

CHIMICA E FISICA DELL'INCENDIO

PREMESSA

LA MATERIA

Ci sono alcuni concetti fondamentali nelle scienze fisiche la cui definizione è veramente ardua, come per esempio quelli di tempo, spazio, energia e materia.

Il loro significato viene chiarito dal loro uso, dal contesto delle loro applicazioni e dalla loro associazione ai principi fondamentali della fisica e della chimica.

I termini **materia**, **materiale**, **sostanza** e **elemento** indicano una gradualità dal generale al particolare.

Ogni sostanza ha attributi caratteristici chiamati **proprietà** che possono essere distinte in proprietà fisiche (aspetto, punto di fusione e di ebollizione, conducibilità elettrica e termica, lo stato di aggregazione, la densità, ecc.) e chimiche (numero atomico, peso atomico, combustibilità, reattività, stabilità, proprietà basiche o acide, ecc.).

La materia esiste sotto tre **stati** di aggregazione: **gassoso, liquido e solido**.

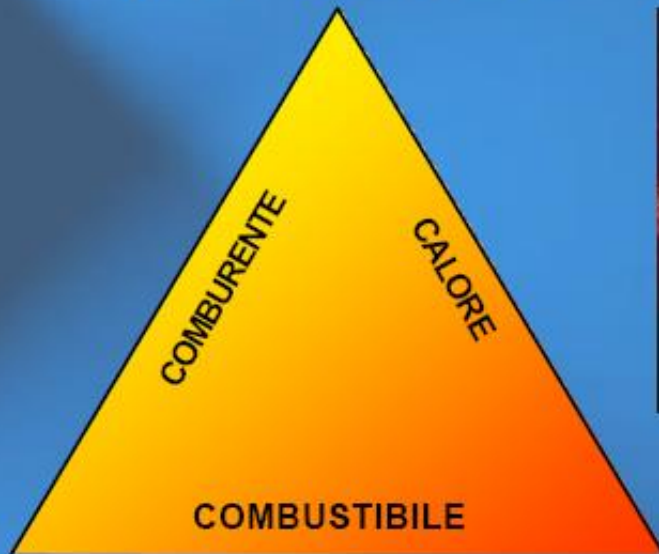
Lo stato fisico di una sostanza dipende dalle condizioni di temperatura e pressione.

L'incendio può essere identificato generalmente come una rapida combustione con sviluppo di calore, fiamme e gas ad elevata temperatura che avviene in un luogo non predisposto a contenerli e che perciò spesso sfugge al controllo dell'uomo.

L'incendio si sviluppa se sussiste contemporaneamente la concomitanza di tre condizioni (*triangolo della combustione*):

- **COMBUSTIBILE**
- **COMBURENTE**
- **INNESCO**

TRIANGOLO del Fuoco



Reazione di combustione
SENZA FIAMMA:

Combustibile+Comburente+Temperatura



TETRAEDRO del Fuoco



Reazione di combustione
CON FIAMMA:

Combustibile+Comburente+Temperatura+Catena di Reazione

Analogamente un incendio in atto si combatte agendo sempre sui tre fattori, mediante:

- **ESAURIMENTO o SOTTRAZIONE** del combustibile (allontanamento o separazione delle sostanze combustibili dal focolaio d'incendio)
- **SOFFOCAMENTO** (separazione del comburente dal combustibile o riduzione della concentrazione del comburente)
- **RAFFREDDAMENTO** (sottrazione di calore fino ad ottenere una temperatura inferiore a quella di attivazione ovvero a quella necessaria al mantenimento della combustione)

Normalmente per lo spegnimento degli incendi si utilizzano tecniche basate su combinazioni delle operazioni di esaurimento o sottrazione del combustibile, di soffocamento e di raffreddamento.

ESTINZIONE DEL FUOCO

Isolamento/eliminazione combustibile
SEPARAZIONE

Riduzione/eliminazione comburente
DILUIZIONE dell'Ossigeno

Sottrazione di energia termica
RAFFREDDAMENTO

INTERRUZIONE della catena di reazione

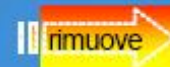


SEPARAZIONE



Faccia COMBUSTIBILE

DILUIZIONE dell'Ossigeno



Faccia COMBURENTE

RAFFREDDAMENTO



Faccia COMBUSTIBILE
Faccia CALORE

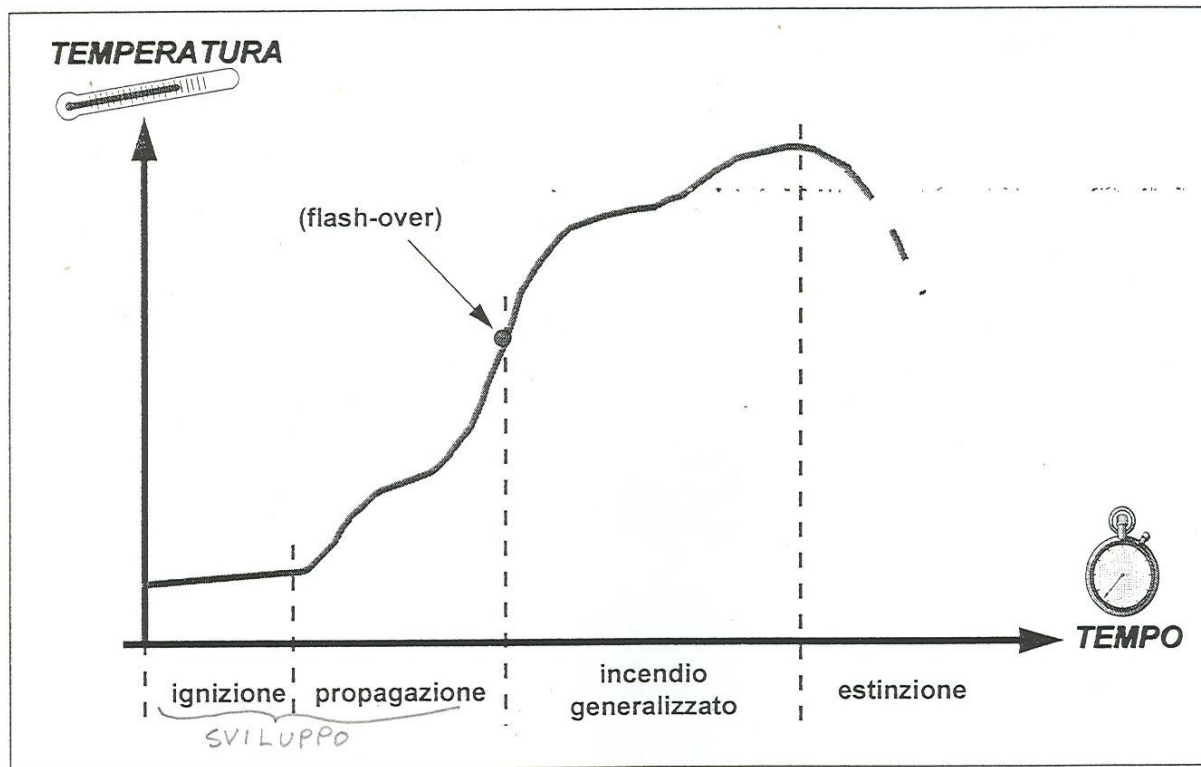
INTERRUZIONE della catena di reazione



Faccia
CATENA DI REAZIONE

L'incendio viene suddiviso schematicamente in tre fasi (o secondo altre schematizzazioni in quattro fasi):

- 1) **inizio o fase dello sviluppo** (fase di ignizione e propagazione)
- 2) **Fase di combustione attiva** (incendio generalizzato)
- 3) **Fase di esaurimento o regressione** (estinzione)



Nella ricerca delle cause d'incendio, sia a livello preventivo che a livello di accertamento, è fondamentale individuare tutte le possibili fonti di innesco che possiamo in linea di massima ricondurre a:

- **ACCENSIONE DIRETTA**
- **ACCENSIONE INDIRETTA**
- **ATTRITO**
- **AUTOCOMBUSTIONE o RISCALDAMENTO SPONTANEO**

TRASMISSIONE DEL CALORE

CONDUZIONE: è caratteristica dei solidi, anche se non esclusiva; essa avviene per propagazione diretta dell'energia termica da uno strato di materiale al contiguo col quale è in contatto. Il calore quindi si trasferisce da un corpo più caldo ad uno più freddo per contatto diretto.

La quantità di calore che viene trasferita dipende dal coefficiente di conduttività termica tipico di ciascun materiale, dalla superficie di contatto e dal tempo durante il quale il contatto si protrae:

$$Q = k \frac{A (T_2 - T_1)}{l} t$$

CONVEZIONE: è caratteristica del contatto tra solidi e fluidi, in quanto il materiale fluido che subisce variazioni di temperatura cambia densità e, per effetto della gravità, tende a muoversi spostando masse di fluido caldo verso zone dove sono presenti masse più fredde (a maggiore densità) e viceversa. Il calore quindi viene trasmesso per interposizione di un fluido vettore, gas o liquido, ovvero la trasmissione del calore è associata a movimento di materia.

L'espressione che si utilizza correntemente è:

$$\xi = h S (T1 - T2)$$

dove ξ = flusso termico (dq/dt)

IRRAGGIAMENTO: è caratteristico (ancorché non esclusivamente) del vuoto, in quanto corrisponde allo scambio diretto di energia tra superfici e tra corpi attraverso un mezzo interposto trasparente; tale scambio avviene per effetto della temperatura del corpo emittente e non è influenzato dalla presenza o meno di altri corpi. Il calore quindi si trasferisce da un corpo all'altro attraverso lo spazio.

Ogni corpo è caratterizzato da un coefficiente di riflessione o assorbimento, per definizione il corpo nero ha coefficiente di assorbimento = 1.

Il calore ricevuto da un oggetto per irraggiamento è tanto più basso quanto più è distante la fonte di emissione.

La quantità di calore scambiata dipende dalla differenza di temperatura dei due corpi ed è inversamente proporzionale al quadrato della loro distanza.

Il fenomeno dell'irraggiamento è piuttosto complesso, così come la sua definizione quantitativa, infatti l'energia è trasportata nello spazio fra un corpo e l'altro mediante onde elettromagnetiche, dette radiazioni.

Questo processo di trasmissione implica la trasformazione dell'energia termica di un corpo in energia raggiante.

La teoria che determina gli studi delle radiazioni rientrano nell'ambito della meccanica quantistica di Plank:

$$E = h\nu$$

POTERE CALORIFICO

QUANTITA' DI CALORE PRODOTTA BRUCIANDO COMPLETAMENTE UNA QUANTITA' UNITARIA DI COMBUSTIBILE (1 kg se solido o liquido, 1 Nm³ se gas).

Nella pratica, poiché i combustibili non sono mai puri, sono composti da varie sostanze la cui percentuale nella composizione può variare entro certi limiti, si preferisce effettuare la determinazione del potere calorifico per via sperimentale con apposite apparecchiature: per i combustibili solidi e liquidi vengono utilizzati il calorimetro adiabatico o il calorimetro di Berthelot-Mahler e Bomba di Mahler, mentre per i combustibili gassosi si utilizza il calorimetro di Junkers.

Il metodo per la determinazione del potere calorifico per i materiali da costruzione è definita dalla norma ISO 1716 e UNI 7557 – *“Determinazione del potere calorifico”*.

La conoscenza del potere calorifico delle sostanze è determinante per la valutazione del carico d'incendio di un compartimento (espresso in MJ/m²)

MATERIALI	POTERE CALORIFICO [MJ/kg]
ABITI	17-21
ACETILENE	48
ALCOOL ETILICO	25
BENZINA	42
BUTANO	46-51
GASOLIO	42
IDROGENO	143
LEGNO STANDARD	18.48
METANO	56
POLIURETANO	26
PROPANO	46
ZOLFO	9
ZUCCHERO	17

TEMPERATURA DI IGNIZIONE

TEMPERATURA DI INFIAMMABILITA'

LIMITI DI INFIAMMABILITA'

- PER TEMPERATURA DI IGNIZIONE O DI ACCENSIONE SI INTENDE LA TEMPERATURA MINIMA ALLA QUALE DEVE ESSERE PORTATA LA MISCELA COMBUSTIBILE-COMBURENTE PERCHE' INIZI A BRUCIARE SPONTANEAMENTE ED IN MODO CONTINUO, SENZA ULTERIORE APPORTO DI CALORE O DI ENERGIA DALL'ESTERNO.
- PER I COMBUSTIBILI LIQUIDI SI DEFINISCE TEMPERATURA DI INFIAMMABILITA' QUELLA TEMPERATURA ALLA QUALE IL COMBUSTIBILE PRODUCE UNA QUANTITA' DI VAPORI SUFFICIENTE A FORMARE CON L'ARIA UNA MISCELA POTENZIALMENTE INFIAMMABILE.

COMBUSTIBILE	TEMPERATURA DI INFIAMMABILITA' [°C]	TEMPERATURA DI AUTOACCENSIONE [°C]
Etere di petrolio	- 56	288
n-pentano	- 49	285
Benzina	- 43	250-400
n-esano	-22	233
n-ottano	13	220
Acqua ragia minerale	38	232
cherosene	38-74	227

I combustibili possono essere conservati a temperatura ambiente in contatto con aria, senza che avvengono modificazioni apprezzabili. Se però innalziamo la temperatura in un punto del combustibile fino ad innescare la reazione di ossidazione, la velocità di questa può assumere valori elevati e la combustione procede massivamente e si manifestano i caratteristici fenomeni termici e luminosi.

La temperatura minima oltre la quale la reazione procede spontaneamente, indipendentemente cioè dalla fornitura di calore, prende il nome di **TEMPERATURA DI AUTOACCENSIONE** (a volte indicata come temperatura di autoaccensione o accensione spontanea).

- **La temperatura di accensione varia con lo stato fisico del combustibile e del rapporto tra combustibile e comburente.**

LIMITI DI INFIAMMABILITA'

Affinchè i vapori di liquidi infiammabili possano bruciare è necessario che, raggiunta la temperatura di infiammabilità, le loro concentrazioni in aria si trovino entro determinati valori detti LIMITI DI INFIAMMABILITA'.

LIMITE INFERIORE DI INFIAMMABILITA':

È la più bassa concentrazione in volume di vapore della miscela al di sotto della quale non si ha accensione in presenza di innesco.

LIMITE SUPERIORE DI INFIAMMABILITA':

È la più alta concentrazione di vapore della miscela al di sopra della quale non si ha innesco per eccesso di combustibile (o carenza di comburente)

SOSTANZE	CAMPO DI INFIAMMABILITA' % IN VOLUME)	
	LIMITE INFERIORE	LIMITE SUPERIORE
Acetone	2.5	13
Ammoniaca	15	18
Benzina	1	6.5
Gasolio	0.6	6.5
Idrogeno	4	75.6
Metano	5	15

Anche i gas sono infiammabili entro una zona definita da due limiti di infiammabilità che si esprimono anch'essi in percentuale in volume di gas combustibile nella miscela totale combustibile + comburente.

L'ampiezza del campo di infiammabilità dipende da:

- pressione
- temperatura
- direzione dell'accensione (fronte di fiamma)
- dimensioni e forma del contenitore
- presenza di gas inerti e vapor d'acqua.

AUTOCOMBUSTIONE O COMBUSTIONE SPONTANEA

AVVIENE TUTTE LE VOLTE CHE IL PROCESSO DI COMBUSTIONE NON VIENE INNESCATO DA UNA SORGENTE DI ENERGIA ESTERNA AL MATERIALE CONBUSTIBILE, BENSI' DAL CALORE PRODOTTO DALLO STESSO COMBUSTIBILE.

I materiali che, ammassati in gran quantità sono più suscettibili di poter bruciare per autocombustione sono:

- **carbone di legna**
- **vernici all'olio o pitture contenenti essiccativi**
- **erba medica e fieno**
- **farina di pesce**
- **oli vegetali**
- **oli di pesce**
- **stracci impregnati di oli e vernici**
- **cacao in grani**
- **carta da macero umida**
- **cuoio e cascami**
- **feltri e cartoni catramati**
- **fertilizzanti organici**

COMBUSTIBILI SOLIDI NATURALI

- Sono rappresentati dal legno e dai suoi derivati: *torba, lignite, litantrace e antracite*.

- **LEGNO:**

È costituito da sostanze organiche, minerali e acqua. Quest'ultima può essere contenuta nel legno fresco in quantità molto variabili dal 20 al 60 %.

La parte organica risulta essere essenzialmente costituita da cellulosa (il componente fondamentale), lignina, oltre ad amido glucosio, esteri, alcoli, chetoni, ecc.

La cellulosa può essere rappresentata con la formula bruta:



Tutti i tipi di legno hanno praticamente la stessa composizione chimica:

C : 50 – 52 %; H : 6 –6.6 %; O : 40 – 44 %; N : 0.5 – 1 %

Varia invece la porosità, donde le forti differenze di porosità apparente.

Il potere calorifico superiore del legno secco è circa 4400 kCal/kg.

COMBUSTIBILI FOSSILI

- Rappresentano i prodotti della trasformazione del legno per azione combinata di più fattori: *temperatura, tempo, pressione, batteri, ecc.*
- Il processo detto di carbogenesi o carbonizzazione ha portato ad una graduale perdita di ossigeno, azoto ed idrogeno, con conseguente aumento del tenore di carbonio.
- I combustibili fossili costituiscono una serie continua nella quale per gradi si passa da un tipo all'altro. E' possibile, peraltro, suddividere i combustibili fossili in quattro gruppi fondamentali:
 - *Torbe*
 - *Ligniti*
 - *Litantraci*
 - *Antraciti*

COMBUSTIBILI SOLIDI ARTIFICIALI

- **CARBONE DI LEGNA:**

Si ottiene dalla legna verde per riscaldamento fuori dal contatto con aria.

- **COKE:**

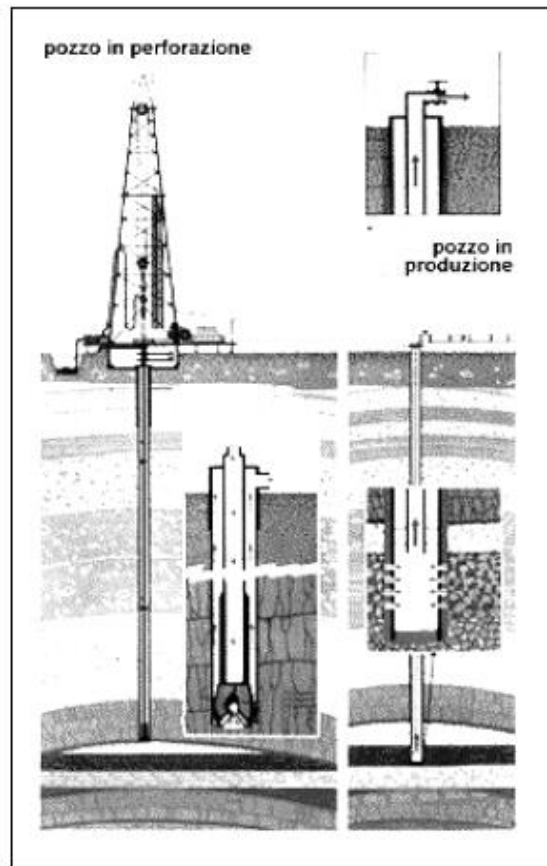
Si ottiene dai carboni fossili (in genere litantraci) per “distillazione secca”, processo consistente nel riscaldamento a temperatura elevata (1000 °C) fuori dal contatto con l’aria.

Le caratteristiche del coke sono:

- C : 85 – 92 %; Ceneri : 5 – 10 %; Umidità: 2 – 3 %; Sostanze volatili: 0.5 – 1 %
- Potere calorifico superiore: 6800 – 7300 kCal/kg.

COMBUSTIBILI LIQUIDI NATURALI

Se si esclude l'impiego, peraltro molto limitato, di piccole quantità di prodotti ottenuti per fermentazione o per sintesi, quali gli alcoli etilico, metilico ecc. i combustibili liquidi sono nella quasi totalità costituiti da derivati del petrolio.



- Il petrolio è costituito essenzialmente da idrocarburi (composti a catena di C e H), uniti a composti ossigenati (CO e CO₂), solforati (H₂S) e azotati, a composti metallorganici e a sostanze complesse (asfalti) ed un certo numero di elementi come Fe, Ca, Mg, V.

L'analisi chimica è all'incirca:

C: 83 – 87 %;

H: 11 – 12 %;

S: 0.05 – 3 %;

O: 0.05 – 3 %;

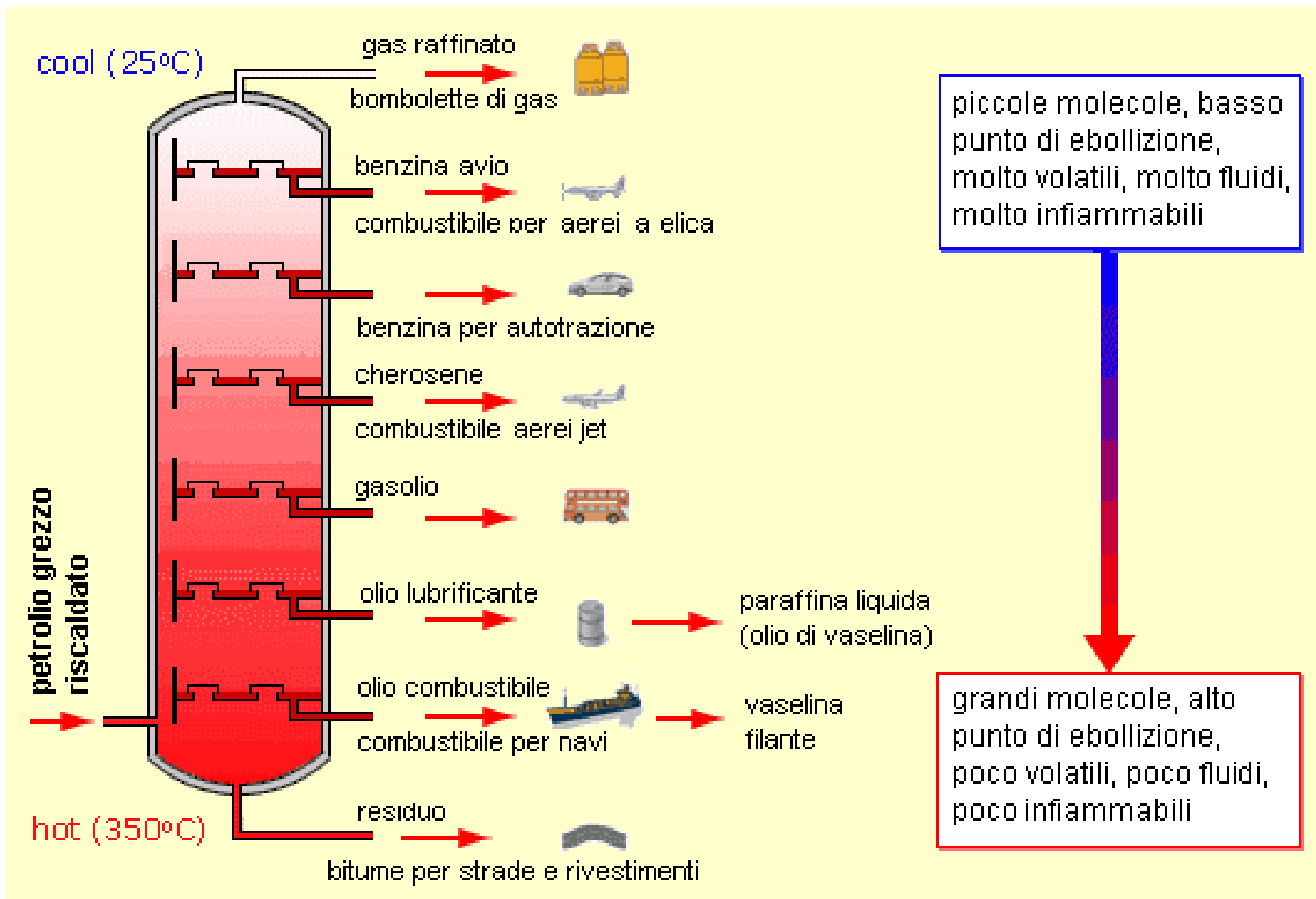
N: 0.05 – 1 %.

- A seconda del tipo di idrocarburi prevalenti, i petroli si suddividono in paraffinici, aromatici e naftenici.

Per ottenere dal petrolio grezzo la gamma di prodotti derivati si esegue una serie di operazioni che vanno sotto il nome generico di **raffinazione**.

Data l'enorme complessità della miscela, non è possibile né tecnicamente necessario separare per distillazione i costituenti allo stato puro, ma ci si limita ad un'operazione di frazionamento intesa a suddividere inizialmente il grezzo nelle seguenti frazioni:

- frazione gassosa (idrocarburi fino a C₄)
- oli leggeri: distillano fino a 180-200 °C (gas di petrolio, benzine)
- oli lampanti: distillano fra 180-260 °C (kerosene, petrolio solvente)
- oli medi: distillano fra 260-320 °C (gasolio per diesel)
- oli pesanti: distillano oltre 320 °C (oli pesanti, oli lubrificanti).



COMBUSTIBILI GASSOSI

- I combustibili gassosi presentano rispetto ai combustibili solidi e liquidi una serie di vantaggi: sono più facilmente esenti da impurezze, bruciano con facilità e completamente con il quantitativo di aria teorica o con piccolissimo eccesso.
- Bruciano in modo completo senza lasciare ceneri o incombusti.
- Sono facilmente trasportabili e i dispositivi di combustione sono semplici.
- Si prestano egregiamente a preriscaldamenti e recuperi
- consentono rendimenti di combustione molto alti ed elevate temperature di fiamma.

EFFETTI DELL'INCENDIO

- **L'incendio, essendo per definizione un fenomeno non voluto e spesso non controllato dall'uomo, è causa di danni alle persone e alle cose (beni materiali, strutture, interruzione delle attività produttive, servizi, ecc.).**
- **Gli effetti immediati provocati da un incendio sono imputabili ai prodotti della combustione: effetti energetici, gas e fumi.**

Effetti termici

- Lo sviluppo di calore e l'azione delle fiamme spesso comportano la distruzione dei beni materiali e conseguenze per le persone che possono essere anche mortali.
- Oltre alle ustioni provocate dalla temperatura sull'epidermide, infatti, l'organismo umano è soggetto, a causa delle esposizione prolungata al calore, a processi di rapida disidratazione, arresto della respirazione e alterazioni delle funzioni biologiche.
- E' stato stimato che il calore costituisce circa il 25% delle cause di decesso in dipendenza di incendio.

Effetti tossici

- **Secondo le statistiche della National Fire Prevention la più importante causa di decesso, pari al 62,3% è da attribuire all'inalazione dei gas tossici o asfissianti che si sviluppano nel corso della combustione di materiali naturali o sintetici.**
- **I gas corrosivi e combustibili prevalentemente producono i loro effetti sui beni sia, ovviamente, per corrosione, sia per la loro partecipazione alla combustione.**
- **I fumi infine, oltre a ridurre rapidamente la visibilità e quindi ad impedire o ritardare lo sfollamento delle persone, costrette pertanto ad inalare quantità maggiori o anche letali di gas tossici, in concentrazione già del 4% rendono l'aria irrespirabile.**
- **Oltre alla natura e alla concentrazione dei vari gas e prodotti della combustione, sulla mortalità incidono anche le condizioni fisiche delle persone coinvolte nell'incendio, gli sforzi fisici da essi compiuti, l'età, eventualmente il contenuto di alcool o di droghe nel sangue e così via.**

PRODOTTI DELLA COMBUSTIONE

- ***Fiamme:*** fenomeno di emissione luminosa che si produce nella combustione dei gas;
- ***Calore:*** energia termica effettivamente liberata durante la combustione reale;
- ***Gas:*** insieme dei prodotti gassosi formati a seguito della combustione;
- ***Fumi:*** la sospensione nell'atmosfera di particelle solide incombuste o liquide o condensate (*aerosol*) prodottesi in una combustione incompleta, vapore acqueo

- I gas di combustione sono quei prodotti che rimangono allo stato gassoso anche quando vengono raffreddati a temperatura ambiente (15 °C).
- La loro formazione dipende dalla composizione chimica dei combustibili, dalla quantità di ossigeno disponibile e dalla temperatura raggiunta dalla combustione.
- Essi sono principalmente costituiti da:

Biossido di carbonio - CO₂

Monossido di carbonio – CO

Solfuro di idrogeno o idrogeno solforato – H₂S

Anidride solforosa - SO₂

Ammoniaca – NH₃

Acido cianidrico – HCN

Acido cloridrico – HCl

Ossidi di azoto – NO_x

Aldeide acrilica - C H₂CHCHO

Fosgene - COCl₂.

EFFETTI DELL'INCENDIO SULL'UOMO

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

EFFETTI DEL CALORE

- Il calore è dannoso per l'uomo potendo causare la disidratazione dei tessuti, difficoltà o blocco della respirazione.
- 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	Innesco di incendi di materiale infiammabile
19	50% di probabilità di sopravvivenza
5	Danni per operatori con indumenti di protezione esposti per lungo tempo
2	Scottature di 2° grado
1.8	Scottature di 1° grado
1.4	Limite di sicurezza per persone vestite esposte per lungo tempo