



MINISTERO DELL'INTERNO
DIPARTIMENTO DEI VIGILI DEL FUOCO
DEL SOCCORSO PUBBLICO E DELLA DIFESA CIVILE



DIREZIONE CENTRALE PER LA FORMAZIONE

CHIMICA E FISICA DELL'INCENDIO



CORSO DI FORMAZIONE A VIGILE PERMANENTE

a cura di:

VERSIONE GIUGNO 2010

Dott. Ing. Mirko CANESTRI, Dott. Ing. Daniele MERCURI

Struttura del corso

Il corso è suddiviso in n.6 unità didattiche

Nelle prime n.5 unità didattiche verranno trattati gli argomenti teorici presenti nella dispensa.

Nell'unità didattica n.6 verrà effettuata una verifica informale dell'apprendimento da parte del gruppo mediante i test di autovalutazione di fine capitolo, come riepilogo di tutto il programma svolto

Obiettivi del corso

L'obiettivo del corso è quello di fornire al discente le necessarie conoscenze sui parametri che regolano il fenomeno della combustione.

In particolare è in grado di riconoscere:

- le fonti di innesco;*
- le varie tipologie di combustibile e di comburente;*
- i fattori che regolano lo sviluppo e la propagazione di un incendio;*
- gli effetti che l'incendio e i prodotti della combustione hanno sull'uomo*

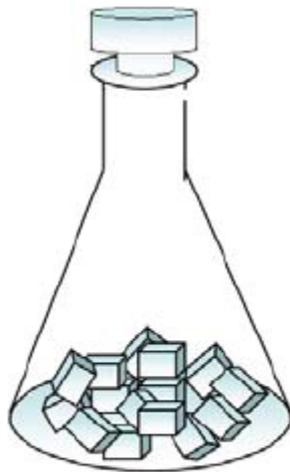
Unità didattica
n.1

CHIMICA DELLA COMBUSTIONE

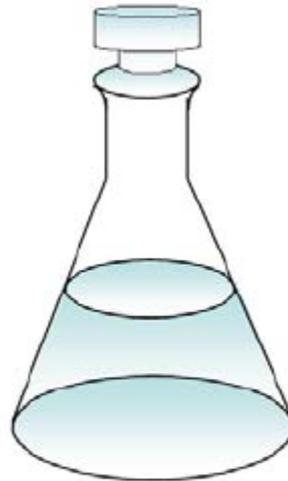


La materia e i passaggi di stato

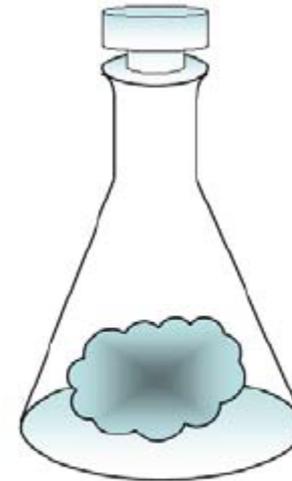
La materia è ogni cosa che ha una **massa** e un **volume** e che quindi **occupa uno spazio**.



Stato solido



Stato liquido



Stato aeriforme

La materia e i passaggi di stato

Il passaggio di uno stato di aggregazione all'altro è detto **passaggio di stato** ed è ottenibile raffreddando o riscaldando la sostanza.



La materia e i passaggi di stato

Il passaggio di stato è un **fenomeno fisico** perché non da luogo a cambiamenti nella composizione delle sostanze interessate.

Esempio

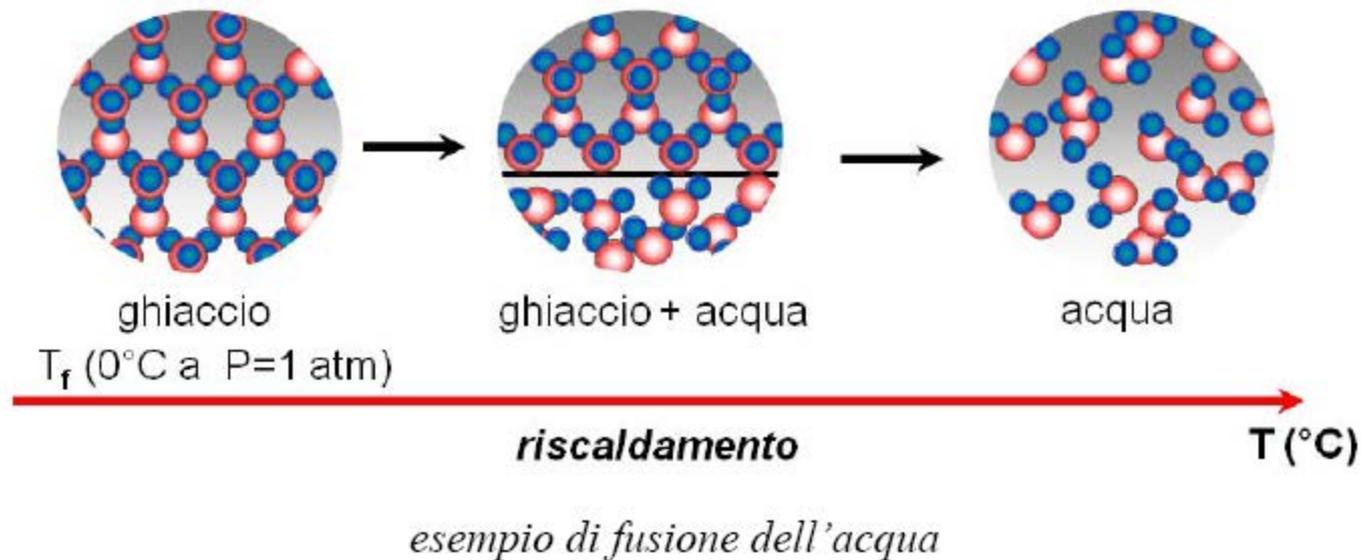


ghiaccio, acqua e vapore sono tutti costituiti da molecole di acqua cambia solo il modo con cui sono unite;

La materia e i passaggi di stato

FUSIONE

Il passaggio dallo stato solido a quello liquido (ottenuto fornendo calore alla sostanza) è detto **fusione**.



La materia e i passaggi di stato

EVAPORAZIONE

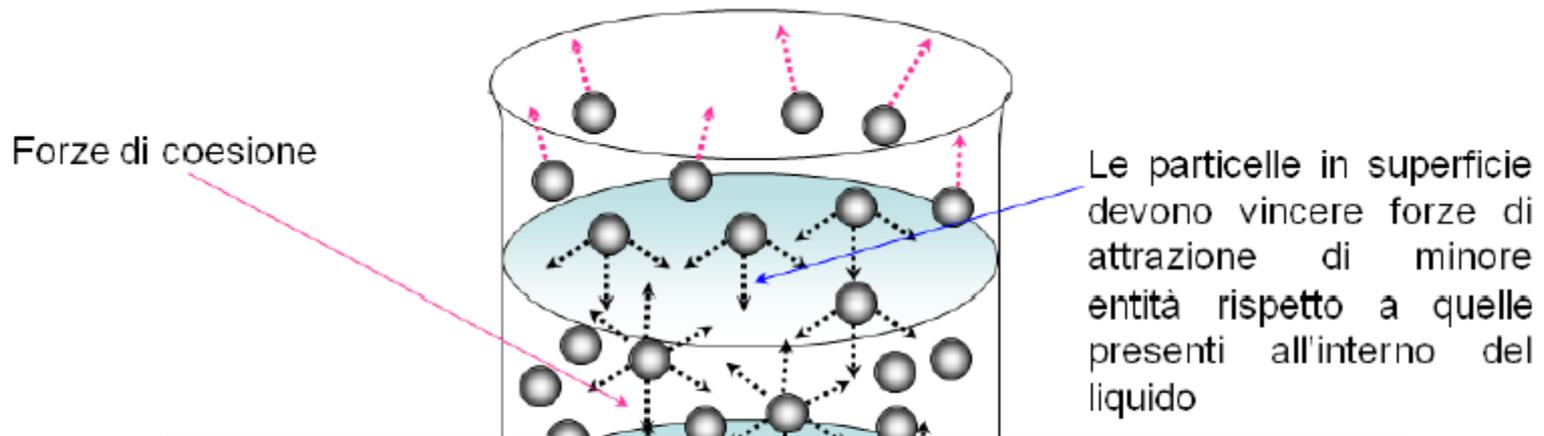
Il passaggio dallo stato liquido a quello aeriforme (ottenuto fornendo calore alla sostanza) è detto **evaporazione**.



La materia e i passaggi di stato

EVAPORAZIONE

L'evaporazione è il fenomeno che riguarda solo la superficie del liquido.

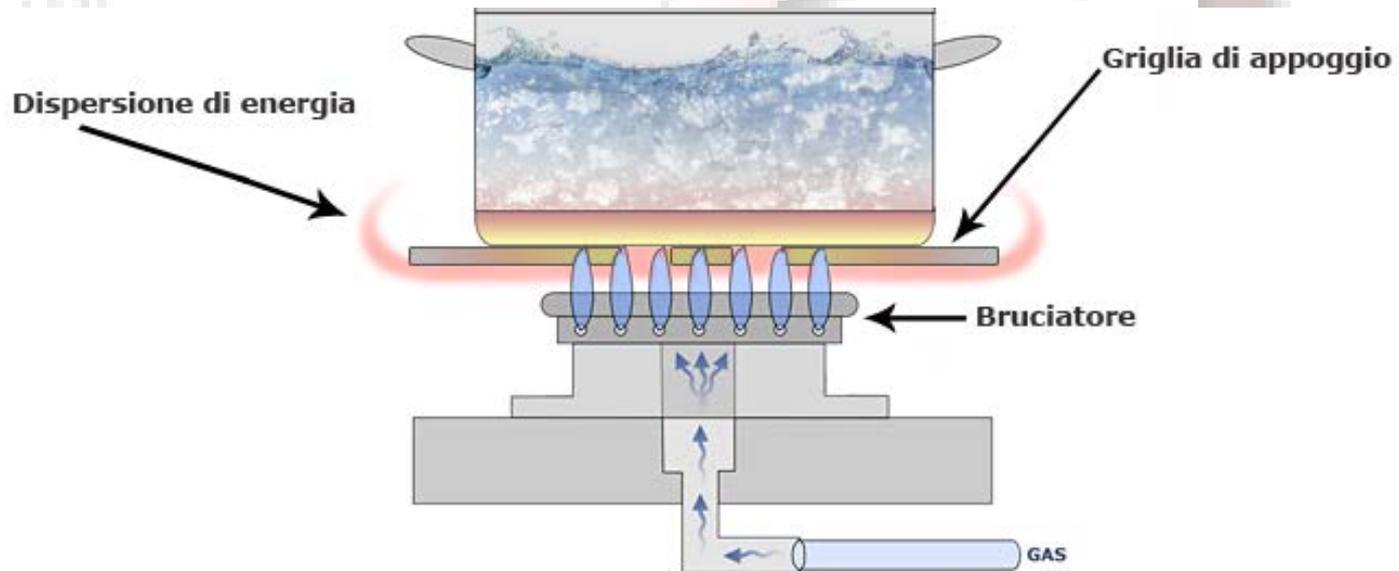


L'evaporazione avviene ad ogni temperatura e la sua velocità dipende dal tipo di sostanza.

La materia e i passaggi di stato

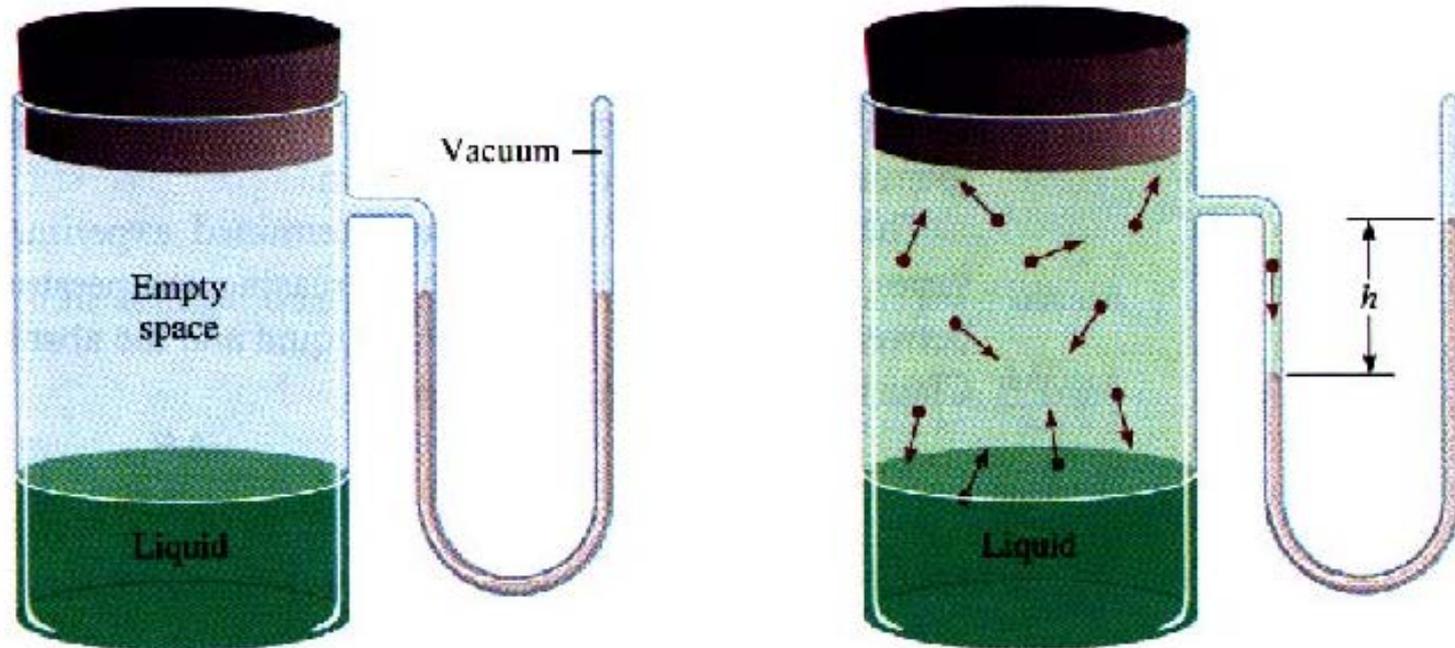
EVAPORAZIONE

In un recipiente aperto, il liquido evapora completamente assorbendo calore dall'esterno



La materia e i passaggi di stato

EVAPORAZIONE



La **pressione** che si stabilisce nella condizione di **equilibrio** tra il liquido e il vapore, alla temperatura costante T è detta pressione o **tensione di vapore**.

La materia e i passaggi di stato

EVAPORAZIONE

In un **recipiente aperto** l'equilibrio non viene mai raggiunto e il liquido evapora facendo diminuire il livello nel recipiente fino all'esaurimento.



La materia e i passaggi di stato

EVAPORAZIONE

La tensione di vapore **interessa tutti i liquidi e dipende** principalmente dalla **temperatura** e dalla **pressione** cui si trova il liquido

l'evaporazione è favorita da un aumento della temperatura e dalla diminuzione della pressione

più la tensione di vapore è grande più la sostanza evapora con facilità

La materia e i passaggi di stato

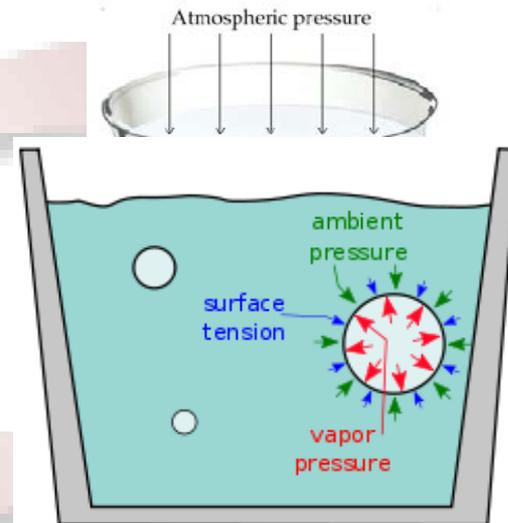
EVAPORAZIONE

All'aumentare della temperatura, la tensione di vapore del liquido cresce sino ad eguagliare la pressione esterna che agisce sul liquido

Quando la tensione di vapore è uguale alla pressione esterna il vapore si genera all'interno del liquido

EBOLLIZIONE

La temperatura di ebollizione o punto di ebollizione è finita, quindi, come la temperatura alla quale la tensione di vapore del liquido eguaglia la pressione atmosferica (1atm).

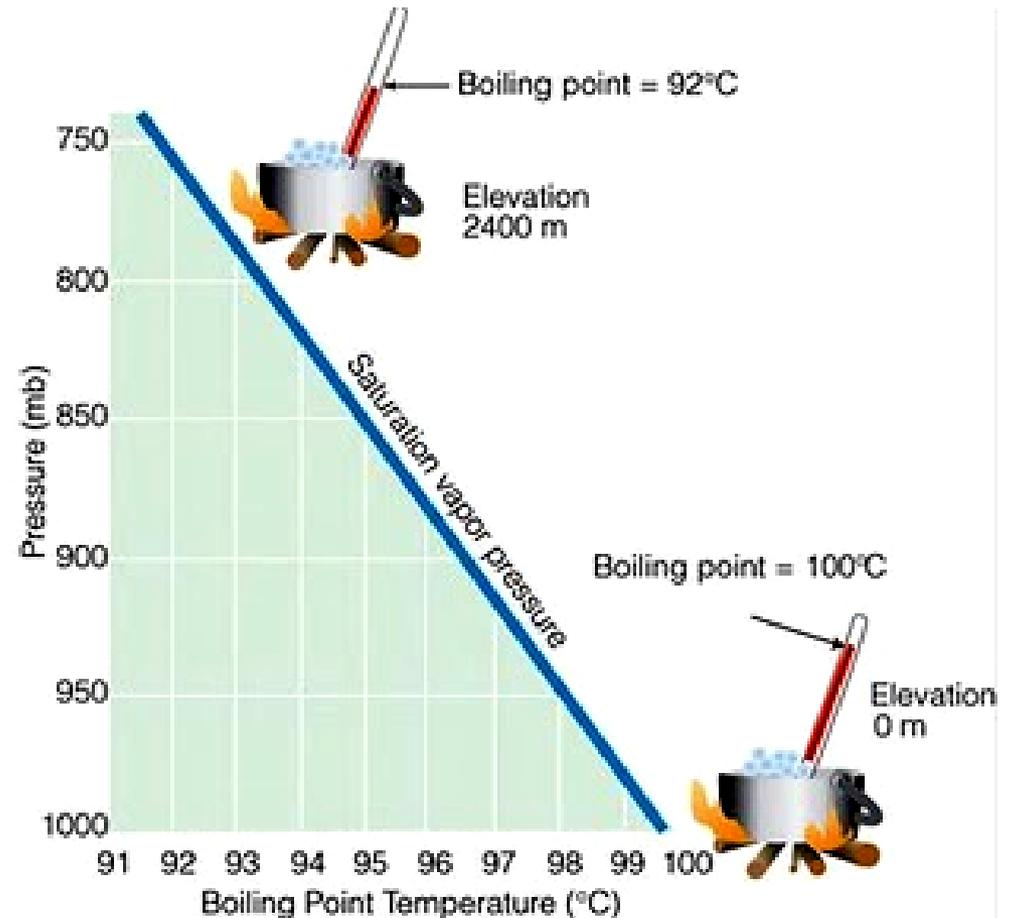


La materia e i passaggi di stato

EVAPORAZIONE

La temperatura di ebollizione dipende dalla pressione ambiente:

per far bollire un liquido si può quindi o **elevare sufficientemente la sua temperatura** o **diminuire la pressione** cui è sottoposto.



La materia e i passaggi di stato

EVAPORAZIONE

Sostanze	Temperatura di ebollizione <i>a pressione 1atm</i> (°C)
Azoto	-195.8
GPL (gas di petrolio liquefatto)	- 42
Cloro	- 34.6
Ammoniaca	-33.4
Alcol	78
Acqua	100

L'alcol bolle a una temperatura superiore a quella ambiente.

Il GPL bolle a temperature molto inferiori allo zero.

Ciò significa che, a differenza dell'alcol, per mantenere il GPL allo stato liquido, è necessario sottoporlo ad una pressione superiore a quella atmosferica.

LIQUEFAZIONE - CONDENSAZIONE

Il passaggio di stato da aeriforme a liquido viene detto **liquefazione** (se si tratta di un gas) o **condensazione** (se si tratta di un vapore).

Questo passaggio di stato può essere effettuato in due modi:

- sottraendo calore

- aumentando la pressione

o con una opportuna combinazione delle precedenti.

La materia e i passaggi di stato

LIQUEFAZIONE - CONDENSAZIONE

Affinché un aeriforme passi allo stato liquido **per sola compressione** è necessario che la temperatura sia inferiore alla sua **“TEMPERATURA CRITICA”**

La **temperatura critica**, infatti, rappresenta la temperatura **oltre** la quale è **impossibile** liquefare un gas per sola compressione.



La materia e i passaggi di stato

LIQUEFAZIONE - CONDENSAZIONE

Nella seguente tabella sono riportati, a titolo di esempio, i valori delle temperature critiche di alcune sostanze comuni

Sostanze	Temperatura critica (°C)
GPL	96.5
Cloro	144
Ossigeno	-147
Idrogeno	-240
Azoto	-147

La materia e i passaggi di stato

SOLIDIFICAZIONE

La **solidificazione** è il passaggio di una sostanza dallo stato liquido allo stato solido ottenuto mediante sottrazione di calore

La temperatura di solidificazione varia da sostanza a sostanza e coincide con quella di fusione.



L'acqua solidifica a 0°C nel passaggio da liquido a solido e fonde a 0°C nel passaggio da solido a liquido.

Proprietà fisiche della materia

Le principali proprietà fisiche della materia sono:

Volume

Massa

Densità

Peso specifico relativo all'acqua

Densità relativa all'aria

Proprietà fisiche della materia

VOLUME

Porzione di spazio occupata da un corpo
varia in funzione della temperatura e della pressione

L'unità di misura è il metro cubo (m³).



Proprietà fisiche della materia

MASSA

Quantità di materia che costituisce un corpo

L'unità di misura è il chilogrammo (kg).



Proprietà fisiche della materia

Densità

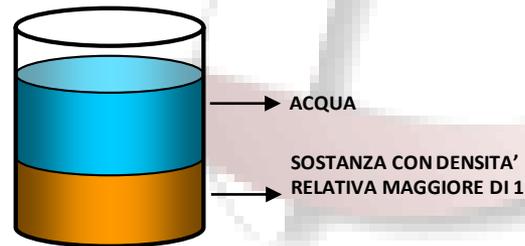
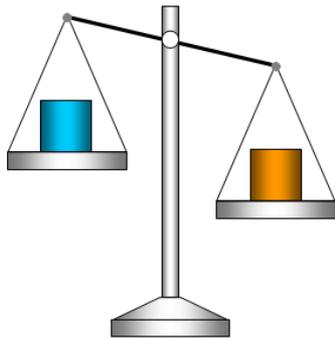
La **densità** o **massa volumica** di un corpo è definita come il rapporto tra la massa del corpo ed il volume del medesimo corpo

Massa
Volume

La densità si misura in chilogrammi a metro cubo (kg/m^3).

PESO SPECIFICO RELATIVO ALL'ACQUA

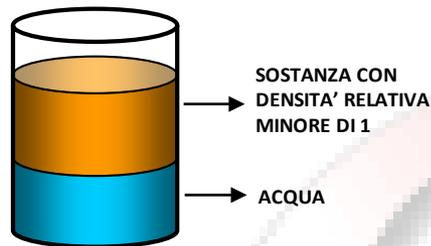
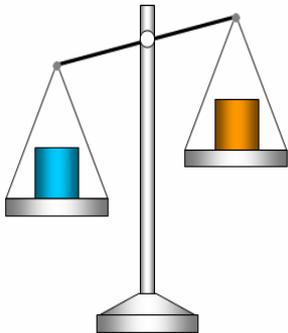
Rappresenta il **rapporto**, calcolato a 20°C, fra la **densità** di una **sostanza** allo stato **liquido** (o solido) e la **densità** dell'**acqua**



Sostanza con densità
relativa all'acqua
maggiore di 1
stratifica sul fondo

Proprietà fisiche della materia

PESO SPECIFICO RELATIVO ALL'ACQUA



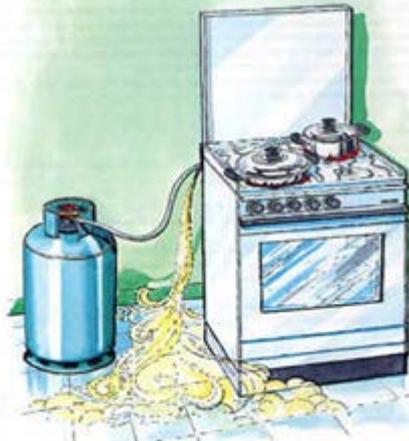
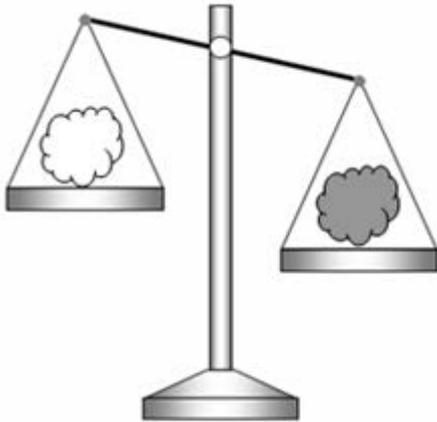
Sostanza con densità
relativa all'acqua
minore di 1 galleggia

Sostanza (allo stato liquido)	Peso specifico relativo all'acqua
Acetone	0.79
Benzina	0.70
Gasolio	0.82
GPL (liquido)	0.51
Pentano	0.62

Proprietà fisiche della materia

DENSITA' RELATIVA ALL'ARIA

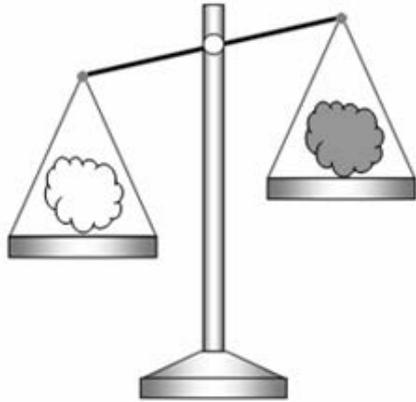
Rappresenta il **rapporto**, calcolato a 20°C, tra la **densità** del **gas** e la **densità dell'aria**



Sostanza con densità
relativa all'aria
maggiore di 1
stratifica in basso

Proprietà fisiche della materia

DENSITA' RELATIVA ALL'ARIA



Sostanza con densità
relativa all'aria
minore di 1 stratifica
in alto

Sostanza (allo stato aeriforme)	Densità relativa all'aria
Acetone	2.00
Benzina	3.50
Gasolio	7.00
Idrogeno	0.07
Metano	0.55
GPL	1.90

Atomi e molecole

Tutte le sostanze (solide, liquide o aeriformi) sono costituite da **molecole** .

La **molecola** è quindi la più piccola parte di una sostanza e ne conserva tutte le sue proprietà.

La molecola, a sua volta, è costituita da due o più **atomi** opportunamente legati tra loro.



Atomi e molecole

Ogni **molecola** ha un nome e una formula chimica che la contraddistingue.

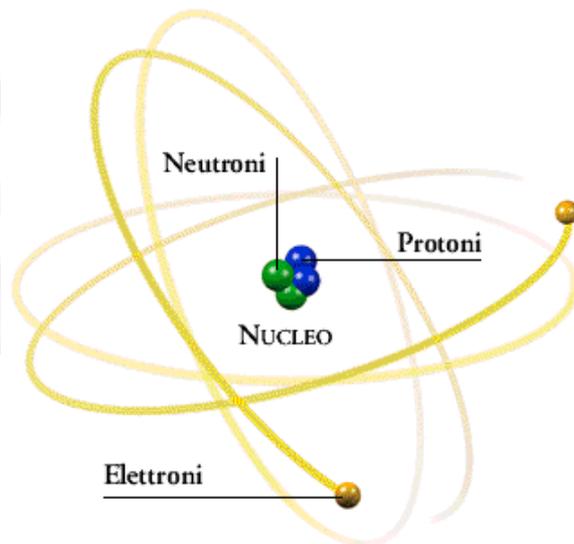
La **formula** descrive la composizione della sostanza attraverso i simboli degli elementi che la costituiscono.

Esempio

Sostanza	Molecola	Atomi
Acqua	H ₂ O	n.2 atomi Idrogeno (H) n.1 atomo Ossigeno (O)
Anidride Carbonica	CO ₂	n.1 atomo Carbonio (C) n.2 atomi Ossigeno (O)
Metano	CH ₄	n.1 atomo Carbonio (C) n.4 atomi Idrogeno (H)

Atomi e molecole

L'**atomo** può essere schematicamente rappresentato da un **nucleo centrale**, formato da **protoni** e **neutroni**, intorno al quale ruotano, su traiettorie dette orbitali atomici, gli **elettroni**.



Atomi e molecole

Protoni

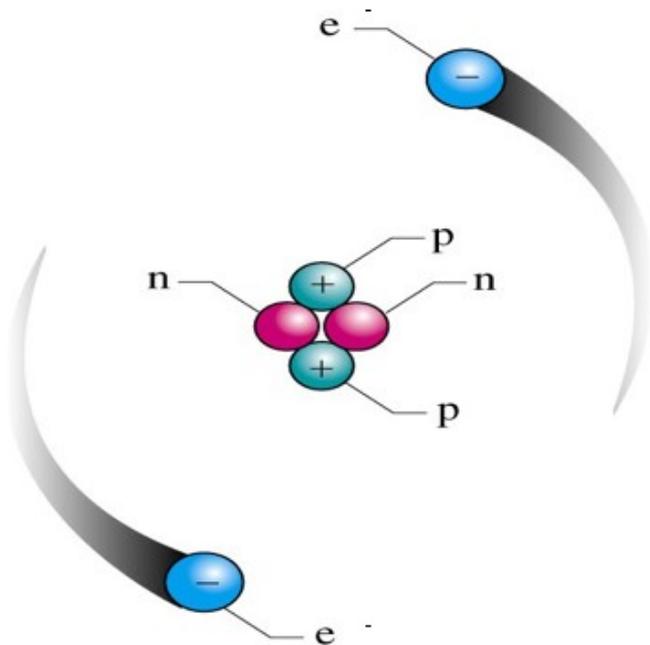
particelle dotate di **carica elettrica positiva** che risulta uguale e opposta a quella dell'elettrone dotato di **carica elettrica negativa**.

Neutroni

Particelle con **carica elettrica nulla**

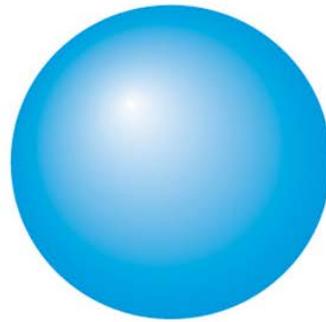
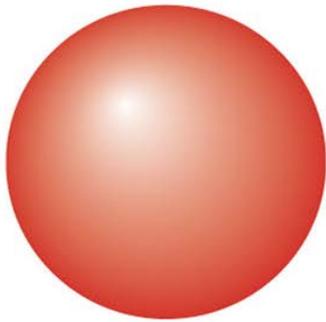
Elettroni

Particelle con **carica elettrica negativa**. Principali responsabili del comportamento chimico



Atomi e molecole

Protoni e neutroni insieme (cioè sommati) determinano la massa complessiva dell'atomo che viene detta peso atomico o **numero di massa**.



particella	protone	neutrone	elettrone
massa (kg)	$1,673 \cdot 10^{-27}$	$1,675 \cdot 10^{-27}$	$9,1094 \cdot 10^{-31}$
carica (C)	$1,6022 \cdot 10^{-19}$	0	$-1,6022 \cdot 10^{-19}$

Il numero di protoni presenti nel nucleo di un atomo viene chiamato **numero atomico**

Il **peso atomico** è fornito unicamente da protoni e neutroni. E' trascurabile il contributo degli elettroni

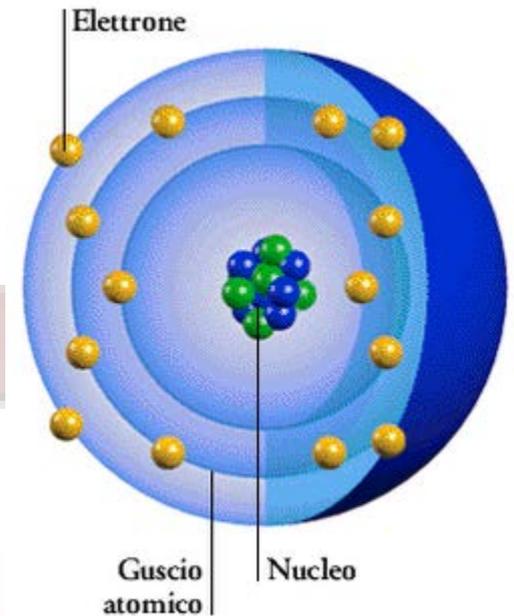
Atomi e molecole

Gli **elettroni** viaggiano su delle orbite più o meno distanti dal nucleo

Ogni orbita è un livello energetico

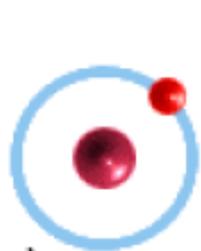
Ogni orbita può ospitare un ben definito numero di elettroni (max 8 elettroni)

Se il numero di elettroni presenti è inferiore al massimo riempimento possibile, l'atomo tende ad acquisire elettroni da altri atomi per raggiungere il massimo riempimento



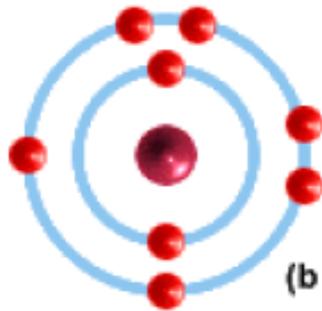
Atomi e molecole

Chiameremo allora **elettronegatività** la misura con la quale un atomo esercita la sua influenza attrattiva sugli elettroni di altri atomi.



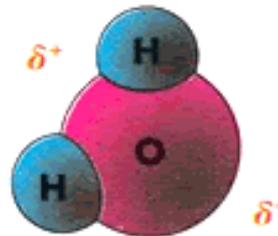
a)

Primo livello energetico:
1 elettrone
Idrogeno
(numero atomico=1)

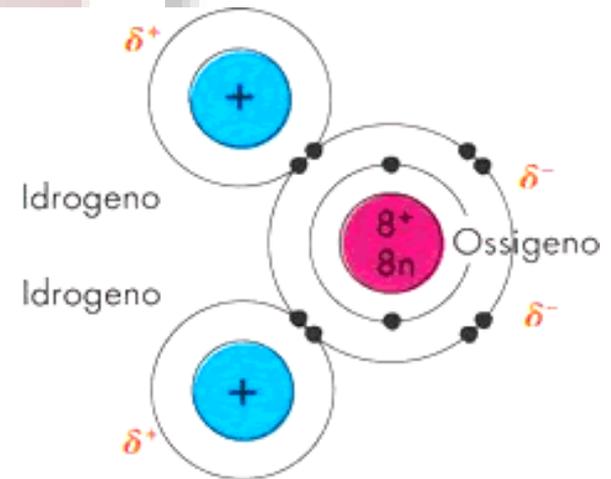


(b)

Primo livello energetico:
2 elettroni
Secondo livello energetico:
6 elettroni
Ossigeno (numero atomico=8)



Modello molecolare



Idrogeno

Idrogeno

Ossigeno

Modello di Bohr

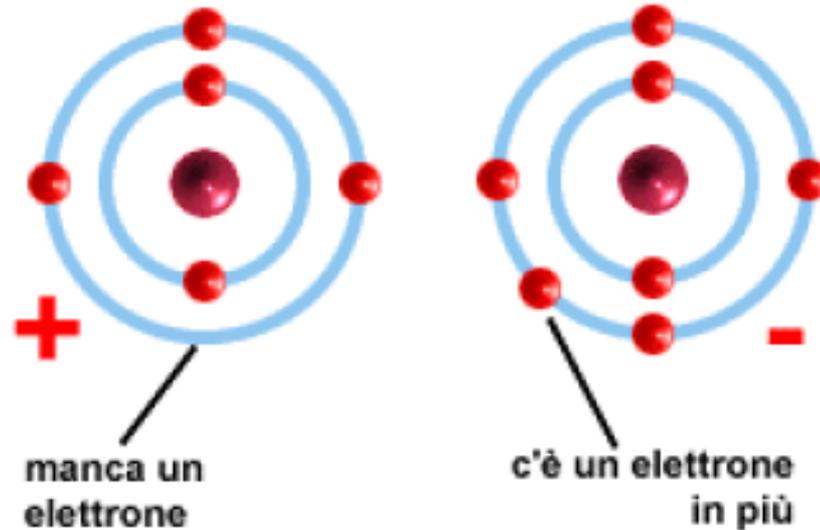
Atomi e molecole

L'**elettronegatività è bassa** per atomi che hanno pochi elettroni nel livello esterno

L'**elettronegatività è alta** negli atomi che hanno 6 o 7 elettroni e sono perciò vicini a completare il livello energetico esterno

Atomi e molecole

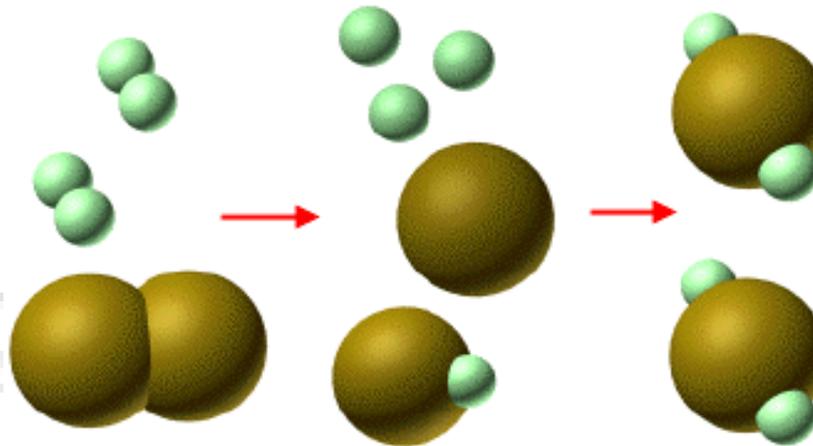
Un atomo viene chiamato **ione** quando il numero di **protoni** non è uguale al numero di **elettroni**, e quindi la carica non è nulla



Reazione Chimica

La **reazione chimica** è la trasformazione di una o più sostanze (dette "reagenti") in una o più sostanze differenti (dette "prodotti").

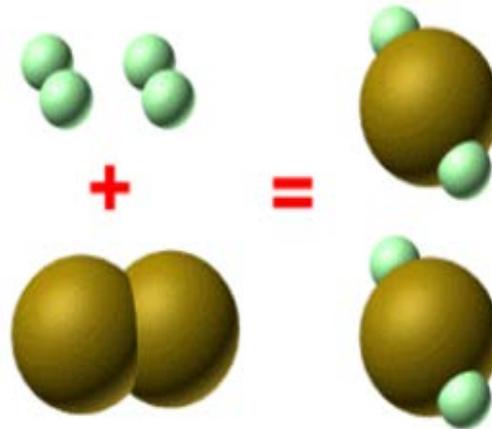
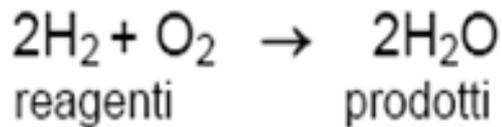
La trasformazione avviene con una **ridistribuzione** degli atomi presenti nelle molecole dei reagenti



Reazione Chimica

Tutte le reazioni chimiche possono essere rappresentate da **equazioni chimiche**
a sinistra vengono scritti tutti i **reagenti**, a destra tutti i **prodotti**
la freccia che indica il verso della reazione

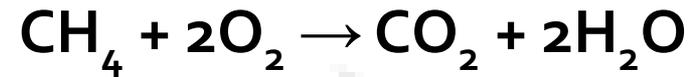
reagenti → prodotti



Reazione Chimica

Una **reazione è completa** quando tutti i **reagenti** si sono ricombinati trasformandosi in **prodotti**.

Esempio



Una **reazione è incompleta** quando nei **prodotti** è presente una parte dei **reagenti**

Esempio



Generalità sulla 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**.



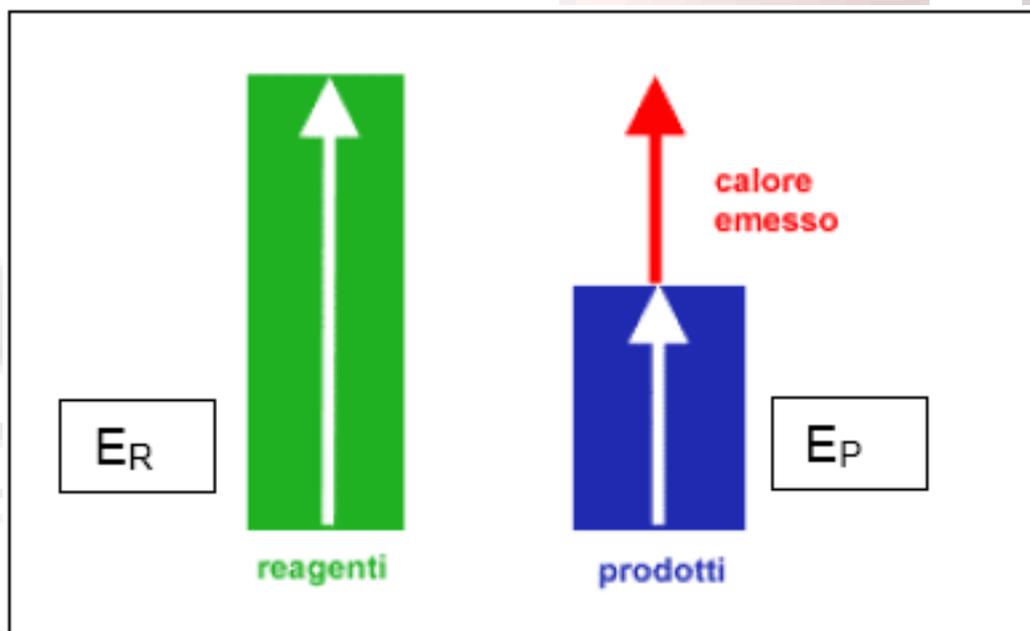
Esempio

Combustione Idrogeno $2 \text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O} + \text{Energia}$

Combustione Carbonio $\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{Energia}$

Generalità sulla 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.

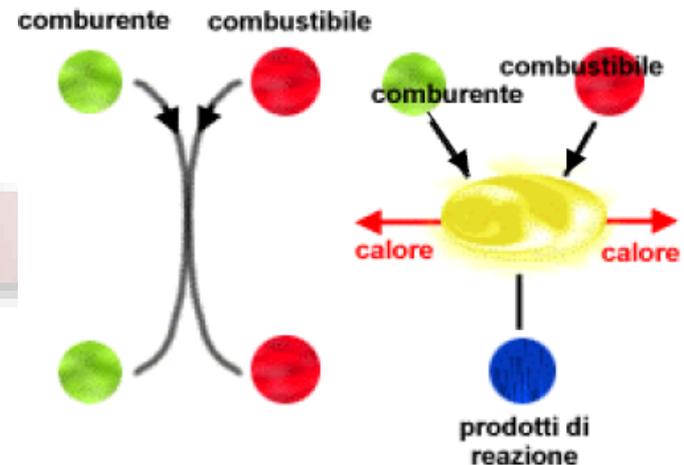


Velocità di combustione

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

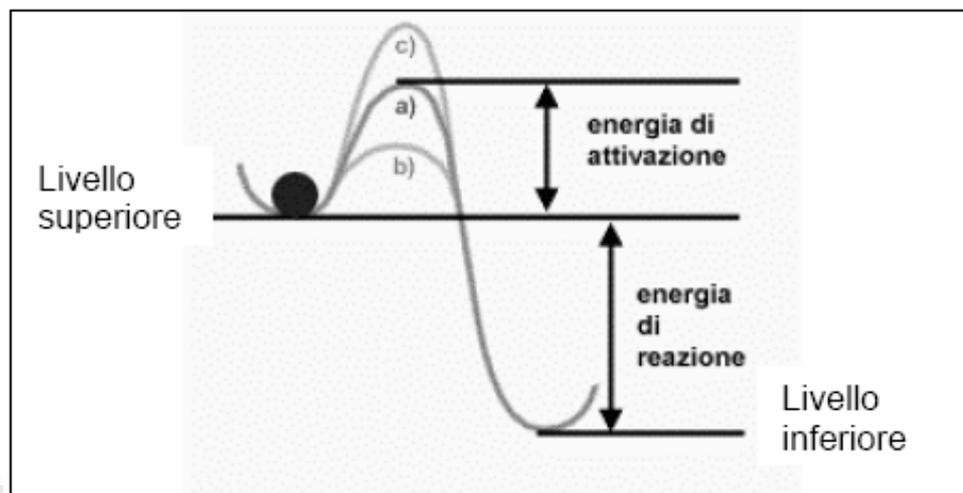
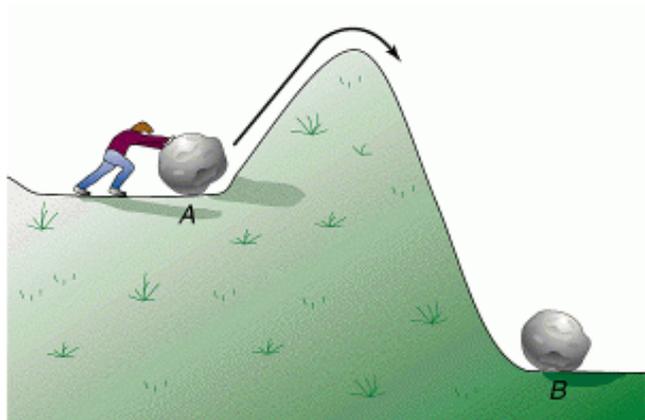
Questa energia necessaria ad avviare il processo di combustione viene detta **energia di attivazione**.

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).

Unità didattica
n.1

Fine Unità didattica
n.1





MINISTERO DELL'INTERNO
DIPARTIMENTO DEI VIGILI DEL FUOCO
DEL SOCCORSO PUBBLICO E DELLA DIFESA CIVILE



DIREZIONE CENTRALE PER LA FORMAZIONE

CHIMICA E FISICA DELL'INCENDIO



CORSO DI FORMAZIONE A VIGILE PERMANENTE

a cura di:

VERSIONE GIUGNO 2010

Dott. Ing. Mirko CANESTRI, Dott. Ing. Daniele MERCURI

Unità didattica
n.2

LA COMBUSTIONE

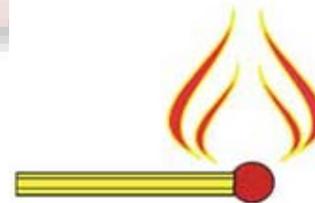
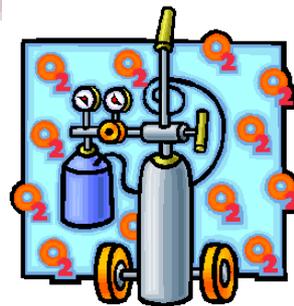
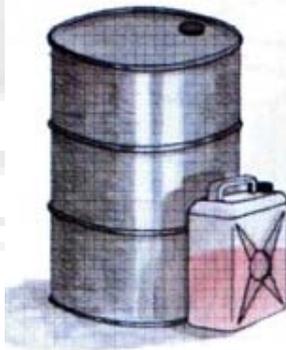
(parte 1/2)



Propagazione della Combustione

La **combustione** è una **reazione chimica sufficientemente rapida** di una sostanza **combustibile** con un **comburente** che dà luogo allo sviluppo di calore, fiamme, gas, fumi.

La combustione richiede necessariamente la contemporanea presenza di **combustibile**, **comburente** e una **adeguata temperatura**



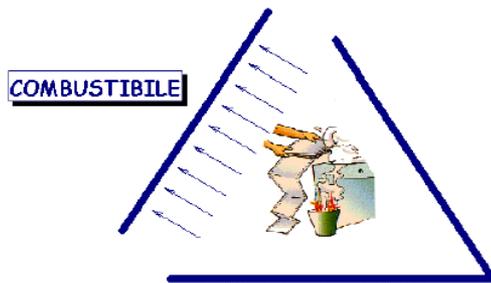
Propagazione della Combustione

Il Triangolo del fuoco

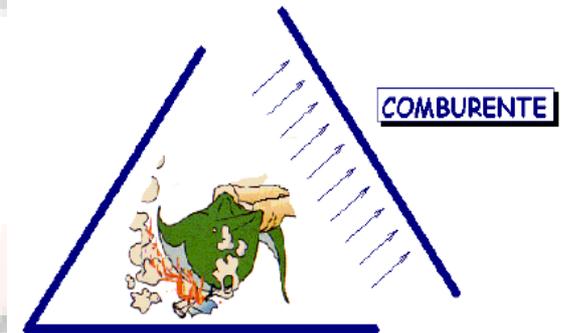


Propagazione della Combustione

Per ottenere lo spegnimento di un incendio si può agire su



esaurimento del combustibile



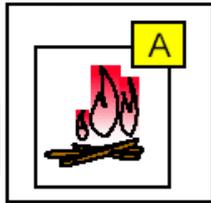
soffocamento



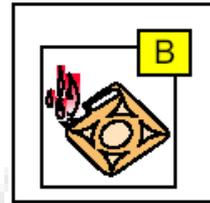
raffreddamento

Classificazione degli Incendi

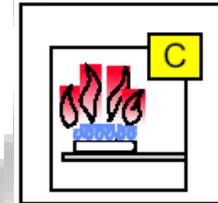
Gli incendi, o i fuochi, secondo la Norma UNI EN 2:2005, vengono distinti in cinque classi, secondo lo stato fisico dei materiali combustibili.



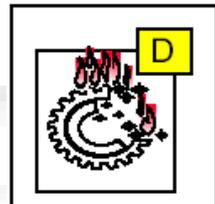
Classe A
(solidi)



Classe B
(liquidi)



Classe C
(gas)



Classe D
(metalli)



Classe F
(olii – grassi alimentari)

Combustibile

Il **combustibile** è una sostanza (solida, liquida o gassosa), che si trasforma durante l'incendio e nella cui composizione molecolare sono presenti elementi quali il carbonio, l'idrogeno, lo zolfo, etc.

COMBUSTIBILI SOLIDI			
<i>Naturali</i>	Carbon fossili (torba, lignite, litantrace, antracite) Legna	<i>Derivati</i>	Coke (di carbon fossile) Carbone di legna Agglomerati vari
COMBUSTIBILI LIQUIDI			
<i>Naturali</i>	Petrolio greggio	<i>Derivati</i>	Benzine di distillazione, gasolio, olio diesel, olio combustibile
COMBUSTIBILI GASSOSI			
<i>Naturali</i>	Gas naturale (metano, butano, ecc.)	<i>Derivati</i>	Gas di città e di cokeria, gas di generatori, gas di raffineria, acetilene, idrogeno

La maggior parte delle combustioni avviene in fase gassosa.

Combustibile

Combustibili solidi

La combustione delle sostanze solide è caratterizzata da:

- pezzatura e forma del materiale
- grado di porosità del materiale
- contenuto di umidità



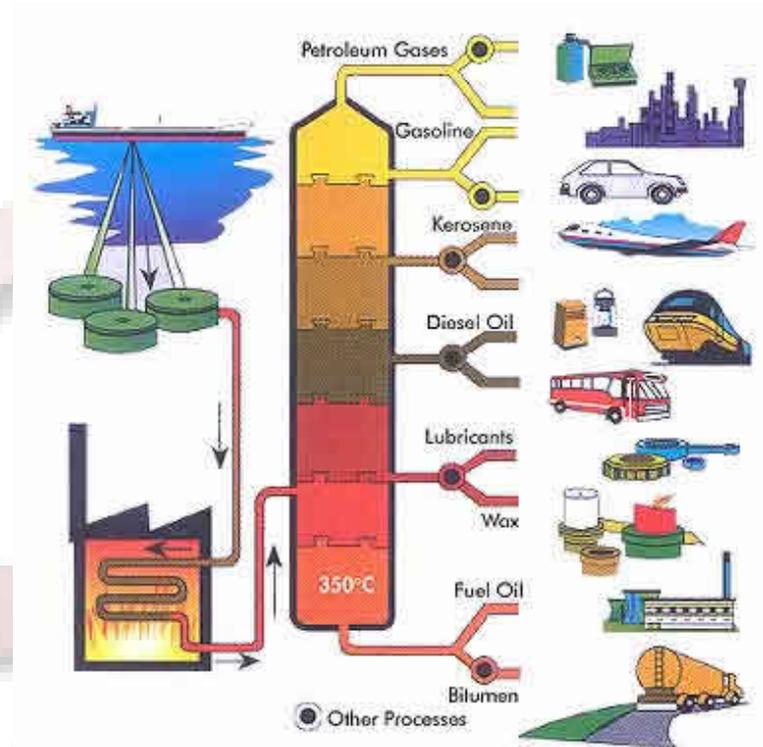
la quantità di calore da somministrare è tanto più piccola quanto più piccole sono le particelle

Combustibile

Combustibili liquidi

I **combustibili liquidi** sono, tra le varie tipologie, quelli che presentano il **più elevato potere calorifico** per unità di volume.

Ricorda sempre: i vapori più sono **pesanti dell'aria** in assenza o scarsità di ventilazione **tendono ad accumularsi e a ristagnare nelle zone basse** dell'ambiente formando facilmente miscele infiammabili.



Combustibile

Combustibili gassosi

Un gas è un aeriforme caratterizzato da una temperatura critica inferiore alla temperatura ambiente

I gas vengono conservati all'interno di contenitori in quattro modalità diverse (**compressi, liquefatti, refrigerati o criogenici, disciolti**) a seconda delle loro caratteristiche fisiche ed in particolare della temperatura critica.

Combustibile

Combustibili gassosi

I gas vengono classificati in funzione della loro
densità relativa all'aria

GAS PESANTE

è pesante se la sua densità relativa all'aria è maggiore di 0.8 (es. GPL, acetilene, ecc.)



GAS LEGGERO

è leggero se la sua densità relativa all'aria è minore di 0.8 (es. idrogeno, metano, ecc.).



Combustibile

Conservazione dei gas

Compressi

Sono caratterizzati da una **temperatura critica minore della temperatura ambiente.**

Il valore della pressione ordinariamente prescelto è **20 ÷ 25 MPa (200 ÷ 250 bar).**



Gas	Pressione di stoccaggio (atm)
Metano	300
Idrogeno	250
Aria	250
Ossigeno	250

Conservazione dei gas

Liquefatti

Per **liquefare un gas** mediante compressione occorre che esso si trovi a **temperatura inferiore alla sua temperatura critica**.

Il valore della pressione ordinariamente è inferiore a **1MPa** (10 bar).

Parametri fondamentali dei gas liquefatti:

Temperatura critica

Rapporto di espansione (7 – 800)



Conservazione dei gas

Refrigerati o
criogenici

conservati allo **stato liquido a basse temperature**, cioè ad una temperatura inferiore alla propria temperatura di ebollizione

Pericoli:

consistono nel **congelamento** dei tessuti umani, nell'indurimento delle materie plastiche e nella fragilità indotta negli acciai



Combustibile

Conservazione dei gas

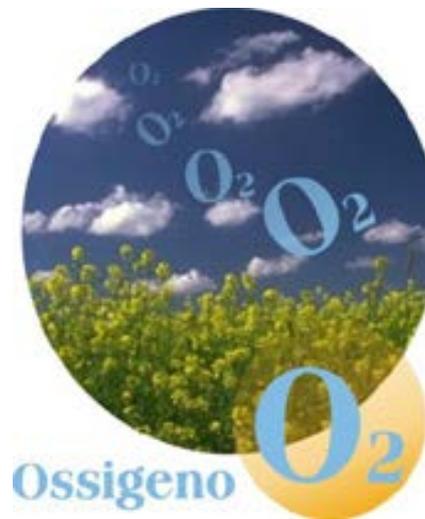
Disciolti

conservati in fase gassosa disciolti entro un liquido ad una determinata pressione



Comburente

Il **comburente** è una sostanza che a contatto con altre sostanze combustibili provoca una **reazione esotermica**.



Esempi di comburenti sono l'ossigeno puro (O_2) o in miscela nell'aria, nitrati e clorati.

Fonti di innesco

Le fonti di innesco si possono classificare nel modo seguente



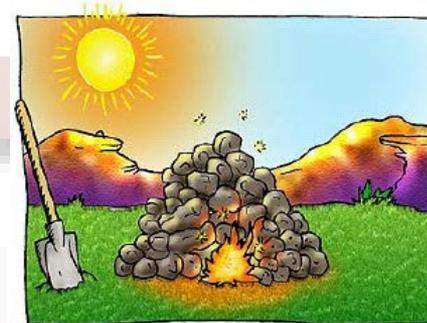
Diretto



Indiretto



Attrito



Riscaldamento spontaneo

Unità didattica
n.2

Fine Unità didattica
n.2



Unità didattica
n.3

LA COMBUSTIONE

(parte 2/2)



Parametri della combustione

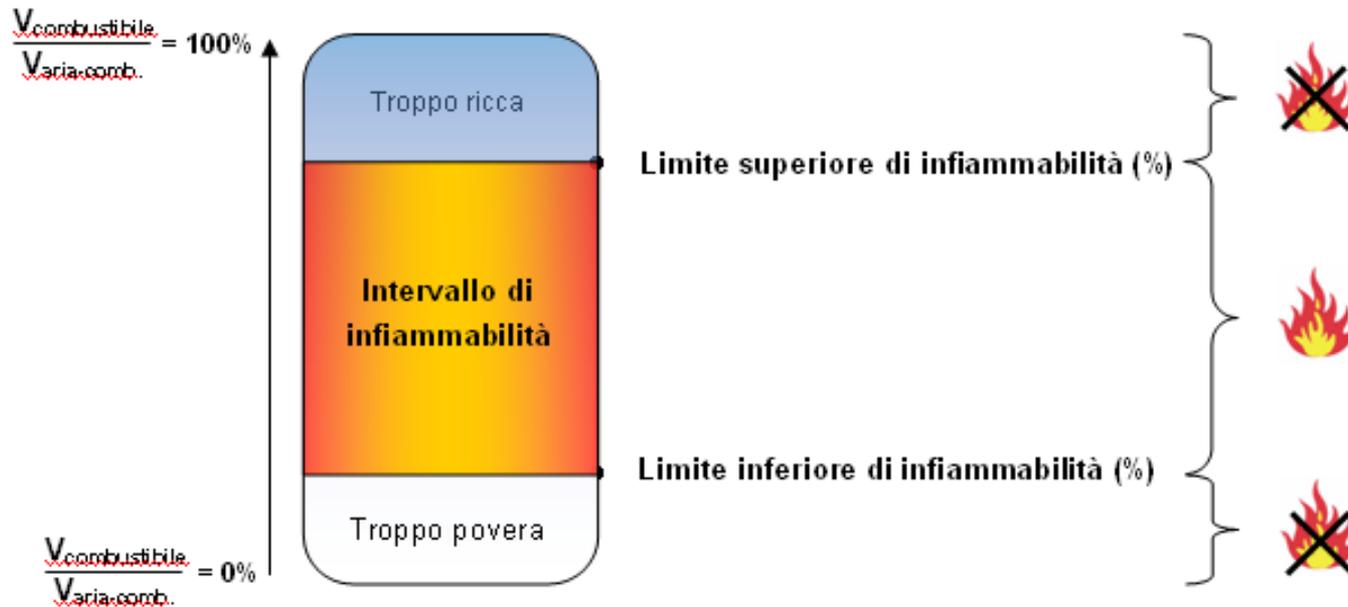
la **velocità di propagazione** è **tanto maggiore** quanto più la quantità di combustibile e quella di comburente risultano tra loro in un **rapporto** prossimo a quello detto **stechiometrico**

- **limiti di infiammabilità**
- **limiti di esplosività**
- **temperatura di infiammabilità**
- **temperatura di accensione o autoaccensione**
- **temperatura teorica di combustione**
- **aria teorica di combustione**
- **potere calorifico**

Parametri della combustione

Limiti di infiammabilità

Affinché la combustione abbia inizio e si propaghi a tutta la miscela, risulta necessario che il rapporto tra combustibile e comburente sia compreso entro certi limiti, noti appunto come **limiti di infiammabilità**



Limiti di infiammabilità

Quindi ogni volta che si ha il sospetto della presenza di vapori combustibili la miscela va considerata sempre esplosiva.

Il campo di infiammabilità di ciascun combustibile è molto influenzato da tre parametri:

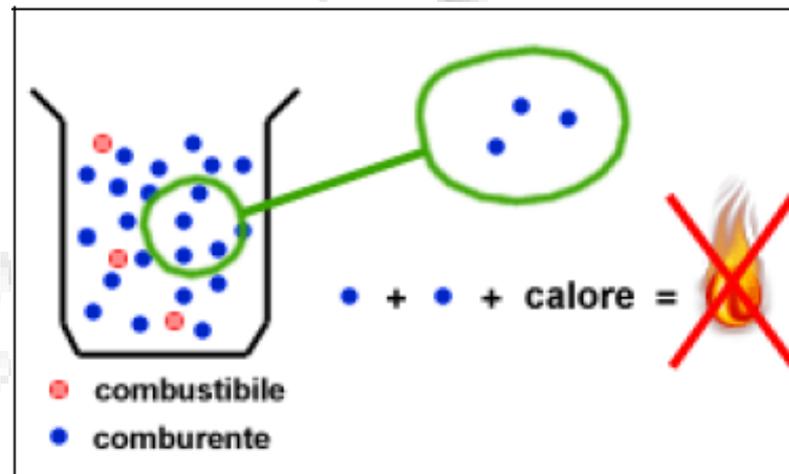
- pressione
- temperatura
- tenore di ossigeno nella miscela

Parametri della combustione

Limiti di infiammabilità

Limite inferiore di infiammabilità

rappresenta la **minima concentrazione** di combustibile, in fase gas, presente nella miscela aria-combustibile che consente a quest'ultima, se innescata, di reagire dando luogo ad una combustione in grado di propagarsi a tutta la miscela

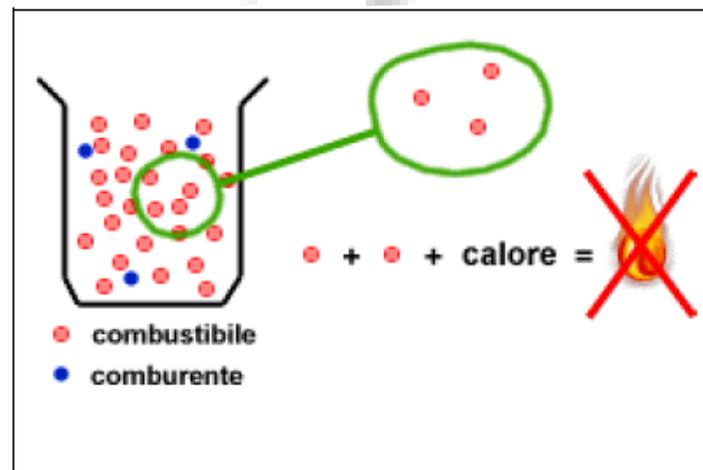


Parametri della combustione

Limiti di infiammabilità

Limite superiore di infiammabilità

rappresenta la **massima concentrazione** di combustibile, in fase gas, presente nella miscela aria-combustibile che consente a quest'ultima, se innescata, di reagire dando luogo ad una combustione in grado di propagarsi a tutta la miscela.



Parametri della combustione

Limiti di infiammabilità

Sostanze	Limite inferiore (% <u>vol</u>)	Limite superiore (% <u>vol</u>)
Acetone	2.5	13
Ammoniaca	15	18
Benzina	1	6.5
Gasolio	0.6	6.5
Idrogeno	4	75.6
Metano	5.3	15
Pentano	1.3	7.6
Ossido di etilene	3	100

Limiti di infiammabilità di alcune sostanze comuni

Esplosione e Limiti di esplosività

Quando la reazione di combustione si propaga alla miscela infiammabile non ancora bruciata con una velocità minore di quella del suono, l'esplosione è chiamata **deflagrazione** (velocità tipiche sono da 10 a 1000 m/s).

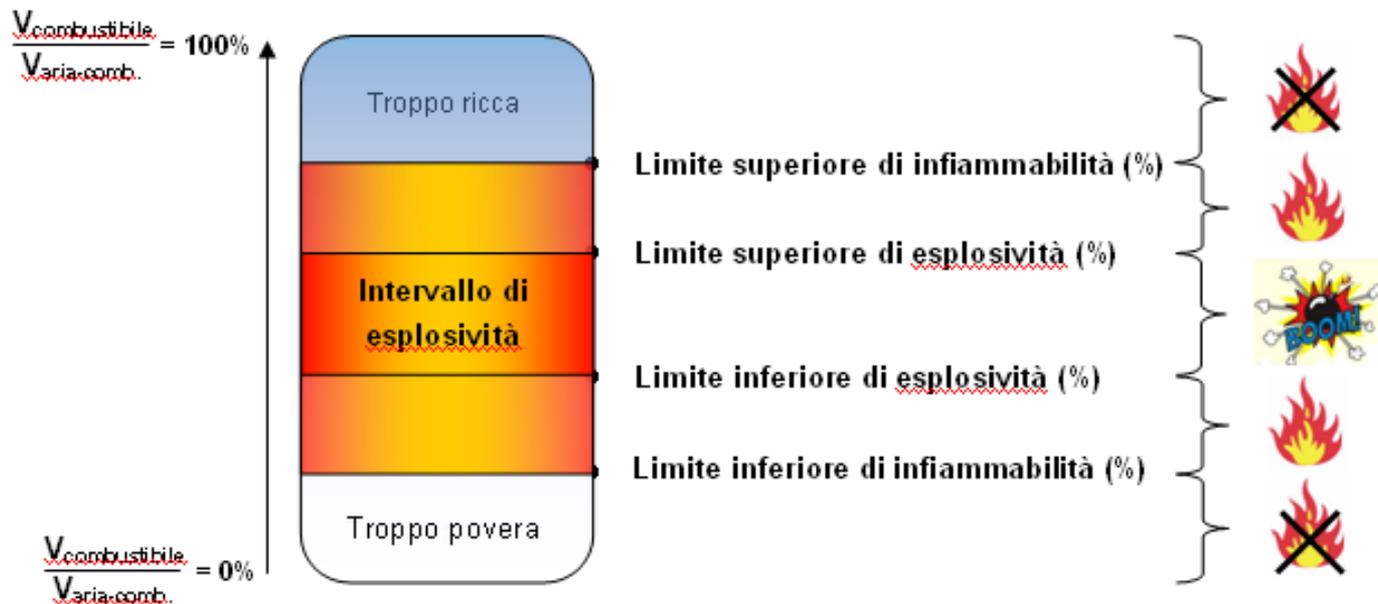
Quando la reazione procede nella miscela non ancora bruciata con una velocità superiore a quella del suono (velocità di propagazione supersoniche dell'ordine del chilometro al secondo), l'esplosione è detta **detonazione** (velocità tipiche sono da 1.000 a 9.000 m/s).

Parametri della combustione

Esplosione 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



Esplosione e Limiti di esplosività

Esplosioni di polveri

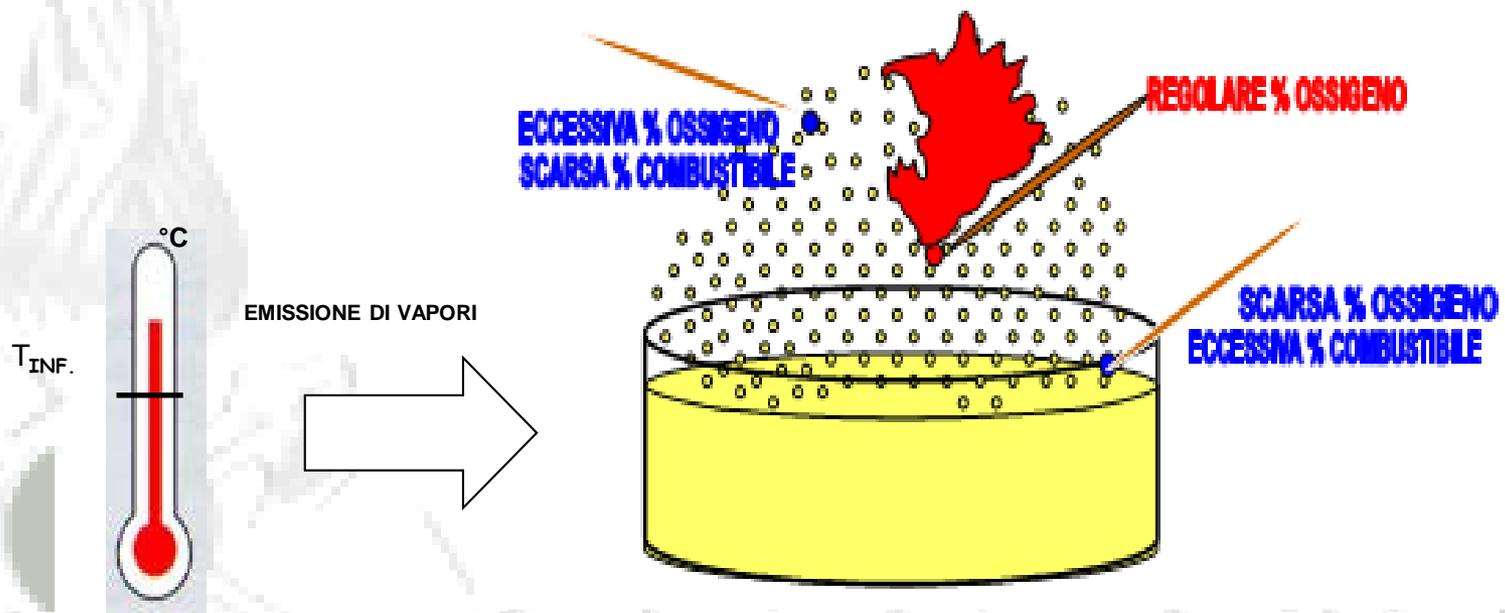
Una **nube di polveri combustibili** (metalli, materie plastiche, prodotti agricoli) può essere **assimilata ad una miscela infiammabile di gas**, tanto più pericolosa quanto più piccola è la dimensione media delle particelle di polvere.

Sono caratterizzate da una **concentrazione limite inferiore di infiammabilità** (anche di una superiore, che però non ha interesse pratico) e da una **temperatura di accensione**, al di sopra della quale la polvere si incendia

Parametri della combustione

Temperatura di infiammabilità

La **temperatura di infiammabilità** è definita come la minima temperatura alla quale un combustibile liquido **sviluppa vapori** in quantità tale da formare con l'aria una miscela che, **in presenza di innesco, brucia spontaneamente**



Temperatura di infiammabilità

In funzione della temperatura di infiammabilità i liquidi combustibili vengono raggruppati in tre categorie:

categoria A:

liquidi aventi temperatura di infiammabilità inferiore a 21°C

categoria B:

liquidi aventi temperatura di infiammabilità compresa tra 21°C e 65°C

categoria C: liquidi aventi temperatura di infiammabilità oltre 65° e fino a 125°C

Parametri della combustione

Temperatura di infiammabilità

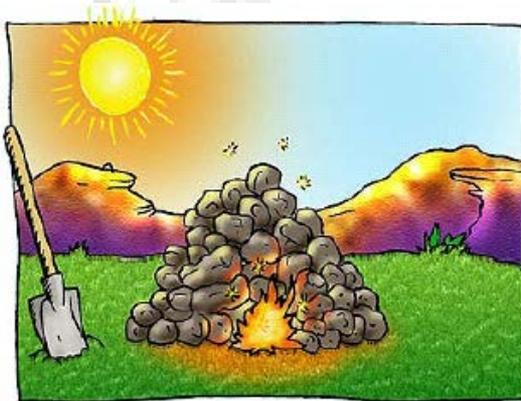
Sostanze	Temperatura di infiammabilità (°C)	Categoria
Gasolio	65	C
Acetone	-18	A
Benzina	-20	A
Alcool metilico	11	A
Alcool etilico	13	A
Toluolo	4	A
Olio lubrificante	149	C

Temperature di infiammabilità di alcune sostanze comuni

Parametri della combustione

Temperatura di accensione

La **temperatura di accensione** rappresenta la minima temperatura alla quale una sostanza combustibile (solida, liquida o gassosa), inizia a bruciare spontaneamente in modo continuo **senza necessità di innesco** o di energia dall'esterno.



Sostanze	Temperatura di accensione (°C)
Gasolio	220
Acetone	540
Benzina	250
Alcool metilico	455
Metano	537
Idrogeno	560
Legno	220-250
Acetilene	300
Carta	230

Temperature di accensione di alcune sostanze comuni

Parametri della combustione

Temperatura teorica di combustione

La **temperatura teorica di combustione** è la massima temperatura che potrebbe essere raggiunta teoricamente nel corso di una combustione se tutto il calore sviluppato fosse speso unicamente per riscaldare i prodotti della combustione stessa.

Sostanze	Temperatura massima teorica (°C)	Temperatura massima reale (°C)
Metano	2218	1880
Etano	2226	1895
Propano	2232	1925
Butano	2237	1895

Temperature teoriche massime confrontate con quelle massime effettive misurate realmente

Parametri della combustione

Potere calorifico

Il **potere calorifico** esprime la **quantità massima di calore** che si può ricavare dalla **combustione completa** di 1 kg di sostanza combustibile (o da 1 m³ di gas) a 0 °C e 1 atm.

Tenendo conto che nella combustione dell'idrogeno si formano molecole d'acqua, il potere calorifico si distingue tra:

Potere calorifico superiore (H_s)

Potere calorifico inferiore (H_i)

Il **potere calorifico superiore (H_s)** è la quantità di calore sviluppata dalla reazione aorché tutti i prodotti della reazione risultano alla temperatura d'ambiente (ipotizzando cioè che l'acqua prodotta sia allo stato liquido).

Parametri della combustione

Potere calorifico

Conoscendo il potere calorifico di un dato materiale combustibile e la quantità stoccata è possibile determinare il **“carico di incendio”**, e quindi stabilire la durata espressa in minuti di resistenza al fuoco della struttura.

Sostanze	Potere Calorifico Inferiore	Potere Calorifico Superiore
	MJ/kg	MJ/kg
Benzina	42	46
Coke	29	30
Metano	31,65	35,16
Gasolio	41	44
G.P.L.	46	50
Legna secca	16,7	18,4
Olio combustibile	41	43,8

Potere calorifico superiore e inferiore di alcune sostanze comuni

Parametri della combustione

Aria teorica di combustione

L'**aria teorica di combustione** è la quantità di aria necessaria per raggiungere la **combustione completa** di una determinata quantità di combustibile.

Sostanze	Aria teorica di combustione (Nm ³ /kg)
Legno	5
Carbone	8
Benzina	12
Alcool	7,5

Aria teorica di combustione di alcune sostanze comuni

Unità didattica
n.3

Fine Unità didattica
n.3





MINISTERO DELL'INTERNO
DIPARTIMENTO DEI VIGILI DEL FUOCO
DEL SOCCORSO PUBBLICO E DELLA DIFESA CIVILE



DIREZIONE CENTRALE PER LA FORMAZIONE

CHIMICA E FISICA DELL'INCENDIO



CORSO DI FORMAZIONE A VIGILE PERMANENTE

a cura di:

VERSIONE GIUGNO 2010

Dott. Ing. Mirko CANESTRI, Dott. Ing. Daniele MERCURI

Unità didattica
n.4

ESPLOSIVI



v f c d c f . i t

ESPLOSIVI

Una **sostanza** è considerata **esplosiva** se per riscaldamento, urto o sfregamento (azioni esterne) si decompone violentemente sviluppando volumi di gas notevolmente maggiori del suo volume iniziale con **effetti termici**, luminosi e **meccanici**.

Un **esplosivo** può essere **una sola sostanza** a composizione chimica ben definita (**es. trinitrotoluene**) od essere **un miscuglio di due o più sostanze non tutte necessariamente esplosive** (**es. polvere nera**).

Esplosivi

Gli esplosivi si distinguono dalle usuali sostanze combustibili per il fatto che essi **contengono**, legata nella loro molecola, anche la sostanza **comburente** (ossigeno), di conseguenza essi bruciano con altissime velocità di combustione generando altissime pressioni pressoché istantanee.



Esplosivi

Un **esplosivo sicuro** deve avere innanzitutto una **bassa sensibilità alle sollecitazioni meccaniche** ed una buona **stabilità chimica**.

Sensibilità

E' l'attitudine di un esplosivo ad iniziare più o meno facilmente la sua decomposizione sotto l'azione di un impulso esterno.

Stabilità

E' l'attitudine che gli esplosivi hanno a mantenersi inalterati più o meno a lungo.

Esplosivi

Classificazione degli Esplosivi

Gli esplosivi possono essere distinti in base alla **velocità** con la quale la **reazione** di combustione si propaga nella massa dell'esplosivo stesso, oppure in base alla loro **natura chimica**.

In base alla **velocità di reazione**

- **deflagranti** (anche detti da lancio o propellenti)
- **detonanti** (innescanti-dirompenti)

In base alla **natura chimica**

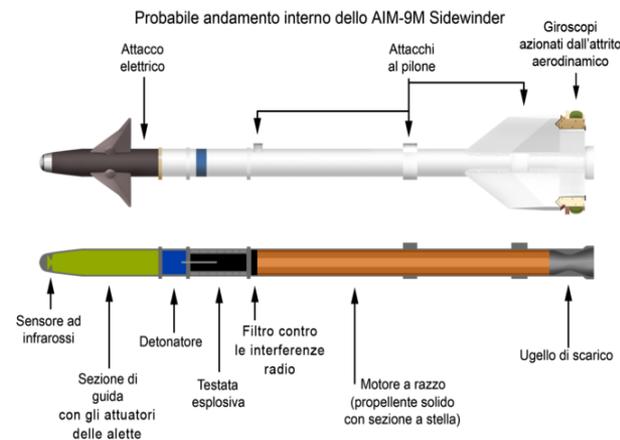
- **composti chimici**
- **miscugli esplosivi**
- **miscele esplosive**

Esplosivi

Classificazione degli Esplosivi

Esplosivi deflagranti o propellenti

Sono quelli in cui la progressione lenta della reazione si traduce in un'azione prevalentemente **di spinta**, generalmente utilizzata nelle armi da fuoco, nei razzi e in pirotecnica.



Esplosivi

Classificazione degli Esplosivi

Esplosivi **detonanti**
innescanti

Sono **utilizzati per innescare altri esplosivi**



Esplosivi **detonanti**
dirompenti

Essi vengono usati da soli o mescolati tra di loro in vario modo o con altre sostanze che ne migliorano ulteriormente le prestazioni (gli **esplosivi plastici** e le **gelatine**)

Esplosivi

Classificazione degli Esplosivi

Composti chimici

Sono sostanze che **contengono nella loro molecola il combustibile e il comburente** (es. la nitroglicerina).

Miscugli esplosivi

Sono l'unione di sostanze non esplosive che amalgamate insieme creano un tipo di esplosivo specifico (es. la polvere nera).

Miscele esplosive

Sono sostanze **formate dall'unione di due o più composti di cui uno almeno è esplosivo** (es. dinamite).

Esplosivi

Tipi di Esplosivo

Polvere nera

E' costituito da un miscuglio di carbone di legna, zolfo e nitrato di potassio. Brucia violentemente anche quando è libero e non compresso.

Esploendo rilascia volumi di fumo.

Viene utilizzato nelle cartucce sportive, nelle composizioni pirotecniche e nelle micce da brillamento.

Esplosivi

Tipi di Esplosivo

Fulminati, Azotidrati,
Stifnati

Sono miscele che contengono zolfo, fosforo, e materie al carbonio. La durata dell'esplosione è breve e violenta. Vengono usati come inneschi all'interno di detonatori.

Nitroglicerina

E' un liquido denso, incolore e viscoso, non è solubile in acqua ma in solventi organici (etere, acido acetico, ecc.).
Le nitroglicerine sono velenose

Esplosivi

Tipi di Esplosivo

Tritolo

E' il miglior esplosivo militare da scoppio, mentre è poco adatto all'uso in miniera in quanto dalla sua combustione si libera molta CO che inquinerebbe l'aria delle gallerie.

E' una sostanza cristallina, di colore giallo scuro, insolubile in acqua ma solubile in solventi organici.

Le caratteristiche esplosive sono modeste, ma il costo di produzione è molto basso.

Acceso con una fiamma brucia lentamente senza esplodere. E' stabile all'urto.

Esplosivi

Tipi di Esplosivo

Pentrite

Buon esplosivo, la sua fabbricazione non richiede tutte quelle precauzioni necessarie per la nitroglicerina essendo relativamente stabile.

Si presenta sotto forma di cristalli bianchi fondenti a 140°C.

Esogeno (T₄)

Potente esplosivo dirompente utilizzato come esplosivo da demolizione.

Entra come componente in molte miscele esplodenti.

Esplosivi

Tipi di Esplosivo

Nitrati

Forniscono l'ossigeno nei miscugli esplosivi.
Il più comune è il nitrato d'ammonio.
Allo stato puro non sono esplosivi ma lo diventano se miscelati con altre sostanze selezionate.

Dinamiti

Si chiamano dinamiti gli esplosivi che contengono come componente essenziale la nitroglicerina mescolata con altre sostanze che l'assorbono (farina fossile).

Unità didattica
n.4

PRODOTTI DELLA COMBUSTIONE



Prodotti della combustione

La **pericolosità** degli incendi è legata a quello che viene **prodotto dal fuoco**. In particolare, si parla di prodotti di combustione in quanto l'incendio, a seconda della natura dei combustibili, dà luogo a prodotti che vengono distinti in:

Gas di combustione
Fiamme
Fumi
Calore



Prodotti della combustione

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).

Gas di combustione	Cause di origine e materiali coinvolti nell'incendio
Ossido di carbonio (CO)	Carenza di ossigeno
Anidride carbonica (CO ₂)	Generalmente sempre presente
Idrogeno solforato (H ₂ S)	Materiali contenenti zolfo come lana, gomme, pelli, ecc.
Anidride solforosa (SO ₂)	Materiali contenenti zolfo in eccesso di aria
Acido cianidrico (HCN)	Combustioni incomplete che interessano seta, lana, resine, ecc.
Aldeide acrilica (CH ₂ CHCHO)	Prodotti derivanti dal petrolio come oli, materassi, cuscini, ecc.
Fosgene (COCl ₂)	Materiali contenenti cloro
Ammoniaca (NH ₃)	Materiali contenenti azoto come lana, seta, materiali acrilici, ecc.
Perossido di azoto (NO ₂)	Combustioni di nitrati organici
Acido cloridrico (HCl)	Materiali contenenti cloro

Prodotti della combustione

Fiamme

Le **fiamme** sono costituite dall'emissione di luce come reazione conseguente alla combustione di gas sviluppatosi in un incendio.

COLORE DELLA FIAMMA	Temperatura (°C)
Rosso nascente	500
Rosso scuro	700
Rosso ciliegia	900
Giallo scuro	1100
Giallo chiaro	1200
Bianco	1300
Bianco abbagliante / Celeste	1500

Prodotti della combustione

Fumi

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

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.



Prodotti della combustione

Calore

Il **calore** è la causa principale della propagazione degli incendi.



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

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 pericolose.

Unità didattica
n.4

Fine Unità didattica
n.4





MINISTERO DELL'INTERNO
DIPARTIMENTO DEI VIGILI DEL FUOCO
DEL SOCCORSO PUBBLICO E DELLA DIFESA CIVILE



DIREZIONE CENTRALE PER LA FORMAZIONE

CHIMICA E FISICA DELL'INCENDIO



CORSO DI FORMAZIONE A VIGILE PERMANENTE

a cura di:

VERSIONE GIUGNO 2010

Dott. Ing. Mirko CANESTRI, Dott. Ing. Daniele MERCURI

Unità didattica
n.5

DINAMICA DEGLI INCENDI



Dinamica degli incendi

L'**incendio** consiste in una **combustione** in atmosfera di ossigeno (quello contenuto nell'aria), che avviene in un **luogo non predisposto ad accoglierla** e che per tale motivo spesso **sfugge al controllo dell'uomo**.



Fattori da cui dipende l'incendio

La **severità dell'incendio** dipende principalmente dai seguenti fattori:

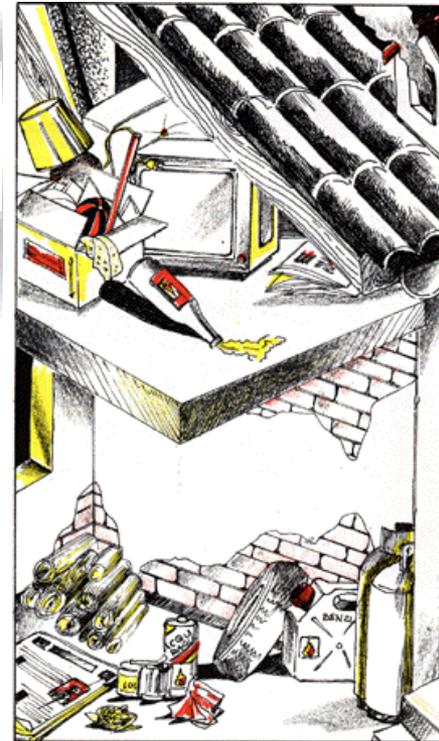
- quantità dei materiali combustibili e loro distribuzione ovvero dal **carico di incendio**;
- tipologia dei materiali con riferimento alla loro **velocità di combustione**;
- caratteristiche di **ventilazione degli ambienti**, ossia aperture presenti nel compartimento e loro distribuzione;
- **geometria del compartimento**;

Fattori da cui dipende l'incendio

Carico d'incendio

E' la quantità di calore che si svilupperebbe per combustione completa di tutti i materiali combustibili contenuti nel compartimento, compresi le strutture, gli infissi, le opere di finitura dei muri, pavimenti e soffitti costituiti da materiali combustibili.

Il carico di incendio dipende dalla tipologia e dalla quantità del materiale combustibile presente.



Fattori da cui dipende l'incendio

Velocità di combustione

Si distinguono due casi tipici :

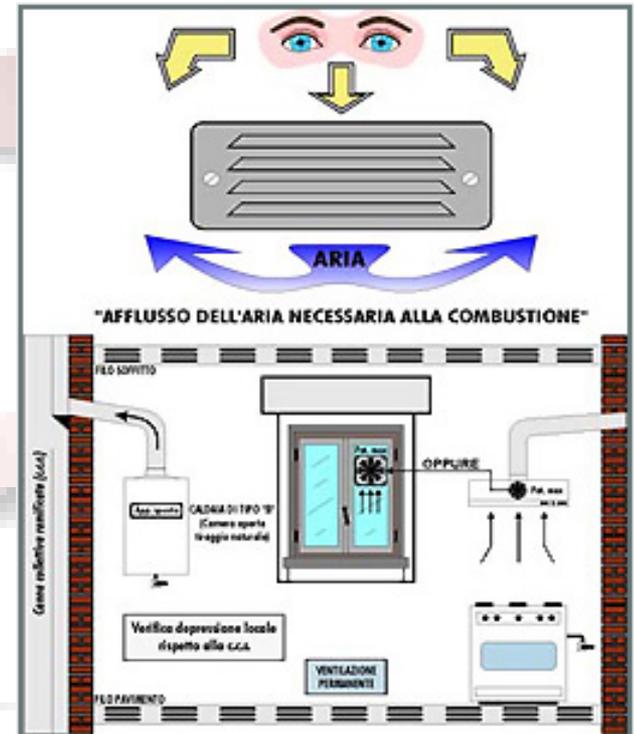
- con **carezza di ossigeno**, la velocità di combustione è approssimativamente proporzionale alla quantità d'aria che affluisce attraverso le aperture. La combustione è **controllata dalla ventilazione**;
- se invece la **disponibilità di ossigeno è più che sufficiente**, dipende dalle proprietà degli strati combustibili e dalla quantità, porosità e forma del combustibile.
La combustione è **controllata dagli strati di combustibile**.

Fattori da cui dipende l'incendio

Ventilazione

La ventilazione rappresenta l'afflusso d'aria necessaria per la combustione completa del combustibile.

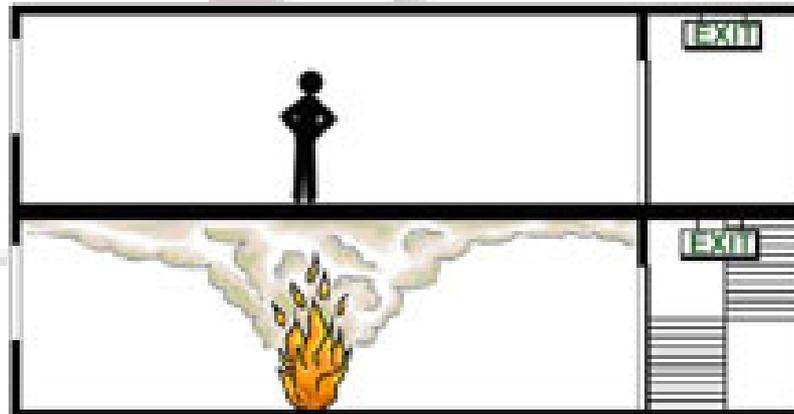
Vista sotto l'aspetto preventivo, la ventilazione naturale o artificiale di un ambiente dove possono accumularsi gas o vapori infiammabili evita che in tale ambiente possano verificarsi concentrazioni al di sopra del limite inferiore del campo d'infiammabilità.



Fattori da cui dipende l'incendio

Geometria del 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 ai settori adiacenti dell'edificio in caso di incendio.



Sviluppo dell'incendio

Se l'oggetto combustibile acceso è distante da altro materiale combustibile, il fuoco non si può propagare e, una volta esaurito il combustibile, la combustione cessa

Se invece l'oggetto combustibile è a contatto più o meno stretto con altri materiali combustibili (o anche ad una certa distanza), questi possono emanare per effetto di pirolisi vapori e gas che facilmente si accendono; le fiamme che ne conseguono possono propagare l'incendio in altri elementi combustibili e quindi, per gradi, a tutto il locale.

Fasi dell'incendio

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

- Fase iniziale o di ignizione
- Fase di propagazione
- Incendio generalizzato (flash over)
- Estinzione e raffreddamento

Dinamica degli incendi

Fasi dell'incendio

I - Fase iniziale o di ignizione

si verifica quando uno o più oggetti combustibili vengono in contatto con una sorgente di calore

II - Propagazione

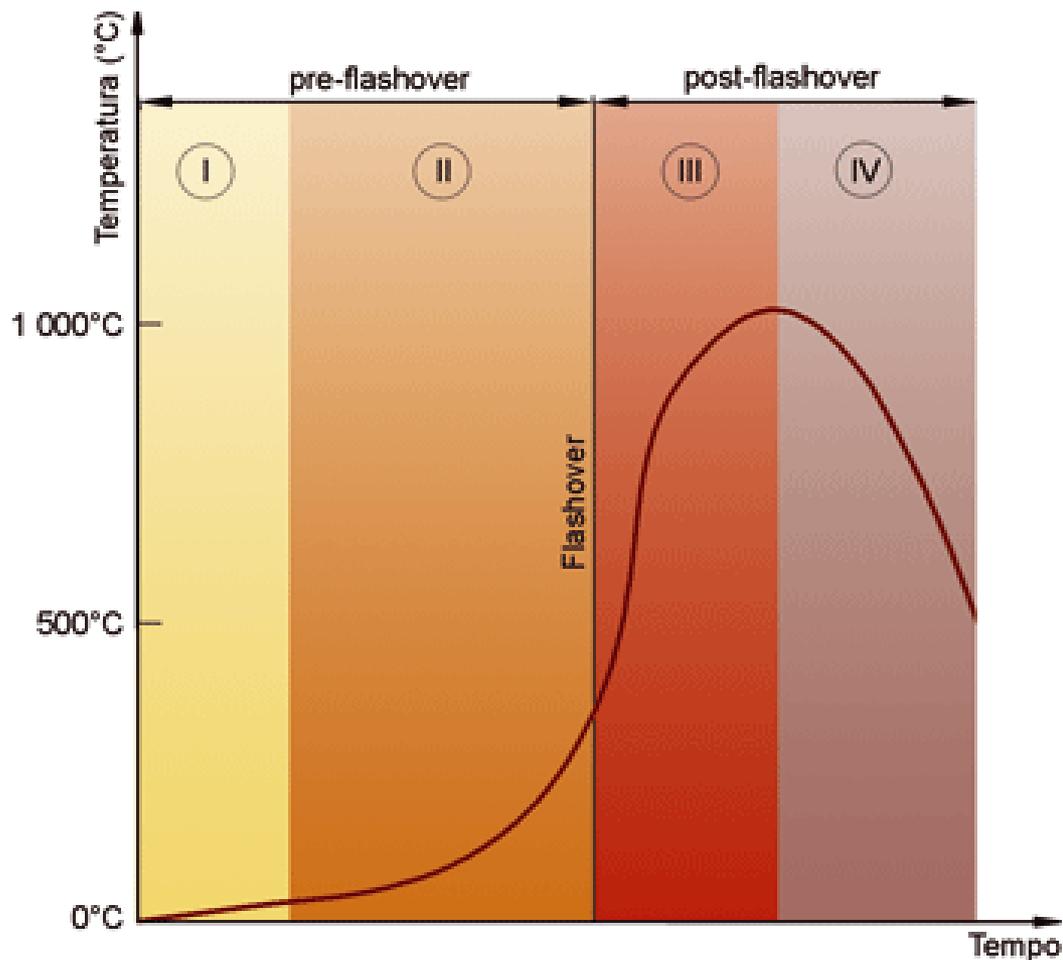
nella combustione vengono coinvolti altri oggetti combustibili

III - Incendio generalizzato

l'incendio si estende a tutti i materiali combustibili presenti

IV - Estinzione o raffreddamento

gli effetti dell'incendio diminuiscono a causa del consumo progressivo dei materiali combustibili



Propagazione dell'incendio

La propagazione dell'incendio è legata ai seguenti fenomeni:

Convezione

principale veicolo per la propagazione dell'incendio è costituito dalle **correnti di fumo caldo** che lasciano la zona di combustione.

Irraggiamento termico

viene trasmesso direttamente dalla sorgente di calore per via elettromagnetica (es. calore emanato dal sole o da un metallo incandescente)

Conduzione

propagazione termica attraverso pareti e solette che può portare alla temperatura di accensione anche sostanze combustibili contenute in locali non direttamente investiti dalle fiamme

Unità didattica
n.5

EFFETTI DELL'INCENDIO SULL'UOMO



vfdcf.it

Effetti dell'incendio sull'uomo

I principali effetti dell'incendio sull'uomo derivano da:

- **Gas di combustione**
- **Fumi**
- **Fiamma**
- **Calore**

Effetti dell'incendio sull'uomo

Effetti dei gas di combustione

Anossia

La riduzione del tenore di ossigeno nell'aria produce la progressiva riduzione della forza fisica (anossia).

Con la diminuzione del tenore di ossigeno si verifica inizialmente la difficoltà di movimento, successivamente l'abbassamento della capacità valutativa sino al collasso ed asfissia.



20,9% normale



16% difficoltà motorie



6% fatale

Effetti dei gas di combustione

Azione tossica

I gas prodotti in una combustione possono essere tossici sia in relazione ai materiali coinvolti sia in relazione alla quantità di ossigeno presente nel luogo dell'incendio.

Al primo posto per numero di vittime è il "famigerato" ossido di carbonio (CO) legato ad una combustione che si sviluppa in carenza di ossigeno.

Tra gli altri gas più noti per la tossicità si rammentano l'idrogeno solforato, l'acido cianidrico, l'ossido di azoto, l'ammoniaca, l'anidride solforosa, ecc.

Effetti dell'incendio sull'uomo

Effetti dei fumi

Riduzione della visibilità

Il termine fumo indica la fase nella quale i gas della combustione "trascinano" particelle solide o liquide che lo rendono opaco. Il fumo produce un effetto irritante degli occhi e delle vie respiratorie, riduce la visibilità con ostacolo per la evacuazione e per l'intervento dei soccorsi.



Effetti dell'incendio sull'uomo

Effetti delle fiamme e del calore

Azione termica

Il contatto diretto con la fiamma ed il calore da essa irradiato provocano ustioni.

I gas caldi di combustione e non, da soli possono provocare stress da calore, disidratazione ed edemi, difficoltà o blocco della respirazione e scottature.

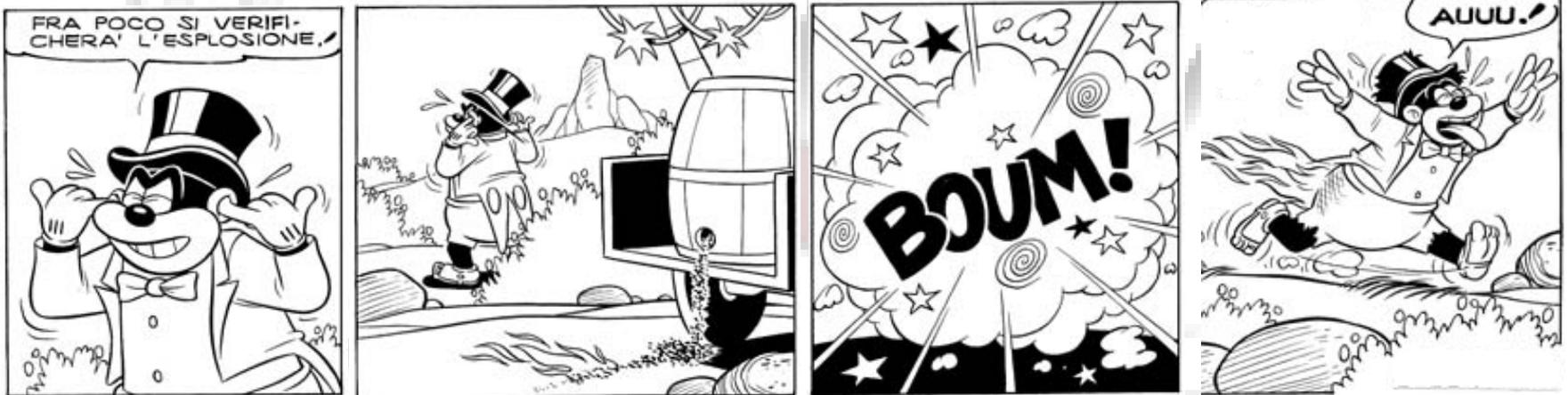


Effetti dell'incendio sull'uomo

Effetti delle fiamme e del calore

Azione traumatica

Quando all'incendio è associata una esplosione, le conseguenti onde di pressione possono provocare eventi traumatici nei soggetti esposti.



Principali gas di combustione

Ossido di carbonio (CO)

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.

Caratteristiche

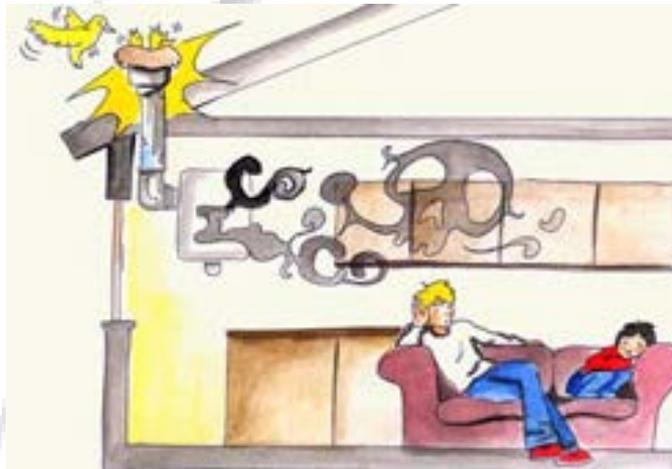
incolore

inodore

tossico

non irritante

infiammabile



Principali gas di combustione

Anidride carbonica (CO₂)

L'anidride carbonica si forma sempre in grandi quantità. E' un gas asfissiante, in quanto, pur non producendo effetti tossici sull'organismo umano, si sostituisce all'ossigeno dell'aria.

Inoltre è un gas che accelera e stimola il ritmo respiratorio.

Una percentuale del 5% di anidride carbonica nell'aria, la rende irrespirabile.

Principali gas di combustione

Idrogeno solforato (H_2S)

Si sviluppa in tutti quegli incendi in cui bruciano materiali contenenti zolfo, come ad esempio la lana, le gomme, le pelli, la carne ed i capelli.

Caratteristiche

tossico

infiammabile

odore caratteristico di uova marce

Attacca il sistema nervoso provocando dapprima affanno e successivamente il blocco della respirazione

Principali gas di combustione

Anidride solforosa (SO₂)

Si può formare nella combustione di materiali contenenti lo zolfo quando questa avviene in eccesso d'aria. In genere se ne formano quantità relativamente modeste salvo che negli incendi di zolfo.

Caratteristiche

incolore

irritante

non infiammabile

solubile in acqua

odore pungente

Principali gas di combustione

Ammoniaca (NH₃)

Si forma nella combustione di materiali contenenti azoto (lana, seta, materiali acrilici, fenolici e resine melamminiche).

Caratteristiche

incolore

tossica

poco infiammabile

odore irritante e pungente

L'esposizione per mezz'ora all'aria contenente 0,25-0,65% di ammoniaca può causare seri danni all'organismo e addirittura la morte.

Principali gas di combustione

Acido cianidrico (HCN)

L'acido cianidrico si in incendi ordinari attraverso combustioni incomplete (carenza di ossigeno) di lana, seta, resine acriliche, uretaniche e poliammidiche (cuscini, imbottiture).

Caratteristiche

incolore

altamente tossico

infiammabile

odore mandorle amare

Una concentrazione dello 0,03% è già da considerare mortale.

Principali gas di combustione

Acido cloridrico (HCl)

E' un prodotto della combustione di tutti quei materiali contenenti cloro come la maggioranza delle materie plastiche.

Caratteristiche

incolore

altamente tossico

infiammabile

odore mandorle amare

La concentrazione di 1,500 p.p.m. è fatale in pochi minuti.

Principali gas di combustione

Aldeide acrilica (CH_2CHCHO)

E' un gas altamente tossico ed irritante. Si forma durante l'incendio di prodotti derivati dal petrolio, di oli, grassi ed altri materiali comuni, dalle resine fenoliche ed amminoplastiche (piatti e bicchieri) , poliammidiche e poliuretatiche (cuscini, materassi, imbottiture ecc.).

Caratteristiche

altamente tossico e irritante

infiammabile

odore mandorle amare

Concentrazioni superiori a 10 p.p.m. possono risultare mortali.

Principali gas di combustione

Perossido di azoto(NO_2)

E' un gas che si forma insieme ad altri vapori nitrosi nella combustione della nitrocellulosa, del nitrato di ammonio e di altri nitrati organici.

Gas di colore rosso bruno altamente tossico.

Caratteristiche

altamente tossico e irritante

infiammabile

odore acido e soffocante

Esposizioni all'aria con percentuali dallo 0,02% allo 0,07% possono essere mortali in breve tempo.

Principali gas di combustione

Fosgene (COCl_2)

Gas altamente tossico, è presente nelle combustioni di materiali contenenti cloro, come ad esempio alcuni materiali plastici. La formazione di tale gas è da temere soprattutto se l'incendio si sviluppa in un ambiente chiuso.

Caratteristiche

altamente tossico e irritante
infiammabile
odore mandorle amare

A contatto con l'acqua o umidità si scinde in anidride carbonica e acido cloridrico

Unità didattica
n.5

Fine Unità didattica
n.5





MINISTERO DELL'INTERNO
DIPARTIMENTO DEI VIGILI DEL FUOCO
DEL SOCCORSO PUBBLICO E DELLA DIFESA CIVILE



DIREZIONE CENTRALE PER LA FORMAZIONE

CHIMICA E FISICA DELL'INCENDIO



CORSO DI FORMAZIONE A VIGILE PERMANENTE

a cura di:

VERSIONE GIUGNO 2010

Dott. Ing. Mirko CANESTRI, Dott. Ing. Daniele MERCURI

Unità didattica
n.6

TEST DI AUTOVALUTAZIONE

**Domande
Risposte**