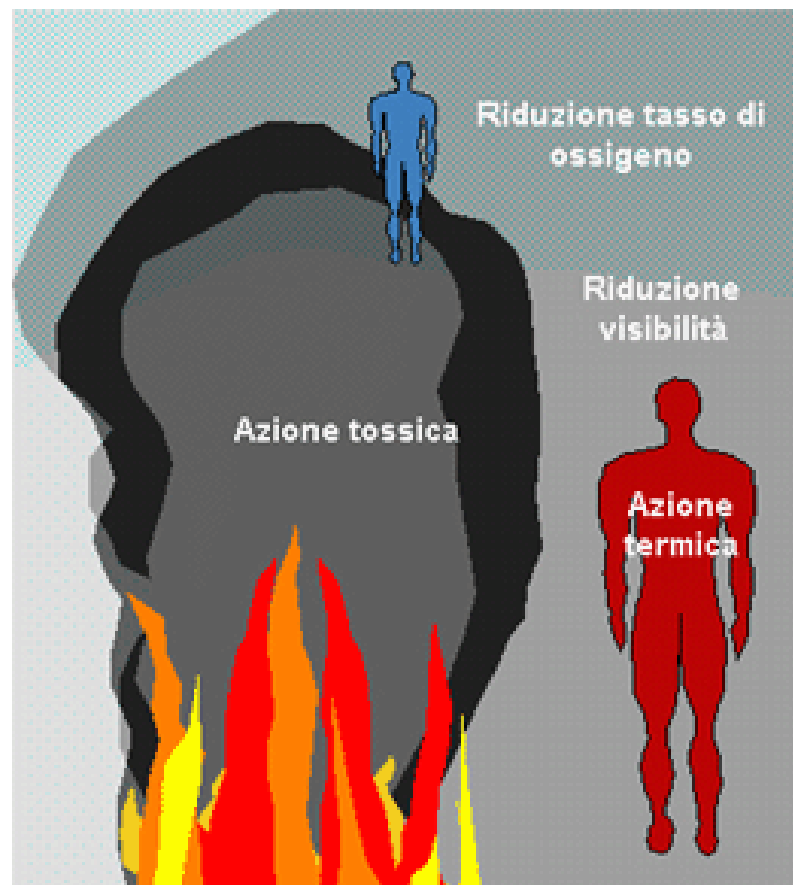
# *Effetti dell'incendio sull'uomo*

I principali effetti dell'incendio sull'uomo sono:

- **ANOSSIA (a causa della riduzione del tasso di ossigeno nell'aria)**
- **AZIONE TOSSICA DEI GAS**
- **RIDUZIONE DELLA VISIBILITÀ**
- **AZIONE TERMICA**

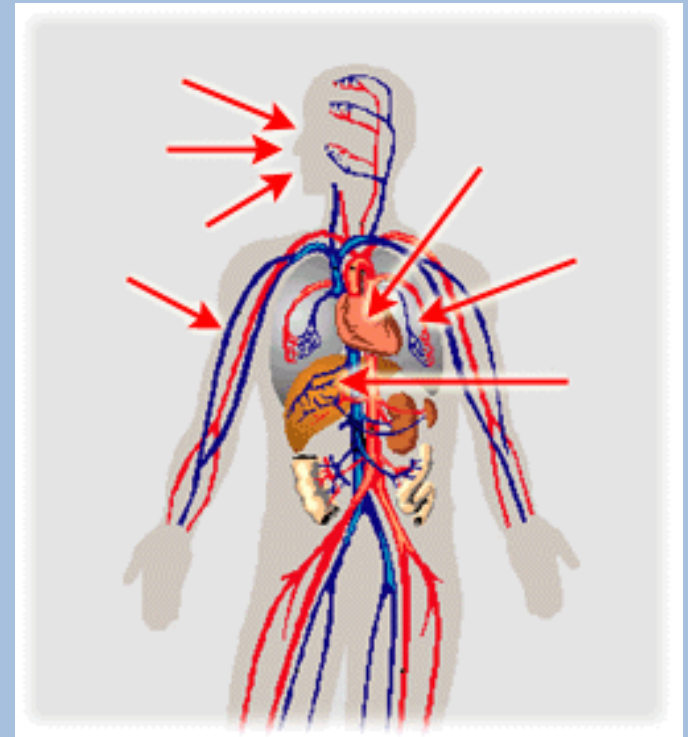
Essi sono determinati dai prodotti della combustione:

- **GAS DI COMBUSTIONE**
- **FIAMMA**
- **CALORE**
- **FUMO**



# GAS DI COMBUSTIONE

- ossido di carbonio ( $\text{CO}$ )
- anidride carbonica ( $\text{CO}_2$ )
- idrogeno solforato ( $\text{H}_2\text{S}$ )
- anidride solforosa ( $\text{SO}_2$ )
- ammoniaca ( $\text{NH}_3$ )
- acido cianidrico ( $\text{HCN}$ )
- acido cloridrico ( $\text{HCl}$ )
- perossido d'azoto ( $\text{NO}_2$ )
- aldeide acrilica ( $\text{CH}_2\text{CHCHO}$ )
- fosgene ( $\text{COCl}_2$ )



# OSSIDO DI CARBONIO (CO)

**Caratteristiche** incolore, inodore, non irritante

## **Meccanismo d'azione**

Il monossido di carbonio viene assorbito per via polmonare; attraverso la parete alveolare passa nel sangue per combinazione con l'emoglobina dei globuli rossi formando la carbossi-emoglobina.

Con tale azione si bloccano i legami che la stessa ha con l'ossigeno che in condizioni normali forma l'ossiemoglobina.

La presenza di ossido di carbonio nell'aria determina un legame preferenziale tra questo e l'emoglobina, in quanto l'affinità di legame che intercorre tra l'ossido di carbonio e l'emoglobina è di circa 220 volte superiore a quella tra l'emoglobina e l'ossigeno.

**Sintomatologia** cefalea, nausea, vomito, palpitazioni, astenia, tremori muscolari

Se si sommano gli effetti dell'ossido di carbonio sull'organismo umano con quelli conseguenti ad una situazione di stress, di panico e di condizioni termiche avverse, i massimi tempi di esposizione sopportabili dall'uomo in un incendio reale sono quelli indicati in tabella.

Concentrazione di CO (ppm)	Tempo max di esposizione (sec)
500	240
1000	120
2500	48
5000	24
10000	12

# ***ANIDRIDE CARBONICA (CO<sub>2</sub>)***

- L'anidride carbonica è un **gas asfissiante** in quanto, pur non producendo effetti tossici sull'organismo umano, si sostituisce all'ossigeno dell'aria. Quando ne determina una diminuzione a valori inferiori al 17% in volume, produce asfissia.
- Inoltre è un gas che **accelera e stimola il ritmo respiratorio**; con una percentuale del 2% di CO<sub>2</sub> in aria la velocità e la profondità del respiro aumentano del 50% rispetto alle normali condizioni. Con una percentuale di CO<sub>2</sub> al 3% l'aumento è del 100%, cioè raddoppia.



# L'acido cianidrico

L'acido cianidrico si sviluppa in modesta quantità in incendi ordinari attraverso **combustioni incomplete** (carenza di ossigeno) di **lana, seta, resine acriliche, uretaniche** e **poliammidiche**. Possiede un odore caratteristico di mandorle amare.

## ***Meccanismo d'azione***

L'acido cianidrico è un aggressivo chimico che interrompe la catena respiratoria a livello cellulare generando grave sofferenza funzionale nei tessuti ad alto fabbisogno di ossigeno, quali il cuore e il sistema nervoso centrale

***Vie di penetrazione:*** inalatoria, cutanea, digerente

I cianuri dell'acido cianidrico a contatto con l'acidità gastrica presente nello stomaco vengono idrolizzati **bloccando la respirazione cellulare** con la conseguente morte della cellula per anossia.

## ***Sintomatologia***

iperpnea (fame d'aria), aumento degli atti respiratori, colore della cute rosso, cefalea, ipersalivazione, bradicardia, ipertensione.

# **FOSGENE**

Il fosgene è un **gas tossico** che si sviluppa durante le combustioni di **materiali che contengono il cloro**, come per esempio alcune materie plastiche.

Esso diventa particolarmente pericoloso in ambienti chiusi.

## ***Meccanismo d'azione***

Il fosgene a contatto con l'acqua o con l'umidità si scinde in anidride carbonica e **acido cloridrico** che è estremamente pericoloso in quanto **intensamente caustico** e capace di raggiungere le vie respiratorie.

## ***Sintomatologia***

- irritazione (occhi, naso, e gola)
- lacrimazione
- secchezza della bocca
- costrizione toracica
- vomito
- mal di testa

# EFFETTI DEL CALORE

- Il calore è dannoso per l'uomo potendo causare la **disidratazione dei tessuti**, difficoltà o **blocco della respirazione** e **scottature**. Una temperatura dell'aria di circa 150 °C è da ritenere la massima sopportabile sulla pelle per brevissimo tempo, a condizione che l'aria sia sufficientemente secca. Tale valore si abbassa se l'aria è umida.
- Purtroppo negli incendi sono presenti notevoli quantità di vapore acqueo. Una temperatura di circa 60°C è da ritenere la **massima respirabile per breve tempo**.

L'irraggiamento genera ustioni sull'organismo umano che possono essere classificate a seconda della loro profondità in:

## **ustioni di I grado**

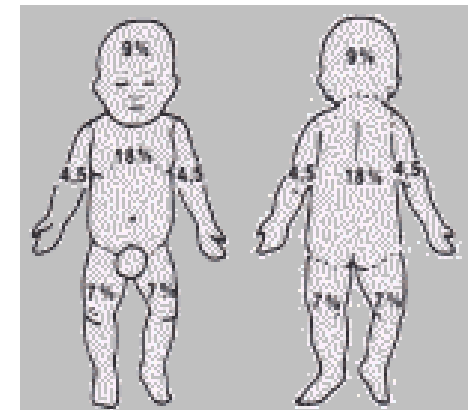
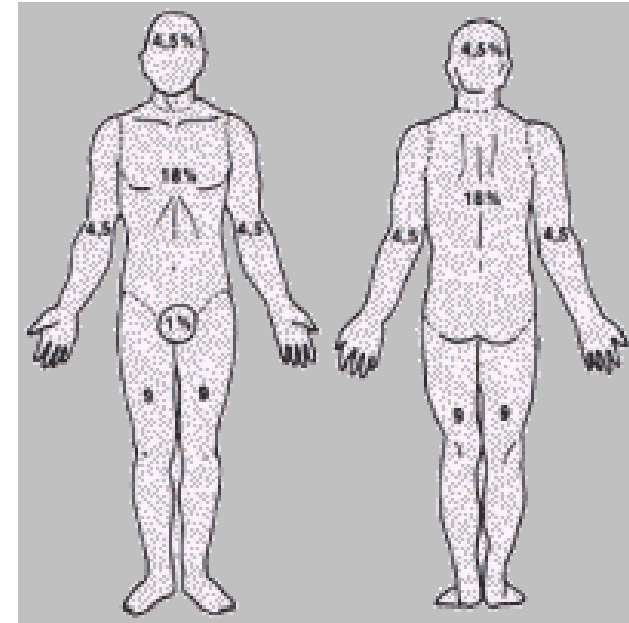
- superficiali
- facilmente guaribili

## **ustioni di II grado**

- formazione di bolle e vescicole
- consultazione struttura sanitaria

## **ustioni di III grado**

- profonde
- urgente ospedalizzazione



# *Effetti del calore sui materiali da costruzione*

DANNI CHE SI POSSONO VERIFICARE	VALORI DI IRRAGGIAMENTO (kW/mq)
Strutture in calcestruzzo	60
Strutture in acciaio	40
Ignizione del legno entro un minuto	33
Danneggiamento di serbatoi metallici	12,6
Danneggiamento cavi elettrici	11,7

# *Cause e Pericoli di Incendio più comuni*

- o deposito o manipolazione non idonea di sostanze infiammabili o combustibili;
- o accumulo di rifiuti , carta o altro materiale combustibile che può essere facilmente incendiato (accidentalmente o deliberatamente);
- o negligenza nell'uso di fiamme libere e di apparecchi generatori di calore;
- o inadeguata pulizia delle aree di lavoro e scarsa manutenzione delle apparecchiature;
- o impianti elettrici o utilizzatori difettosi, sovraccaricati e non adeguatamente protetti ;
- o riparazioni o modifiche di impianti elettrici effettuate da persone non qualificate ;
- o apparecchiature elettriche lasciate sotto tensione anche quando inutilizzate ;
- o utilizzo non corretto di impianti di riscaldamento portatili ;
- o ostruire la ventilazione di apparecchi di riscaldamento, macchinari, apparecchiature elettriche e di ufficio;
- o fumare in aree ove è proibito, o non usare il posacenere;
- o negligenze di appaltatori o di addetti alla manutenzione; etc. ;