



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

Dispensa a cura di Daniele Mercuri e Mirko Canestri

Ministero dell'Interno

Dipartimento dei Vigili del Fuoco del Soccorso Pubblico e della Difesa Civile

Direzione Centrale per la Formazione

Area I – Coordinamento e Sviluppo della Formazione

Versione 1.0 - Giugno 2010

File: **Chimica e fisica dell'incendio rev1** - reperibilità D.C.F. Roma

Riservato alla circolazione interna ad uso esclusivamente didattico

*“Non ho particolari talenti,
sono solo appassionatamente curioso”*

Albert Einstein

INDICE

1	CHIMICA DELLA COMBUSTIONE	1
1.1	La materia e i passaggi di stato	1
1.1.1	Fusione.....	3
1.1.2	Evaporazione e Ebollizione	4
1.1.3	Liquefazione e condensazione	7
1.1.4	Solidificazione	9
1.2	Proprietà fisiche della materia	10
1.2.1	Volume.....	10
1.2.2	Massa	10
1.2.3	Densità	10
1.2.4	Peso specifico relativo all'acqua.....	11
1.2.5	Densità relativa all'aria	12
1.3	Atomi e molecole.....	13
1.4	Reazione chimica	18
1.5	Generalità sulla combustione.....	20
1.6	Velocità di combustione	23
1.7	Test di autovalutazione n. 1	25
2	LA COMBUSTIONE	30
2.1	Propagazione della Combustione.....	30
2.1.1	Classificazione degli incendi	32
2.2	Combustibile	34
2.2.1	Combustibili solidi.....	34
2.2.2	Combustibili liquidi	37
2.2.3	Combustibili gassosi	39
2.2.4	Conservazione dei gas.....	41
2.3	Comburente.....	46
2.4	Fonti di innesco.....	46
2.5	Parametri della combustione.....	48
2.5.1	Limiti di infiammabilità.....	49
2.5.2	Esplosione e Limiti di esplosività.....	53
2.5.3	Temperatura di infiammabilità	58
2.5.4	Temperatura di accensione	59
2.5.5	Temperatura teorica di combustione.....	60

2.5.6	Potere calorifico	61
2.5.7	Aria teorica di combustione	63
2.6	Test di autovalutazione n. 2	64
3	ESPLOSIVI.....	70
3.1	Premessa	70
3.2	Classificazione degli esplosivi.....	72
3.2.1	Classificazione in base alla velocità di reazione.....	73
3.2.2	Classificazione in base alla natura chimica	74
3.3	Tipi di esplosivi.....	75
3.4	Test di autovalutazione n. 3	77
4	PRODOTTI DELLA COMBUSTIONE.....	79
4.1	Premessa	79
4.2	Gas di combustione.....	79
4.3	Fiamme	80
4.4	Fumi	80
4.5	Calore.....	81
4.6	Test di autovalutazione n. 4	82
5	DINAMICA DEGLI INCENDI.....	84
5.1	Premessa	84
5.2	Fattori da cui dipende l'incendio	84
5.3	Sviluppo dell'incendio.....	86
5.4	Fasi dell'incendio.....	87
5.5	Propagazione degli incendi.....	92
5.5.1	Convezione	92
5.5.2	Irraggiamento termico.....	93
5.5.3	Conduzione	93
5.6	Test di autovalutazione n.5	94
6	EFFETTI DELL'INCENDIO SULL'UOMO.....	96
6.1	Effetti dei gas di combustione.....	96
6.2	Effetti dei fumi.....	97
6.3	Effetti delle fiamme e del calore.....	97
6.4	Principali gas di combustione	99
6.5	Test di autovalutazione n. 6.....	106

1 CHIMICA DELLA COMBUSTIONE

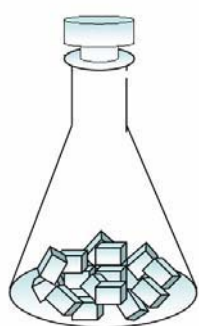
1.1 La materia e i passaggi di stato

Se si chiedesse a qualcuno di spiegare cos'è la materia, probabilmente risponderebbe tutto quello che ci circonda compresi noi stessi. Questo, tuttavia, non direbbe nulla di preciso su cosa sia effettivamente la materia.

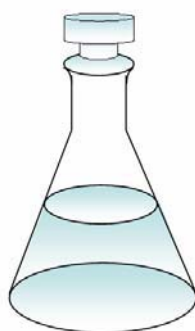
La materia allora la potremmo definire come ogni cosa che ha una **massa** e un **volume** e che quindi **occupa uno spazio**.

La materia che ci circonda esiste sotto tre stati di aggregazione solido, liquido e aeriforme:

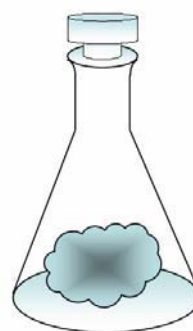
- le sostanze **solide** hanno un volume e una forma proprie (es. un cubetto di ghiaccio);
- le sostanze **liquide** hanno un volume proprio ma non hanno una forma propria; esse assumono la forma del recipiente che le contiene (es. l'acqua in un bicchiere);
- le sostanze **aeriformi** non hanno né volume né forma propria e pertanto occupano tutto il volume a disposizione e assumono la forma del recipiente in cui è contenuta (es. il gas o il vapore contenuto in una bombola).



Stato solido



Stato liquido



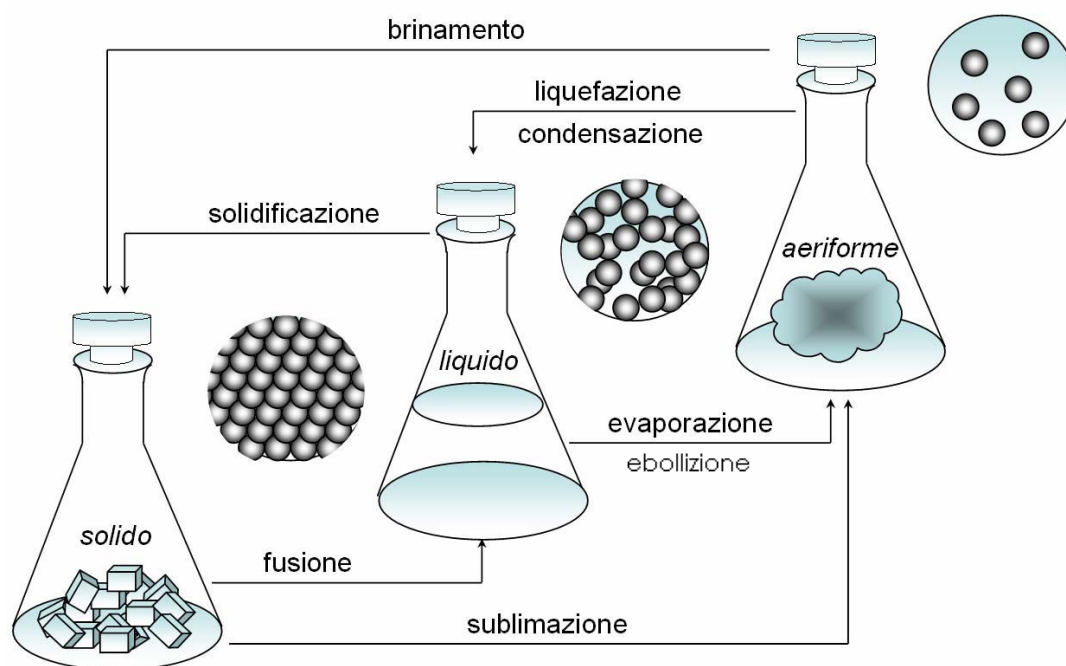
Stato aeriforme

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

I passaggi di stato tra gli stati di aggregazione sono denominati nel seguente modo:

- **fusione**, è il passaggio dallo stato solido a quello liquido;
- **evaporazione**, è il passaggio dallo stato liquido a quello aeriforme (gas o vapore);
- **liquefazione**, è il passaggio dallo stato aeriforme a quello liquido;
- **solidificazione**, è il passaggio dallo stato liquido a quello solido;
- **brinamento**, è il passaggio diretto dallo stato aeriforme a quello solido;
- **sublimazione**, è il passaggio diretto dallo stato solido a quello aeriforme.

Nello schema seguente sono riportati tutti i possibili passaggi di stato della materia:



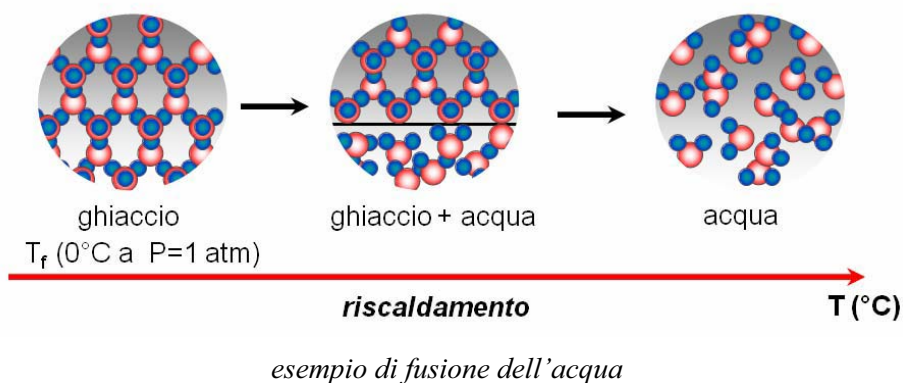
I passaggi di stato sono fenomeni fisici perché non danno luogo a cambiamenti nella composizione delle sostanze interessate.

Ad esempio, il ghiaccio, l'acqua allo stato liquido e il vapore acqueo sono tutti costituiti da molecole di acqua; è diverso solo il modo con cui queste molecole sono unite fra di loro, o come nel caso del vapore non sono unite affatto.

1.1.1 Fusione

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

La temperatura che determina questo passaggio è detta appunto **temperatura di fusione** ed è influenzata dalla pressione alla quale il solido è sottoposto.



Nella tabella seguente sono riportati a titolo di esempio i valori delle temperature di alcuni materiali comuni riferiti alla pressione atmosferica.

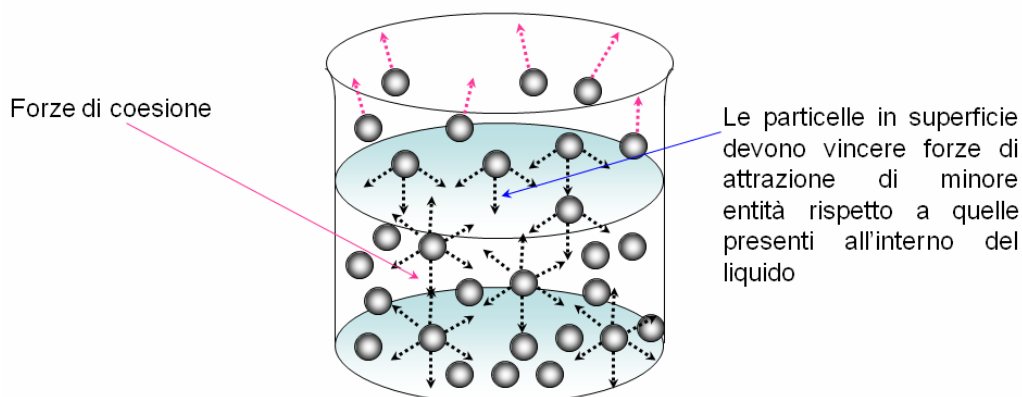
Sostanze	Temperatura di fusione a pressione atmosferica
	1 atm ($^\circ\text{C}$)
Alluminio	660
Ghiaccio	0
Ferro	1536
Oro	1063
Piombo	327
Rame	1083
Zolfo	183

Generalmente le sostanze solide a temperatura ambiente sono meno reattive di quelle liquide e gassose.

1.1.2 Evaporazione e Ebollizione

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

L'**evaporazione** è il fenomeno che **riguarda solo la superficie del liquido**. Le particelle con energia sufficiente, riescono a vincere le forze di attrazione che le legano alle altre particelle e ad abbandonare la massa del liquido diventando vapore.



L'evaporazione è favorita dall'aumento della superficie del liquido, dalla ventilazione, dall'incremento della temperatura o da una diminuzione di pressione. La velocità con cui il liquido evapora è diversa da liquido a liquido. L'evaporazione avviene ad ogni temperatura.

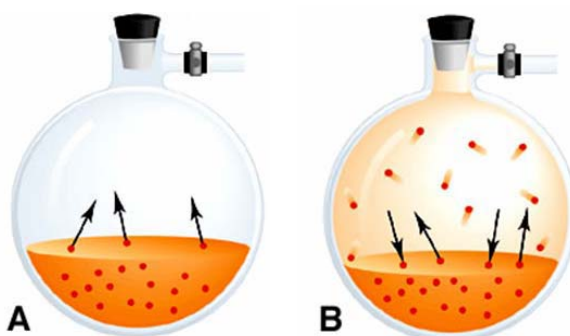
Nel caso in cui si ha un *recipiente aperto*, il liquido evapora completamente assorbendo calore dall'esterno.

Al contrario se il liquido è posto in un *recipiente chiuso*, le particelle inizialmente evaporano sino ad arrivare ad una situazione di equilibrio. La pressione che si stabilisce in questa condizione di equilibrio è detta pressione o **tensione di vapore**.

Tensione di vapore

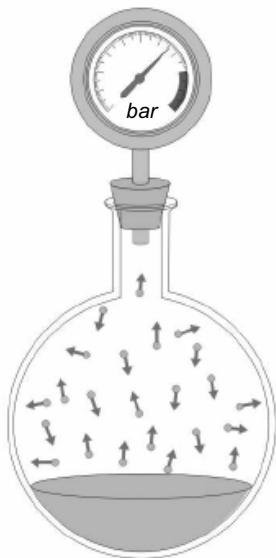
Per comprendere questo fenomeno, supponiamo di prendere un recipiente vuoto (privo di aria), e di riempirlo parzialmente con un liquido e mantenerlo a **temperatura costante**. Il **recipiente è chiuso**.

Inizialmente un certo numero di particelle tenderanno ad evaporare, concentrandosi sempre di più nello spazio sovrastante il liquido.



Lasciando inalterato il valore della temperatura, si arriverà ad una situazione di **equilibrio** (dinamico), nella quale, il numero di particelle che evaporano in un determinato intervallo di tempo, è uguale al numero di quelle che ritornano nel liquido.

Il vapore in tale situazione si dice saturo ovvero la sua pressione è tale per cui nessuna altra molecola può aggiungersi a quelle già esistenti, senza che un'altra le faccia spazio.



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**.

Essa **interessa tutti i liquidi e dipende**, oltre che dalla natura delle particelle e dall'intensità delle loro reciproche interazioni, anche dalla **temperatura** e dalla **pressione** cui si trova il liquido. (l'evaporazione, come detto, è favorita da un aumento della temperatura e dalla diminuzione della pressione).

La tensione di vapore fornisce una indicazione sulla volatilità della sostanza, infatti più la tensione di vapore è grande più la sostanza evapora con facilità.

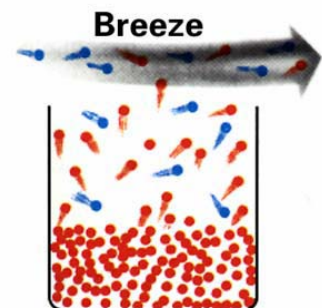
Se il liquido anziché in un recipiente chiuso è posto in un **recipiente aperto** l'equilibrio non viene mai raggiunto e il liquido evapora ed il livello nel recipiente diminuisce fino all'esaurimento.

Temperatura di ebollizione

Aumentando la temperatura, la tensione di vapore del liquido cresce sino ad un valore caratteristico rappresentato dalla pressione esterna (generalmente quella atmosferica).

Quando la tensione di vapore del liquido uguaglia la pressione esterna, le bolle di vapore riescono a formarsi all'interno del liquido stesso dando vita al fenomeno chiamato ebollizione.

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



La temperatura di ebollizione costituisce un indice della volatilità della sostanza. Tanto più alto è il suo valore tanto minore è la tendenza di quest'ultima a passare allo stato aeriforme.

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.

L'acqua a pressione di 1 atmosfera bolle a 100°C. In montagna la pressione atmosferica è minore di 1 atmosfera e l'acqua posta in un recipiente aperto, bolle a una temperatura inferiore ai 100°C (per esempio, a 1200 m di altezza bolle a 96 °C).

Nella tabella seguente sono riportati a titolo di esempio i valori delle temperature di ebollizione di alcune sostanze comuni riferiti alla pressione atmosferica.

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

Esaminando la tabella si può dedurre che, mentre la benzina ha una temperatura di ebollizione superiore alla temperatura ambiente, il GPL bolle a temperature molto inferiori allo zero. Ciò significa che, a differenza della benzina, per mantenere il GPL allo stato liquido, è necessario sottoporlo ad una pressione superiore a quella atmosferica.



Nella pentola a pressione il vapore trattenuto al suo interno crea un aumento della pressione, che determina un aumento della tensione di vapore sino a 2atm. Questo consente all'acqua di bollire a una temperatura più alta, intorno ai 122° C. Un foro cui è applicato un piccolo peso serve a equilibrare la pressione, in modo che il vapore in eccesso possa essere rilasciato dalla caldaia.

Altro esempio è la caldaia delle vecchie locomotive a vapore. L'aumento di pressione fino a 17 atm determina l'aumento della tensione di vapore che consente all'acqua di bollire a 205°C.



5. La caldaia della locomotiva: a 17 atm, l'acqua bolle a 205 °C.

1.1.3 Liquefazione e 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).

Liquefazione e condensazione di un aeriforme possono avvenire in due modi:

1. **sottraendo calore** sino ad abbassarne la temperatura al valore di ebollizione;
2. **aumentando la pressione**; in questo caso affinché il gas possa liquefare la temperatura dovrà essere inferiore alla sua *temperatura critica*.

1. Se si diminuisce la temperatura di un gas o di un vapore, **sottraendo calore** alla sostanza, si raggiunge una temperatura caratteristica di ogni aeriforme, alla quale ha inizio il processo di liquefazione o di condensazione (gas o vapore diventano liquidi). Questa temperatura coincide con quella di ebollizione.

Infatti la temperatura di ebollizione di un liquido è quella temperatura alla quale la tensione di vapore del liquido vale 1atm. Se portiamo il gas o il vapore alla temperatura di ebollizione, poiché la sua tensione di vapore varrà 1atm, non occorre esercitare alcuna sovrappressione in quanto sarà sufficiente la pressione ambiente per operare la liquefazione del gas.

Il GPL a pressione atmosferica ha una temperatura di ebollizione di -42°C . Pertanto se volessimo renderlo liquido sottraendo calore dovremmo abbassare la sua temperatura fino alle temperatura di -42°C .

Il cloro a pressione atmosferica ha una temperatura di ebollizione di -34.6°C . Pertanto per renderlo liquido occorre abbassare la sua temperatura fino -34.6°C .



Si comprende facilmente che portare allo stato liquido un gas sottraendo calore è una operazione molto onerosa, soprattutto se la temperatura di ebollizione è molto bassa. Pertanto per ottenere la liquefazione di un gas generalmente si opera operando un aumento di pressione.

2. Il passaggio da aeriforme a liquido può essere ottenuto anche **aumentando la pressione**. In questo caso, affinché un gas o un vapore passi allo stato liquido, è necessario che la **temperatura sia inferiore alla temperatura critica**.



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

I gas che hanno temperatura critica superiore a quella ambiente possono essere liquefatti con pressioni relativamente modeste.

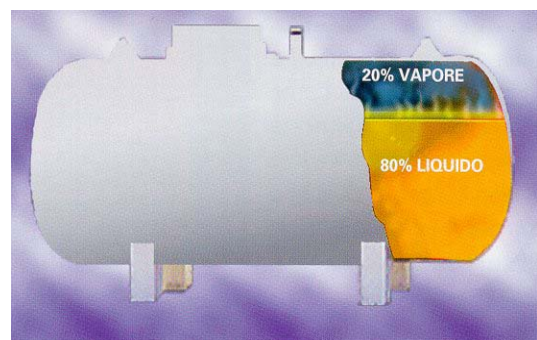
Il vapore d'acqua presenta una temperatura critica di 365°C e quindi è possibile passare allo stato liquido mediante compressione.

Nella tabella seguente 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

Il GPL come si nota dalla tabella è un tipo di gas che presenta una temperatura critica molto alta, pertanto, a temperatura ambiente, è possibile portarlo allo stato liquido operando una compressione.

Proprio questa caratteristica fa del GPL un tipo di combustibile molto diffuso, essendo liquefacibile, operando una compressione sufficientemente elevata (circa 8atm) che consente di conservarlo allo stato liquido in serbatoi che non richiedono particolari prestazioni meccaniche.



1.1.4 Solidificazione

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



Generalmente la solidificazione avviene quando la temperatura scende al di sotto di una temperatura caratteristica, che varia da sostanza a sostanza, che coincide con la temperatura a cui avviene il fenomeno inverso ovvero la fusione.

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

1.2 Proprietà fisiche della materia

1.2.1 Volume

E' la **porzione di spazio occupata da un corpo** e varia in funzione della temperatura e della pressione.



Tale variazione non è significativa nei **solidi** e nei **liquidi** in quanto, anche se possono subire modeste dilatazioni, sono da considerarsi **incomprimibili**.

Nei **gas**, invece, è determinante in quanto essi possono subire notevoli **dilatazioni o compressioni** per effetto, appunto, di pressione e temperatura.

Il volume si misura in metri cubi (**m³**).

1.2.2 Massa

Si definisce **massa** la quantità di materia che costituisce un corpo.

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



1.2.3 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.

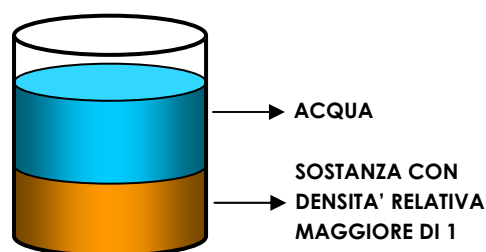
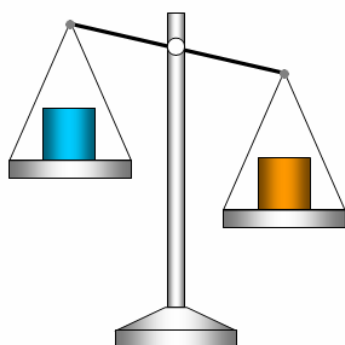
La densità si misura in chilogrammi al metro cubo (**kg/m³**).

1.2.4 Peso specifico relativo all'acqua

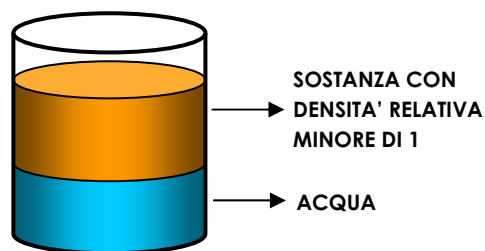
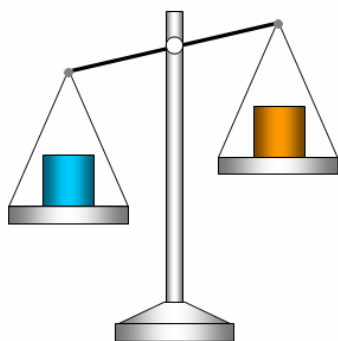
E' il rapporto, calcolato a 20°C, fra la densità di una sostanza allo stato liquido (o solido) e la densità dell'acqua.

Essa fornisce importanti informazioni sul comportamento dei liquidi o dei solidi **non miscibili in acqua**.

Se la densità relativa all'acqua è **maggiore di 1**, il liquido (o il solido), posto in un recipiente contenente acqua, tenderà ad adagiarsi sul fondo.



Se la densità relativa all'acqua è **minore di 1**, il liquido (o il solido), posto in un contenitore contenente acqua, tenderà a galleggiare.



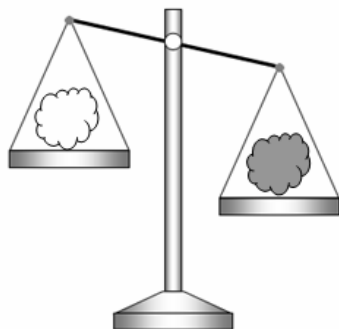
Sostanza (allo stato liquido)	Peso specifico relativo all'acqua
Acetone	0.79
Benzina	0.70
Gasolio	0.82
GPL (liquido)	0.51
Pentano	0.62

1.2.5 Densità relativa all'aria

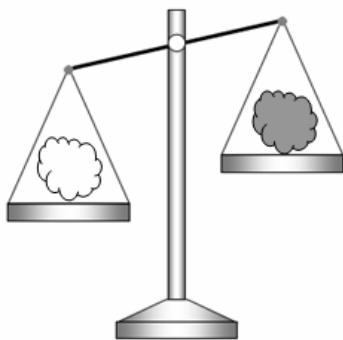
E' il rapporto calcolato, a 20°C e 1atm, tra la densità del gas e la densità dell'aria.

Essa fornisce informazioni sul comportamento dei gas o vapori dopo l'emissione accidentale.

Se la densità relativa all'aria è **maggiore di 1**, il gas o vapore, tenderà a rimanere stratificato in basso (es.GPL)



Se la densità relativa all'aria è **minore a 1**, il gas o vapore, tenderà a salire verso l'alto (es. metano).



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

1.3 Atomi e molecole

Tutta la materia (solida, liquida o aeriforme) è costituita da una combinazione di elementi chiamati **atomi** legati tra loro attraverso legami chimici.

La più piccola parte di una sostanza che possiede le stesse proprietà di quella sostanza è chiamata **molecola**.

Ogni molecola è costituita da due o più atomi legati fra loro in numero ben determinato ed è caratterizzata da un nome e una formula.



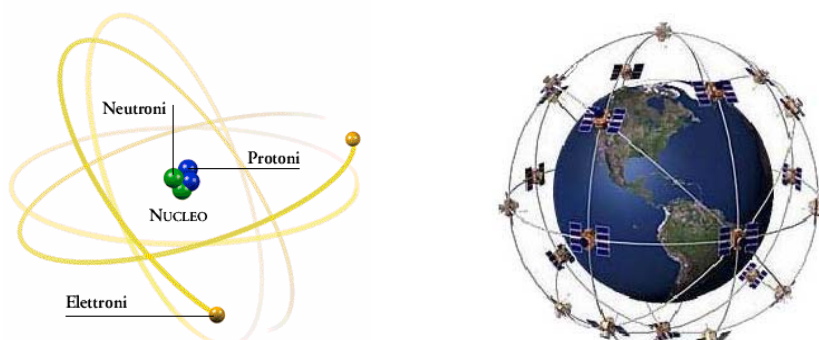
La formula descrive la composizione della sostanza attraverso i simboli degli elementi in essa contenuti.

Gli indici rappresentano il numero degli atomi di un dato elemento presente nella molecola.

Se l'indice non è presente allora nella molecola è presente un solo atomo di quell'elemento. Esaminando la molecola dell'acqua H_2O , il 2 sta ad indicare che in ogni molecola di acqua ci sono 2 atomi di idrogeno ed 1 di ossigeno; la molecola di metano CH_4 è composta da un atomo di carbonio legato a quattro atomi di idrogeno; la molecola dell'anidride carbonica CO_2 ha un atomo di carbonio e 2 di ossigeno.

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

Si pensi, per analogia, ai satelliti che ruotano intorno alla terra percorrendo determinate orbite.



I **protoni** presenti nell'atomo sono particelle dotate di **carica elettrica positiva** che risulta uguale e opposta a quella dell'**elettrone** dotato di **carica elettrica negativa**.




I **neutroni**, a differenza dei protoni e degli elettroni hanno **carica elettrica nulla**.

Se il numero di protoni in un atomo è pari a quello degli elettroni, si dice che la sua carica netta è neutra, ovvero ci sono tante cariche positive quante sono quelle negative e quindi la carica elettrica risultante è nulla.

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

Anche l'elettrone è dotato di massa, quest'ultima però risulta trascurabile rispetto a quella dei protoni e dei neutroni.

Il **peso della materia** è pertanto fornito unicamente dalla somma dei protoni e dei neutroni.

			
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**.

L'atomo di carbonio C è costituito da 6 protoni, 6 neutroni e 6 elettroni. Quindi il numero di massa vale 12 mentre il numero atomico è 6.

L'atomo di azoto N è costituito da 7 protoni, 7 neutroni e 7 elettroni. Quindi il numero di massa vale 14 mentre il numero atomico è 7.

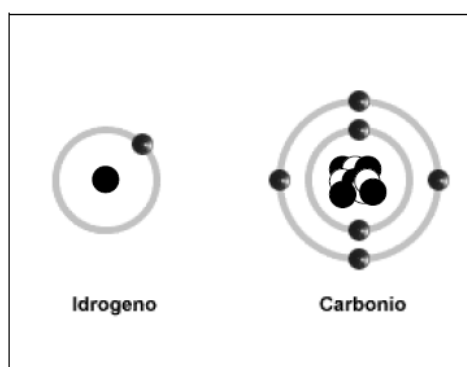


L'idrogeno H è l'unico elemento che ha protoni ma non ha neutroni (così ha deciso la natura).

Pertanto essendo il numero di protoni pari a 1 e quello dei neutroni pari a zero, il numero di massa è 1 e coincide numericamente con il numero atomico che vale anch'esso 1.

Elemento	Simbolo	Numero Protoni	Numero Neutroni	Numero Elettroni
Idrogeno	H	1	0	1
Carbonio	C	6	6	6
Azoto	N	7	7	7
Ossigeno	O	8	8	8
Sodio	Na	11	12	11
Zolfo	S	16	16	16
Calcio	Ca	20	20	20

Struttura atomica di alcuni elementi più comuni

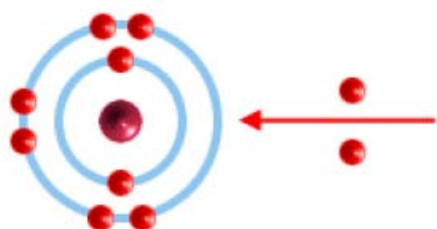


Gli **elettroni** hanno **carica elettrica negativa** e sono responsabili del comportamento chimico degli atomi ovvero stabiliscono la tendenza a reagire fra loro formando legami.

Si è detto in precedenza che gli elettroni si muovono su determinate orbite, chiamate orbitali atomici.

Ogni orbita costituisce un determinato livello energetico e ospita un ben definito numero di elettroni.

L'attività chimica di un atomo ovvero la sua tendenza a formare legami con altri atomi è determinata proprio dal grado di riempimento del livello energetico più esterno.

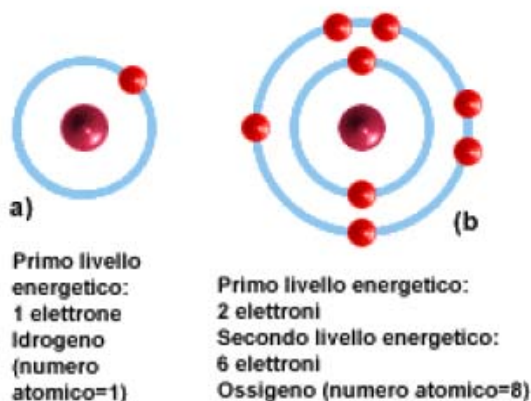


Ad esempio se tale livello energetico contiene 6 elettroni, ma può contenerne fino ad 8, l'atomo tenderà ad acquistare, appena possibile, i due elettroni mancanti, al fine di raggiungere una maggiore stabilità ovvero tenderà a reagire con un altro atomo.

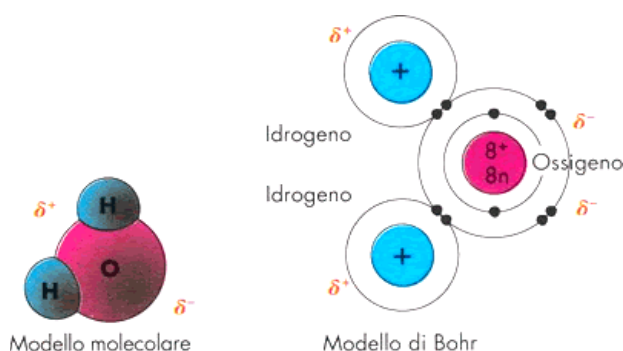
Gli atomi tendono infatti a completare il loro livello energetico esterno riempiendolo col

massimo numero di elettroni che esso può contenere. Una tale situazione conferisce loro la massima **stabilità**.

L'**idrogeno** che ha un solo elettrone sarà rappresentabile con un nucleo centrale ed un elettrone che si muove all'interno del primo livello energetico (il primo livello energetico può contenere fino a due elettroni). Questo spiega la tendenza dell'idrogeno ad acquisire un elettrone.



L'**ossigeno** con 8 elettroni avrà 2 livelli energetici, dei quali il primo può contenere solo due elettroni, mentre il secondo ne contiene 6, anche se in realtà può accettarne fino ad 8. Questo spiega la tendenza dell'ossigeno ad acquistare due elettroni.



Negli atomi della maggior parte degli elementi il livello energetico più esterno è riempito solo parzialmente e pertanto hanno tendenza a reagire con altri atomi in modo tale che dopo la reazione abbiano il livello energetico esterno completo.

Così alcuni atomi perdono elettroni ed altri li acquistano, mentre in altri casi ancora come quello della molecola d'acqua, gli atomi mettono in comune i loro elettroni.

Quando due o più atomi si legano fra loro, essi debbono avvicinarsi fino a stabilire un contatto elettronico.

Gli elettroni situati sull'ultimo livello sono quelli che, interagendo fra loro, danno origine ai legami chimici.

Non tutti gli atomi possiedono nella stessa misura la facoltà di attirare a sé gli elettroni di altri atomi.

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

Diremo che l'**elettronegatività** è **bassa** per atomi che hanno pochi elettroni nel livello esterno, particolarmente in quelli che ne hanno uno solo (l'idrogeno), mentre diremo che

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

Un esempio di elemento molto elettronegativo, oltre all'ossigeno, è il carbonio "C" il quale ha un'elevata tendenza a legarsi con l'idrogeno. Questo elemento è alla base di tutti i combustibili più comuni (gasolio , benzine, GPL, acetilene, etano, materie plastiche).

Ogni elemento esistente in natura è riportato su una tabella detta **Tavola periodica** degli elementi.

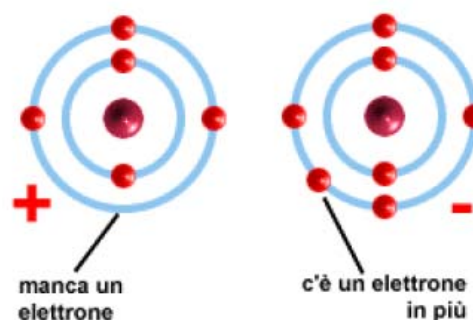
La **tavola è formata da gruppi e periodi** nella quale gli elementi vengono raggruppati in base alla loro configurazione elettronica.

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

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

L'atomo con una carica netta diversa da zero viene chiamato **ione**.

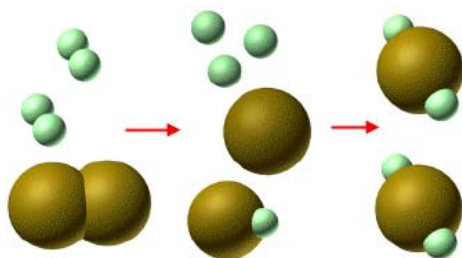
Se gli elettroni sono più dei protoni l'atomo risulta carico negativamente (ione negativo), viceversa se i protoni sono più degli elettroni risulta carico positivamente (ione positivo).



1.4 Reazione chimica

Una **reazione chimica** consiste nella **ridistribuzione** degli atomi in molecole o aggregati diversi da quelli esistenti precedentemente e quindi nella **formazione di sostanze nuove, costituite dagli stessi elementi** (atomi) da cui hanno preso **origine**.

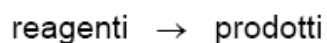
Queste trasformazioni comportano solitamente la rottura di alcuni legami nei reagenti e la **formazione di nuovi legami** che andranno appunto a caratterizzare i prodotti.



Per fissare le idee immaginiamo di avere a disposizione 3 coppie di biglie (3 molecole).

Per ottenere una nuova configurazione (ovvero nuove molecole), partendo da quella iniziale, dovremmo prima separare le coppie (rompere i legami) e poi ridistribuirle per ottenere la disposizione finale desiderata (formazione di nuove sostanze).

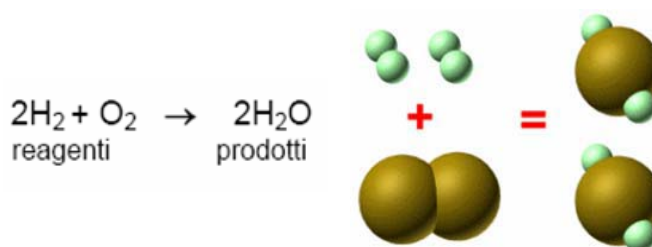
Tutte le reazioni chimiche possono essere rappresentate attraverso **equazioni chimiche**, nelle quali **a sinistra** vengono scritti tutti i **reagenti**, **a destra** tutti i **prodotti** e fra di essi si pone una freccia che indica il verso della reazione:



Il termine **equazione** sta a significare che in ognuna di queste reazioni chimiche tutto ciò che sta prima della freccia, cioè i reagenti, viene convertito in uno o più prodotti : in questo passaggio nulla viene disperso (*nulla si crea e nulla si distrugge ma tutto si trasforma - Lavoisier 1772*).

Una **reazione è completa** quando nello stato finale le sostanze reagenti non sono più presenti o lo sono in quantità trascurabili ovvero tutti i reagenti si sono ricombinati trasformandosi in prodotti.

Si noti che per realizzare una reazione chimica completa occorre mettere insieme atomi e molecole delle varie sostanze in **quantità proporzionali** ai numeri indicati nella rispettiva equazione. Tali numeri prendono il nome di **coefficienti stechiometrici**.



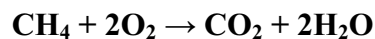
Inoltre, per la conservazione della massa, la somma degli atomi di ciascun elemento al primo membro è uguale alla somma degli stessi atomi al secondo membro.

Nella reazione mostrata in figura la molecola di ossigeno reagisce con due molecole di idrogeno formando due molecole d'acqua. Si noti che il bilancio complessivo degli atomi a sinistra e a destra della freccia è rimasto invariato, infatti il numero di atomi di idrogeno H presenti a sinistra della freccia è 4 e il numero degli atomi di ossigeno è 2.

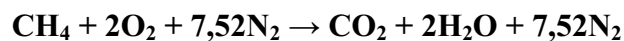
La proporzione tra idrogeno e ossigeno si dice che è 2:1.

Una **reazione è incompleta** o parziale quando nello stato finale oltre ai prodotti della reazione è presente ancora una parte più o meno cospicua delle sostanze reagenti.

Volendo analizzare nel particolare la combustione del metano si ha che la reazione stechiometrica di combustione è:



Dato che le combustioni di nostro interesse avvengono utilizzando l'aria anziché l'ossigeno puro, bisogna tenere conto della presenza dell'azoto. L'aria è teoricamente formata dal 21% di ossigeno e dal 79% da azoto; ciò vuol dire che il rapporto ossigeno/azoto è di 1:3,76. Pertanto la reazione di combustione diventa:



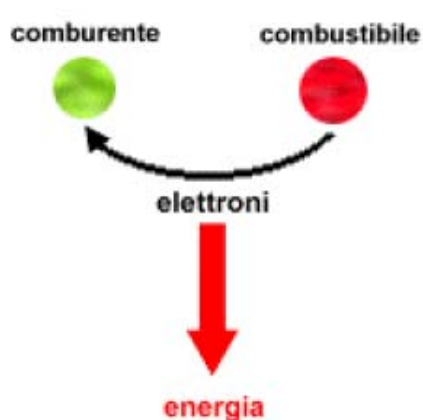
Nella pratica non si brucia mai secondo la reazione stechiometrica. Questo perché rispettando le giuste quantità si rischia di avere incombusti; ecco perché generalmente si cerca sempre di favorire un eccesso d'aria (o di ossigeno).

Stechiometricamente per 1 volume di metano servono 9,52 volumi di aria, nella realtà si ha che il rapporto metano/aria è di circa 1:10.

1.5 Generalità sulla combustione

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

Nella definizione il termine **ossidazione** va inteso nel significato che ha in chimica, cioè **come perdita di elettroni** ovvero gli elettroni passano dal combustibile al comburente.



Quando più atomi entrano in competizione per gli stessi elettroni, i più elettronegativi hanno il sopravvento e attirano verso di sé gli elettroni contesi.

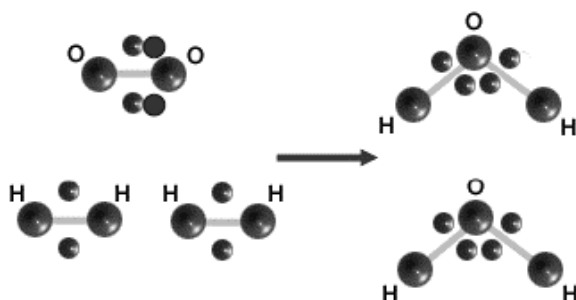
In particolare i **combustibili**, entrando in contatto con i comburenti, **perdono elettroni** (si ossidano), mentre i **comburenti acquistano elettroni** (si riducono).

L'ossigeno, che è fortemente elettronegativo, riesce a strappare elettroni a tutti gli elementi con la sola eccezione del fluoro, l'elemento più elettronegativo in assoluto.

Vediamo cosa succede nella combustione più semplice, quella che coinvolge idrogeno ed ossigeno:



All'inizio nelle molecole di idrogeno ed ossigeno gli elettroni di legame sono egualmente condivisi tra gli atomi, come è logico che avvenga tra atomi identici. Nel prodotto di reazione, invece, gli elettroni di legame sono di fatto completamente spostati verso l'ossigeno, più elettronegativo.



Analogamente, nella combustione del carbonio:



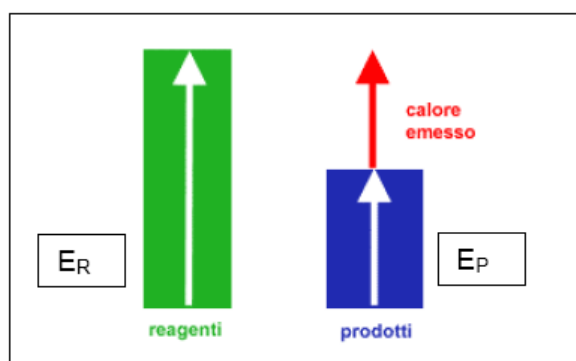
ogni atomo di carbonio mette in comune all'inizio i suoi elettroni di legame con gli altri atomi di carbonio.

Nel prodotto di reazione con l'ossigeno gli elettroni di legame risultano tutti spostati verso l'ossigeno, più elettronegativo.

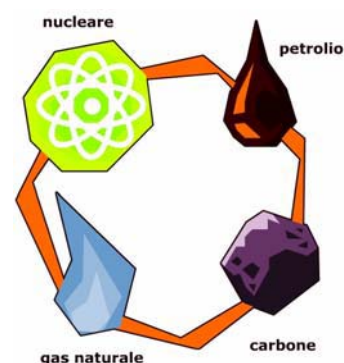


Ma come si spiega la liberazione di calore e quindi l'**esotermicità** delle reazioni di combustione?

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**.



Le sostanze **combustibili** più comuni sono, in larga parte, composte di idrogeno e carbonio e si presentano generalmente sotto la forma solida, liquida, gassosa (derivati del legno, del petrolio e il metano).



Il **comburente** è quasi sempre l'ossigeno dell'aria.

L'innalzamento della temperatura si manifesta con l'emissione di onde elettromagnetiche nel campo del visibile. La zona di reazione appare allora luminosa e si parla di **fiamme**.



Nelle combustioni in aria, di sostanze che contengono nella loro molecola idrogeno e carbonio si ha quindi formazione di acqua liquida o vaporizzata e di anidride carbonica.

Se però l'aria non è sufficiente ad ossidare completamente il carbonio (reazione incompleta) si ha presenza, più o meno forte, di **ossido di carbonio** (meglio conosciuto come monossido di carbonio).

Mescolati ai prodotti di reazione del carbonio e dell'idrogeno si trovano di solito i prodotti di reazione dello zolfo, presente in quasi tutti i combustibili, **gas** inerti come l'azoto, gas derivanti dalla decomposizione termica di eventuali sostanze organiche, ed infine incombusti e residui minerali chiamati **fumi**.

Quindi a seguito di una combustione si ha produzione di **calore, fiamme, gas e fumi**.

1.6 Velocità di combustione

La **combustione** è un processo di **ossidazione** che, in natura, di solito ha luogo in presenza di ossigeno atmosferico.

Come tutte le reazioni che liberano energia, anche le combustioni dovrebbero avvenire spontaneamente. Perché si verifica allora che materiali combustibili in presenza dell'ossigeno rimangono in uno stato di "letargo" senza che nulla accada?

Le **molecole "reagenti"** devono infatti **scontrarsi** tra loro e riarrangiare opportunamente i loro atomi prima di riuscire a **formare** le **molecole "prodotti"**.

L'arrangiamento degli atomi può richiedere una elevata energia, detta appunto **energia di attivazione** e non tutte le molecole che si scontrano hanno energia sufficiente a superare la barriera di attivazione.

Questa è la ragione per cui in un'atmosfera piena di ossigeno, non tutto ciò che è combustibile (inclusi noi stessi) prende fuoco (un foglio di carta in aria non brucia se non viene fornita un'adeguata energia di attivazione che dà inizio alla reazione di combustione).

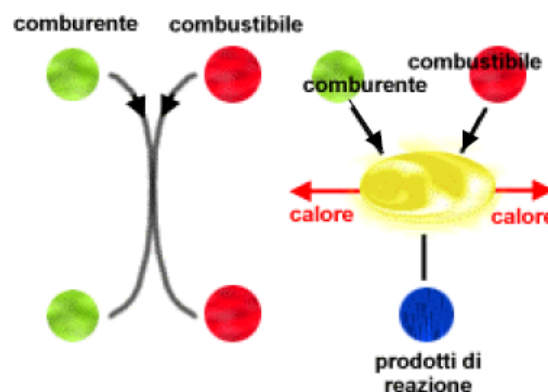
L'energia posseduta dalle molecole è di tipo cinetico, cioè legata al loro moto e quindi alla temperatura. Più alta è la temperatura, più veloci si muovono le molecole, e quindi più probabile è che nell'urto superino la barriera di attivazione.

La **temperatura** è il parametro che **più** influenza la **velocità di reazione**. Tutte le reazioni accelerano all'aumentare della temperatura perché le molecole, più veloci, collidono tra loro con maggior frequenza ed efficacia.

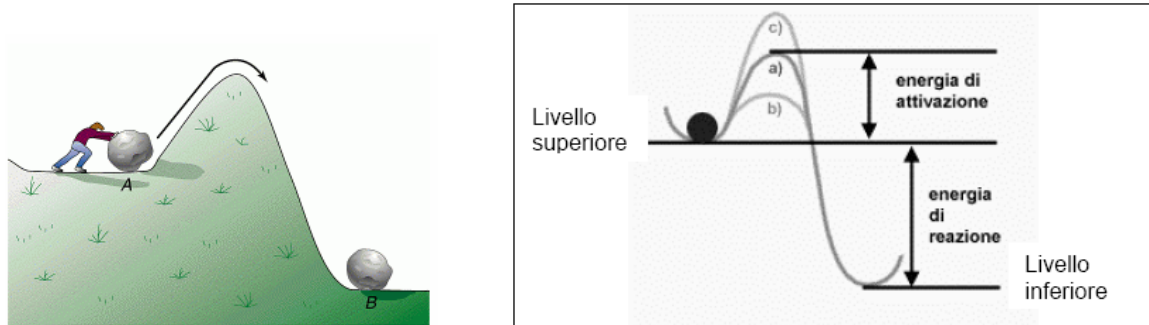
A bassa temperatura le **molecole** si urtano senza reagire.

Al contrario **ad alta temperatura reagiscono tra di loro** in quanto l'energia d'urto è superiore all'energia di attivazione.

A tal proposito si veda la figura dove viene rappresentato, partendo dal lato sinistro, il caso in cui combure e combustibile, si urtano senza dar vita a prodotti di reazione e il caso in cui il livello energetico è tale, invece, da permettere una vera e propria reazione di combustione con la **produzione di calore e prodotti finali diversi da quelli iniziali**.



Il concetto di energia di attivazione è illustrato nella figura che segue: la sfera non può precipitare dal livello superiore a quello inferiore liberando l'energia potenziale se prima non supera la **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).

Ma da cosa è costituita, in realtà, la barriera di attivazione?

Una spiegazione convincente si può trovare nella teoria dello stato di transizione.

Secondo questa teoria, ogni reazione per aver luogo deve superare una "cima di collina" rappresentata da un livello energetico, tipico dei complessi attivati, superiore al livello iniziale.

La **velocità di reazione** oltre ad essere fortemente influenzata dalla temperatura e dall'energia di attivazione, dipende inoltre dalla **concentrazione**, cioè dal numero per unità di volume, di **complessi attivati** che si formano nella miscela combustibile-comburente.

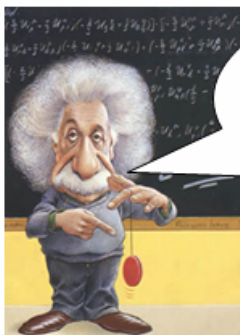
La concentrazione dei complessi attivati dipende a sua volta dalla temperatura.

Sopra una certa temperatura detta **temperatura di accensione o temperatura di ignizione**, si verificano un gran numero di collisioni e la concentrazione dei complessi attivati aumenta e si verifica la combustione.

Sotto questa temperatura le collisioni molecolari sono poco probabili e la combustione procede perciò in forma lenta o latente.

Se poi, in un volume abbastanza grande, combustibile e comburente, ben miscelati, si portano alla temperatura di accensione, la liberazione di energia può avere l'andamento di una esplosione.

1.7 Test di autovalutazione n. 1



Sei pronto? Allora rispondi alle 25 domande e quando avrai le risposte dal docente, calcola il tuo voto sapendo che ogni risposta corretta vale 4 punti.

Domanda n.1

Collega, utilizzando una freccia, la definizione corrispondente:

solidificazione
brinamento
sublimazione
fusione
liquefazione
evaporazione

passaggio da solido a liquido
passaggio da liquido ad aeriforme
passaggio da aeriforme a liquido
passaggio da liquido a solido
passaggio da aeriforme a solido
passaggio da solido ad aeriforme

Domanda n.2

Quando ti asciughi i capelli quale fenomeno osservi?

- a. la condensazione dell'acqua
- b. l'evaporazione dell'acqua
- c. la fusione dell'acqua

Domanda n.3

In una pentola senza coperchio a che temperatura bolle l'acqua?
Cosa accade quando si raggiunge la temperatura di ebollizione?
Cosa accade nella pentola a pressione?



Domanda n.4

Un liquido con una elevata tensione di vapore è più o meno volatile di uno con bassa tensione di vapore?

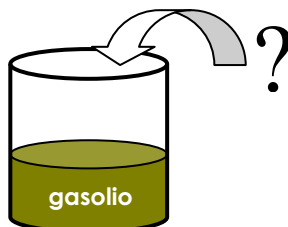
Domanda n.5

Nell'illustrazione è rappresentata la disposizione delle molecole nello stato solido, liquido e aeriforme. Scrivi sotto ogni figura lo stato di aggregazione corrispondente.



Domanda n.6

All'interno del recipiente indicato in figura è presente del gasolio. Quali caratteristiche deve avere il liquido da versare all'interno del contenitore affinché il gasolio possa trascinare ?



Domanda n.7

Una sostanza combustibile caratterizzata da una temperatura di ebollizione bassa è più o meno pericolosa di una sostanza che ha una temperatura di ebollizione alta?

Domanda n.8

Quali sono le condizioni in cui deve trovarsi un gas affinché possa essere liquefatto per compressione a temperatura ambiente?

Domanda n.9

La temperatura di ebollizione è maggiore o minore della temperatura critica?

Domanda n.10

Indica tra queste affermazioni quelle corrette:

- a. il gas è incomprimibile
- b. il vapore è comprimibile
- c. il gas è comprimibile e liquefacibile a temperatura ambiente se la temperatura critica è maggiore di quella ambiente

Domanda n.11

Quanti modi conosci per liquefare un gas?

Come si chiama la temperatura alla quale un gas inizia a liquefare spontaneamente?

Domanda n.12

Esistono molecole composte da più atomi?

Domanda n.13

Quali sono i componenti dell'atomo che ne determinano la massa?

Domanda n.14

Tra l'elettrone, il protone e il neutrone qual è quello che determina la capacità di un atomo a formare legami ?

Come si chiama la capacità di un atomo a formare legami?

Domanda n.15

In una gara di tiro alla fune per la contesa di elettroni, chi è il vincitore tra l'ossigeno e l'idrogeno?

Domanda n.16

Il numero atomico è uguale al numero di massa?

Domanda n.17

In una reazione chimica il numero di atomi reagenti è 5. Qual è il numero di atomi presenti nei prodotti?

Domanda n.18

In una reazione chimica si mettono a reagire idrogeno e ossigeno. Chi è quello che si ossida ovvero che cede elettroni all'altro atomo?

Domanda n.19

Una reazione chimica di combustione, libera o assorbe energia?
Come è chiamata questa energia?

Domanda n.20

In una reazione di combustione, cosa rappresenta la differenza di energia tra i reagenti e i prodotti?

Domanda n.21

Come si comporta un gas che ha densità relativa all'aria minore di uno?

Domanda n.22

Immaginiamo di trovarci in un ambiente in cui la temperatura è molto elevata circa 80°C.
La reazione avverrà più o meno velocemente rispetto ad una situazione in cui la temperatura è 10°C?

Domanda n.23

Come si chiama l'energia necessaria affinché una reazione di combustione abbia inizio?
Esiste un modo per abbassarla?
E se invece volessi ostacolare il processo di reazione cosa useresti?

Domanda n.24

Un litro di benzina e 5 litri di benzina hanno la stessa densità?

Domanda n.25

Che differenza c'è tra una combustione completa e una incompleta?

Voto _____ / 100

2 LA COMBUSTIONE

2.1 Propagazione della Combustione

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

E' un processo di ossidazione rapida durante il quale l'energia chimica si trasforma in energia termica, con la trasformazione del combustibile.

La combustione può avvenire con o senza sviluppo di fiamme superficiali. La combustione senza fiamma superficiale si verifica generalmente quando la sostanza combustibile non è più in grado di sviluppare particelle volatili e in questo caso si parla di braci.

La propagazione della combustione richiede la presenza contemporanea di tre requisiti fondamentali:

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



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

Affinché la combustione abbia luogo è necessaria una adeguata sorgente di calore (**fonte di innesco**: fiamme, scintille, corpi arroventati) che dia la necessaria energia per l'avvio dell'“incendio”, energia che deve essere superiore all'**energia di attivazione**, che è correlata sia al materiale combustibile, sia alla pezzatura con cui tale materiale è disponibile.

Con un fiammifero riesco ad accendere un foglio di carta, ma non riesco ad accendere un pacco di carta!



OSSIGENO

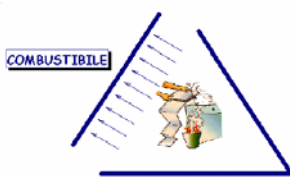
Solitamente il **comburente** è l'ossigeno contenuto nell'aria, ma sono possibili incendi di sostanze che contengono nella loro molecola una quantità di ossigeno sufficiente a determinare una combustione, quali ad esempio gli esplosivi.

Esistono comunque combustioni (ossidazioni rapide) che hanno luogo in assenza di ossigeno, come ad esempio per l'idrogeno che brucia in ambienti di cloro, formando acido cloridrico.

La presenza combinata del combustibile, del comburente e della temperatura o innesco, viene generalmente rappresentata nel **triangolo del fuoco**. Solo la contemporanea presenza di questi tre elementi dà luogo al fenomeno dell'incendio, e di conseguenza al mancare di almeno uno di essi l'incendio si spegne.



Quindi per ottenere lo spegnimento dell'incendio si può ricorrere a tre sistemi:



- **esaurimento del combustibile:** allontanamento o separazione della sostanza combustibile dal focolaio d'incendio;

- **soffocamento:** separazione del comburente dal combustibile o riduzione della concentrazione di comburente in aria;



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

Normalmente per lo spegnimento di un incendio si utilizza una combinazione delle operazioni di esaurimento del combustibile, di soffocamento e di raffreddamento.

E' da notare che **la maggior parte delle combustioni avviene in fase gassosa.**

Ciò risulta ovvio per i **combustibili** che si presentano già come **gas**, ma vale anche per quelli **liquidi e solidi**.

Infatti, nel caso dei combustibili liquidi, si ha prima una evaporazione del liquido (le molecole di combustibile che si trovano in fase liquida per effetto della temperatura passano in fase gassosa) e successivamente avviene la combustione della fase aeriforme. Anche nei solidi si ha prima un passaggio dalla fase solida a quella di vapore di alcune sostanze che bruciano subito e solo successivamente si ha la combustione del carbonio nel residuo.

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

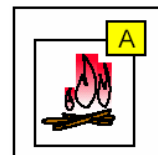
Una volta che la reazione di combustione ha avuto inizio in un punto, il calore si propaga e riscalda le zone circostanti, tale riscaldamento determina l'innescio di altre reazioni e quindi la **propagazione della combustione**.

2.1.1 Classificazione degli incendi

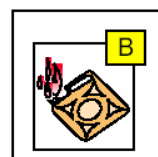
Gli incendi si classificano in relazione allo stato fisico dei materiali combustibili.

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

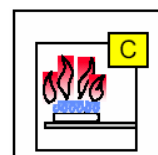
classe A incendi di materiali **solidi** con formazione di braci (*carta, cartoni, libri, legna, segatura, trucioli, stoffa, filati, carboni, bitumi grezzi, paglia, fuliggine, torba, carbonella, cellulose, pellicole cinematografiche di sicurezza, materie plastiche, zolfo solido, ...*)



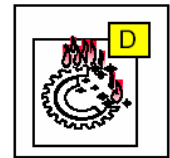
classe B incendi di **liquidi** infiammabili e solidi che possono liquefare (*petrolio, vernici, nafta, benzina, alcool, olii pesanti, etere solforico, glicerina, gomme liquide, resine, fenoli, zolfo liquido, trementina, ...*)



classe C incendi di **gas** infiammabili (*metano, propano, g.p.l., cloro, gas illuminante, acetilene, idrogeno, cloruro di metile, ...*)



classe D incendi di **metalli** combustibili e sostanze chimiche contenenti ossigeno comburente (*magnesio, potassio, fosforo, sodio, titanio, alluminio, electron (Al-Mg), carburi, nitrati, clorati, perclorati, perossidi*).



classe F incendi che interessano sostanze usate nella cottura (**oli e grassi vegetali o animali**)



La classificazione degli incendi consente l'identificazione della classe di rischio d'incendio a cui corrisponde una precisa azione operativa antincendio ovvero un'opportuna scelta del tipo di estinguente.

Un'altra categoria di incendi, non ricadente nei suddetti punti, tiene conto delle particolari caratteristiche degli **incendi di natura elettrica** nelle apparecchiature in tensione, un tempo definita «classe E» - termine oggi inusuale.

Rientrano in questa categoria gli incendi di trasformatori, armadi elettrici, quadri, interruttori, cavi, ed in generale utilizzatori in tensione.

2.2 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.

I vari tipi di combustibili possono essere **classificati in base allo stato fisico** (a temperatura e pressione ambiente) differenziandosi in combustibili solidi, liquidi, e gassosi.

Un'altra classificazione possibile si basa sull'origine dei combustibili, distinguendo tra combustibili naturali e derivati. I combustibili naturali si adoperano così come si trovano in natura, quelli derivati vengono forniti quali prodotti di trasformazione di combustibili naturali o di particolari lavorazioni industriali.

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

2.2.1 Combustibili solidi

I combustibili solidi sono i più abbondanti e quelli che vengono usati da più tempo.

La combustione delle sostanze solide è caratterizzata dai seguenti parametri:

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



Alla classe dei combustibili solidi appartiene il più antico ed il più noto fra i combustibili: il **legno**. Questo si produce continuamente nelle piante come risultato di sintesi biochimiche tra l'anidride carbonica e l'acqua con l'utilizzazione dell'energia solare.

Il legno è costituito da cellulosa (il componente fondamentale), lignina, zuccheri, resine, gomme e sostanze minerali varie, che danno luogo, al termine della combustione, alle ceneri. Stesse caratteristiche presentano tutte le sostanze che derivano dal legno come la carta, il lino, la juta, la canapa, il cotone, ecc.

Il grado di combustibilità di tutte queste sostanze, può essere alterato a seguito di particolari trattamenti (ad es. pittura).



Il legno può bruciare con fiamma più o meno viva - o addirittura senza fiamma - o carbonizzare a seconda delle condizioni in cui avviene la combustione.

La temperatura d'accensione del legno è di circa 250°C, tuttavia se il legno è a contatto con superfici calde per molto tempo possono avvenire fenomeni di carbonizzazione con possibilità di accensione spontanea a temperature anche molto minori.

Una caratteristica importante del legno per quanto riguarda la combustione è la **pezzatura**, definita come il **rapporto** tra il **volume del legno** e la sua **superficie esterna**. Se un combustibile ha una grande pezzatura vuol dire che le sue superfici a contatto con l'aria sono relativamente scarse ed inoltre ha una massa maggiore per disperdere il calore che gli viene somministrato.



In generale, quando il **combustibile è suddiviso in piccole particelle**, la **quantità di calore da somministrare è tanto più piccola quanto più piccole sono le particelle**, sempre che naturalmente si raggiunga la temperatura di accensione.

Così il legno che in grandi dimensioni può essere considerato un materiale difficilmente combustibile, quando invece è suddiviso allo stato di segatura o addirittura di polvere può dar luogo addirittura ad esplosioni.

Per un combustibile solido diventa quindi fondamentale la sua suddivisione.

Una grossa pezzatura comporta un basso rischio di incendio, mentre con una pezzatura piccola lo stesso materiale risulta molto pericoloso.

Va notato che nel caso di materiali di grossa pezzatura diventa rilevante non solo il fatto che la sorgente di calore abbia una temperatura elevata ma anche il tempo di esposizione alla sorgente di calore.

La bassa conduttività termica del legno (proprietà di trasmettere il calore) determina una minore velocità di propagazione della combustione.

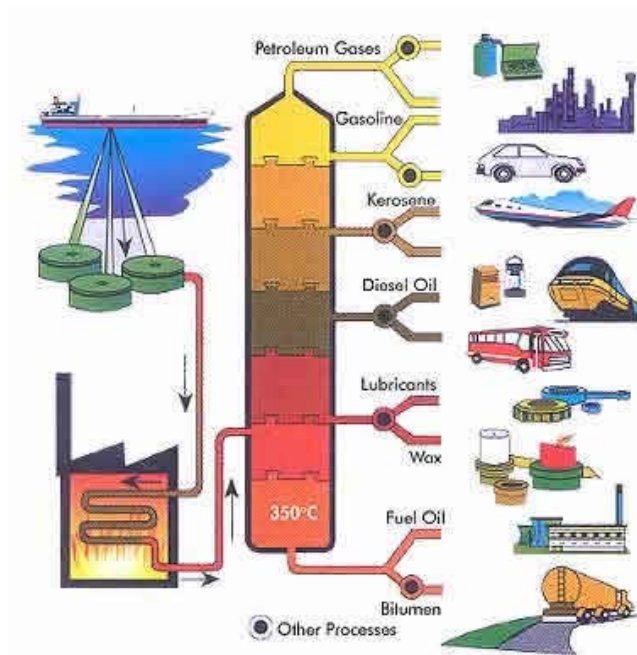
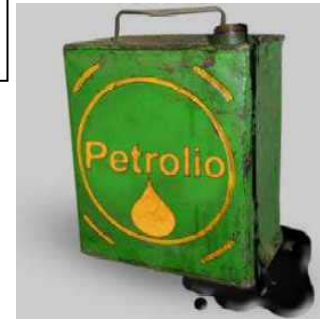


2.2.2 Combustibili liquidi

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

Vengono adoperati sia nei motori che negli impianti di riscaldamento.

I combustibili liquidi artificiali sono pochi e di scarsa importanza, mentre ben più importante è la classe dei combustibili liquidi naturali, alla quale appartengono i petroli.



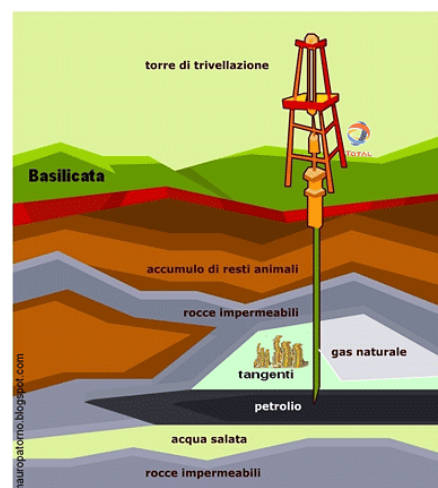
Il **petrolio** non è un'unica sostanza, ma una miscela formata prevalentemente da un gran numero di idrocarburi (composti chimici formati esclusivamente da carbonio ed idrogeno) con proprietà chimiche e fisiche molto diverse. Nei diversi tipi di petroli possono essere presenti anche sostanze diverse dagli idrocarburi, ad esempio composti dello zolfo (che determinano il tenore di zolfo), che sono una delle principali cause dell'inquinamento da anidride solforosa nelle grandi città.

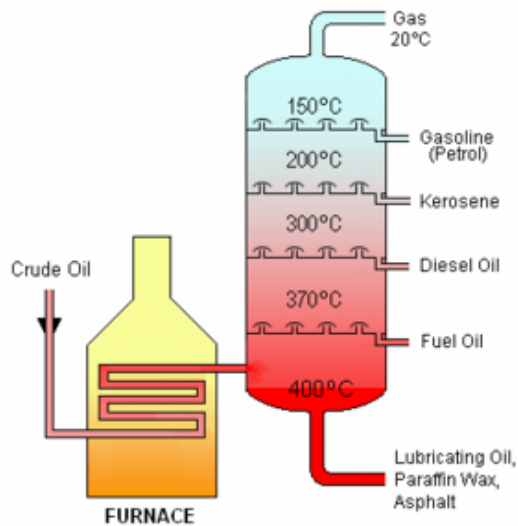
Si deve tenere presente che, anche se il **petrolio** nel suo complesso è un **liquido**,

i diversi idrocarburi che lo compongono possono essere liquidi, solidi o gassosi (benzine, plastiche, GPL).

Il petrolio viene estratto in diverse regioni del mondo mediante l'uso di pozzi e piattaforme marine. Esso deriva dalla lenta trasformazione di materiali organici accumulatisi sul fondale di bacini marini e portati nel sottosuolo dall'evoluzione geologica.

Il petrolio appena estratto è chiamato **greggio** e non viene usato come tale, ma trasportato in diversi modi (oleodotti, navi cisterna) fino a particolari impianti, chiamati **raffinerie**, nei quali viene lavorato per ottenere i suoi derivati più importanti.





La **principale lavorazione** a cui viene sottoposto il greggio è la **distillazione**. Questa è una tecnica che consente di separare i diversi componenti di una miscela liquida scaldandola lentamente e raccogliendo i vapori delle sostanze componenti man mano che evaporano alle diverse temperature.

La prima grossolana distillazione consente di separare frazioni che distillano in intervalli di temperatura piuttosto ampi. Successivamente queste frazioni vengono ulteriormente distillate

per ottenere i prodotti finali: gas di raffineria, benzine, cherosene, gasolio.

La parte liquida che rimane come residuo della distillazione costituisce gli oli pesanti, quella solida il bitume.

Le benzine sono la frazione che si separa fra i 60° ed i 200°C ed il loro impiego più importante è come carburanti nei motori a scoppio, ad esempio nelle automobili.

Il cherosene è la frazione che distilla fra 160° e 270°C, molto usata nel riscaldamento domestico.

Il gasolio quella che distilla fra 250° e 340°C, che trova l'impiego più importante quale combustibile dei motori Diesel.

Gli oli pesanti vengono di solito sottoposti a trattamenti che consentono di trasformarli in benzine, ben più preziose, mentre il bitume viene usato prevalentemente per la pavimentazione delle strade.

Come visto in precedenza un liquido se riscaldato tende ad evaporare. Nei liquidi combustibili è di fondamentale importanza sapere qual'è il valore della temperatura in corrispondenza del quale il liquido emette una quantità di vapori sufficienti, affinché, opportunamente miscelati con l'aria e in presenza di innesco, generano una reazione di combustione.

Questo particolare valore della temperatura è detto **temperatura di infiammabilità**.

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

Una considerazione importante riguarda la densità dei vapori infiammabili. **Ricorda sempre** che i **vapori più pesanti dell'aria** (densità relativa all'aria maggiore di 1), in assenza o scarsità di ventilazione **tendono ad accumularsi e a ristagnare nelle zone basse** dell'ambiente formando facilmente miscele infiammabili.

2.2.3 Combustibili gassosi

Sono definiti gas solo quelle sostanze che si trovano allo stato gassoso nelle condizioni normali di pressione e di temperatura (pressione atmosferica e temperatura di circa 15°C).

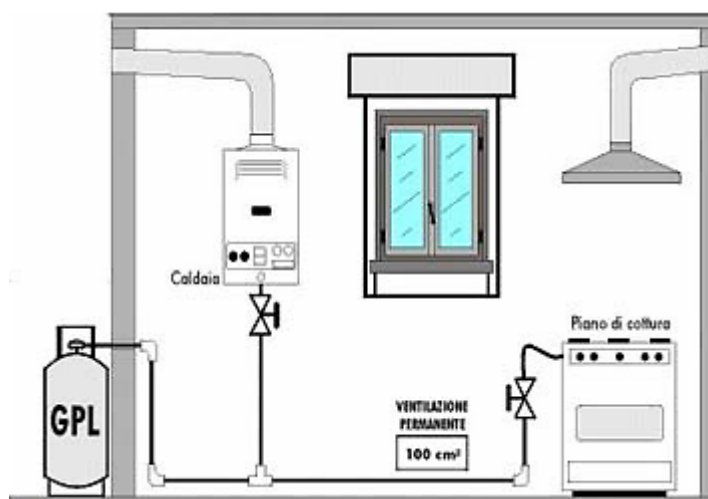
Un **gas** è un aeriforme **caratterizzato da una temperatura critica inferiore alla temperatura ambiente**.

Per estensione, anche gli aeriformi che hanno una temperatura critica maggiore a quella ambiente vengono detti gas: un esempio è dato dal GPL, caratterizzato da una temperatura critica di 97°C .

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.

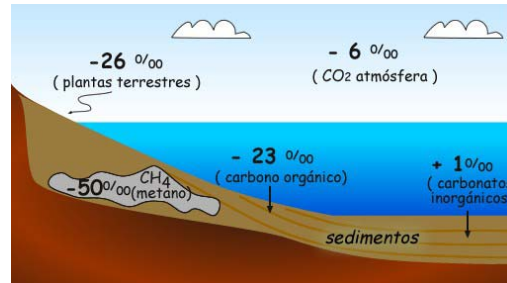
I combustibili gassosi più importanti sono senza dubbio il metano, il propano e il butano.

Questi combustibili possono essere trasportati e distribuiti con facilità allacciando le abitazioni direttamente alla rete delle società del gas, od a piccoli depositi locali.



Il metano, gas naturale, è molto diffuso nel sottosuolo di un gran numero di paesi, inclusa l'Italia, e spesso si trova associato ai giacimenti petroliferi.

L'uso principale del metano è nelle attività domestiche (fornelli ed impianti di riscaldamento a gas), ma non mancano naturalmente gli impieghi industriali.



Fra i combustibili gassosi artificiali, merita un cenno l'idrogeno, che può essere ottenuto a partire dall'acqua attraverso un procedimento chiamato idrolisi ed attualmente oggetto di un gran numero di studi per il suo possibile impiego come combustibile pulito (l'unico prodotto della sua combustione è infatti il vapore d'acqua).

I gas vengono classificati in funzione della loro **densità relativa all'aria**. Come visto in precedenza, un gas è più pesante dell'aria se la sua densità relativa all'aria è maggiore di 1 e più leggero se è minore di 1. Praticamente, però, un gas è da ritenersi realmente leggero, ovvero in grado di disperdersi rapidamente, se la sua densità relativa all'aria è minore di 0.8. Pertanto i gas vengono classificati nel seguente modo:

- **gas pesanti**
- **gas leggeri**

Un gas è **pesante** se la sua **densità relativa all'aria** è **maggiore di 0.8** (es. GPL, acetilene, ecc.). Un gas pesante, che esce da un contenitore a seguito di un rilascio accidentale, tende a stratificare e a permanere nella parte bassa dell'ambiente.



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

Un gas leggero, se liberato tende ad andare in alto.

2.2.4 Conservazione dei gas

I gas vengono pertanto conservati all'interno di contenitori (grandi serbatoi, bombole, bottiglie ecc.) in quattro modalità diverse:

- **compressi**
- **liquefatti**
- **refrigerati o criogenici**
- **disciolti**

La **conservazione di un gas** soprattutto se a pressioni elevate è un'operazione alla quale è associato un **rischio non trascurabile**.



Le **forti sollecitazioni** alle quali sono sottoposti i contenitori ed i vari dispositivi di sicurezza, di erogazione, ecc., fanno sì che in caso di rottura, a causa del repentino e violento efflusso di gas, i frammenti del contenitore o i vari dispositivi (valvole, cappellotti, ecc.) vengano proiettati con violenza.

Se i frammenti proiettati colpiscono altri contenitori di gas possono indurre **scoppi** di altri contenitori innescando un processo a catena (effetto domino).

I recipienti contenenti gas devono essere stoccati in **luoghi adatti**: non devono essere esposti all'azione diretta dei raggi del sole, né tenuti vicino a sorgenti di calore o comunque in ambienti in cui la temperatura possa raggiungere o superare i 50°C; i recipienti non devono essere esposti ad una umidità eccessiva, né ad agenti chimici corrosivi.



Durante l'uso o nei luoghi di deposito i recipienti devono essere tenuti in posizione verticale ed assicurati alle pareti o a un qualsiasi supporto solido con catenelle od altro mezzo idoneo, per evitarne il ribaltamento, salvo che la forma del recipiente ne assicuri la stabilità. **E' vietato usare le bombole in posizione orizzontale o capovolte.**

La pressione massima di carica indica il valore massimo della pressione alla quale può essere riempito il contenitore.

I contenitori di gas compressi vengono di norma collaudati ad una determinata pressione, detta di prova, non inferiore a 1,5 volte quella massima di carica, e comunque non inferiore a 10 bar.

Gas compressi

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

Sono conservati allo stato gassoso sotto pressione alla temperatura ambiente in appositi recipienti (bombole). Questi vengono riempiti di gas fino al raggiungimento di una data pressione di carica che è funzione della resistenza della bombola stessa.



Di norma, la pressione alla quale i gas vengono conservati è maggiore di quella atmosferica; pertanto si dicono **compressi i gas conservati a pressioni rilevanti** (non liquefatti, né disciolti), ad es: il metano.

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



Rientrano in questa categoria, anche se non combustibili, gas come l'aria (es. la bombola dell'autorespiratore a ciclo aperto) e l'ossigeno.

Nella tabella seguente sono riportati i valori della pressione di carica di alcuni gas comuni:

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

Gas liquefatti

Un **gas** si dice **liquefatto** se viene conservato o impiegato allo stato liquido e sottoposto ad una pressione relativamente bassa (meno di 10 atmosfere) come il butano, il propano, l'ammoniaca e il cloro.

Non tutti i gas possono essere liquefatti per compressione.



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

I gas mantenuti a temperatura inferiore o uguale alla propria temperatura critica possono essere liquefatti con operazioni di sola compressione.

I gas mantenuti a temperatura superiore alla propria temperatura critica non possono essere liquefatti, qualunque sia la pressione o l'azione che si eserciti su di essi.

L'ammoniaca può essere liquefatta a temperatura ordinaria (20°C) comprimendola a circa 9 atmosfere. Ciò è possibile perché la temperatura critica dell'ammoniaca è 132°C.

L'attitudine al cambiamento di stato e il comportamento di un gas allo stato liquido dipendono quindi dal valore della sua **temperatura critica.**

Altro parametro fondamentale che caratterizza i gas liquefatti è il **rapporto di espansione.** Questo parametro fornisce una indicazione del volume di gas che si può ottenere da un litro di gas allo stato liquido.

Il **rapporto di espansione** di un gas liquefatto è definito come il rapporto tra il volume occupato da una data massa di gas allo stato aeriforme e il volume occupato dalla stessa quantità di gas allo stato liquido.

Il valore del rapporto di espansione dei gas varia da **7 a 800.**

Per il GPL questo valore è pari a 270 ovvero 1 litro di GPL in fase liquida espande sino ad occupare un volume di 270 litri in fase gassosa.

Qualora la **temperatura del gas liquefatto dovesse raggiungere il valore critico** si avrebbe un istantaneo passaggio di tutto il gas dallo stato liquido a quello gassoso con **conseguenze disastrose** (scoppio del suo contenitore per effetto dell'aumento di volume).

L'aumento di volume del gas dal passaggio da liquido a gas sarà tanto maggiore quanto più alto è il rapporto di espansione del gas presente all'interno del contenitore.

L'immagine mostra cosa accade ad un serbatoio di GPL investito dalle fiamme. A seguito dello scoppio si verifica la violenta espansione del gas, che dallo stato liquido passa allo stato gassoso.

I gas dispersi nell'aria, trovando l'innesco, danno origine all'incendio di tutta la massa di gas creando una "palla di fuoco" (fenomeno chiamato FIRE BALL).



Serbatoio coinvolto dalle fiamme



Aumento di temperatura e pressione



Scoppio e violenta espansione del gas



Incendio della nube di gas

Il riempimento del recipiente non deve essere mai completo in quanto un aumento della temperatura provocherebbe un aumento di volume del liquido ed un aumento della pressione (essendo il liquido incomprimibile), per cui il recipiente potrebbe scoppiare. Per evitare tale rischio, è prescritto un **limite massimo di riempimento** chiamato **grado di riempimento**.

Gas refrigerati o criogenici

I gas refrigerati sono conservati allo **stato liquido a basse temperature**, cioè ad una temperatura inferiore alla propria temperatura di ebollizione (es. i gas criogeni: aria, ossigeno, azoto, argon, ammoniaca, ecc.).

Per la conservazione del gas a basse temperature è necessario l'uso di contenitori con doppia parete, con intercapedine stagna e sottovuoto, con uno speciale rivestimento isolante idoneo a mantenerne la coibenza termica.



I **pericoli** per la presenza di gas refrigerati **dipendenti dalla temperatura di conservazione**, generalmente molto bassa (es. l'azoto liquido è conservato a -196°C), consistono nel **congelamento** dei tessuti umani, nell'indurimento delle materie plastiche e nella fragilità indotta negli acciai.

I **pericoli dovuti all'elevato grado di espansione** è lo **scoppio del recipiente** che può rapidamente prodursi in conseguenza di un innalzamento della temperatura del gas al di sopra di quella critica e quindi all'aumento della sua pressione.

La temperatura dell'ambiente circostante può generare aumenti di pressione; è necessario quindi rendere possibile una minima evaporazione, che consenta di "smaltire", come calore di evaporazione, il calore assorbito dall'ambiente esterno.

Gas disciolti

Sono **conservati in fase gassosa disciolti entro un liquido ad una determinata pressione** (ad esempio l'acetilene disciolto in acetone, posto in bombole, nel cui interno è posta una massa solida porosa).



2.3 Comburente



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

Solitamente il comburente è l'ossigeno contenuto nell'aria, ma sono possibili incendi di sostanze che contengono nella loro molecola una quantità di ossigeno sufficiente a determinare una combustione, quali ad esempio gli esplosivi.

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

2.4 Fonti di innesco

La temperatura è legata all'**energia di attivazione** che bisogna fornire al combustibile per far sì che, in presenza di comburente, la reazione di combustione abbia luogo.

L'energia di attivazione necessaria per avviare la combustione può essere fornita attraverso una **fonte di innesco**.



Una volta che la reazione di combustione si sviluppa in un punto, il calore prodotto, riscalda le zone circostanti, e tale riscaldamento determina l'innesco di altre reazioni e quindi la **propagazione della combustione**.



A tal proposito è necessario porre in evidenza che la sorgente di calore (innesco: fiamme, scintille, corpi arroventati) deve essere adeguata sia al materiale combustibile, sia alla pezzatura con cui tale materiale è disponibile. Ad esempio con un fiammifero riesco ad accendere un piccolo bastoncino di legno, ma non riesco ad accendere un tronco.

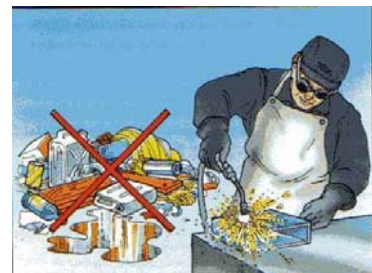
Le **fonti di innesco** si possono classificare nel modo seguente:

- **dirette**
- **indirette**
- **attrito**
- **riscaldamento spontaneo**

innesco diretto

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

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



innesco indiretto

quando il calore d'innesco avviene nelle forme della convezione, **conduzione e irraggiamento termico**.

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



attrito

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

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



autocombustione o riscaldamento spontaneo

quando il calore viene prodotto dallo stesso combustibile come ad esempio **lenti processi di ossidazione**.



2.5 Parametri della combustione

La **velocità** con la quale la **propagazione** avviene varia notevolmente in relazione alla natura del combustibile, al rapporto tra combustibile e comburente, alle dimensioni dell'ambiente di combustione, ecc.

Non è facile stabilire delle regole che permettano di prevedere la velocità di propagazione della fiamma poiché le variabili del fenomeno risultano troppo numerose.

Si può tuttavia affermare che la **velocità di propagazione è tanto maggiore** quanto più la quantità di combustibile e quella di comburente risultano tra loro in un **rapporto** prossimo a quello detto **stechiometrico**, con cui effettivamente si combinano nella reazione di combustione.



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

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

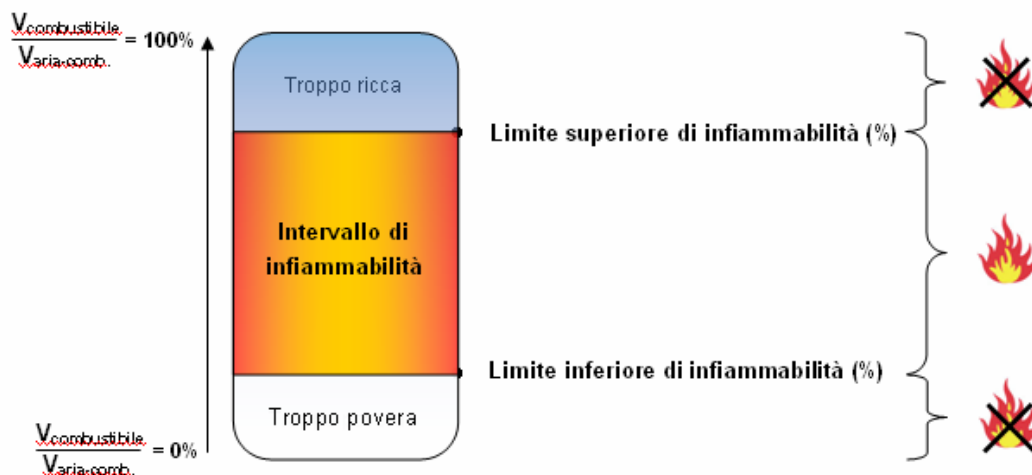
2.5.1 Limiti di infiammabilità

Come abbiamo già sottolineato, affinché la combustione avvenga è necessaria la presenza contemporanea di tre elementi: un combustibile, un comburente e una temperatura adeguata, che può essere fornita anche attraverso una fonte di innesco.

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**.

I limiti di infiammabilità vengono espressi come la percentuale in volume di combustibile nella miscela aria – combustibile.

Si ha un **limite inferiore** ed un **limite superiore** di infiammabilità; l'intervallo di concentrazione tra questi due limiti è detto **campo di infiammabilità**.



La combustione ha luogo soltanto se le condizioni della miscela sono tali da ricadere nel campo di infiammabilità.

Tuttavia è necessario ricordare che talvolta, in aree chiuse o non ventilate, la concentrazione può superare il limite superiore di infiammabilità e quindi la miscela teoricamente non è in condizione di dare origine ad una combustione.

In questa situazione occorre **prestare la massima attenzione**, in quanto, al momento di una ispezione, a seguito dell'apertura della porta, l'ingresso di aria dall'esterno può diluire i gas creando una miscela combustibile pericolosa.

Al contrario può capitare che la concentrazione sia al di sotto del limite inferiore di infiammabilità, similmente a quanto detto sopra, tale condizione non dà mai la certezza che la miscela se innescata non brucia, in quanto, all'interno del locale potrebbero essere presenti sacche di vapori localizzate.

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**

Pressioni più alte tendono ad **allargare il campo di infiammabilità**, pressioni più basse a restringerlo.

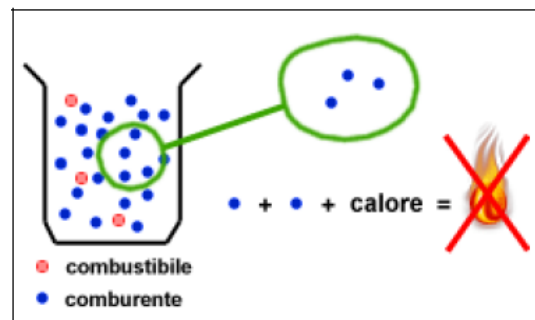
L'aumento della **temperatura allarga il campo di infiammabilità** e viceversa.

Spesso si dimentica che anche l'arricchimento di ossigeno può creare rischi. Infatti aumentando i livelli di O₂ anche l'infiammabilità dei materiali e dei gas aumenta.

Limite inferiore di infiammabilità

Il 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.

Se nella miscela è presente un eccesso d'aria (poco combustibile), il calore sviluppato dall'innescò è insufficiente a far salire la temperatura degli strati adiacenti di miscela fino al punto di accensione. La fiamma non può propagarsi e si estingue.



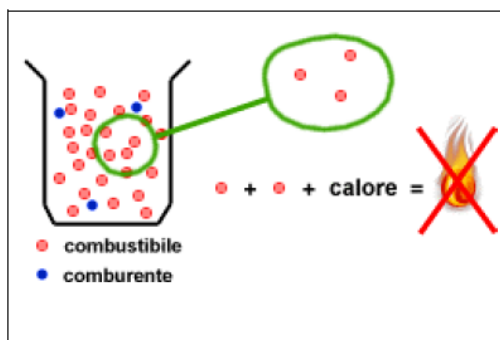
La miscela è troppo povera di combustibile.

Limite superiore di infiammabilità

Il 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.

Se nella miscela è presente un eccesso di combustibile (poca aria), questo funzionerà da diluente, abbassando la quantità di calore disponibile per gli strati adiacenti di miscela, fino ad impedire la propagazione della fiamma.

La miscela è troppo ricca di combustibile.



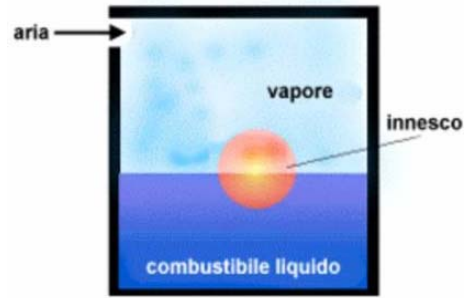
L'ampiezza del campo di infiammabilità dei combustibili dipende dalla loro reattività, che a sua volta è determinata dal numero e dall'entità dei legami che tengono insieme gli atomi delle molecole. L'intervallo compreso tra il limite inferiore e il limite superiore di infiammabilità rappresenta il valore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

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

Sostanze	Limite inferiore (%vol)	Limite superiore (%vol)
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

Una volta avvenuta l'accensione, la turbolenza derivante dalla combustione a causa dell'aumento del volume e dell'espansione termica del gas - sia pure localizzata - favorisce il rimescolarsi del combustibile e del comburente e di conseguenza il propagarsi della reazione.



La **velocità di propagazione** risulta nulla in corrispondenza del limite inferiore e superiore di infiammabilità mentre è massima in corrispondenza del rapporto stechiometrico tra combustibile e comburente (concentrazione ideale affinché ogni molecola di combustibile reagisca con l'esatto numero di molecole di comburente).

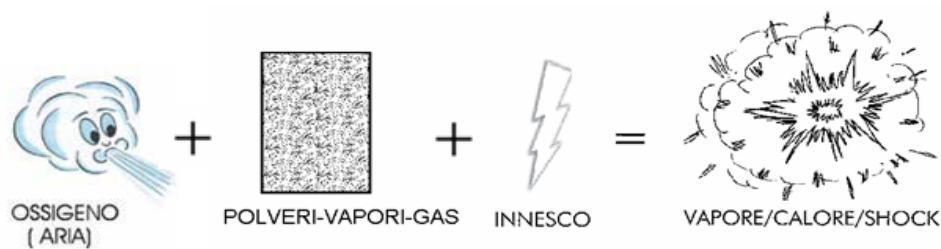
2.5.2 Esplosione e Limiti di esplosività

L'**esplosione** è il risultato di una rapida espansione di gas determinata da una **reazione di combustione molto rapida**.

Affinché una esplosione abbia luogo necessita quindi, di un **combustibile**, un **comburente** e un **innescò**. Se uno di questi tre elementi manca o le proporzioni non sono giuste l'esplosione non si verifica.

Le **sostanze** in grado di produrre esplosioni di grande rilevanza sono:

- miscele infiammabili di **gas** o **vapori**
- **polveri combustibili sospese in aria**
- **esplosivi** (per decomposizione)



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).



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

La rapida e localizzata liberazione di energia determinata dall'esplosione è accompagnata da produzione di **calore**, ed **effetti meccanici**.

I volumi di gas prodotto possono essere pari a 10.000 - 30.000 volte quelli iniziali raggiungendosi temperature fino a 3000°C; le pressioni raggiungibili arrivano normalmente attorno ai 20.000 bar (con picchi di 150.000 bar).

La pressione generata dall'onda di combustione (velocità di fiamma) dipende:

- dalla velocità di propagazione della fiamma
- dallo sviluppo della pressione stessa al di fuori della nube gassosa, governata dalle condizioni ambientali.

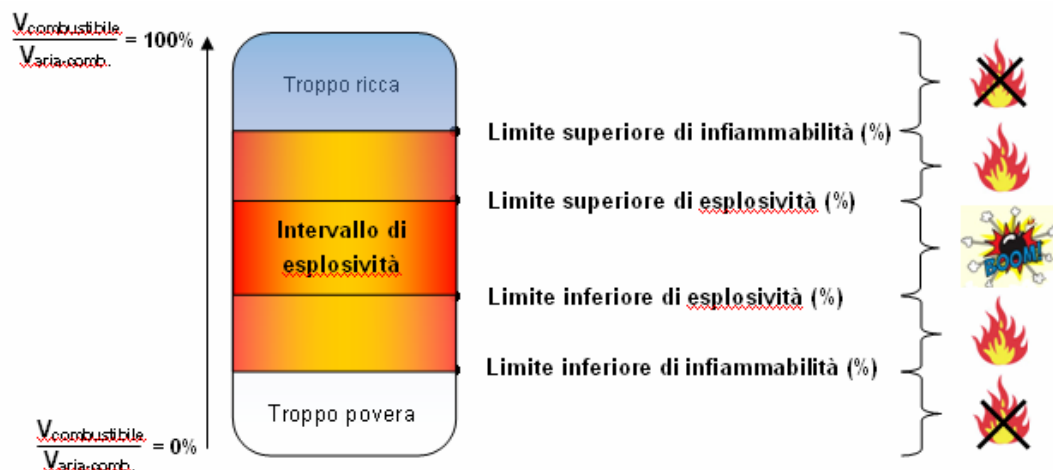
Il verificarsi o meno di una esplosione dipende, oltre che dalle caratteristiche della miscela, dalla **pressione** e dalla **temperatura**.

Secondo il meccanismo termico dell'esplosione esiste, per una determinata composizione del sistema, per una determinata temperatura e una pressione al di sotto della quale si ha una reazione lenta e al di sopra della quale la reazione diventa esplosiva.



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.

Il **campo di esplosività** è quindi interno al campo di infiammabilità.



Il **campo di esplosività**, rappresenta, quindi, l'intervallo nel quale la percentuale in volume di miscela aria-combustibile se innescata da origine ad una esplosione.

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



Limite inferiore di esplosività

Il limite inferiore di esplosività 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 esplosione.

Limite superiore di esplosività

Il limite superiore di esplosività rappresenta la **massima concentrazione** di combustibile nella miscela aria-combustibile che consente a quest'ultima, se innescata, di reagire dando luogo ad una esplosione.

Il campo di esplosività può essere molto ampio per certe miscele e molto ristretto per altre:

- la miscela acetilene-aria è esplosiva entro i limiti del 3 e 53% in volume di acetilene;
- quella idrogeno-aria fra il 10 ed il 66% in volume di idrogeno;
- la miscela benzina-aria è esplosiva all'incirca entro i limiti dell'1 e 6% in volume di vapori del combustibile.

Qualitativamente si può affermare che:

- le probabilità di esplosione crescono nell'intorno della composizione stechiometrica;
- un intervallo ampio di infiammabilità, come ad esempio quello dell'idrogeno che va dal 4 al 75% in volume, è indice di particolare reattività e quindi di rischio di esplosione;
- un intervallo ristretto di infiammabilità fa pensare, all'opposto, ad un evolversi lento della combustione.

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.

2.5.2.1 Esplosioni di polveri

Si è visto, trattando dei combustibili solidi, come uno dei parametri più importanti al fine di determinare la loro infiammabilità sia appunto il loro grado di **polverizzazione** (pezzatura).

La polverizzazione infatti aumenta la superficie esposta all'aria e quindi suscettibile di reazione.



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

Le polveri si definiscono **esplosive** quando sono in grado di incendiarsi in presenza di un innesco (scintilla, fiamma ecc.).

Esse possono essere costituite da materiali di diversa natura come metalli, materie plastiche, e prodotti agricoli.



Anche le polveri 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; più tale temperatura è bassa, più pericolosa risulta la polvere.

Polveri di	Limite inferiore di infiammabilità (g/m ³)	Temperatura di accensione (°C)
Metalli		
Alluminio	40	700
Ferro	120	315
Materie plastiche		
Gomma sintetica	30	320
Polietilene	25	450
Polistirolo	20	475
Prodotti agricoli		
Grano	100	470
Legno	40	440
Zucchero	35	350

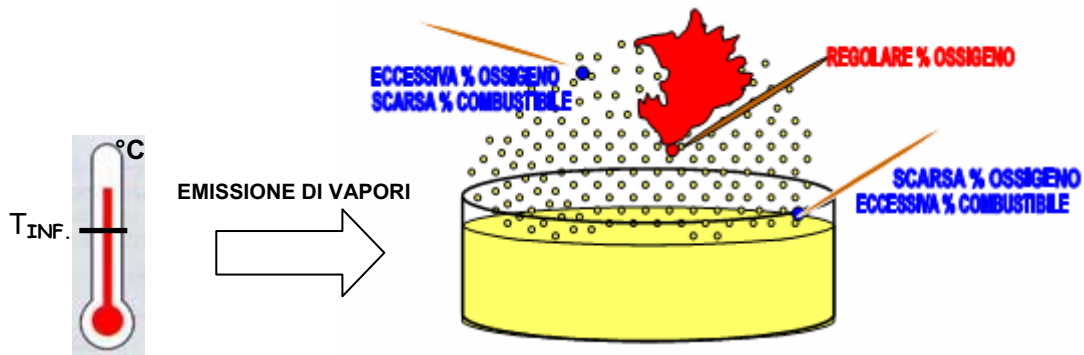
Tra i fattori che **riducono il rischio** di esplosioni va ricordata l'**umidità** del materiale e quindi l'elevata umidità relativa dell'aria durante le lavorazioni.



Durante le lavorazioni si possono diluire le polveri pericolose con polveri inerti o inibitrici di reazione, quali quelle usate negli estintori (carbonati di sodio e potassio).

2.5.3 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.**



La reazione di combustione avviene solo in corrispondenza della zona in cui la miscela ricade nel campo di infiammabilità

La combustione avrà luogo unicamente nella zona in cui la miscela aria-combustibile ricade nel campo di infiammabilità.

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

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

Tanto più è bassa la temperatura di infiammabilità tanto maggiori sono le probabilità che si formino vapori in quantità tali da essere incendiati.

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

Particolarmente pericolosi sono quei liquidi che hanno una temperatura di infiammabilità inferiore alla temperatura ambiente, in quanto anche **senza subire alcun riscaldamento**, emettono quantità di vapori tali da dar luogo ad un incendio.

La benzina è più pericolosa del gasolio perché anche a basse temperature (anche a -20°C) è in grado di sviluppare vapori sufficienti a dar luogo ad una combustione.

2.5.4 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

La temperatura di accensione è molto importante non solo nel campo antincendio, ad es. nei **motori Diesel**. Infatti, non essendo in essi presente la candela (che nei motori a benzina

determina l'innesco), viene prima preparata una quantità sufficiente d'aria alla temperatura di accensione del combustibile, che viene quindi iniettato all'interno della camera di combustione dando luogo ad una accensione per autoinnesco.

2.5.5 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.

A causa delle perdite di calore inevitabili, tale temperatura non si raggiunge mai.

La temperatura di combustione è condizionata dal potere calorifico del combustibile e dalla capacità termica dei prodotti di combustione.

Il calcolo della temperatura teorica di combustione viene eseguito nell'ipotesi che tutta l'energia liberata dalla reazione vada esclusivamente ad aumentare la temperatura, senza che vi siano scambi di calore con l'esterno né perdite dovute a conversioni di energia termica in energia radiante (in realtà 1/3 dell'energia termica prodotta è convertita in energia radiante).

Nella valutazione di tale parametro si deve tenere conto della dissociazione, i cui effetti diventano sensibili a temperature superiori a 1500°C. A tale temperatura infatti non è più possibile trascurare la dissociazione parziale delle molecole dei costituenti del gas di combustione. Tali reazioni, fortemente endotermiche (cioè assorbono calore), comportano una temperatura finale più bassa di quella calcolata in assenza di dissociazione.

Nelle combustioni reali, inoltre, bisogna prendere in considerazione l'eventuale eccesso d'aria impiegato, oltre alla temperatura alla quale l'aria si trova all'inizio della combustione (preriscaldamento). Da quanto detto risulta che le temperature teoriche di combustione sono sempre maggiori di quelle reali.

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

2.5.6 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.



Per i combustibili gassosi, invece che al kg di massa, si fa riferimento al metro cubo in condizioni normali cioè alla massa di gas combustibile secco contenuta in 1 m³ quando la sua temperatura sia 0 °C e la pressione sia 1 atm.

L'unità di misura utilizzata per esprimere tale parametro è MJ/kg (mega Joule per chilogrammo) o kcal/kg (chilo calorie per chilogrammo). Un MJ corrisponde a 238 kcal.

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 allorché tutti i prodotti della combustione sono alla temperatura ambiente e quindi il vapore d'acqua prodotto ritorna allo stato liquido.

Il **potere calorifico inferiore** (H_i), è la quantità di calore sviluppata dalla reazione non considerando quindi il calore di condensazione del vapore d'acqua (ipotizzando cioè che il vapore acqueo prodotto non condensi).

Quindi tutti i combustibili che nella loro molecola contengono idrogeno saranno caratterizzati da un potere calorifico superiore e uno inferiore (es. tutti i derivati del petrolio).

Per i combustibili che non contengono ne idrogeno nella loro molecola e ne acqua al loro interno, non risulta alcuna differenza tra potere calorifico superiore ed inferiore.

E' il caso, ad esempio, dell'ossido di carbonio o monossido di carbonio CO.

Il potere calorifico superiore si determina mediante la bomba calorimetrica di Mahler o apparecchi simili, in cui si fa avvenire una reazione stechiometrica completa tra un quantità ben determinata di combustibile e l'ossigeno. Il calore prodotto dalla reazione viene assorbito da una massa nota di acqua (o di altro liquido), di cui si misura l'aumento della temperatura. Di qui si risale alla quantità di calore scambiata.



Il potere calorifico inferiore è legato al potere calorifico superiore dalla relazione:

$$P.C. \text{ sup} = P.C. \text{ inf.} + m \cdot 600$$

in cui m è la quantità d'acqua (espressa in kg) prodotta nella combustione di un kg di sostanza; 600 kcal/kg è il calore latente di condensazione dell'acqua.

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

Il potere calorifico è un parametro essenziale che consente, inoltre, di valutare il rischio di incendio all'interno di un locale.

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.

2.5.7 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.

L'ossigeno che alimenta la combustione è fornito dall'aria in cui è contenuto nel rapporto in volume di 1/5 circa.

L'aria, infatti, è un miscuglio di gas composto prevalentemente da azoto e ossigeno, con tracce di altri gas e con quantità variabili di vapore acqueo, di anidride carbonica e di pulviscolo atmosferico.

Espressa in percentuale (%) in volume, la composizione dell'aria è approssimativamente la seguente:

- 20,9 % ossigeno (O₂)
- 78 % azoto (N₂)
- 0,04 % anidride carbonica (CO₂)
- 0,93 % argon e altri gas rari
- < 5 % vapore acqueo

La quantità di aria strettamente necessaria alla combustione dipende dalla composizione chimica del combustibile: l'aria necessaria è tanto maggiore quanto più elevato è il potere calorifico del combustibile.

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

Pertanto per bruciare in maniera completa un kg di legna sono necessari 5m³ di aria, mentre per bruciare in maniera completa un 1kg di benzina ne sono necessari 12.

2.6 Test di autovalutazione n. 2



Siamo al secondo test. Troverai 30 domande. Per ogni risposta corretta questa volta avrai 3 punti. Buon lavoro!!!

Domanda n.1

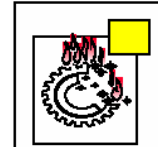
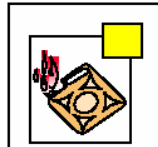
Quali sono gli elementi necessari affinché la combustione possa avere inizio e riesca a propagarsi?

Domanda n.2

In quale stato di aggregazione della materia avviene la maggior parte delle combustioni?

Domanda n.3

Indicare in ogni figura il nome della classe di incendio corrispondente:



Domanda n.4

Per accendere il camino, utilizzeresti legna con grande pezzatura o piccola pezzatura?
Come è definita la pezzatura?

Domanda n.5

Cosa indica la temperatura di infiammabilità di un liquido combustibile?

Domanda n.6

Perché il gasolio è considerato meno pericoloso della benzina?

Domanda n.7

Il gasolio, emette vapori soltanto in corrispondenza della sua temperatura di infiammabilità? Indicare quale potrebbe essere il suo comportamento a 80°C in presenza di un innesco?

Domanda n.8

Cosa si intende per gas combustibile pesante? Quali possono essere i pericoli legati ad una dispersione in ambiente?

Domanda n.9

A seguito di un rilascio accidentale di gas in luogo aperto, una dispersione di gas leggero o di gas pesante ha lo stesso livello di pericolosità?

Domanda n.10

Pesa più un chilogrammo di GPL liquido o un chilogrammo di GPL gassoso?
Un metro cubo di GPL liquido contiene lo stesso quantitativo di un metro cubo di GPL gassoso?

Domanda n.11

Collegare in modo opportuno, utilizzando una freccia, il tipo di gas con la modalità di conservazione più comunemente utilizzata:

Aria	Liquefatto
Metano	Refrigerato o Criogenico
GPL	Compresso
Acetilene	Liquefatto
Ossigeno	Compresso
Azoto liquido	Disciolto
Anidride Carbonica (CO ₂)	Compresso

Domanda n.12

Cosa succede quando un contenitore con all'interno del GPL si surriscalda?
Se la temperatura del GPL supera i 96.5°C cosa accade?

Domanda n.13

Sapendo che in un contenitore è presente un litro di gas liquefatto, che ha un rapporto di espansione di 15, quanti litri occupa fuori dal contenitore?

Domanda n.14

L'energia di attivazione è fornita unicamente attraverso un innesco diretto?
Elencare le quattro principali fonti d'innesco e fare almeno un esempio per ognuna di esse.

Domanda n.15

Quali sono i parametri più importanti per comprendere il fenomeno della propagazione della combustione?

Domanda n.16

Cosa si intende per limite di infiammabilità? Da quali parametri può essere influenzato?

Domanda n.17

Come varia il campo di infiammabilità di un combustibile all'interno di una camera iperbarica?

Domanda n.18

Perché non è possibile la propagazione della combustione sotto il limite inferiore e sopra il limite superiore di infiammabilità?

Domanda n.19

Esiste un legame tra la velocità di combustione e la percentuale di vapore combustibile presente nella miscela?

Domanda n.20

Che legame esiste tra i limiti di infiammabilità e quelli di esplosività?

Domanda n.21

Le sostanze che in grado di dare luogo ad una esplosione sono costituite unicamente dagli esplosivi?

Domanda n.22

Quale tra la detonazione e la deflagrazione produce effetti meccanici maggiori?

Domanda n.23

Qual è l'elemento fondamentale che differenzia la temperatura di accensione dalla temperatura di infiammabilità?

Domanda n.24

Quali sono tra i combustibili solidi, liquidi e gassosi quelli che presentano il più alto potere calorifico?

Domanda n.25

A cosa è assimilabile una nube di polveri combustibili?

Domanda n.26

All'interno di un locale di 100m^3 c'è stato un rilascio di gas infiammabile che ha limite inferiore di infiammabilità 6% e limite superiore di infiammabilità 15%.

Se il rilascio è stato di 3m^3 , la miscela ricade all'interno del campo di infiammabilità o è esterna ad esso?

Domanda n.27

Un miscela di aria e gas combustibile anche se non ricade nel campo di infiammabilità è da considerarsi comunque pericolosa?

Domanda n.28

Anche nelle esplosioni c'è necessità di un combustibile del comburente e dell'innesco?
E negli esplosivi?

Domanda n.29

Le polveri possono esplodere?

Sono caratterizzate da limiti di infiammabilità?

Domanda n.30

Collega in modo opportuno, utilizzando una freccia, categoria al corrispondente intervallo di temperatura:

Categoria C

$T_{inf} < 21^{\circ}\text{C}$

Categoria A

$21^{\circ}\text{C} < T_{inf} < 65^{\circ}\text{C}$

Categoria B

$T_{inf} > 65^{\circ}\text{C}$

Voto _____ / 90

3 ESPLOSIVI

3.1 Premessa

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 consistere di **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**).



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.

La maggior parte degli esplosivi contiene oltre all'ossigeno, anche l'idrogeno e il carbonio.

La **capacità distruttiva** delle sostanze esplodenti non sta nel fatto che provocano reazioni fortemente esoergoniche quanto piuttosto nell'**estrema rapidità** con cui tale energia viene liberata, cioè nell'estrema velocità delle reazioni (un esplosivo come la nitroglicerina libera 6,4 MJ/kg rispetto all'olio combustibile che ne libera ben 41,9 MJ/kg).

Basti pensare che le combustioni ordinarie avvengono nell'ordine dei minuti o dei secondi, le deflagrazioni nell'ordine del secondo o meno e le detonazioni in tempi inferiori al decimillesimo di secondo.



La velocità delle esplosioni è dovuta al fatto che gli esplosivi contengono nelle loro molecole ossigeno sufficiente all'ossidazione parziale o totale dei reagenti.

Non sempre le sostanze esplosive si manifestano come tali, molte di esse in determinate condizioni possono bruciare anziché esplodere.

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.

Il grado di sensibilità all'urto o al calore dipende essenzialmente dalla **natura chimica** dell'esplosivo, ma può essere modificato da altri fattori quali lo stato fisico, la struttura, l'umidità. A seconda della maggiore o minore sensibilità di un esplosivo, ne varia il mezzo d'innesco, cioè tutto ciò che può fornire l'impulso iniziale capace di determinare la reazione di decomposizione in una massa esplosiva.

Per gli esplosivi più sensibili basterà un piccolo urto o sfregamento; per gli esplosivi meno sensibili sarà necessario un urto più forte o l'accensione per mezzo di un corpo in ignizione; per altri, meno sensibili ancora, ci vorrà un urto ancora più violento.

Stabilità

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

Sulla stabilità hanno influenza la struttura chimica, le materie prime utilizzate nella fabbricazione, il modo di conservazione, la presenza di corpi estranei, il calore, la luce, l'umidità. Un esplosivo a bassa stabilità può, decomponendosi lentamente, dar luogo in qualche punto della sua massa ad un aumento di temperatura, che, accelerando la reazione di decomposizione, può trasformarla in esplosione. La stabilità degli esplosivi deve essere controllata non solo all'atto della loro fabbricazione, ma anche periodicamente durante la loro conservazione.

3.2 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** si distinguono in:

- esplosivi **deflagranti** (anche detti da lancio o propellenti) : *polvere nera*

- esplosivi **detonanti** {
 - esplosivi innescanti** (o primari):
 - fulminato di mercurio*
 - l'azotidrato di piombo*
 - lo stifnato di piombo*
 - esplosivi dirompenti** (o da scoppio o secondari):
 - nitroglicerina*
 - tritolo (trinitrotoluene o TNT)*
 - pentrite (PETN)*
 - l'esogeno (Hexogene, T4)*
 - nitrato d'ammonio*
 - nitrato di potassio*

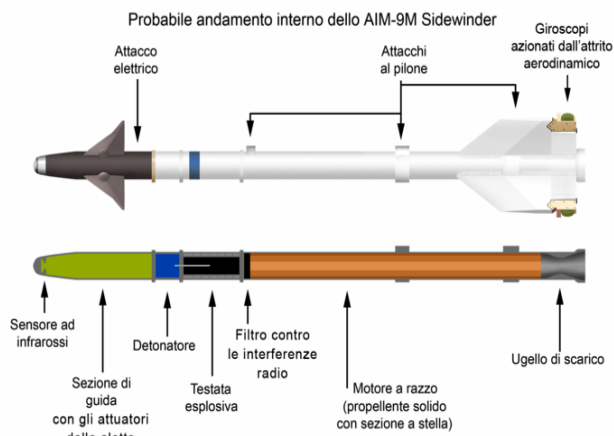
In base alla loro **natura chimica** si possono distinguere:

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

3.2.1 Classificazione in base alla velocità di reazione

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.



Se l'esplosivo che si decompone con deflagrazione è racchiuso, ad esempio, nella camera a scoppio di un'arma, la deflagrazione provoca un aumento graduale della pressione, con la tendenza ad allargare il recipiente che lo contiene più che a romperlo.

Per tale motivo questi tipi di esplosivo risultano adatti a spingere un proiettile fuori da una canna (da cui il nome di propellenti).

Esplosivi innescanti (o primari)

I normali esplosivi non esplodono per effetto di normali sollecitazioni meccaniche o per effetto del calore, ma bruciano o, al massimo, deflagrano.

Per innescare l'esplosione debbono venir impiegati degli **esplosivi estremamente sensibili** alle azioni esterne e che detonano per effetto del calore, dell'urto o per sfregamento.



Questo tipo di esplosivi trovano impiego come sostanze innescanti ovvero sono **utilizzati per innescare altri esplosivi**, infatti un urto o uno sfregamento sono sufficienti a farli detonare e a trasmettere o la fiamma o la detonazione ad altri esplosivi.

Essi sono solitamente **contenuti** in modesta quantità in piccoli tubetti metallici (**detonatori**).

Esplosivi dirompenti (o da scoppio)

Sono caratterizzati dalla capacità di reagire istantaneamente solo in presenza di una elevata energia di attivazione esterna.

L'immediato aumento di pressione, prodotto dai gas che si formano durante la reazione, produce la **rottura** violenta dei recipienti nei quali sono contenuti (da cui l'attributo dirompenti).

Essi vengono usati da soli o mescolati tra di loro in vario modo o con altre sostanze che ne migliorano ulteriormente le prestazioni.

Quando vengono mescolati con sostanze plastiche quali vaselina, cere o polimeri sintetici, si ottengono gli **esplosivi plastici**; quando vengono gelatinizzati si ottengono le **gelatine**, di consistenza gommosa o pastosa che rappresentano uno degli esplosivi più potenti.

3.2.2 Classificazione in base alla natura chimica

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).

3.3 Tipi di esplosivi

Gli esplosivi più comuni sono:

Polvere nera

E' il primo esplosivo impiegato nella storia. E' costituito da un miscuglio di carbone di legna, zolfo e nitrato di potassio. Brucia violentemente anche quando è libero e non compresso.

Espandendo rilascia volumi di fumo.

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

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

Fu scoperta nel 1847, ma la sua pericolosità non ne fece intravedere le possibilità di utilizzo. Soltanto dopo il 1863 Nobel risolse il problema di diminuirne il pericolo, dovuto all'elevata sensibilità all'urto, facendola assorbire a farina fossile e ottenendo così la **dinamite**.

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

Uno degli esplosivi più potenti è la gelatina esplosiva formata per oltre il 90% di nitroglicerina e per il resto da cotone collodio.

Le nitroglicerine sono velenose.

Tritolo (TNT trinitrotoluene)



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.

Pentrite (tetranitropentaeritrite)

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

Si può lavorare in grandi quantità e conservare senza correre grandi pericoli.

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.

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). Inizialmente la dinamite venne usata come esplosivo al posto della nitroglicerina, che è molto poco sicura sia nella manipolazione che nel trasporto.

In seguito furono prodotti altri tipi di dinamite sostituendo la farina fossile con altre sostanze (segatura di legno, carbone).

3.4 Test di autovalutazione n. 3



Il nonno oggi lo sostituisco io!
Ho preparato per te 10 domande,
ognuna vale 10 punti. Buon lavoro!!!

Domanda n.1

Quando è possibile definire una sostanza come esplosiva?

Domanda n.2

Quali caratteristiche ha un esplosivo sicuro?

Domanda n.3

Cos'è un miscuglio esplosivo? Quale conosci?

Domanda n.4

La nitroglicerina in assenza di ossigeno può esplodere se innescata?

Domanda n.5

Che differenza d'impiego c'è tra un esplosivo del tipo innescante e uno dirompente? Quale è più sensibile tra i due?

Domanda n.6

Qual è l'utilizzo degli esplosivi deflagranti?

Domanda n.7

Elencare quattro tipi di esplosivi dirompenti.

Domanda n.8

La polvere nera (polvere da sparo) produce un'esplosione di tipo detonante o deflagrante?

Domanda n.9

E' più potente un esplosivo di tipo plastico o uno di tipo gelatinoso?

Domanda n.10

Riportare un esempio di composto chimico esplosivo.

Voto _____ / 100

4 PRODOTTI DELLA COMBUSTIONE

4.1 Premessa

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**



La causa principale della mortalità per incendio è attribuibile all'inalazione dei fumi e dei gas di combustione, che producono danni biologici per anossia (mancanza di ossigeno) o per tossicità, ma anche le fiamme dirette e l'irraggiamento sono causa di lesioni gravi alle persone.

4.2 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).

I principali gas che si sviluppano durante una combustione sono:

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

La produzione di tali gas dipende dal tipo di combustibile, dalla percentuale di ossigeno presente e dalla temperatura raggiunta nell'incendio.







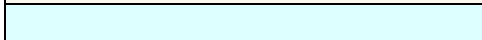
4.3 Fiamme

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

In particolare nell'incendio è possibile valutare approssimativamente il livello raggiunto della temperatura osservando il colore della fiamma.



Scala cromatica delle temperature nella combustione dei gas

	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

4.4 Fumi

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

Salvo casi particolari quali la combustione del metano, la combustione è quasi sempre accompagnata dalla formazione di fumi.

Normalmente sono prodotti in quantità tali da impedire la visibilità ostacolando l'attività dei soccorritori e l'esodo delle persone. E' quindi il fumo il primo ostacolo che si deve evitare nei locali ove si sviluppa l'incendio.





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



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

E' noto l'effetto irritante del fumo sulle mucose degli occhi e sulle vie respiratorie che si va a sommare alla normale carenza di ossigeno al momento dell'incendio.

4.5 Calore

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

Esso realizza l'aumento della temperatura di tutti i materiali e corpi esposti, provocandone il danneggiamento fino alla distruzione.



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

4.6 Test di autovalutazione n. 4



Ragazzi non mollate siamo quasi alla fine!!! Ogni domanda 20 punti. Buon lavoro!!!

Domanda n.1

Riporta nella seguente tabella le definizioni corrispondenti:

fiamme	
calore	
gas di combustione	
fumi	

Domanda n.2

Completa la seguente tabella inserendo la temperatura corrispondente al colore della fiamma:

COLORE DELLA FIAMMA		Temperatura (°C)
Rosso nascente		
Rosso scuro		
Rosso ciliegia		
Giallo scuro		
Giallo chiaro		
Bianco		
Bianco abbagliante / Celeste		

Domanda n.3

Quale gas tossico viene sprigionato in una combustione all'interno di un locale chiuso non adeguatamente ventilato?

Domanda n.4

A causa di quale fenomeno un materiale combustibile posto in adiacenza di un incendio e non interessato da fumi caldi e fiamme può prendere fuoco?

Domanda n.5

I prodotti della combustione variano al variare del tipo di combustibile?

Voto _____ / 100

5 DINAMICA DEGLI INCENDI

5.1 Premessa

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**.

5.2 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**;

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.

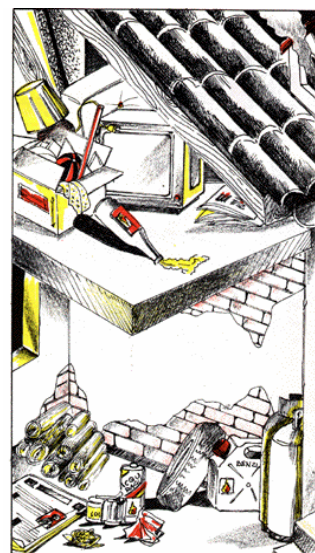
Il carico di incendio dipende dalla tipologia e dalla quantità del materiale combustibile presente.

Velocità di combustione

Si distinguono due casi tipici :

- se c'è **carenza di ossigeno**, la velocità di combustione è approssimativamente proporzionale alla quantità d'aria che affluisce attraverso le aperture e non dipende in maniera apprezzabile dalla quantità, porosità e forma del combustibile.

Si dice che la combustione è **controllata dalla ventilazione**;



- se invece la **disponibilità di ossigeno è più che sufficiente**, la velocità è indipendente dalla quantità d'aria affluita, ma dipende dalle proprietà degli strati combustibili e dalla quantità, porosità e forma del combustibile. Si dice che la combustione è **controllata dagli strati di combustibile**.

Ventilazione

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

La portata volumetrica d'aria entrante Q è proporzionale alla superficie dell'apertura e alla radice quadrata dell'altezza, secondo la seguente formula:

$$Q_a = k A_f \sqrt{H}$$

Nella formula:

A_f e H sono l'area e l'altezza delle finestre;

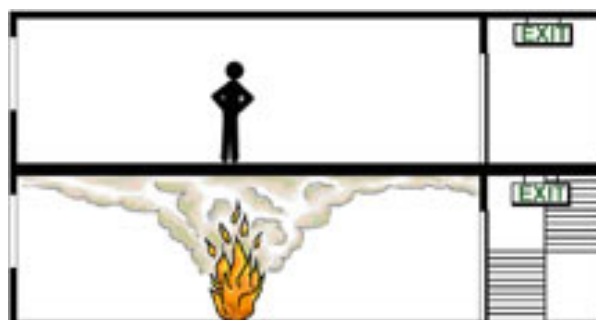
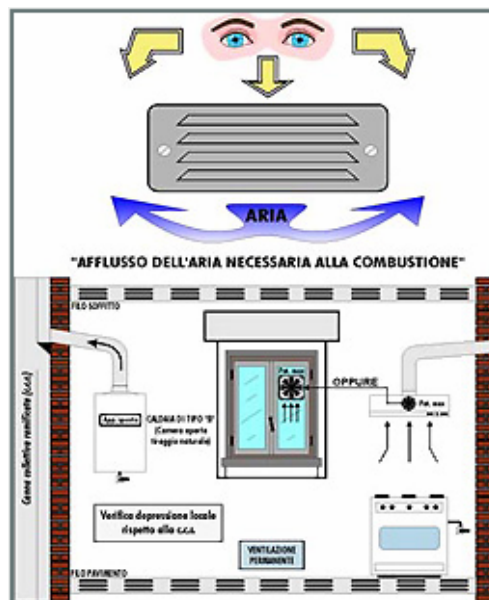
k rappresenta un coefficiente di proporzionalità che dipende dalla differenza di temperatura tra interno ed esterno e dal rapporto tra il volume di gas prodotto per unità di massa e il volume di aria richiesto per la combustione completa dell'unità di massa di combustibile.

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.

Naturalmente nel dimensionare e posizionare le aperture o gli impianti di ventilazione è necessario tenere conto sia della quantità che della densità dei gas o vapori infiammabili che possono essere presenti.

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.



5.3 Sviluppo dell'incendio

Il **focolaio iniziale** di molti incendi è determinato frequentemente da una modesta sorgente di energia che viene a contatto con materiali combustibili per fatti accidentali (negligenza, distrazione, cattivo uso di sorgenti di energia, imprudenza, ignoranza).

Ogni incendio inizia con la cosiddetta **fase di ignizione** durante la quale un materiale combustibile assorbe da una sorgente una quantità di calore sufficiente a far aumentare la sua temperatura fino a raggiungere il valore al quale ha luogo la combustione che, una volta iniziata, prosegue indipendentemente da apporti energetici esterni.

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 se questi sono 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.

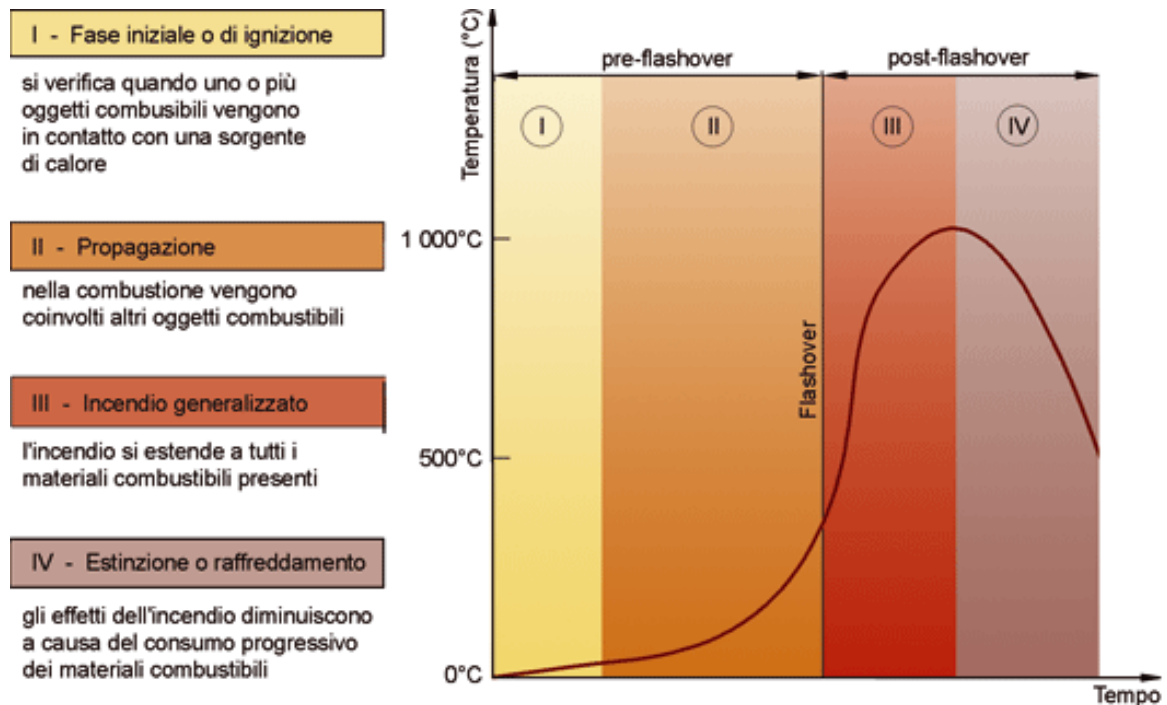
La continuazione o meno del processo di combustione dipende dal bilancio termico che si instaura.

Se il **bilancio termico è positivo**, cioè se prevale la quantità di calore generata su quella dispersa, la **combustione continua**; se il **bilancio termico è negativo**, la velocità di combustione scende al di sotto di un livello critico e si inizia un **processo di autoestinzione**.

5.4 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



Il **flashover** costituisce uno **stadio irreversibile**, in cui le fiamme da uno stato di incendio localizzato si propagano velocemente a tutto il volume del compartimento.

1. Fase di ignizione

E' la fase più studiata perché è in essa che si cercano quegli elementi necessari a contrastare l'incendio quando ancora i danni sono ridotti.

Questa fase ha inizio nel momento in cui un materiale combustibile viene posto a contatto con una sorgente di calore anche modesta.

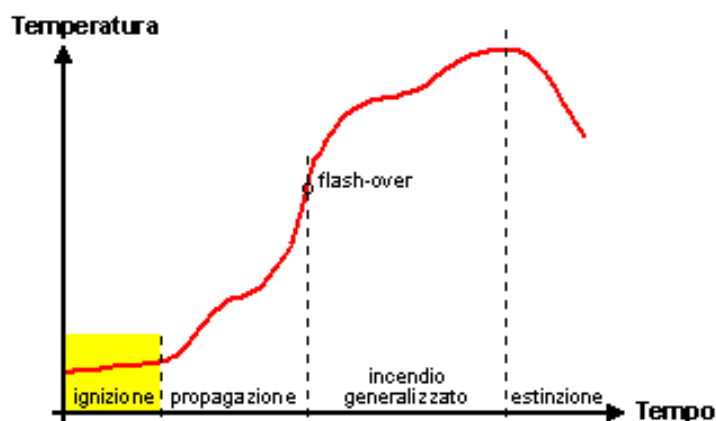
Perché il materiale combustibile si accenda è necessario che esso sia in grado di sviluppare vapori infiammabili in tempi relativamente brevi. Se ciò non avviene accade che la sorgente termica si esaurisce prima che si verifichi l'accensione.

In generale l'ossigeno disponibile è sovrabbondante per le modeste e limitate reazioni che si verificano inizialmente e quindi il progredire di questa fase raramente è controllato dalla quantità d'aria disponibile.

Al termine di questo stadio l'aumento della temperatura media è molto modesto.

La **fase di ignizione** è influenzata dai seguenti fattori:

- infiammabilità del combustibile;
- possibilità di propagazione della fiamma;
- grado di partecipazione al fuoco del combustibile;
- geometria e volume degli ambienti;
- possibilità di dissipazione del calore nel combustibile;
- ventilazione dell'ambiente;
- caratteristiche superficiali del combustibile;
- distribuzione nel volume del combustibile, punti di contatto



2. Fase di propagazione caratterizzata da:

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

In questo stadio vengono coinvolti altri oggetti combustibili (mobili, rivestimenti di pareti ecc.) e la dimensione del fuoco va via via aumentando.

Il progredire dell'incendio dipende dalle caratteristiche dei materiali.

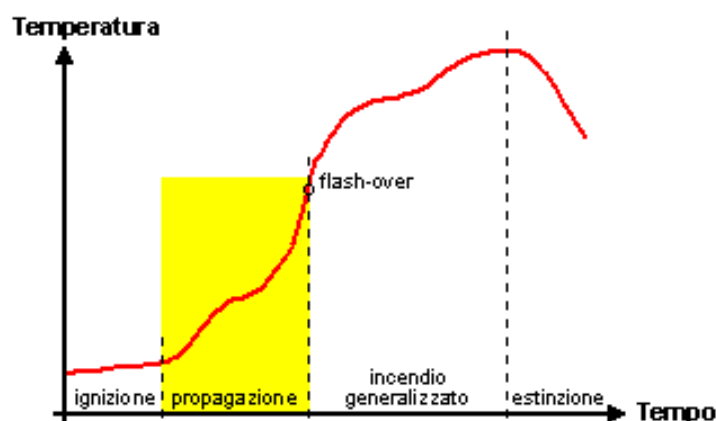
La continuazione della combustione dipende dalla natura dello strato prossimo a quello superficiale e dalla sua inerzia termica (conduttività e dalla capacità termica).

Se il calore fornito non è sufficiente ad innalzare la temperatura della parte di materiale combustibile adiacente non ancora coinvolta nell'incendio si può verificare una graduale estinzione.

Se invece il bilancio è positivo allora la combustione continuerà ad una velocità sempre maggiore; la temperatura ambiente aumenterà con conseguente aumento della velocità di combustione.

Nel caso la ventilazione sia insufficiente, la quantità di ossigeno si riduce, determinando una combustione incompleta, una diminuzione della temperatura e un rallentamento della velocità di combustione.

Il progredire dell'incendio è generalmente **irregolare**; viene facilitato dalla rottura dei vetri delle finestre ed ostacolato, fino ad una possibile autoestinzione, da deficienza di ossigeno o da una insufficiente esposizione degli oggetti circostanti la cui temperatura può non raggiungere quella di ignizione.



3. Incendio generalizzato (flash-over) caratterizzato da:

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

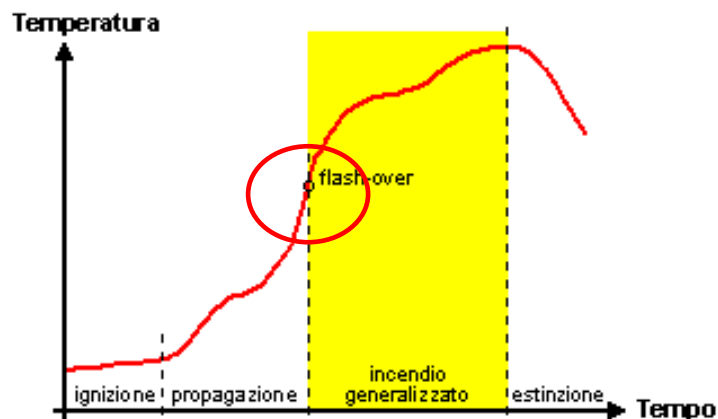
L'incendio si propaga, le fiamme raggiungono il soffitto dove si accumulano gas e fumi caldi.

La temperatura aumenta più rapidamente, ma non raggiunge valori tali da determinare l'ignizione spontanea di tutte le sostanze combustibili. Con una adeguata ventilazione, l'incendio prosegue da oggetto a oggetto, mentre le fiamme e i gas caldi irradiano, in tutte le direzioni, l'energia termica che si produce.

In questo stadio la temperatura raggiunge un valore tale per cui risulta molto improbabile l'autoestinzione.

La maggior parte del materiale combustibile prende fuoco per effetto del calore che riceve o per irraggiamento o per convezione. Si sviluppano grandi quantità di fumo che fuoriesce dalle finestre o dalle altre aperture.

Tutti i materiali combustibili esposti emettono gas infiammabili. L'incendio si sviluppa con pieno vigore e le temperature crescono rapidissimamente. Siamo ormai allo stadio chiamato **flashover** o di **incendio generalizzato**.

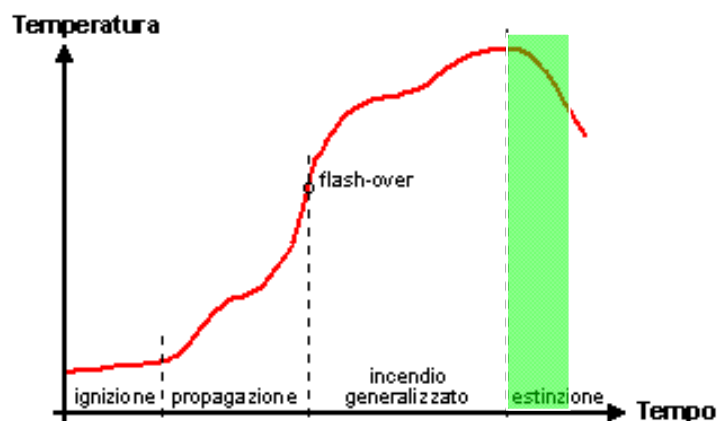


4. Estinzione e raffreddamento

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

Il calore accumulatosi permane per tempi abbastanza lunghi e la sua restituzione avviene in relazione soprattutto alla ventilazione del locale.

Una notevole potenza termica continua ad essere asportata con i fumi, a disperdersi per irradiazione attraverso le finestre, mentre l'afflusso di aria fresca abbassa gradualmente la temperatura media.



5.5 Propagazione degli incendi

La propagazione dell'incendio è legata ai seguenti fenomeni:

- **convezione**
- **irraggiamento termico**
- **conduzione**

5.5.1 Convezione

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

Alcuni aspetti sono da rilevare:

- **termoespansione dell'aria causata dall'aumento di temperatura:** l'aumento della temperatura provoca un proporzionale aumento del volume occupato dal gas. Durante un incendio questo fenomeno provoca la rottura delle finestre e delle porte;
- **effetti camino:** il principale meccanismo di movimento dei fumi è il tiraggio. Questo per manifestarsi ha bisogno di "**camini**" quali scale, vani ascensore, cavedi di impianti e così via. Di qui la pericolosità negli edifici di tutti gli attraversamenti di piano non protetti adeguatamente;
- **azioni della ventilazione:** le correnti d'aria fanno muovere il fumo, il loro effetto principale è di determinare un movimento orizzontale non solo del fumo ma anche dell'incendio;
- **funzionamento improprio della ventilazione meccanica:** gli impianti di ventilazione se non progettati adeguatamente possono causare rapidi trasferimenti di fumo e calore attraverso le condotte di passaggio dell'aria. Di qui la necessità delle serrande tagliafuoco e di sistemi di arresto automatico degli impianti.

Gli impianti di ventilazione possono, al contrario, esser progettati anche per l'estrazione dei fumi in caso di incendi e venire così integrati nel sistema di protezione dell'edificio.

5.5.2 Irraggiamento termico

Il secondo meccanismo per ordine di importanza della propagazione degli incendi è **l'irraggiamento termico**.

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

5.5.3 Conduzione

La propagazione a distanza degli incendi, oltre che per effetto della convezione dei fumi caldi e dell'irraggiamento, può aver luogo per **conduzione** attraverso le strutture di separazione.

A causa della continuità che esiste tra le diverse parti di un edificio, la propagazione termica attraverso pareti e solette può portare alla temperatura di accensione anche sostanze combustibili contenute in locali non direttamente investiti dalle fiamme.

5.6 Test di autovalutazione n. 5



Vediamo cosa hai capito...6 domande ognuna vale 15 punti. Buon lavoro!!!

Domanda n.1

Un incendio all'interno di un magazzino da quali fattori può essere influenzato?

Domanda n.2

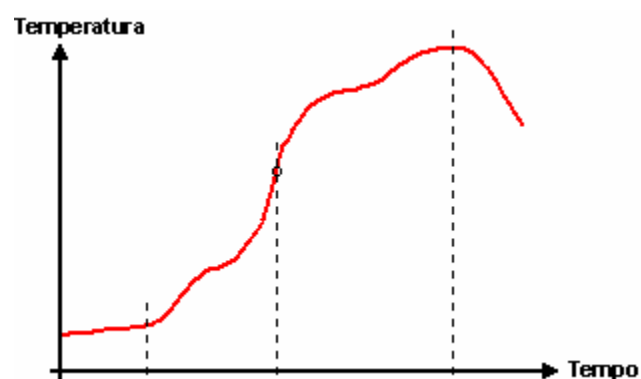
A cosa può servire e quale impiego ha un compartimento antincendio?

Domanda n.3

Quali sono i fenomeni che determinano la propagazione dell'incendio?

Domanda n.4

Individua nella seguente figura le fasi dell'incendio e il flashover:



Domanda n.5

Cos'è e da cosa può essere influenzata la fase di ignizione di un incendio?

Domanda n.6

La ventilazione in un ambiente costituisce un elemento positivo o negativo?

Voto _____ / 90

6 EFFETTI DELL'INCENDIO SULL'UOMO

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

- gas di combustione
- fumi
- fiamma
- calore

6.1 Effetti dei gas di combustione

Anossia

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

La concentrazione dell'ossigeno nell'aria, per effetto della combustione, può scendere sotto il 20,9% della normalità.

Alla 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

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.



6.2 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.



6.3 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.

Il calore è dannoso per l'uomo potendo causare la disidratazione dei tessuti, difficoltà o blocco della respirazione e scottature.



Una temperatura dell'aria di circa 150 °C è da ritenere la massima sopportabile sulla pelle per brevissimo tempo, a condizione che l'aria sia sufficientemente secca. Tale valore si abbassa se l'aria è umida.

Purtroppo negli incendi sono presenti notevoli quantità di vapore acqueo. Una temperatura di circa 60°C è da ritenere la massima respirabile per breve tempo.

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

ustioni di I grado

superficiali

facilmente guaribili



ustioni di II grado

formazione di bolle e vescicole

consultazione struttura sanitaria



ustioni di III grado

profonde

urgente ospedalizzazione



Effetti dell'irraggiamento secondo il metodo di Eisemberg

ENERGIA (KW/mq)	EFFETTI SULL'UOMO
40	1% di probabilità di sopravvivenza
26	innescò incendi di materiale infiammabile
19	50% di probabilità di sopravvivenza
5.0	danni per operatori con indumenti di protezione esposti per lungo tempo
2.0	scottature di 2° grado
1.8	scottature di 1° grado
1.4	limite di sicurezza per persone vestite esposte per lungo tempo
1 ÷ 1.5	irraggiamento estivo al SUD

Azione traumatica

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



6.4 Principali gas di combustione

I principali gas di combustione che generalmente vengono prodotti sono:

- ossido di carbonio (CO)
- anidride carbonica (CO₂)
- idrogeno solforato (H₂S)
- anidride solforosa (SO₂)
- ammoniaca (NH₃)
- acido cianidrico (HCN)
- acido cloridrico (HCl)
- perossido d'azoto (NO₂)
- aldeide acrilica (CH₂CHCHO)
- fosgene (COCl₂)

OSSIDO DI CARBONIO

L'ossido di carbonio (o monossido di carbonio) si sviluppa in incendi covanti in ambienti chiusi ed in carenza di ossigeno.

E' spesso presente in **grandi quantità** negli incendi e costituisce di solito il pericolo più grande.

E' **sempre presente** in grandi quantità quando si tratti di fuochi sviluppatasi in ambienti chiusi con **scarsa ventilazione** e in tutti i casi dove scarseggia l'ossigeno necessario alla combustione.

Negli incendi risulta il più pericoloso tra i tossici del sangue sia per l'elevato livello di tossicità, sia per i notevoli quantitativi generalmente sviluppati.

Caratteristiche

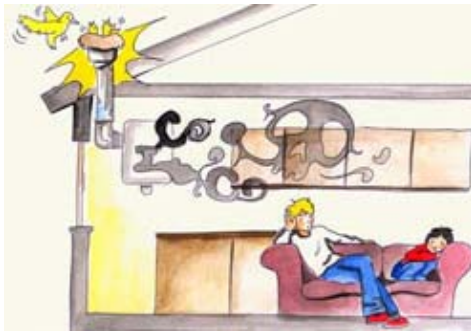
- incolore
- inodore
- tossico
- non irritante
- infiammabile

Meccanismo d'azione

L'azione tossica dell'**ossido di carbonio** è dovuta al fatto che esso **altera la composizione del sangue**: il monossido di carbonio forma infatti con l'emoglobina un composto (la

carbossi-emoglobina) che impedisce la formazione dell'ossiemoglobina, fondamentale per l'ossigenazione dei tessuti del corpo umano.

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



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.

Sintomatologia:

Cefalea, nausea, vomito, palpitazioni, astenia (mancanza di forza), tremori muscolari

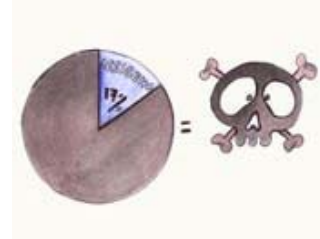
Se si sommano gli effetti dell'ossido di carbonio sull'organismo umano con quelli conseguenti ad una situazione di stress, di panico e di condizioni termiche avverse, i massimi tempi di esposizione sopportabili dall'uomo in un incendio reale sono quelli indicati nella seguente tabella:

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

ANIDRIDE CARBONICA

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.

Quando ne determina una diminuzione a valori inferiori al 17% in volume, produce asfissia.



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

Con una percentuale del 2% di CO₂ in aria la velocità e la profondità del respiro aumentano del 50% rispetto alle normali condizioni.

Con una percentuale di CO₂ al 3% l'aumento è del 100%, cioè raddoppia.

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

IDROGENO SOLFORATO

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 ma tale sensazione che si ha alle prime inalazioni scompare dopo poco tempo

Esposizioni ad aria contenente percentuali tra lo 0,04 e lo 0,07% per più di mezz'ora possono essere pericolose in quanto provocano vertigini e vomito.

In percentuali maggiori diviene molto tossico ed attacca il sistema nervoso provocando dapprima affanno e successivamente il blocco della respirazione

ANIDRIDE SOLFOROSA

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

Percentuali dell'ordine dello 0,05% sono da considerarsi pericolose anche per esposizioni di breve durata.

E' un gas irritante delle mucose degli occhi e delle vie respiratorie.

A basse concentrazioni gli effetti del biossido di zolfo sono principalmente legati a patologie dell'apparato respiratorio come bronchiti, asma e tracheiti e ad irritazioni della pelle, degli occhi e delle mucose

AMMONIACA

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'ammoniaca è impiegata in alcuni impianti di refrigerazione e costituisce un notevole rischio di intossicazione in caso di fuga. Produce sensibili irritazioni agli occhi, al naso, alla gola ed ai polmoni.

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

ACIDO CIANIDRICO

L'acido cianidrico si sviluppa in modesta quantità in incendi ordinari attraverso combustioni incomplete (carenza di ossigeno) di lana, seta, resine acriliche, uretaniche e poliammidiche (cuscini, imbottiture). E' impiegato come fumigante per distruggere i parassiti.

Caratteristiche

- incolore
- altamente tossico
- infiammabile
- odore mandorle amare

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

Meccanismo d'azione

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

Vie di penetrazione

- inalatoria
- cutanea
- digerente

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

Sintomatologia

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

ACIDO CLORIDRICO

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.

La sua presenza viene facilmente avvertita a causa dell'odore pungente e del suo effetto irritante per le mucose. L'acido cloridrico ha inoltre la proprietà di corrodere i metalli.

ALDEIDE ACRILICA O ACROLEINA

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 poliuretaniche (cuscini, materassi, imbottiture ecc.).

Caratteristiche

- altamente tossico e irritante
- infiammabile
- odore mandorle amare

Vie di penetrazione

- inalatoria
- cutanea
- digerente

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

PEROSSIDO DI AZOTO

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.

FOSGENE

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

Meccanismo d'azione

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

Sintomatologia

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

6.5 Test di autovalutazione n. 6



Domanda n.1

Quali effetti possono indurre sull'uomo i gas di combustione?

Domanda n.2

La riduzione del tenore di ossigeno nell'aria quale effetto può causare sull'uomo? Quali sono i sintomi?

Domanda n.3

Quali caratteristiche percettive ha il monossido di carbonio? Quali possono essere gli effetti anche a bassissime concentrazioni?

Domanda n.4

Quale odore caratteristico contraddistingue l'idrogeno solforato?

Domanda n.5

In un incendio di un magazzino contenente materiale tessile, quali tipi di gas di combustione possono essere sprigionati?

Domanda n.6

L'acido cloridrico e il fosgene vengono prodotti durante la combustione di quale tipo di materiale?

Domanda n.7

Un'ustione su un individuo può essere causata solo dall'esposizione diretta alle fiamme in un incendio?

Voto _____ / 90