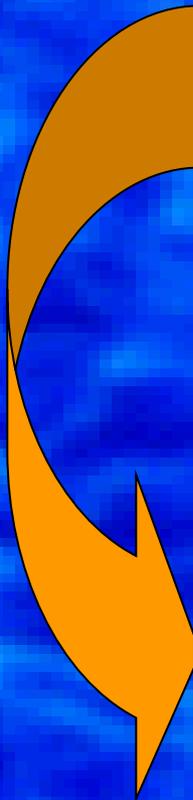




Chimica e fisica del fuoco

Il *colmo* per un
vigile del fuoco
è

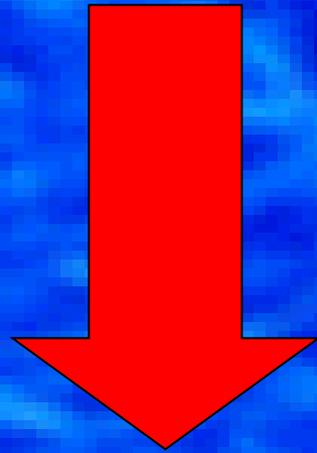
Non conoscere
il **FUOCO!**



Questo *corso* ha come
obbiettivo

Conoscere il fenomeno della
combustione e i parametri che
determinano il suo innesco, il
suo sviluppo e la sua estinzione

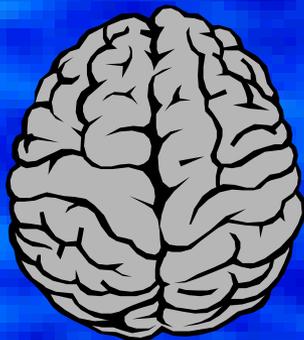
La finalità è



EVITARE DI FARSI MALE !!!

Come fare ???

- Prima possibilità: “Cambiare mestiere!!”
- Seconda possibilità: “Occuparsi solo di allagamenti!!”
- Terza possibilità è usare il ...

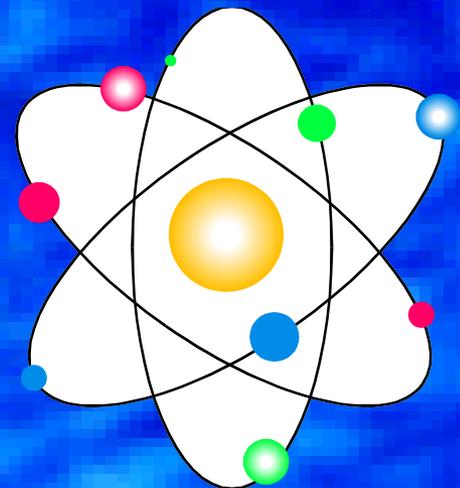


Introduzione

Chimica e fisica di base
per lo studio della **combustione**

La chimica

- È la scienza che studia la **costituzione**, le **proprietà** e le **trasformazioni** della materia



La fisica

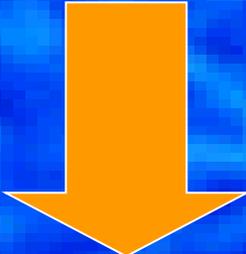
- È la scienza che studia le proprietà della materia, ricercando le leggi che ne regolano le mutazioni e il movimento senza variazione della composizione chimica



Ma che intendiamo
per materia?



Materia



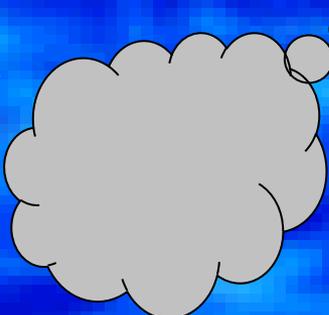
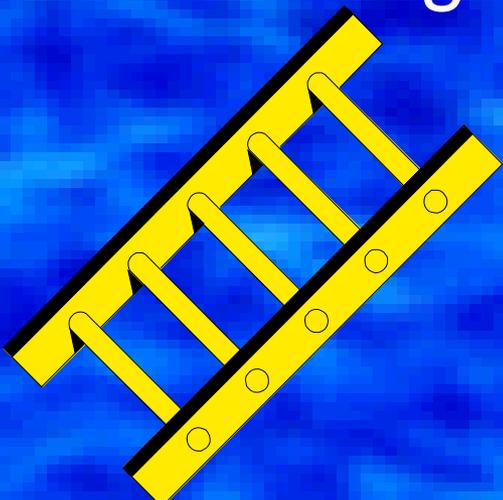
acqua

noi

legno

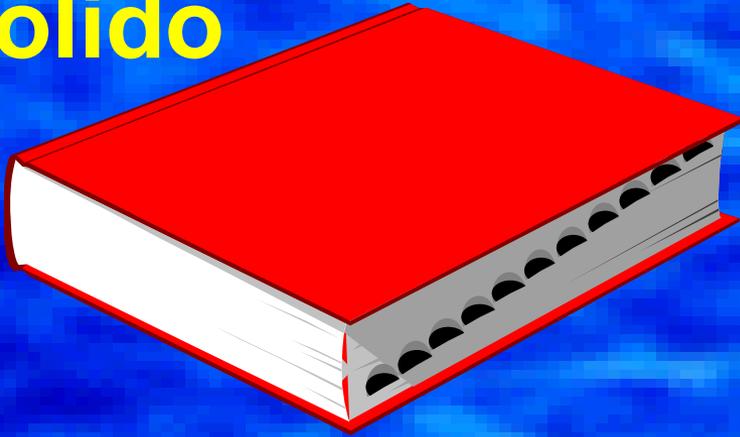
sabbia

aria



Stati della materia

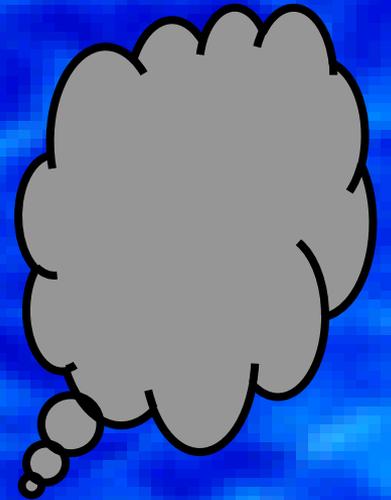
Solido



Liquido



Aeriforme



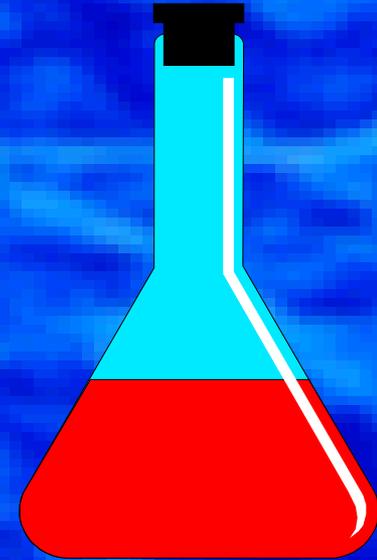
La materia

- E' costituita da una o più sostanze

ESEMPIO:

- L'acqua distillata è una sostanza
- Mentre l'acqua del mare è costituita da più sostanze quali l'acqua, il sale da cucina, e altri sali, questa è quindi una miscela di più sostanze

Miscela



Altri esempi di **miscela** sono:

- l'**aria**, in quanto sono presenti più sostanze (in questo caso più gas)
- Il **petrolio**, in quanto costituito da più sostanze per lo più combustibili

Leghe

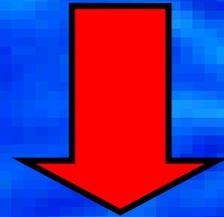
Alcuni metalli sono costituiti da **più sostanze elementari**, per esempio:

- il bronzo è costituito da rame e stagno
- l'acciaio da ferro e carbonio
- l'ottone da rame e zinco

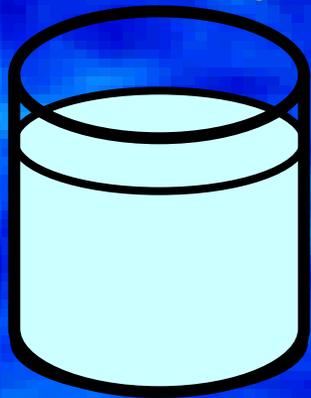
Una sostanza

- E' costituita da **molecole**
- La **molecola** è la **più piccola parte** di sostanza **che mantiene le caratteristiche** della sostanza stessa
- Dunque, una molecola d'acqua ha le stesse caratteristiche di una massa d'acqua

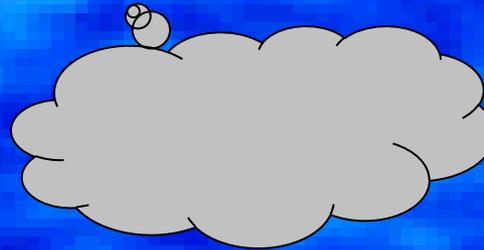
Sostanze



Acqua
distillata



Anidride
carbonica



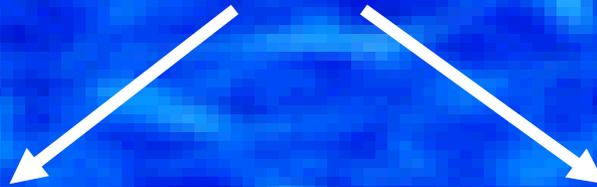
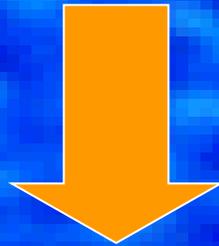
Piombo



Le molecole

- Queste sono costituite da una o più particelle dette **atomi**
- La **molecola dell'acqua** è costituita da tre atomi: **due atomi di idrogeno e uno di ossigeno**
- La **molecola dell'ossigeno** è costituita da **due atomi di ossigeno**

Molecola d'acqua



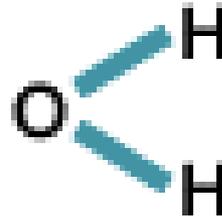
Ossigeno

Idrogeno

Molecola d'acqua



sostanza



molecola

O ossigeno

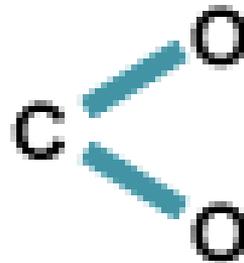
H idrogeno

**atomi o
elementi**

Una sostanza estinguente



sostanza



molecola

C carbonio

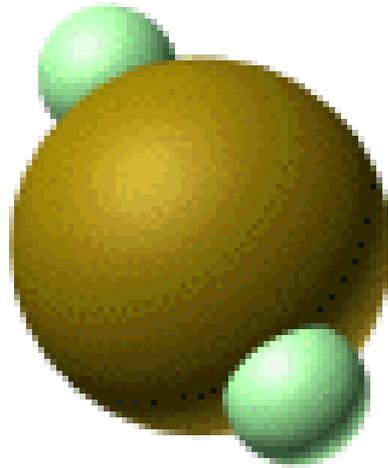
O ossigeno

**atomi o
elementi**

Molecole



Idrogeno



Acqua



Ammoniaca



Gli atomi

- Sono i **mattoni fondamentali** della **materia**
- Tutta **la materia**, quindi, è costituita da **atomi** legati tra loro che formano **molecole**

Gli atomi

- Gli atomi sono le più piccole particelle di cui è formata la materia
- Esistono in natura **92 atomi** diversi, ognuno di questi appartiene ad un **elemento chimico** diverso
- Il **ferro**, ad esempio, è un **elemento chimico** la cui più piccola particella è un atomo di ferro

Atomi

 Idrogeno (H)

 Carbonio (C)

 Azoto (N)

 Ossigeno (O)

 Fosforo (P)

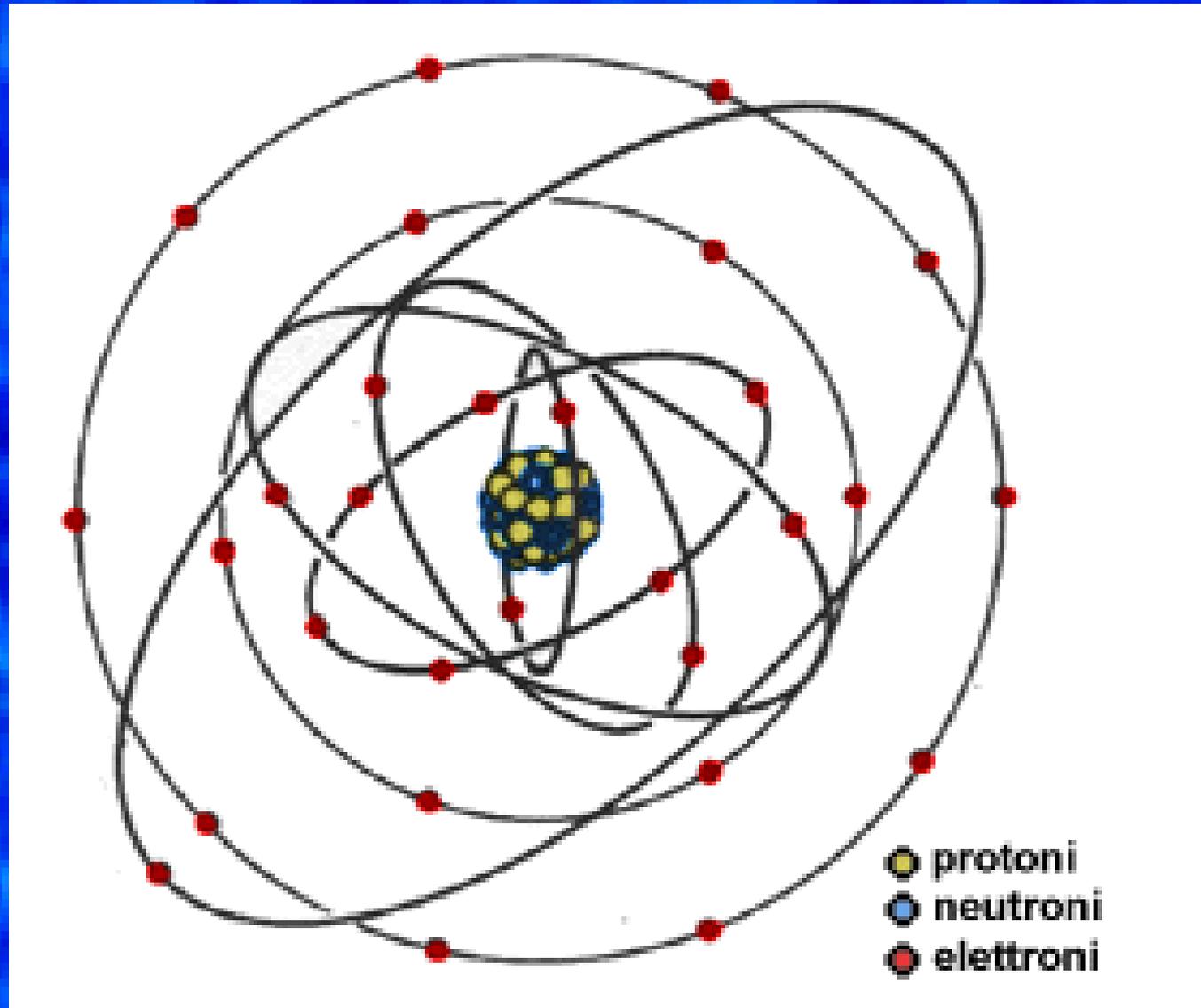
 Zolfo (S)

 Cloro (Cl)

L'atomo

- E' praticamente **vuoto!**
- Esso è costituito da **un nucleo piccolissimo** e da **particelle lontanissime** che gli girano attorno

Atomo



Il nucleo

- Il **nucleo dell'atomo** è costituito da due tipi di particelle: **protoni** e **neutroni**
- I **protoni** hanno una **massa simile a quella dei neutroni** e una **carica elettrica positiva**
- I **neutroni**, come dice la parola stessa, **non hanno carica elettrica**

Gli elettroni

- Sono le particelle che orbitano attorno al nucleo dell' atomo
- Hanno massa circa 1.000 volte inferiore a quella dei protoni e dei neutroni
- Hanno carica elettrica uguale e contraria a quella dei protoni

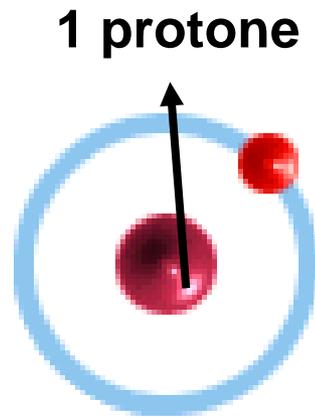
Esempio di atomo

- L'elemento che ha il peso dell'atomo ("peso atomico") minore è l'idrogeno
- Il suo **atomo** è infatti costituito da un solo **protone e un elettrone**

Numero atomico

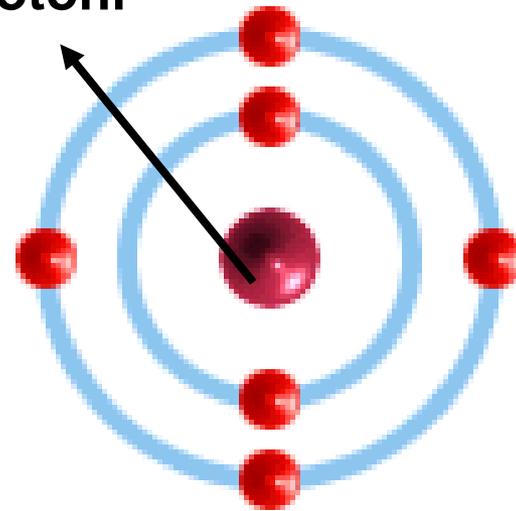
- E' il numero di protoni presenti nel nucleo di un atomo e ne determina il tipo di elemento
- L'idrogeno (ottimo combustibile) ha un protone, dunque il suo numero atomico è 1
- Il carbonio ha 6 protoni, il suo numero atomico è 6

Atomi



Idrogeno

6 protoni



Carbonio

Ogni elemento:

- è caratterizzato da un **numero atomico**
- è rappresentato da un **simbolo**
- è contenuto nella **Tavola Periodica degli Elementi**

- la tavola degli elementi è formata da **gruppi e periodi**
- nella **Tavola Periodica** gli **Elementi** sono raggruppati in base alla loro **configurazione elettronica**

E' infatti da tale posizione, in particolare dal numero e dalla posizione degli elettroni di valenza, (nella maggior parte dei casi quelli del livello più esterno), che dipendono le proprietà chimiche dell'elemento

- gli elementi vengono scritti in **ordine crescente di numero atomico** in righe orizzontali o periodi e andando a capo dopo il completamento dell'ultimo livello
- vengono raggruppati insieme gli elementi che hanno lo **stesso numero di elettroni sull'ultima orbita**

Sistema periodico degli elementi

Gruppo	1	2		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
	IA	IIA		IIIA	IVB	VB	VIB	VIIIB	VIII B			IB	IIB	IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	VIIIA	
Periodo																				
1	1 <i>H</i>												Non metalli					2 <i>He</i>		
2	3 <i>Li</i>	4 <i>Be</i>											5 <i>B</i>	6 <i>C</i>	7 <i>N</i>	8 <i>O</i>	9 <i>F</i>	10 <i>Ne</i>		
3	11 <i>Na</i>	12 <i>Mg</i>	Metalli di transizione										13 <i>Al</i>	14 <i>Si</i>	15 <i>P</i>	16 <i>S</i>	17 <i>Cl</i>	18 <i>Ar</i>		
4	19 <i>K</i>	20 <i>Ca</i>		21 <i>Sc</i>	22 <i>Ti</i>	23 <i>V</i>	24 <i>Cr</i>	25 <i>Mn</i>	26 <i>Fe</i>	27 <i>Co</i>	28 <i>Ni</i>	29 <i>Cu</i>	30 <i>Zn</i>	31 <i>Ga</i>	32 <i>Ge</i>	33 <i>As</i>	34 <i>Se</i>	35 <i>Br</i>	36 <i>Kr</i>	
5	37 <i>Rb</i>	38 <i>Sr</i>		39 <i>Y</i>	40 <i>Zr</i>	41 <i>Nb</i>	42 <i>Mo</i>	43 <i>Tc</i>	44 <i>Ru</i>	45 <i>Rh</i>	46 <i>Pd</i>	47 <i>Ag</i>	48 <i>Cd</i>	49 <i>In</i>	50 <i>Sn</i>	51 <i>Sb</i>	52 <i>Te</i>	53 <i>I</i>	54 <i>Xe</i>	
6	55 <i>Cs</i>	56 <i>Ba</i>	*	71 <i>Lu</i>	72 <i>Hf</i>	73 <i>Ta</i>	74 <i>W</i>	75 <i>Re</i>	76 <i>Os</i>	77 <i>Ir</i>	78 <i>Pt</i>	79 <i>Au</i>	80 <i>Hg</i>	81 <i>Tl</i>	82 <i>Pb</i>	83 <i>Bi</i>	84 <i>Po</i>	85 <i>At</i>	86 <i>Rn</i>	
7	87 <i>Fr</i>	88 <i>Ra</i>	**	103 <i>Lr</i>	104 <i>Rf</i>	105 <i>Db</i>	106 <i>Sg</i>	107 <i>Bh</i>	108 <i>Hs</i>	109 <i>Mt</i>	110 <i>Uun</i>	111 <i>Uuu</i>	112 <i>Uub</i>	113 <i>Uut</i>	114 <i>Uuq</i>	115 <i>Uup</i>	116 <i>Uuh</i>	117 <i>Uus</i>	118 <i>Uuo</i>	
Elementi di transizione interna																				
Lantanidi			*	57 <i>La</i>	58 <i>Ce</i>	59 <i>Pr</i>	60 <i>Nd</i>	61 <i>Pm</i>	62 <i>Sm</i>	63 <i>Eu</i>	64 <i>Gd</i>	65 <i>Tb</i>	66 <i>Dy</i>	67 <i>Ho</i>	68 <i>Er</i>	69 <i>Tm</i>	70 <i>Yb</i>			
Attinidi			**	89 <i>Ac</i>	90 <i>Th</i>	91 <i>Pa</i>	92 <i>U</i>	93 <i>Np</i>	94 <i>Pu</i>	95 <i>Am</i>	96 <i>Cm</i>	97 <i>Bk</i>	98 <i>Cf</i>	99 <i>Es</i>	100 <i>Fm</i>	101 <i>Md</i>	102 <i>No</i>			

Numero di massa

- è il numero di protoni sommato al numero di neutroni presenti in un nucleo di un elemento
- l'atomo di idrogeno ha un nucleo formato solo da un solo protone, quindi il suo numero di massa coincide col numero atomico
- l'atomo di ossigeno ha un nucleo formato da 8 protoni e 8 neutroni, quindi avrà un numero di massa pari a 16

Peso atomico

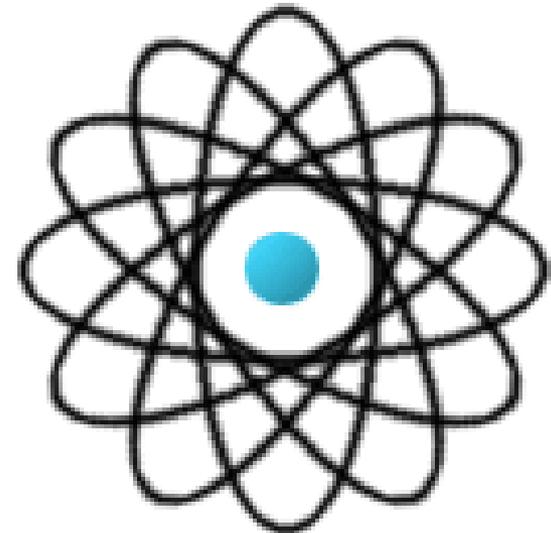
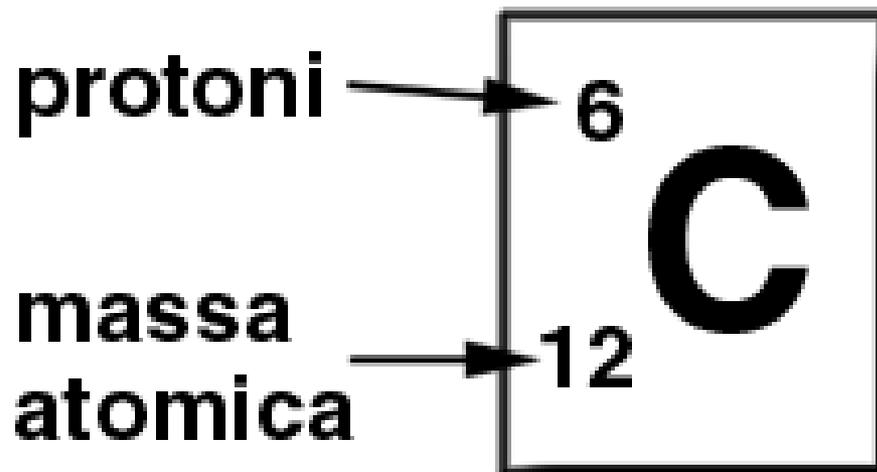


- Il peso di un atomo è dato dal **peso dei protoni e neutroni** presenti nel nucleo, in quanto il peso degli elettroni è trascurabile
- Quindi il numero di massa è in buona approssimazione il peso atomico
- Il peso atomico dell'**ossigeno** sarà di circa 16 unità di massa atomica

Unità di Massa Atomica

E' il peso di un dodicesimo
della massa dell'isotopo di
carbonio 12

L'elemento base della chimica organica e di molte combustioni

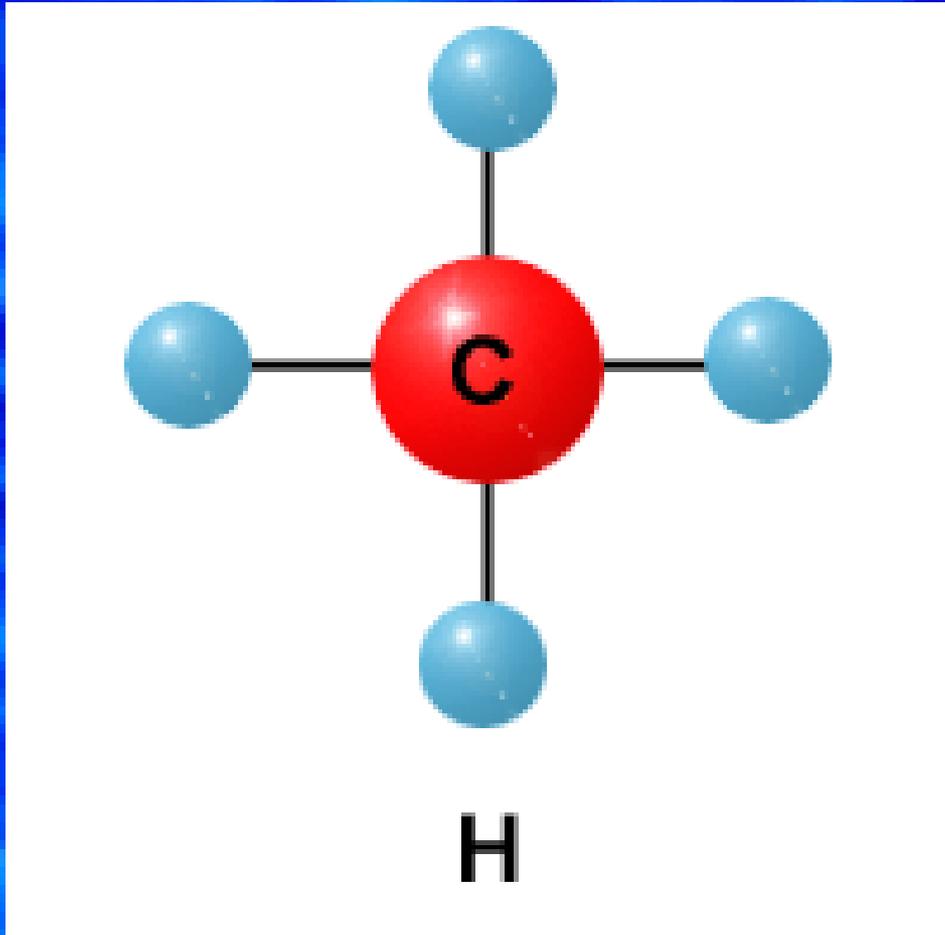


6 protoni

6 elettroni

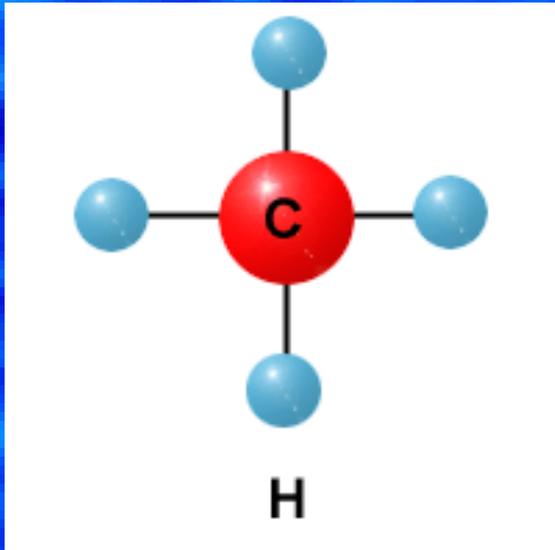
6 neutroni

Il metano



**Il carbonio attrae i 4
elettroni
dell'idrogeno
formando 4 legami
che permettono di
raggiungere l'ottetto**

Metano



C massa atomica **12**

H massa atomica **1**

CH₄ massa atomica **16**

Ci può essere utile ?

Formule chimiche

- Descrivono la composizione di una sostanza attraverso i simboli degli elementi in essa contenuti



Livelli energetici degli elettroni

- Gli elettroni occupano dei **ben precisi livelli energetici** nell'atomo
- Quindi **un elettrone può aver solo determinati valori energetici** che corrispondono a determinati **orbitali**

- Gli **orbitali** sono quindi dei **livelli energetici** che gli elettroni possono assumere
- L'idrogeno ha un elettrone nel primo orbitale che è completo con 2

- Ecco in parte spiegato perché la molecola di idrogeno è formata da due atomi

- Perché gli elettroni vengono condivisi e vanno a completare l'orbitale

- L'ossigeno ha 6 elettroni nell'orbitale più esterno che è completo con 8 elettroni
- Questo elemento tenderà ad attrarre 2 elettroni per raggiungere una configurazione energetica più stabile, detta **ottetto**

Gli atomi tendono infatti
a **completare il loro
livello energetico
esterno** riempiendolo
con il massimo numero
di elettroni che può
contenere

Gli ioni

- Gli atomi o le molecole sono generalmente **neutri**, cioè con uguale numero di protoni ed elettroni
- In determinate circostanze possono assumere un potenziale elettrico **positivo** o **negativo**

**IONE
POSITIVO**



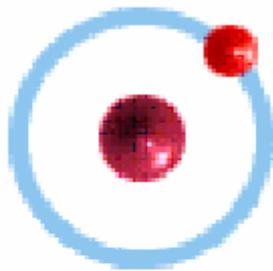
Difetto di elettroni

**IONE
NEGATIVO**

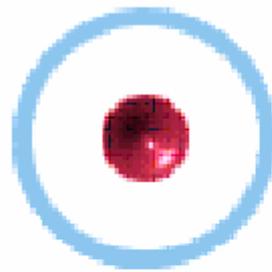


Eccesso di elettroni

Esempio di ione



H



H⁺

Perdendo un
elettrone
l'atomo di
idrogeno
diventa uno
ione positivo
H⁺

Le reazioni chimiche

La combustione

Le reazioni chimiche

- Gli atomi di molti elementi presenti in natura tendono ad **interagire fra loro**
- Queste interazioni avvengono se il livello energetico più esterno cioè **l'orbitale più esterno è riempito solo parzialmente**
- Inoltre tendono a reagire fra loro in modo tale che dopo la reazione i livelli energetici esterni si completino

Le reazioni chimiche

- Sono quindi gli **elettroni situati sul livello energetico esterno** che, interagendo fra loro, **danno origine ai legami**
- **L'elettronegatività** indica la misura con la quale un atomo esercita la sua influenza **attrattiva sugli elettroni** di altri atomi.

Le reazioni chimiche

- **L'elettronegatività** è bassa fra atomi che hanno pochi elettroni nel livello esterno, particolarmente in quelli che ne hanno uno solo, mentre è alta negli atomi che hanno 6 o 7 elettroni e sono perciò vicini a completare l'ottetto.

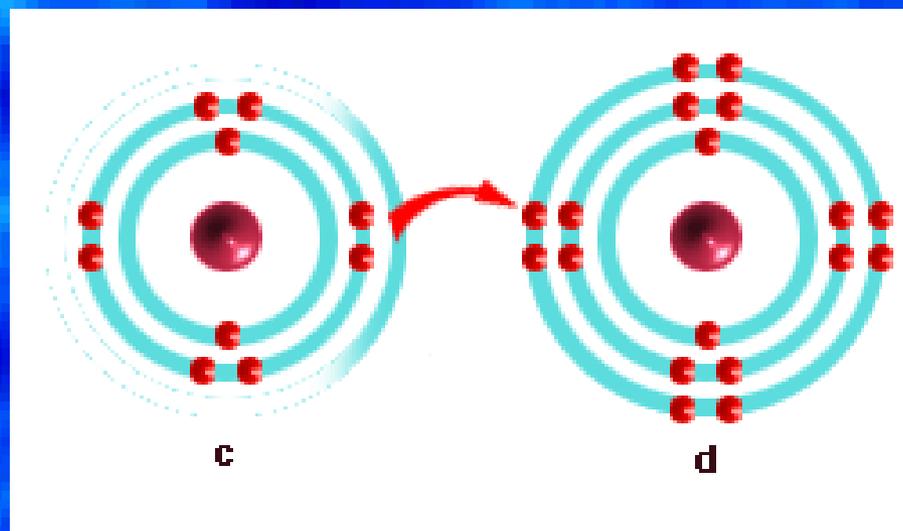
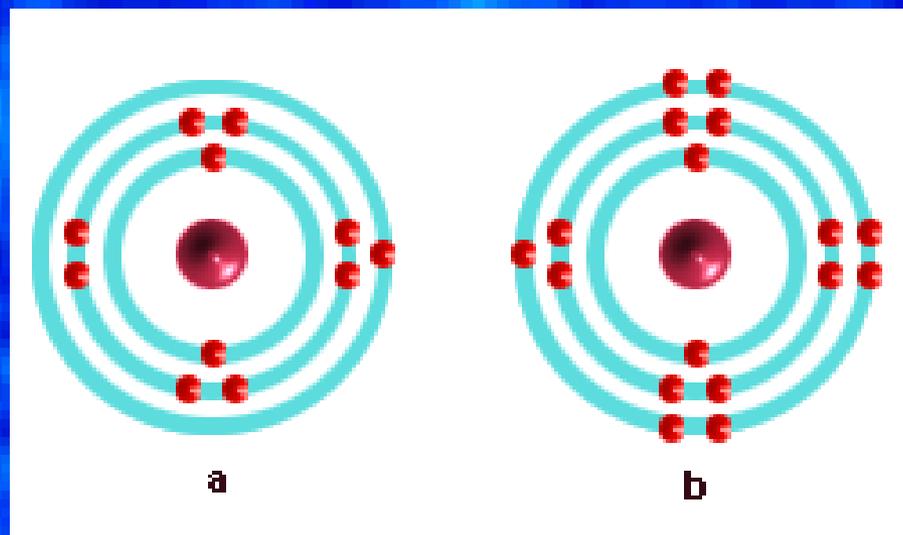
Interazione

a) Sodio

poco elettronegativo

b) Cloro

molto elettronegativo

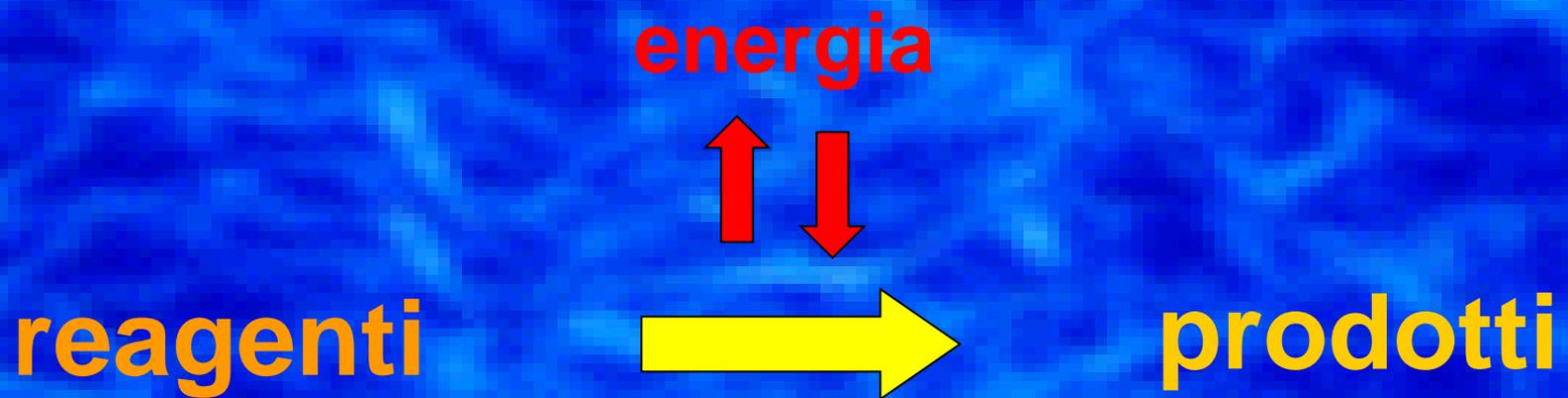


I due elementi reagendo formano due ioni con l'ultimo livello energetico completo

Le reazioni chimiche

- comportano solitamente la **rottura di alcuni legami** nei reagenti e la **formazione di nuovi legami**, che andranno appunto a caratterizzare i prodotti

Le reazioni chimiche



Equazione

Le reazioni chimiche

Una reazione può essere:

- **completa** quando nello stato finale le sostanze reagenti non sono più presenti o lo sono in quantità trascurabili
- **incompleta** o **parziale** quando nello stato finale oltre ai prodotti della reazione è presente ancora una parte più o meno cospicua delle sostanze reagenti

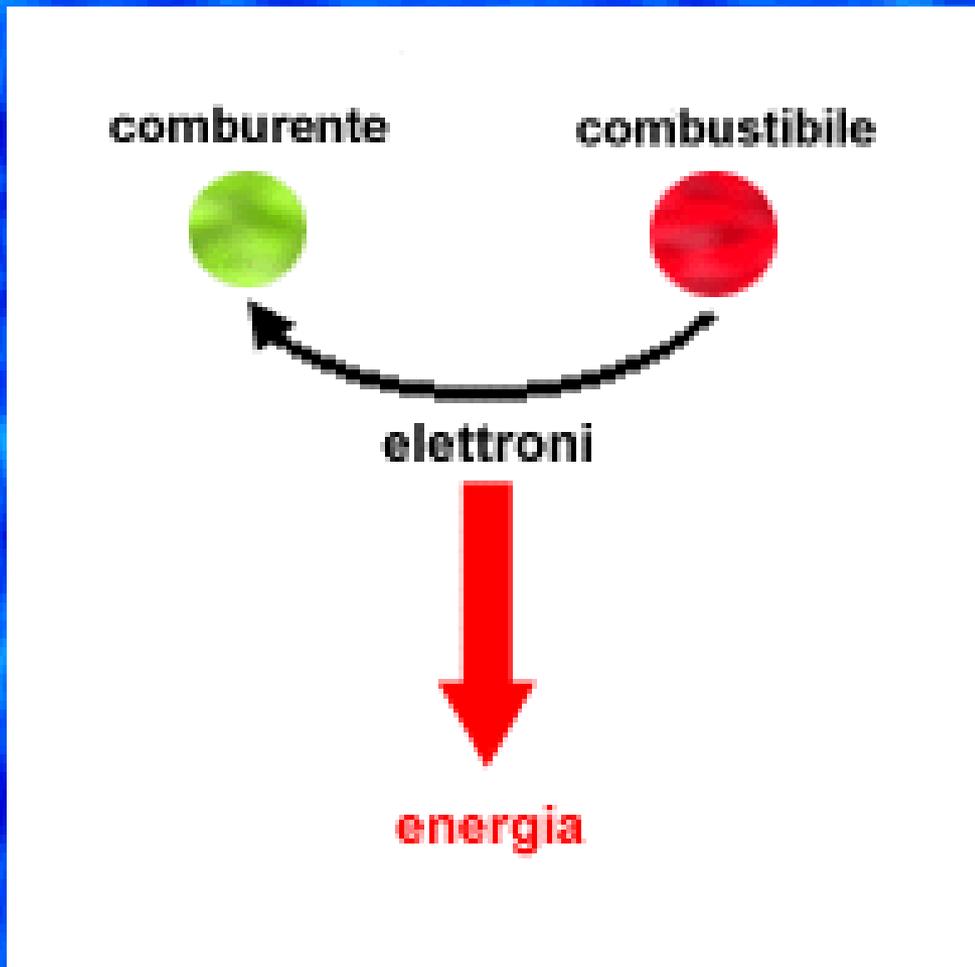
Le reazioni chimiche

- Una reazione chimica che produce calore è detta **esotermica**
- Una reazione chimica che assorbe calore è detta **endotermica**

La combustione

- Si dice **combustione** qualunque reazione chimica nella quale un **combustibile** (“sostanza ossidabile”) reagisce con un **comburente** (“sostanza ossidante”), liberando **energia**, in genere sotto forma di **calore**

La combustione



Comburente
elettronegativo
attrae gli elettroni
(**si riduce**)

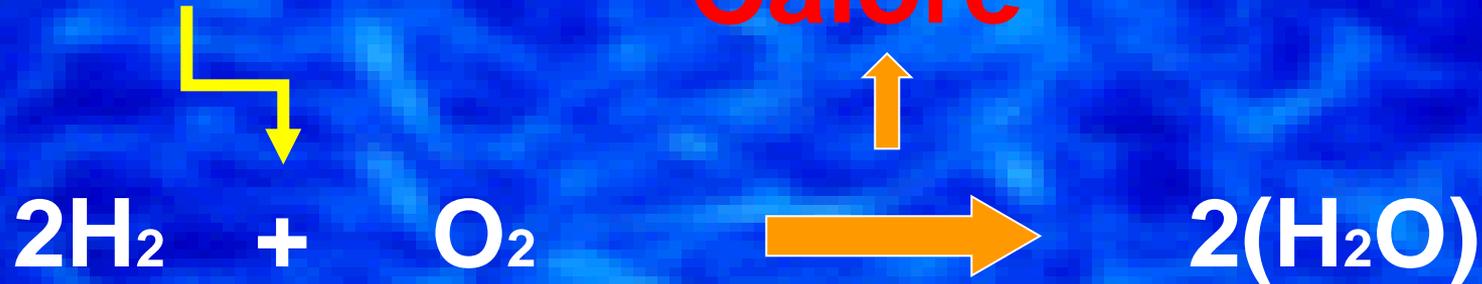
Combustibile li
perde (**si ossida**)

Comburenti

Oltre all'**ossigeno**, sono comburenti (ossidanti, elettronegativi) quelle sostanze che cedono facilmente l'ossigeno contenuto **alimentando** la combustione, talvolta anche in modo molto violento (per esempio a contatto di oli, grassi, ed in genere con sostanze organiche)

Esempio di combustione

Energia di attivazione

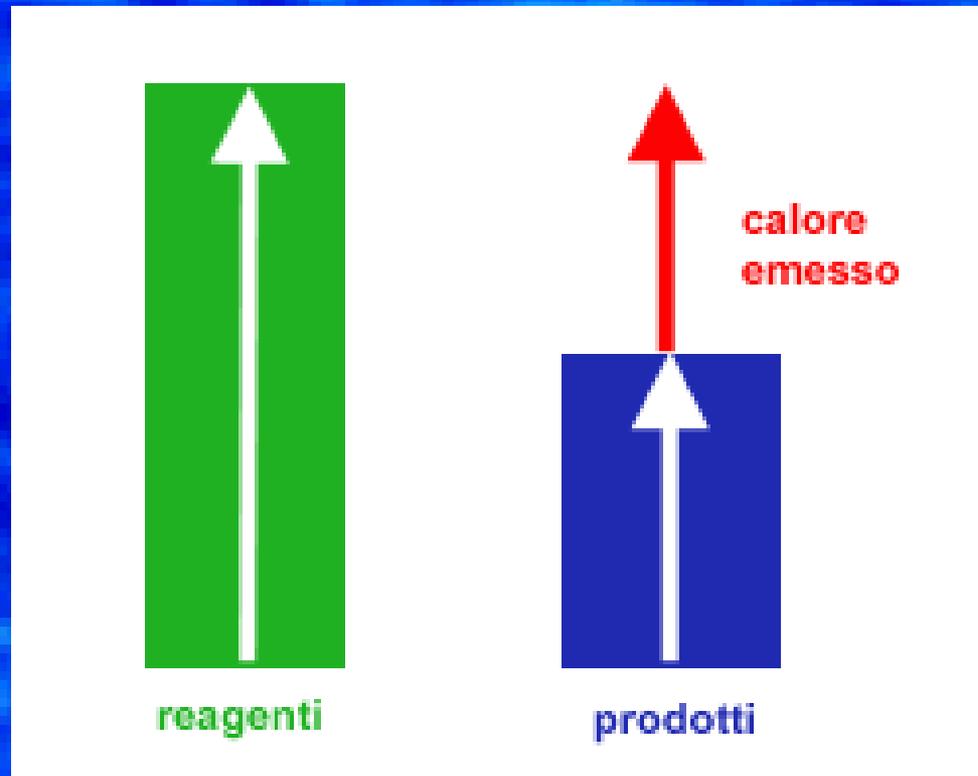


Due molecole
di Idrogeno
allo stato di
gas

Una
molecole di
ossigeno allo
stato di gas

Due molecole di
acqua allo stato
di gas

La combustione è una reazione **esotermica**, che libera calore perché i reagenti possiedono più energia dei prodotti di reazione



Classificazione delle combustioni

- con l'intervento dell'ossigeno dell'aria, come la combustione del carbone
 - con l'intervento di agenti diversi dall'ossigeno, come quella del rame in atmosfera di cloro
 - senza la partecipazione del mezzo gassoso, perché nella loro molecola contengono sufficiente ossigeno, come le polveri da sparo

Classificazione delle combustioni

- **COMBUSTIONE OMOGENEA**
(combustibile gassoso e
comburente gassoso)

- **COMBUSTIONE ETEROGENEA**
(combustibile liquido o solido e
comburente gassoso)

Prodotti di combustione

- Il calore generato innalza la **temperatura** a valori tali per cui i partecipanti alla reazione irradiano **energia elettromagnetica** con lunghezze d'onda comprese nel campo del visibile.
- Le zone di reazione ci appaiono allora luminose e si parla di **fiamme**

Prodotti di combustione



Nelle combustioni in aria si ha la formazione di **acqua** liquida o vaporizzata, e di **anidride carbonica** dovuta alla presenza di carbonio e idrogeno nei combustibili

Ma non solo !!!

Prodotti di combustione

- Se l'aria non è sufficiente ad ossidare completamente il carbonio si ha presenza, più o meno elevata, di **ossido di carbonio**, prodotto tipico delle combustioni in **atmosfera povera di ossigeno**

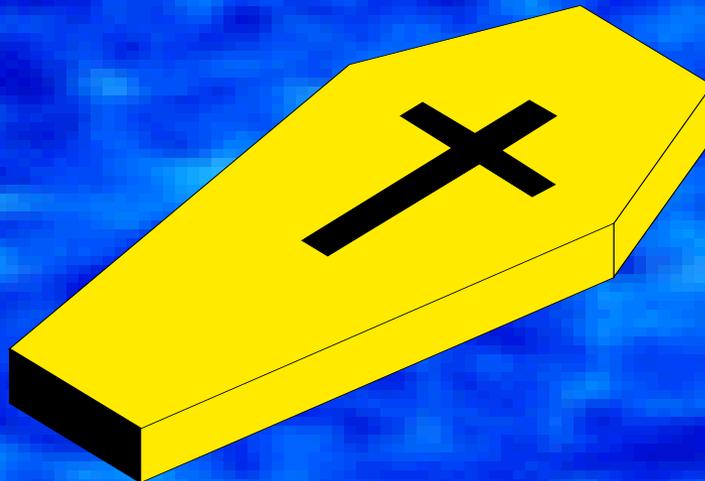
Gas di combustione

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

Ossido di carbonio

L'esposizione in ambienti contenenti l'1,3% di monossido di carbonio produce **incoscienza quasi istantaneamente** e la **morte dopo pochi minuti**. La percentuale dello 0,15% per 1 ora o dello 0,05% per 3 ore può risultare mortale. **La percentuale dello 0,4% è fatale in meno di 1 ora.**



Prodotti di combustione

Altri prodotti di reazione sono derivati:

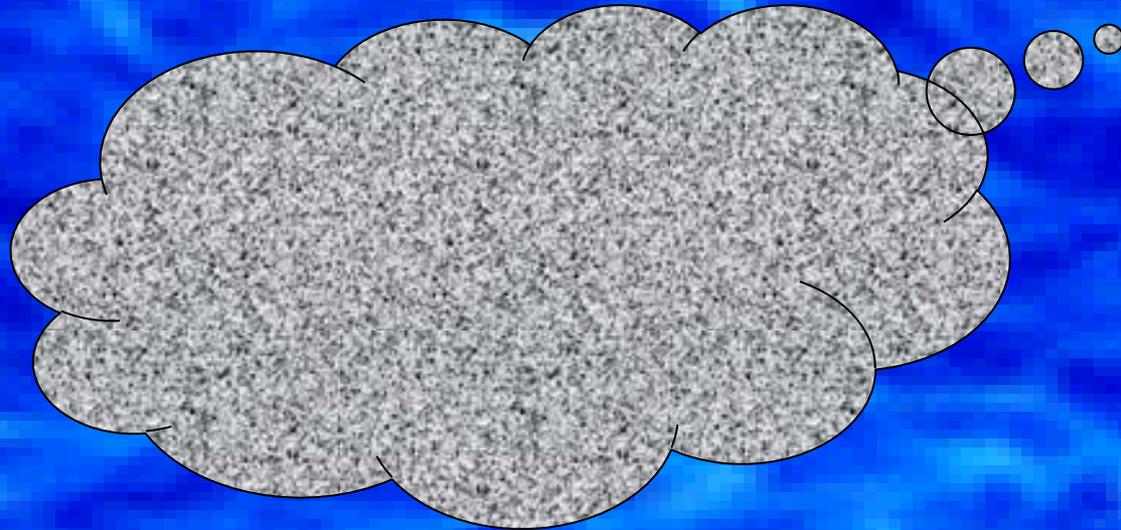
- dello **zolfo** presente in quasi tutti i combustibili
- di gas inerti come l'**azoto**
- di gas derivanti dalla decomposizione termica di eventuali **sostanze organiche**

Prodotti di combustione

Sostanza	Prodotti tossici	Prodotti maggiormente tossici
PVC	CO-CO2-HCl-Benzene-Toluene	HCl-CO
Poliammidi	CO-CO2-HCN	HCN-CO
Poliesteri	CO-CO2- HCN –HCl(per i materiali clorurati)	HCN-CO
Resine fenoliche	CO-CO2-Fenolo e derivati	CO-Fenolo
Poliacrilici	CO-CO2-Metacrilato di metile	CO-Metacrilato di metile
Polistirene	CO-CO2-Toluene-Stirene-Benzene-Idrocarburi aromatici	CO -Idrocarburi aromatici
Legno e derivati	CO-CO2	CO
Lana	CO-CO2-HCN	CO-HCN

Prodotti di combustione

e infine vi sono incombusti e residui minerali che vanno a formare i **fumi**



Effetti sull'uomo

GAS		5 minuti		30 minuti	
		inabilità	morte	inabilità	morte
CO	ppm	6000	12000	1400	2500
		8000	16000	1700	4000
HCN	ppm	150	250	90	170
		200	400	120	230
Ossigeno	%	10 # 13	5	12	6 # 7
Acroleina	ppm	***	500	***	50
			1000		135
HCL	ppm	***	12000	***	2000
			15000		4000

**Il rischio maggiore negli
incendi è proprio dovuto
all'inalazione dei gas
prodotti;**

**sono questi che
determinano il maggior
numero di vittime!**



Effetti della carenza di ossigeno sull'uomo

- Aria inspirata circa il 79% Azoto
 - “ il 21% O₂
- Aria espirata circa 79% Azoto
 - “ 16 O₂
 - “ 4,1% CO₂
 - “ 0,9% vapore H₂O

Concentrazione O₂

10% < O₂ < 15%

Appena cosciente

6% < O₂ < 10%

Collasso

O₂ < 6%

Morte per asfissia

La velocità di combustione

Questa dipende da:

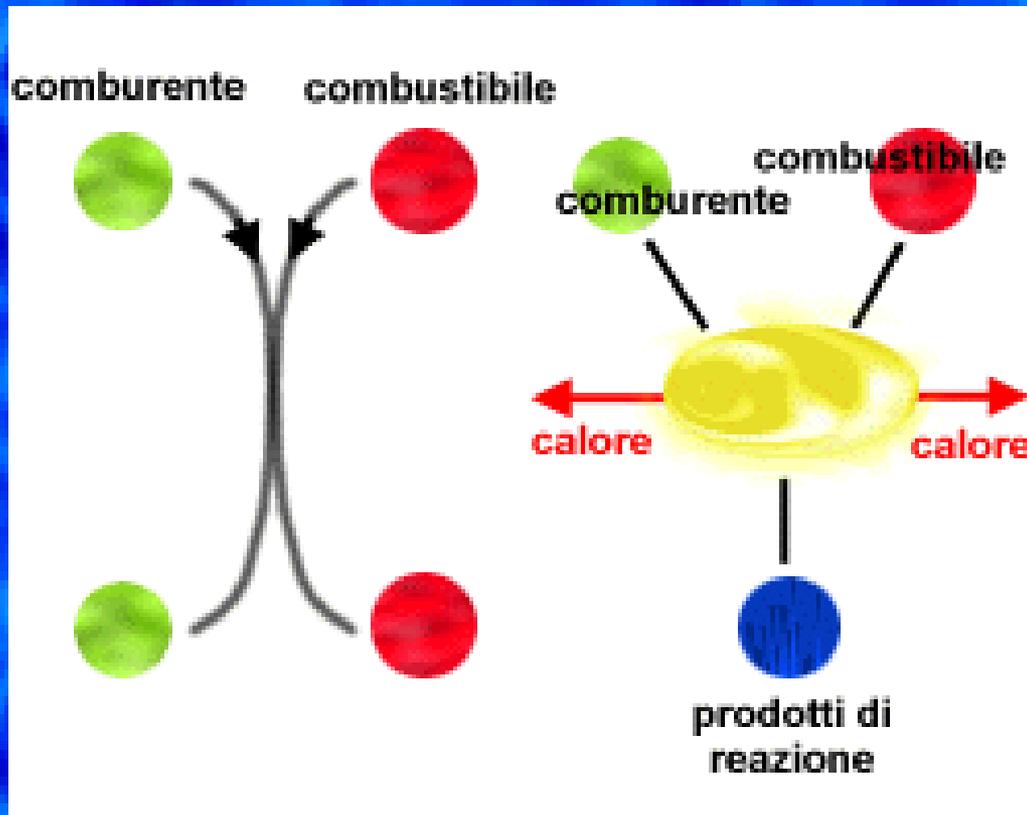
- temperatura
- pressione
- concentrazione dei reagenti
- catalizzatori

La velocità di combustione

Non è sufficiente che siano presenti combustibile e comburente perché avvenga la combustione!

perché?

E' necessario che le molecole del combustibile e del comburente urtino fra loro con sufficiente energia



Maggiore è energia cinetica, maggiore è il valore della temperatura e della pressione

La velocità di combustione

- Quindi maggiore è la temperatura e la pressione, maggiore sarà la percentuale di molecole che urtando tra loro con sufficiente energia cinetica produrranno la reazione
 - Un maggiore concentrazione dei reagenti determinerà una maggiore quantità di urti nell'unità di tempo

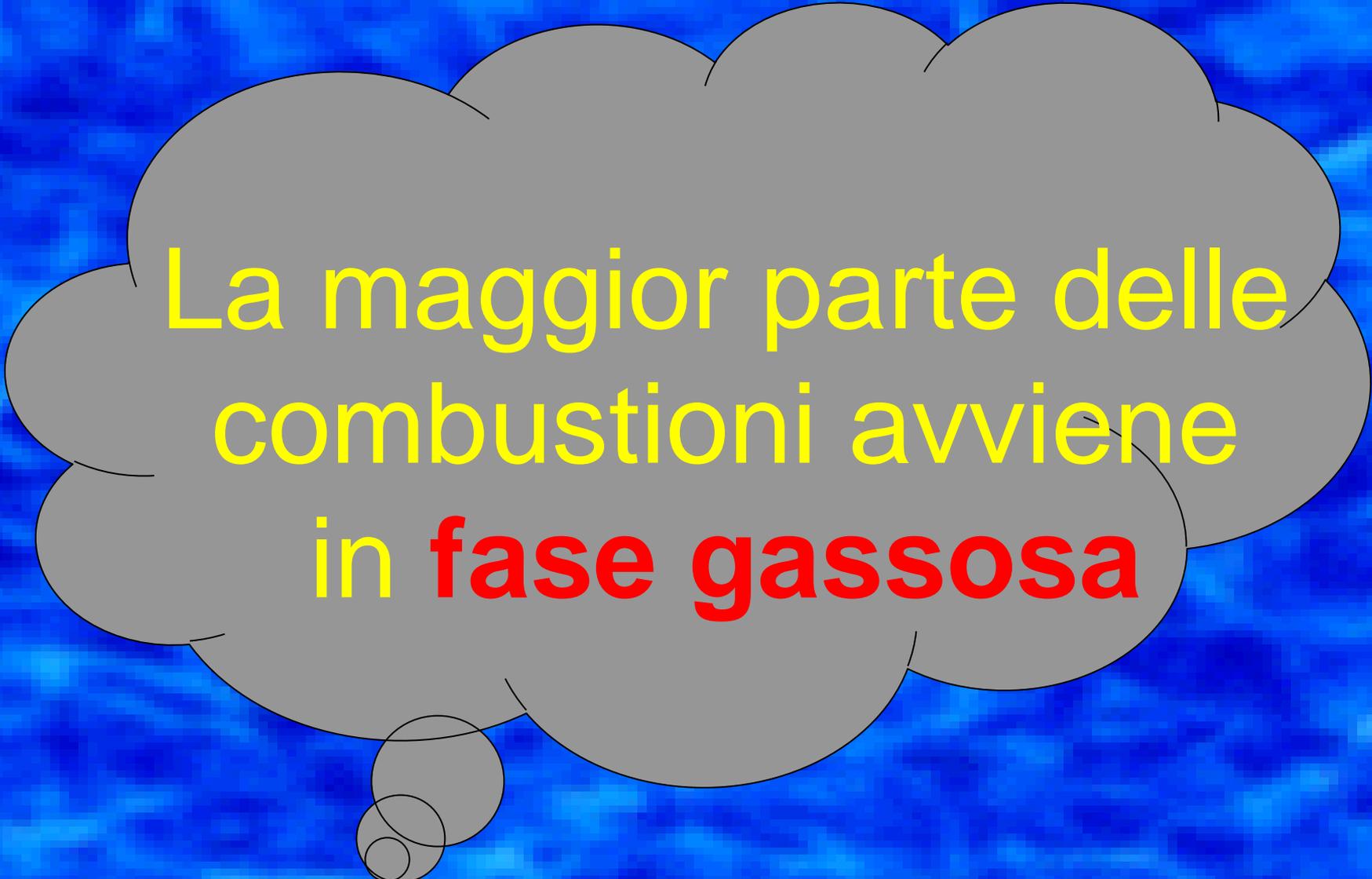
La velocità di combustione

La presenza di catalizzatori determina un'abbassamento della barriera di potenziale che fa sì che la percentuale di urti con conseguente reazione aumenti

Propagazione della combustione

Il propagarsi di un incendio e più in particolare di una fiamma richiede la presenza contemporanea di tre requisiti fondamentali:

- **combustibile**
- **comburente**
- **temperatura**

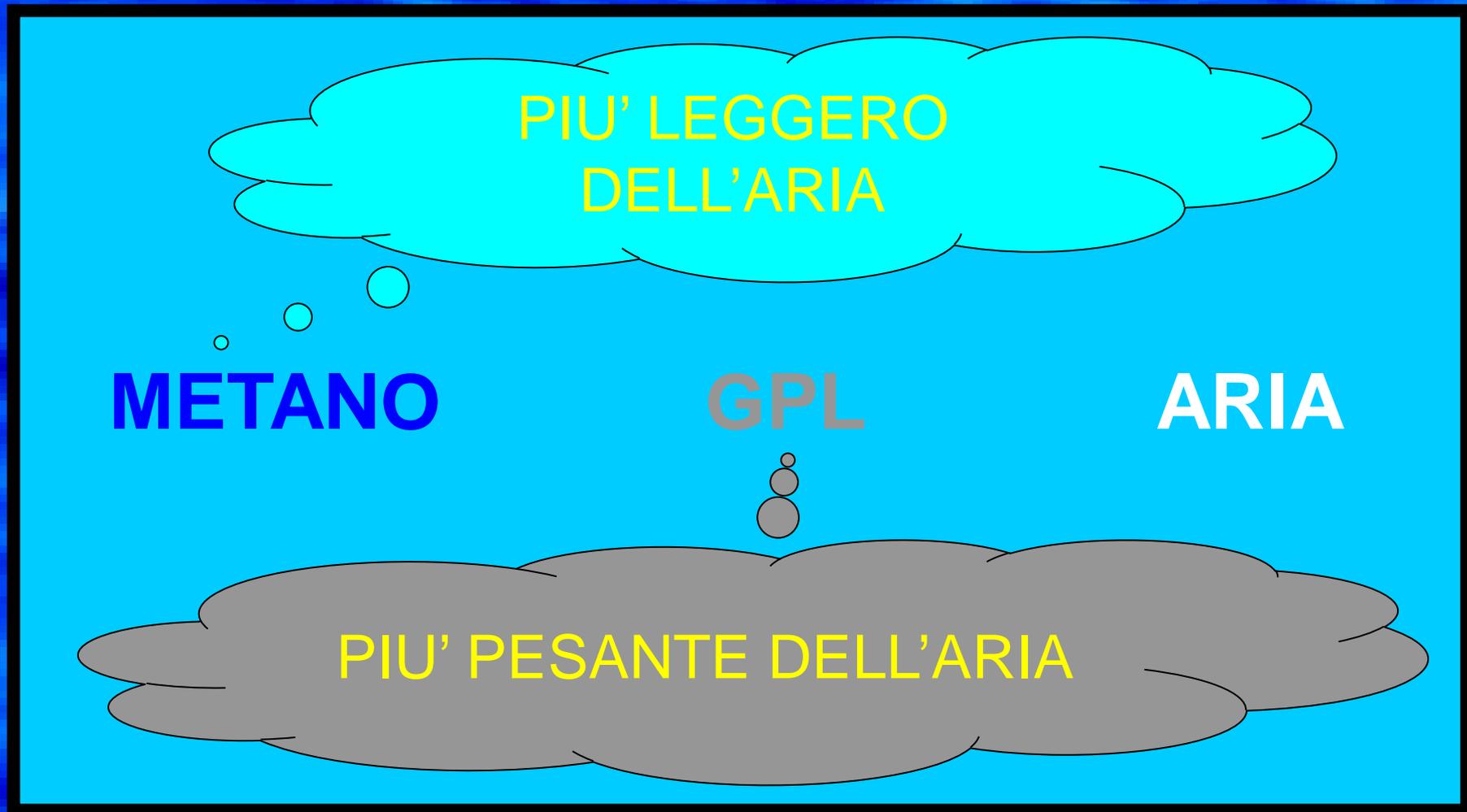


La maggior parte delle
combustioni avviene
in fase gassosa



Anche le polveri
bruciano, anzi
addirittura
spesso
esplodono

Attenzione ai gas infiammabili!!



La **velocità** di propagazione della combustione varia notevolmente in relazione:

- alla **natura del gas**
- al **rapporto tra combustibile e comburente**
- alle **dimensioni dell'ambiente** di combustione

Per comprendere il fenomeno della propagazione di fiamma risultano molto importanti i seguenti parametri:

- **limite superiore ed inferiore di infiammabilità**
- **temperatura di infiammabilità**
- **temperatura di accensione**

Limite inferiore di infiammabilità

- rappresenta **la minima concentrazione di combustibile** nella miscela aria-combustibile a pressione e temperatura standard, che consente a quest'ultima, se innescata, di reagire dando luogo ad una combustione in grado di propagarsi a tutta la miscela.

Limite superiore di infiammabilità

- Il limite superiore di infiammabilità rappresenta **la concentrazione massima di combustibile** nella miscela aria-combustibile a pressione e temperatura standard che consente a quest'ultima, se innescata, di reagire dando luogo ad una combustione in grado di propagarsi a tutta la miscela

I valori* dei limiti di infiammabilità sono diversi a seconda del combustibile:

Combustibile	Limite Inferiore	Limite Superiore
Benzina	0,9	7,5
Gas naturale	3	15
Gasolio	1	6
Butano	1,5	8,5
Metano	5	15

* I valori rappresentano le **percentuali di combustibile in volume** nella miscela combustibile/comburente

Domande!

Siamo sicuri, che in una stanza dove la concentrazione di gpl è inferiore al limite di infiammabilità, non si possa manifestare la combustione?

E in una dove è superiore?

Risposta

G
P
L

Sotto il campo di
infiammabilità

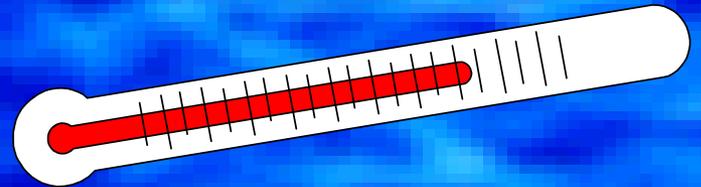
Dentro il campo di
infiammabilità

Al di sopra del campo di
infiammabilità

A
m
b
i
e
n
t
e
c
h
i
u
s
o

Più pesante
dell'aria

Temperatura di infiammabilità



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

Bassi valori della temperatura di infiammabilità indicano una **maggiore pericolosità** del liquido combustibile:

- se la temperatura di infiammabilità è **inferiore a 21°C** il liquido è di **categoria A**
- Se la temperatura di infiammabilità è compresa **tra 21°C e 65°C** il liquido è di **categoria B**
- Se la temperatura di infiammabilità è **superiore ai 65°C** il liquido è di **categoria C**

Temperature di infiammabilità

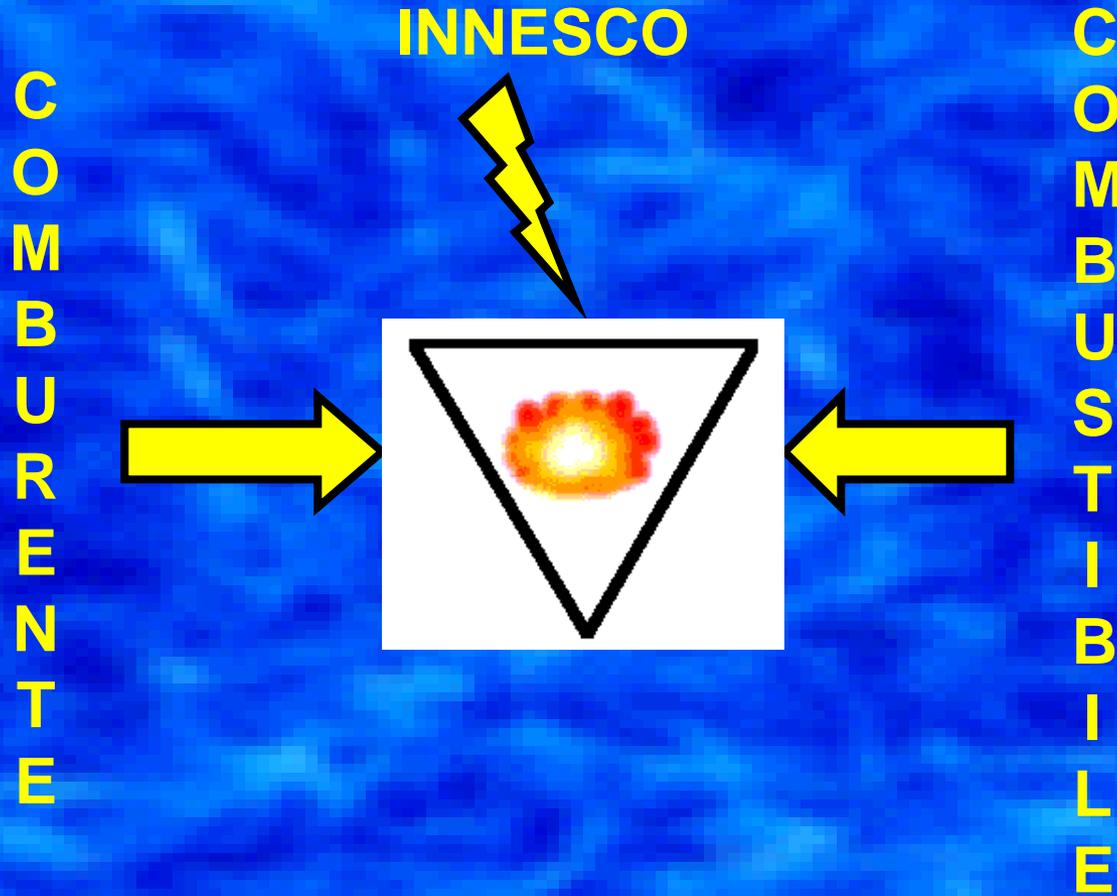
Sostanza	Temperatura di infiammabilità (°C) Valori indicativi	
Acetone	-18	categoria A
Benzina	-20	categoria A
Gasolio	65	categoria C
Alcol etilico	13	categoria A
Alcool metilico	11	categoria A
Toluolo	4	categoria A
Olio lubrificante	149	categoria C

Temperatura di accensione (o autoaccensione)

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

Sostanza	Temperatura di accensione (°C) Valori indicativi
Acetone	540
Benzina	250/400
Gasolio	240
Idrogeno	560
Alcool metilico	455
Carta	230
Legno	220-250
Gomma sintetica	300
Metano	537

Finalmente il triangolo si chiude!



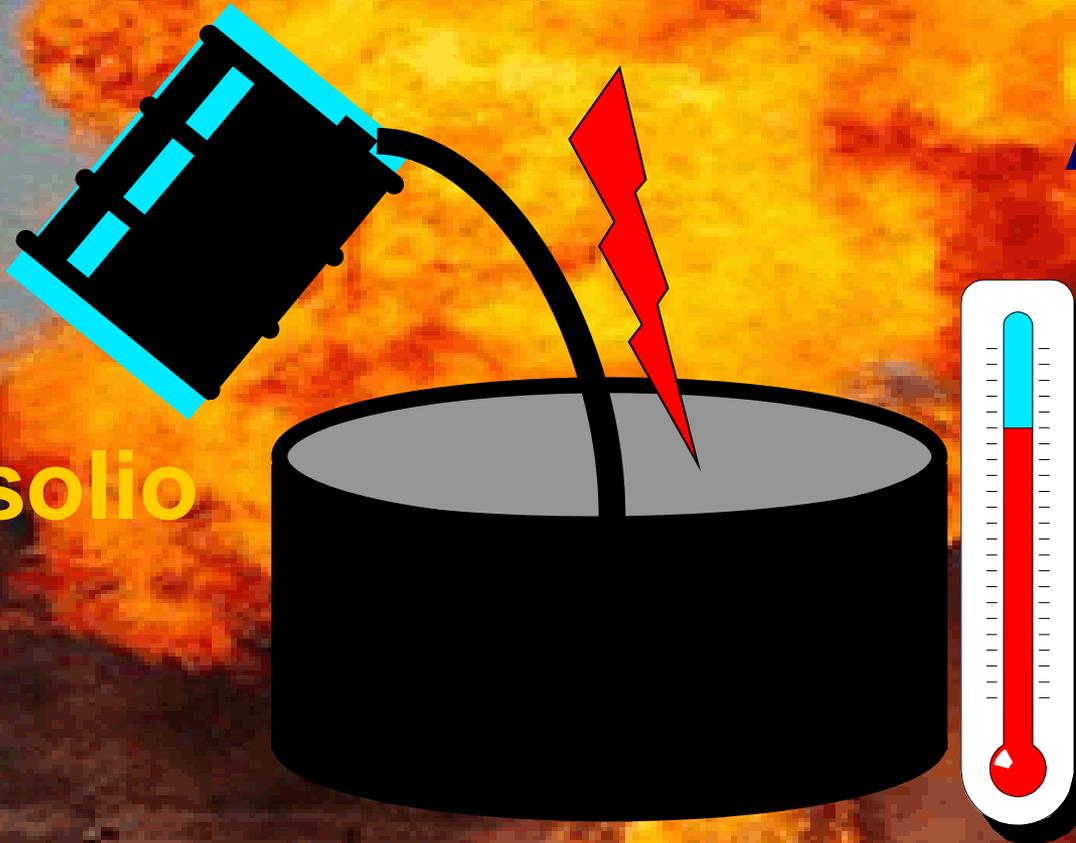
Esempio

Innesco

Aria (21% O₂)

Gasolio

$T > 65^{\circ}\text{C}$



Tipi di innesco

L'ignizione può avvenire in modo **diretto** per mezzo di:

- una **scintilla** o un **arco elettrico**
- **attrito**
- una **fiamma**
- un **materiale incandescente**
- **spontaneamente** come risultato di un'azione chimica o catalitica

Tipi di innesco

L'ignizione può anche avvenire in modo indiretto, nel caso in cui si abbia la trasmissione del calore da un locale dove è presente l'incendio ad un altro.

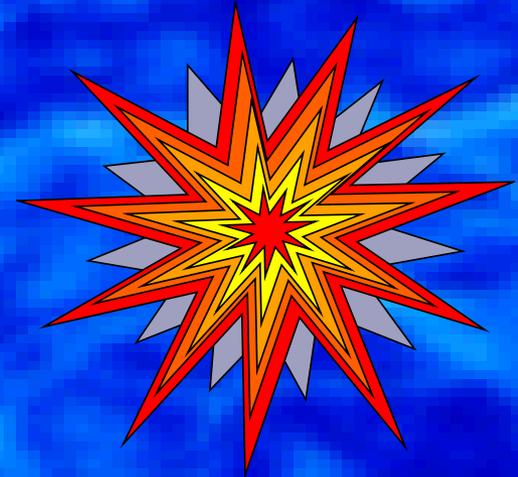
Combustibili

Combustibili	Temp. accens. (°C)	Temp. infiam. (°C)	Energia ignizione (in j)	Campo infiam. (% in aria)
Metano	540	-180	0,470	5 + 15
Etano	520	-134	0,285	3 + 15,5
Propano	465	-102	0,305	2 + 9,5
n-Pentano	285	-40	0,49	1,4 + 8
Ciclopentano	380	-38	0,540	n.d.
Etilene	425	-135	0,096	2,7 + 34
Acetilene	300	-18	0,020	1,5 + 82
Benzene	550	-11	0,550	1 + 8
Alcool metilico	385	10	0,210	5,4 + 44
Alcool isopropilico	400	11	0,650	2 + 12
Acetone	465	-19	1,150	2,5 + 13
Idrogeno	560		0,020	4 + 75

Altre caratteristiche

	Peso specifico relativo all'aria	Temperatura di infiammabilità	Temperatura accensione °C	Campo di infiammabilità nell'aria - % in volume	kcal/kg Potere calorifico
Acetilene	0,90	gas	300	1,5-----82	1175
Alcol metilico	1,11	11°C	455	5,5----26,5	5280
Benzine	>2,50	<0°C	280	0,7	10500
Butano	2,05	gas	365	1,5--8,5	11800
Idrogeno	0,07	gas	560	4,0-----75	29000
Metano	0,55	gas	537	5,0---15	11950
Propano	1,56	gas	466	2,1---9,5	11080

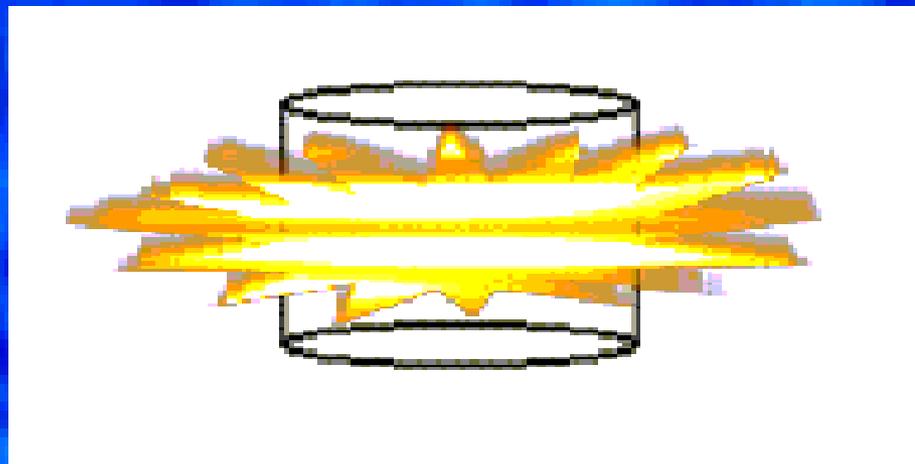
Esplosioni



Se la **velocità di una combustione è elevata** tanto da provocare considerevoli effetti meccanici dovuti all'aumento di pressione, questa può definirsi una **esplosione**

Esplosione

In genere una combustione che avviene in uno **spazio limitato**, dove il calore prodotto non può essere dissipato rapidamente, determina un aumento della **temperatura**, della **pressione** e un conseguente aumento della **velocità di reazione** che continua a **produrre calore** determinando l'**esplosione**



Miscugli esplosivi gassosi - Sono formati da più sostanze, alcune delle quali agiscono come comburenti ed altre come combustibili

Esplosivi chimici - Si dividono in **inorganici** (ad esempio clorato di potassio) ed **organici** (ad esempio tritolo, nitroglicerine). Quelli organici **contengono nella stessa molecola tutti gli elementi necessari per una combustione** più o meno completa.

Per le miscele esplosive in aria avremo:

Il **limite inferiore di esplosività** è la più bassa concentrazione in volume di vapore di combustibile nella miscela al di sotto della quale non si ha esplosione in presenza di innesco

Il **limite superiore di esplosività** è la più alta concentrazione in volume di vapore di combustibile nella miscela al di sopra della quale non si ha esplosione in presenza di innesco

Campo di infiammabilità

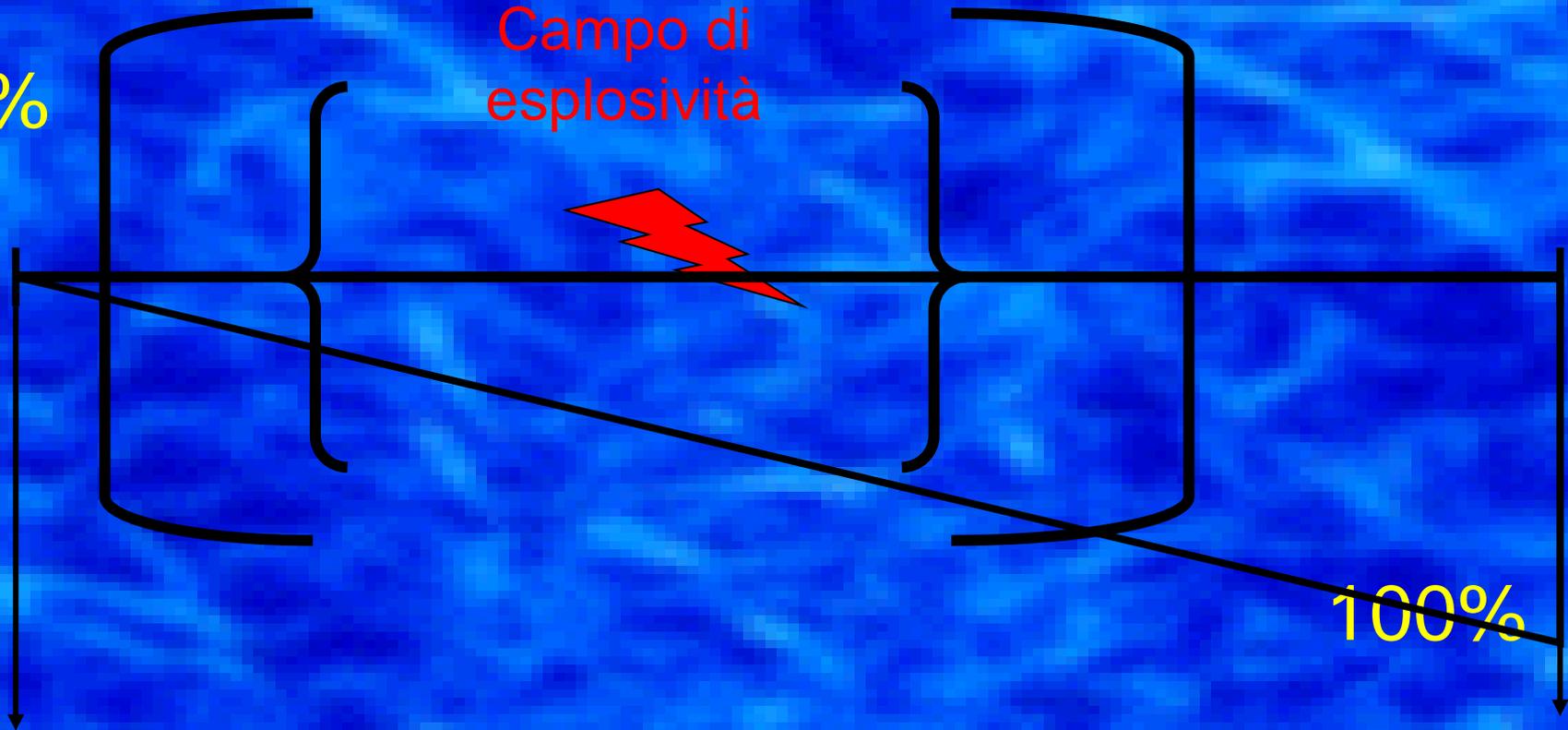
0%

Campo di
esplosività



100%

Percentuale di
combustibile in aria



Esempi:



la miscela **acetilene-aria** è esplosiva entro i limiti del **3 e 73%** in volume di acetilene

quella **idrogeno-aria** fra il **10 ed il 86%** in volume di idrogeno

Deflagrazione e detonazione

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**

Quando la reazione procede con una velocità **superiore a quella del suono** (velocità dell'ordine del chilometro al secondo), l'esplosione è detta **detonazione**

In mancanza di
informazioni sicure
o di dati
sperimentali



è comunque prudente considerare ogni
miscela di combustibile e di comburente in
fase gassosa come **potenzialmente
esplosiva** se la sua composizione è
compresa entro i limiti di infiammabilità.

I fattori che più influenzano e caratterizzano le combustioni sono:

- il **potere calorifico** dei combustibili
- la **temperatura teorica di combustione**
- **l'aria teorica** necessaria alla combustione

Potere calorifico

Si definisce come la **quantità di calore** (kcal - MJ) sviluppata dalla combustione di una quantità unitaria di combustibile (kg per solidi e liquidi, in m³ in condizioni normali, cioè a pressione atmosferica e a 0°C).

$$1 \text{ MJ} = 238 \text{ Kcal}$$

il **potere calorifico superiore**, per il quale si considera il calore sviluppato dalla reazione allorché tutti i prodotti della combustione sono alla temperatura ambiente e quindi l'acqua prodotta è allo stato liquido

il **potere calorifico inferiore**, per il quale invece si considera l'acqua prodotta allo stato di vapore

Combustibile	Potere Calorifico Inferiore			Potere calorifico Superiore		
	MJ/kg	MJ/N m³	MJ/d m³	MJ/k g	MJ/N m³	MJ/dm³
Benzina	-	-	31,4	-	-	33,8
Coke	29,0	-	-	30,0	-	-
Gas naturale	-	34,5	-	-	38,5	-
Gasolio	-	-	35,5	-	-	37,9
G.P.L.	46,0	-	25,0	50,0	-	27,2
Legna secca	16,7	-	-	18,4	-	-
Olio combustibile	41,0	-	-	43,8	-	-

Temperatura della combustione

Sostanza	TEMPERATURA DI COMBUSTIONE	
	Massima teorica	Massima reale
Metano	2.218°C	1.880°C
Etano	2.226°C	1.895°C
Propano	2.232°C	1.925°C
Butano	2.237°C	1.895°C
Fiammifero	-	Oltre 1.000°C

Aria teorica occorrente per la combustione

Combustibile	Aria teorica Nm³/kg
Legna secca	5,7
Gas naturale	9,5 Nm³/ Nm³
Gasolio	11,8
Coke	8,2
Olio combustibile	11,2
Idrogeno	28,6
Cellulosa	4,0
Benzina	12,0
Propano	13

Dinamica degli incendi

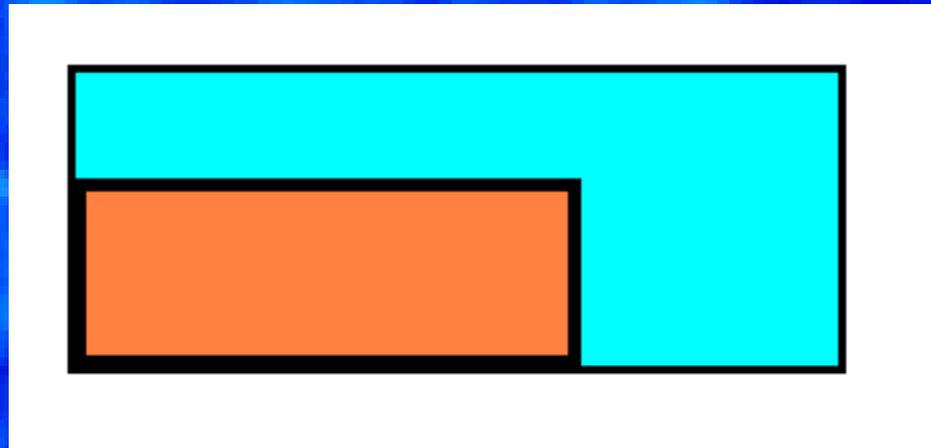
Le fasi dell'incendio

Fattori da cui dipende un incendio

- compartimento
- 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**



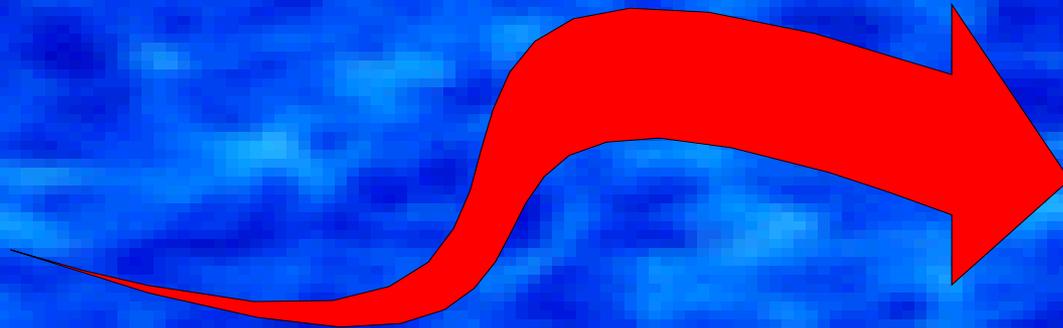
Carico d'incendio

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



Ventilazione

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



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

Le fasi dell'incendio

- **Fase iniziale** o di accensione
- **Fase dell'incendio vero e proprio**
- **Fase di estinzione** o raffreddamento

La fase iniziale

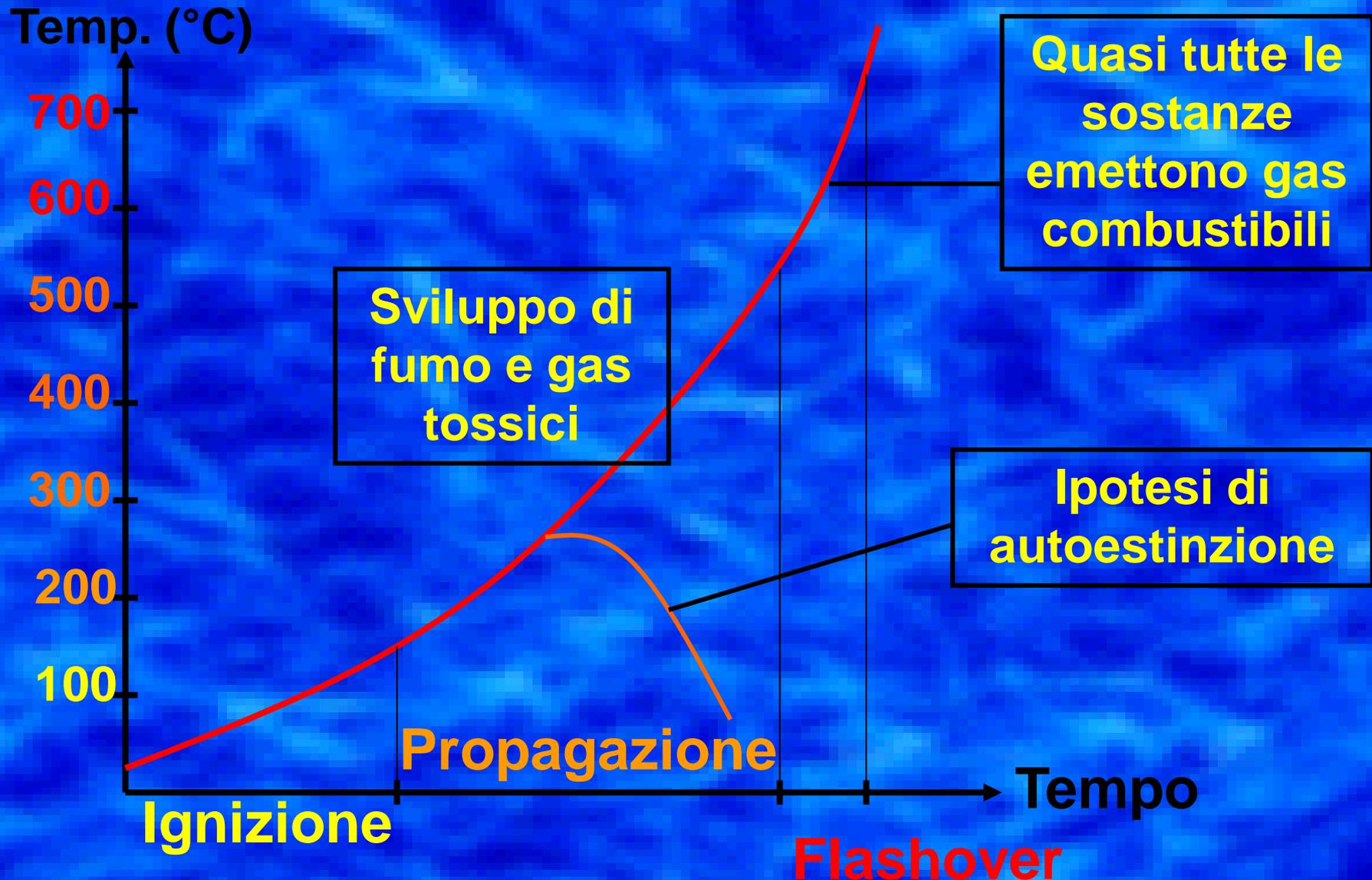
Caratterizzata da **rapide oscillazioni di temperatura** e da tre sottofasi distinte:

di **ignizione**

di **propagazione**

di **flashover** o combustione generalizzata

La fase iniziale



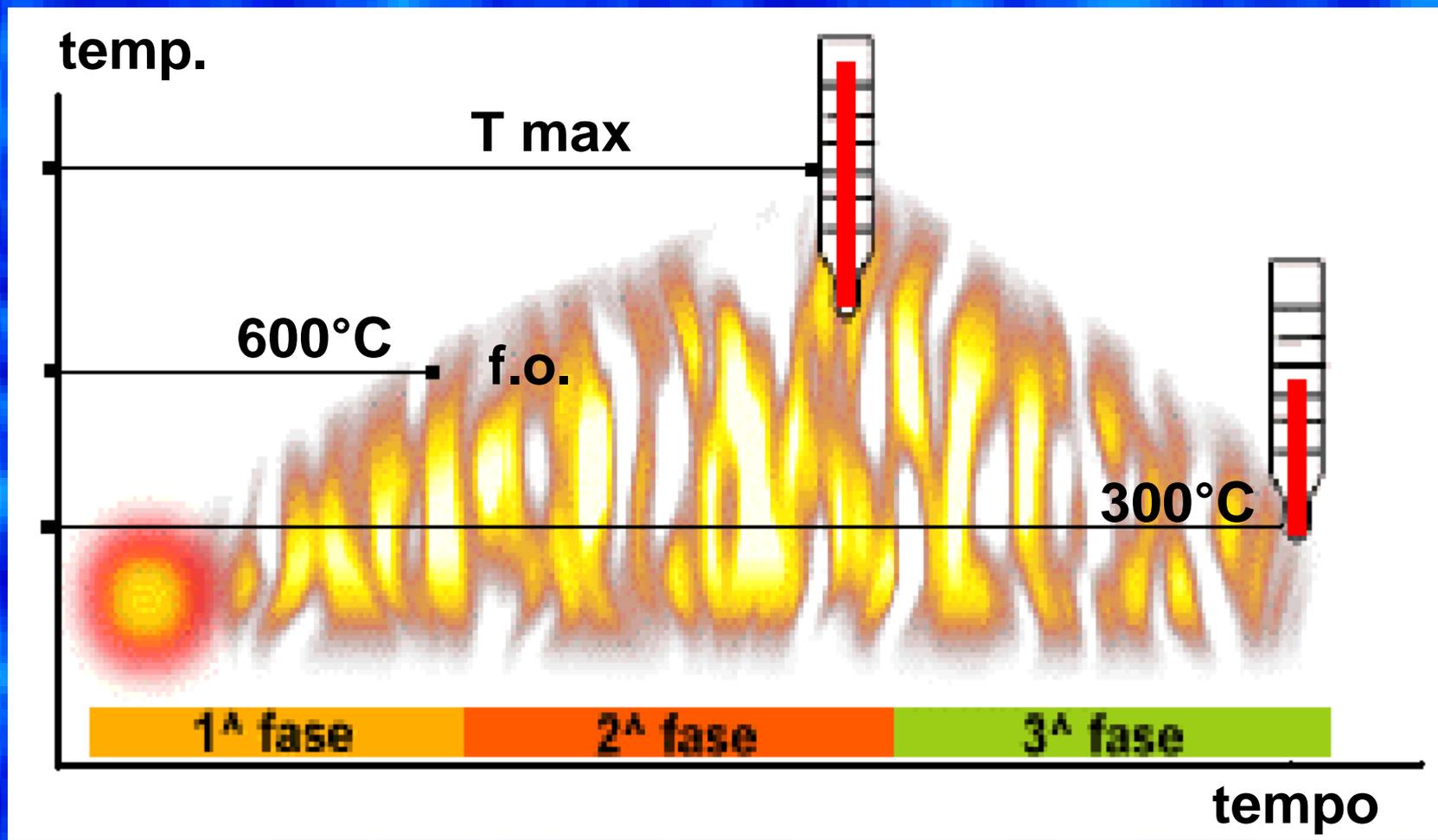
Fase dell'incendio vero e proprio

è una fase di **combustione costante** caratterizzata da una **temperatura media** e da una quantità di **calore prodotto molto elevati**

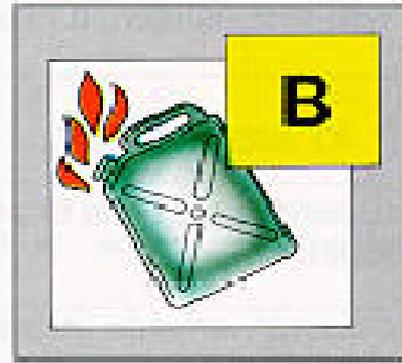
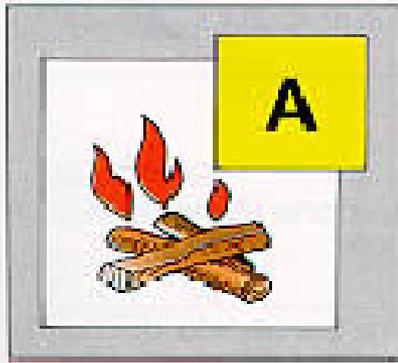
Fase di estinzione o raffreddamento

Si caratterizza per una
diminuzione della
temperatura fino al valore
di circa 300°C

Le fasi dell'incendio



Classi dell'incendio



Carta
legna
segatura
trucioli
stoffa
rifiuti
cere
infiammabili
cartoni
libri
pece
carboni
bitumi grassi
paglia
stracci
fuliggine

Nafta
benzina
petrolio
Alcool
oli pesanti
etere solforico
glicerina
vernici
gomme
resine
fenoli
zolfo
trementina
solidi liquefabili
liquidi infiammabili

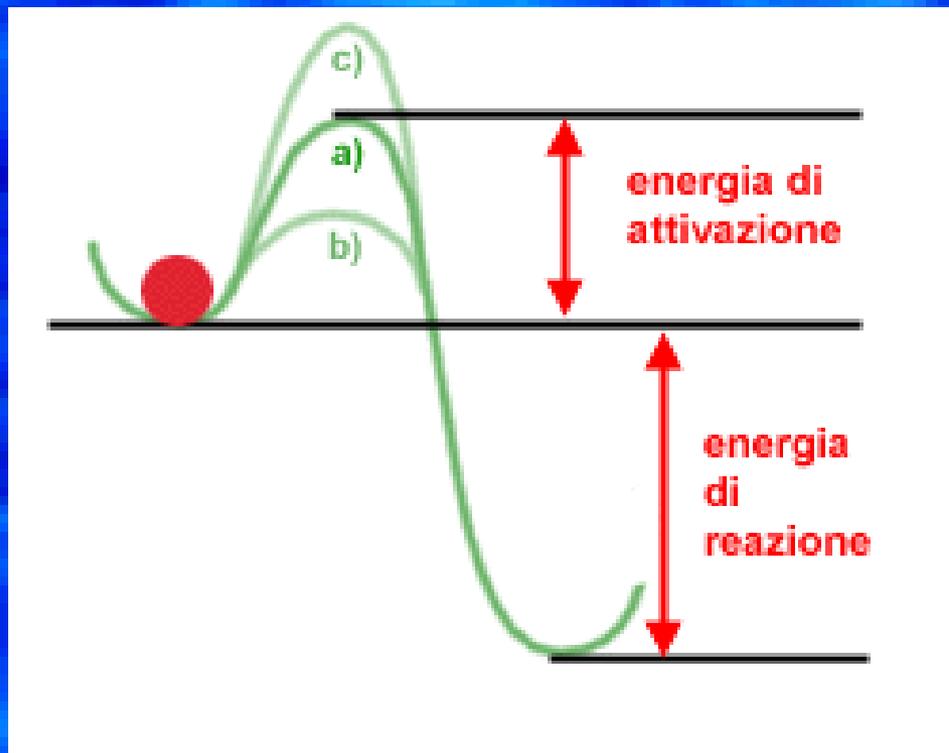
Metano
cloro
gas illuminante
acetilene
propano
idrogeno
cloruro di metile
gas infiammabili

Magnesio
potassio
fosforo
sodio
electron (Al-Mg)
carburi
metalli

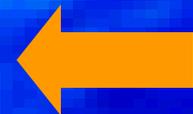


FINE

GRAZIE DELL'ATTENZIONE



L'energia di attivazione (a) è la barriera che si deve superare per poter liberare l'energia di reazione. Un catalizzatore (b) abbassa l'energia di attivazione, mentre un inibitore (c) l'aumenta



Equazione chimica

- ogni **equazione** di una reazione chimica dà informazioni sul **tipo di atomi** che contiene, sulle loro **proporzioni** attraverso i coefficienti stechiometrici, e sulla **direzione** della reazione attraverso la freccia



Equazione chimica

- il termine **equazione chimica** sta a significare che in ogni reazione i reagenti, vengono convertiti in uno o più prodotti senza che nulla venga disperso
- la somma degli atomi di ciascun elemento al primo membro è uguale alla somma degli stessi atomi al secondo membro
- Per la legge della conservazione della massa la **massa dei reagenti sarà pari a quella dei prodotti**

Esempio di equazione



A cosa può servirci il peso atomico?

La molecola dell'ossigeno (O_2) pesa 32 unità di massa atomica

La molecola dell'azoto (N_2) pesa 28 unità di massa atomica

La molecola del metano pesa 16 unità di massa atomica

A cosa può servirci il peso atomico?

Volumi uguali di gas diversi alle stesse condizioni di pressione e temperatura contengono lo stesso numero di molecole (Legge di Avogadro)

Il metano pesa meno dell'ossigeno e dell'azoto, quindi in aria tende ad andare in alto

In alto o in basso?

Sostanza	Densità di vapore relativa all'aria
Acetilene	0,90
Acetone	2
Benzina	3,5
Gasolio	7
Idrogeno	0,07
Metano	0,55
Pentano	2,97
Ossido di etilene	1,52
Ossido di carbonio	0,97

