

Unità didattica 5

- Termodinamica (1^a parte)
 - Capacità termica..... 2
 - Calore specifico 3
 - Scale termometriche..... 4
 - Le leggi di dilatazione termica..... 5
 - Tipi di termometri:
 - Termometri a liquido*, 6
 - Termometri a bimetallo*..... 7
 - Termometri a gas*..... 8
 - La propagazione del calore:..... 9
 - Conduzione*..... 10
 - Convezione*..... 11
 - Irraggiamento*..... 12
 - Gas e leggi dei gas..... 13
 - Legge di Boyle – Mariotte*..... 14
 - Leggi di Guy-Lussac*..... 15
 - Altra forma della seconda legge di Guy-Lussac*..... 16
 - Equazione dei gas*..... 17
 - Legge di Avogadro*..... 18

Capacità termica

Il **calore** è l'energia che viene trasferita da un sistema al mezzo circostante (o viceversa) a causa della differenza di temperatura tra il sistema e il mezzo.

Nel Sistema Internazionale, l'unità di misura del calore è il **Joule**, nella pratica viene spesso usata la **caloria**.

1 cal = calore che deve essere ceduto a un grammo di acqua, alla pressione di 1 atm, per innalzarne la temperatura da 14.5°C a 15.5°C (**1 cal = 4.186 J**)

Il rapporto tra la quantità di calore Q fornita ad un corpo e il corrispondente innalzamento di temperatura ΔT viene detto **capacità termica** del corpo:

$$C = \frac{Q}{\Delta T}$$

Calore specifico

Il calore specifico è il rapporto tra la capacità termica e la massa del corpo

$$c = \frac{C}{m} = \frac{Q}{m \Delta T}$$

Esso caratterizza la sostanza di cui è composto il corpo. Per determinare il calore specifico di una sostanza si può somministrare una quantità di calore nota e misurare l'aumento di temperatura. In particolare per i gas l'apporto di calore può avvenire a pressione costante o a volume costante, per cui si distingue

c_v = calore specifico a volume costante

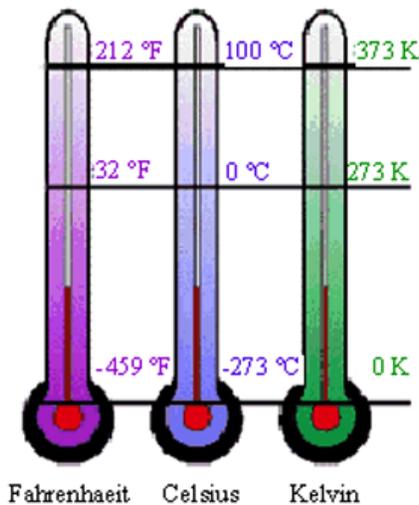
c_p = calore specifico a pressione costante

Scale termometriche

La temperatura è una grandezza che descrive l'equilibrio termico di un corpo.

Per misurare la temperatura si sono introdotte diverse scale termometriche:

Celsius (°C), Kelvin (K) e Fahrenheit (°F).



La scala celsius usa come punti di riferimento:

- La temperatura di fusione del ghiaccio alla pressione normale dell'aria (0 °C)
- La temperatura di ebollizione dell'acqua (100 °C).

Fattori di conversione per scale termometriche

Temperatura in Fahrenheit: $(9/5) \times$ Temperatura in Celsius + 32

Temperatura in Kelvin = Temperatura in Celsius + 273

	Celsius	Fahrenheit	Kelvin
<u>T. ambiente:</u>	20-25 °C	68-77 °F	293-298 K
<u>T. corporea:</u>	37 °C	98.6 °F	310 K
<u>T. Ebollizione dell'acqua:</u>	100 °C	212 °F	373 K

Le leggi di dilatazione termica

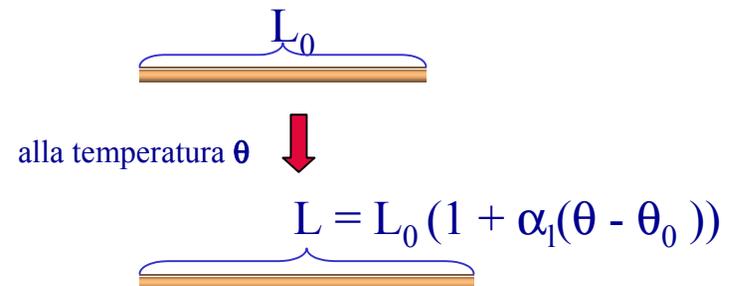
Dall'esperienza è noto che l'aumento di temperatura in un corpo comporti la **dilatazione** di quest'ultimo. Il processo avviene a livello molecolare, in quanto il calore imprime movimento alle molecole aumentando la loro energia cinetica, provocando cioè la dilatazione del corpo.

- **DILATAZIONE LINEARE**

Se L_0 = lunghezza iniziale di un corpo

θ_0 = temperatura iniziale

α_l = coefficiente di dilatazione lineare



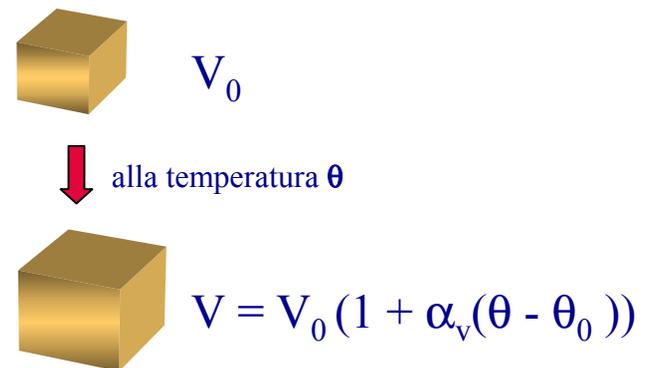
- **DILATAZIONE VOLUMETRICA**

Se V_0 = Volume iniziale di un corpo

θ_0 = temperatura iniziale

α_v = coefficiente di dilatazione volumetrica

$$\alpha_v = 3 \alpha_l$$



Tipi di termometri

La dilatazione rende possibile la misurazione della temperatura di un corpo

• DILATAZIONE NEI LIQUIDI → TERMOMETRI A LIQUIDO

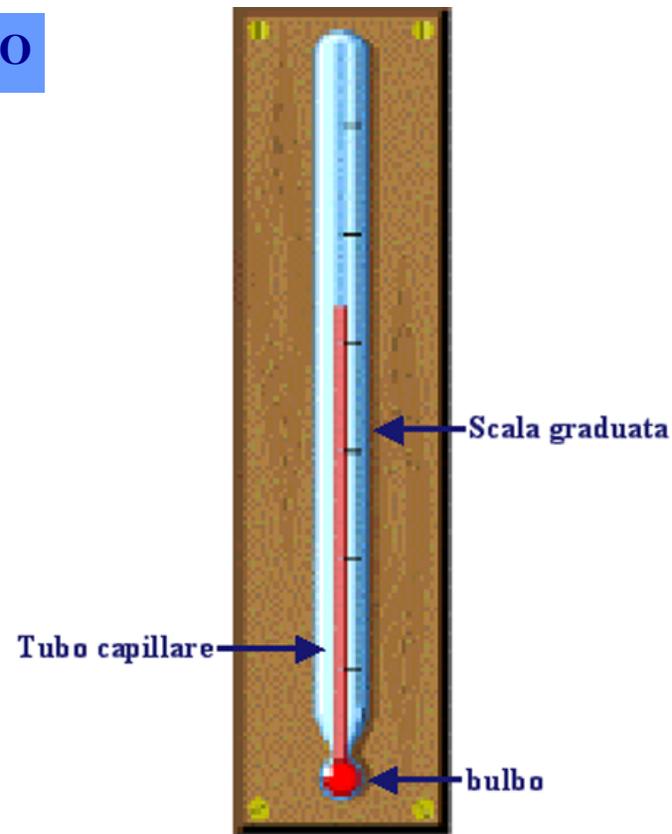
Il termometro a liquido è costituito da :

- un corpo di vetro di piccola massa (bulbo)
- una sostanza termometrica (generalmente Hg)
- un tubo capillare chiuso alla sua estremità.

All'interno del termometro viene riprodotta la condizione di vuoto.

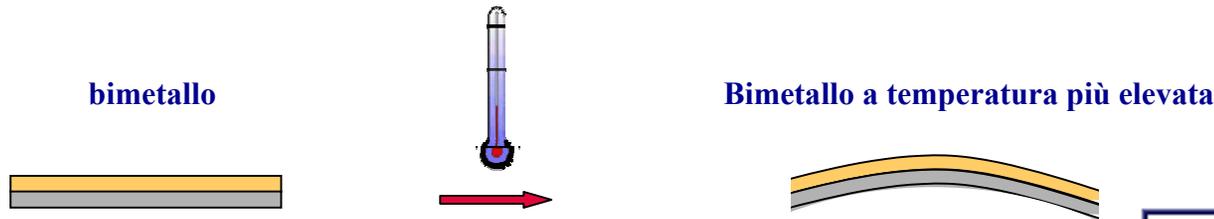
Quando il bulbo viene riscaldato, il liquido, aumentando di volume, sale all'interno del tubo capillare.

Dalla figura si deduce che l'altezza L della sostanza termometrica varia con il variare della temperatura. Interpretando matematicamente il suddetto fenomeno, possiamo affermare che c'è una proporzionalità diretta tra la lunghezza L della colonna del liquido e la temperatura θ .



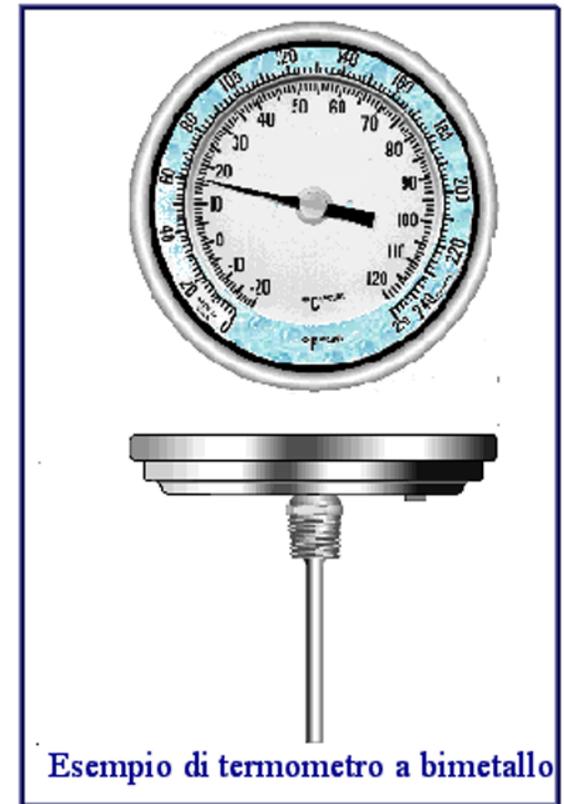
Esempio di termometro a liquido

• DILATAZIONE NEI SOLIDI → TERMOMETRI A BIMETALLO



I termometri a solido o a bimetallo sono costituiti da due strisce di due metalli con diverso coefficiente di dilatazione. All'aumentare della temperatura i metalli si dilata in maniera diversa assumendo una forma incurvata. Poichè la dilatazione è poco apprezzabile in una configurazione lineare, si utilizza una configurazione ad elica.

La differente dilatazione dei due metalli provoca una deformazione del nastro che viene amplificata con un sistema di leve e trasmessa a un indice che si muove su una scala graduata.



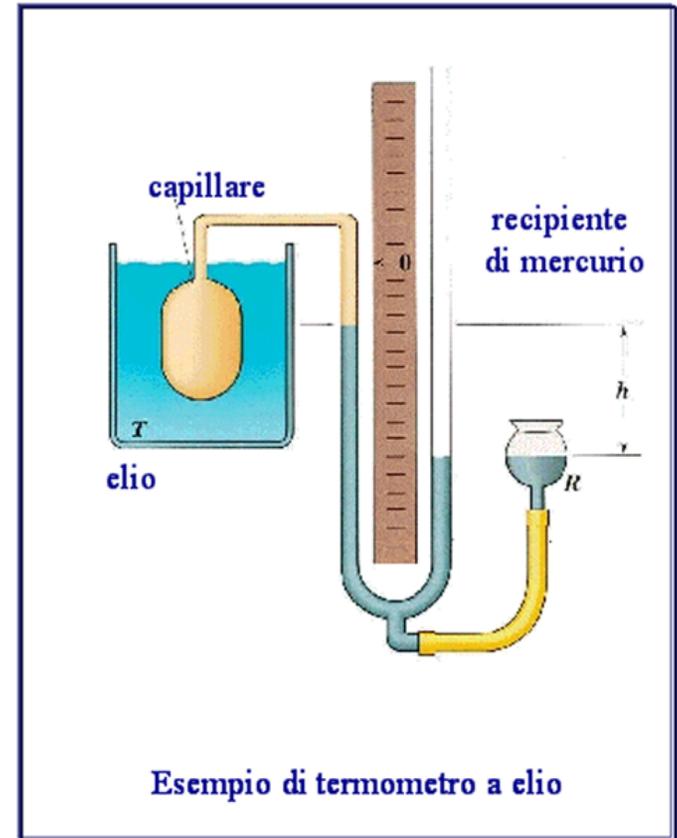
Esempio di termometro a bimetallo

• DILATAZIONE NEI GAS → TERMOMETRI A A GAS

I termometri a gas utilizzano come grandezza termometrica la pressione a volume costante di una massa gassosa. La pressione è legata alla temperatura dalla relazione

$$p = r_0(1 + bt).$$

Questi strumenti sono costituiti di un recipiente metallico, in cui è contenuto il gas, collegato a un manometro a mercurio: è necessario portare il recipiente sia a temperature note (0 °C e 100 °C), per determinare il coefficiente b , sia alle temperature da misurare. In corrispondenza delle diverse temperature si rileva al manometro la pressione del gas a volume costante.



La propagazione del calore

Il **CALORE** può essere definito come una forma di energia legata al movimento disordinato degli atomi o delle molecole costituenti un solido, un liquido o un gas.

La propagazione del calore può avvenire in 3 diversi modi:

- **Conduzione :** Trasporto di energia a corto raggio mediante la collisione di particelle
- **Convezione:** Trasporto di particelle energetiche che si muovono su lunghe distanze
- **Irraggiamento termico:** trasporto di energia mediante emissione o assorbimento di radiazione elettromagnetica

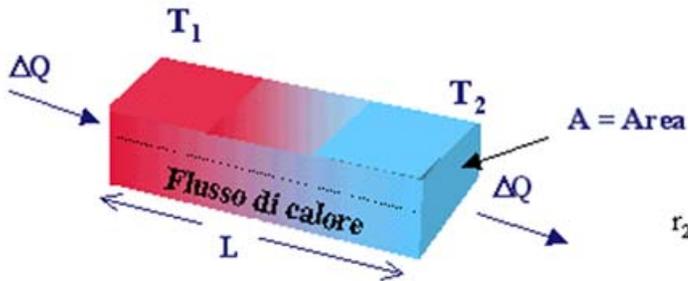
Conduzione

La conduzione avviene quando c'è un gradiente di temperatura in un corpo. L'energia viene trasferita dagli atomi più energetici che si trovano nella parte a temperatura T_1 a quelli meno energetici che si trovano nella parte a temperatura T_2 (con $T_1 > T_2$) attraverso collisioni.

Il passaggio del calore dall'estremità più calda a quella più fredda viene definito flusso termico. La quantità di calore trasmessa ΔQ dipende dalla geometria e dalla materia che forma il corpo.

La quantità di calore che scorre nell'unità di tempo è:

Nel caso di **superfici piane**



$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \lambda \times A \times \frac{\Delta T}{L}$$

Nel caso di **superfici cilindriche**



$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \lambda \times \frac{A \times \Delta T}{r_2 \ln \left(\frac{r_2}{r_1} \right)}$$

Nel caso di **superfici sferiche**



$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \lambda \times \frac{A \times \Delta T}{r_2 \times (r_2 / r_1 - 1)}$$

Convezione

La convezione è una forma di propagazione del calore, caratteristica dei solidi e dei liquidi. Quando l'energia termica viene trasmessa da una superficie calda ad un piccolo volume di gas o liquido, questo si dilata diventando più leggero e meno denso di quelli sovrastanti. Le porzioni di fluido più calde prendono il posto di quelle più fredde e viceversa dando così luogo all'instaurarsi di una corrente fluida con trasporto di calore. La convezione può essere: Spontanea o Forzata. Nel caso della convezione forzata, le correnti fluide sono provocate artificialmente e per effettuare il trasporto di calore è necessario compiere un lavoro esterno per mantenere le correnti nel fluido; generalmente alla convezione forzata si sovrappone la convezione naturale.



La quantità di calore scambiata, ΔQ , dalla superficie di un corpo solido a un fluido, in un tempo infinitesimo Δt , dipende dall'area della superficie di contatto A , e dalla differenza di temperatura, ΔT , tra quest'ultima e il fluido.

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = h \times A \times \Delta T$$

Con h coefficiente di convezione.

Il coefficiente di convezione è legato ad una grandezza adimensionale chiamata numero di Nusselt, che dipende dal tipo di fluido.

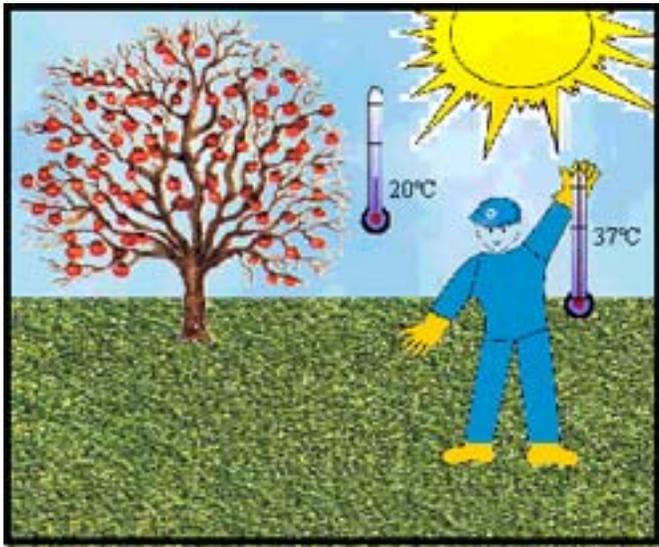
$$Nu = \frac{h(\text{coeff. convezione}) \times L(\text{lunghezza caratteristica})}{c_\lambda(\text{conducibilità del fluido})}$$

Irraggiamento

Il calore può passare da un corpo a temperatura più elevata ad un corpo a temperatura più bassa anche senza l'intervento di mezzi materiali che lo conducano o lo trasportino con moto convettivo. In tal caso la trasmissione avviene per irraggiamento cioè mediante radiazioni emesse dalla sorgente termica. La quantità di calore rilasciata da una superficie A per unità di tempo è data da:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = A \times e \times \sigma \times T^4$$

Con e = potere emissivo della superficie
 σ = costante di Boltzmann ($5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^{-4}$)



Secondo la legge di Boltzmann il flusso di radiazione emesso da un uomo di superficie $A = 1.5 \text{ m}^2$, alla temperatura di 37°C (310K) è:

$$A \times \sigma \times T^4 = 1.5 \times 5.69 \times 10^{-8} \times 310^4 \text{ W} = 788 \text{ W}$$

Dall'ambiente circostante con temperatura $T = 20^\circ\text{C}$ (293K), la cute riceve un flusso di radiazioni pari a 629 W e di conseguenza devono essere forniti $(739 - 629) = 110 \text{ W}$ di energia termica che in 24 ore corrispondono a 9504 Kjoule.

Questo apporto può essere dato dal cibo e dall'abbigliamento

Gas e leggi dei gas

Col termine **gas** si indica una sostanza che si trova in un particolare stato di aggregazione. La materia può esistere in tre stati diversi, solido, liquido e gassoso, caratterizzati da proprietà microscopiche e macroscopiche differenti. I solidi hanno forma ben definita e sono difficilmente deformabili; i liquidi hanno volume proprio ma assumono la forma del recipiente che li contiene; infine i **gas** non hanno volume definito e si espandono rapidamente occupando tutto lo spazio a disposizione; inoltre hanno densità minore rispetto a quella dei liquidi e dei solidi.

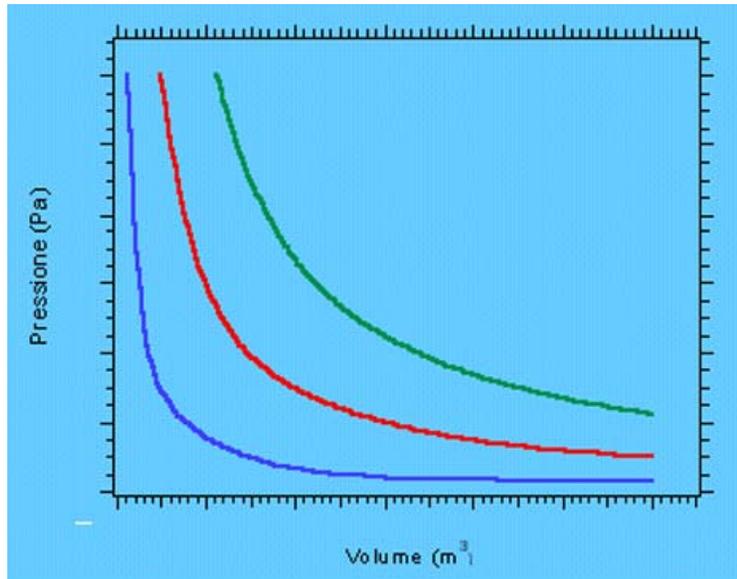
Le variabili macroscopiche che caratterizzano lo stato di un gas, quali pressione (P), volume (V) e temperatura (T), sono correlate per mezzo di relazioni empiriche. Esse si riferiscono in particolare ai gas "ideali" (in cui si trascurano le interazioni reciproche tra particelle costituenti e l'attrito interno), ma il più delle volte sono sufficienti per una descrizione esauriente del comportamento generale dei gas. Esistono comunque delle correzioni che rendono conto più specificatamente delle caratteristiche dei gas "reali".

Legge di Boyle - Mariotte

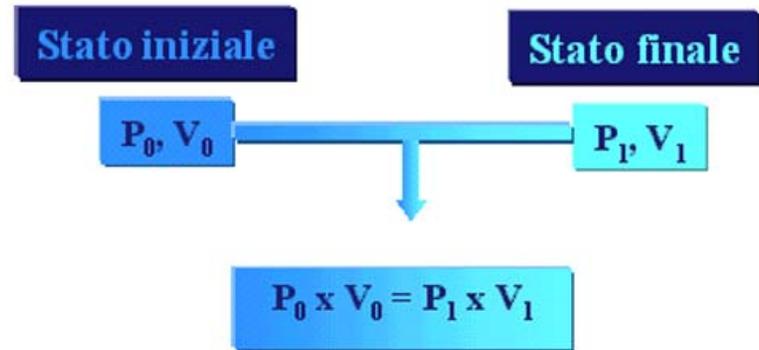
La **legge di Boyle** afferma che: "il prodotto della pressione e del volume di una massa fissata di gas è costante in qualunque trasformazione isoterma, cioè in qualunque processo in cui la temperatura sia mantenuta costante". L'espressione in formule di questa legge è:

$$P \times V = \text{cost.}$$

La rappresentazione grafica è data da una famiglia di iperboli



Se un gas cambia il suo stato, il prodotto Pressione – Volume si conserva



Leggi di Guy-Lussac

La **prima legge di Guy-Lussac** afferma che” a pressione costante il volume di un gas cresce col crescere della temperatura secondo un coefficiente di dilatazione α che è uguale per tutti i gas, qualunque siano la natura chimica e l'intervallo di temperatura in cui si opera. Vale in questo caso la relazione:

$$V = V_0(1 + \alpha T)$$

Dove V_0 = volume iniziale a temperatura 0°C

V = volume finale alla temperatura T ($^\circ\text{C}$)

$\alpha = 1/273$

La **seconda legge di Guy-Lussac** afferma che : a volume costante la pressione di un gas cresce col crescere della temperatura secondo un coefficiente di dilatazione α detto anche coefficiente di dilatazione della pressione che è uguale per tutti i gas, qualunque sia la natura chimica e l'intervallo di temperatura in cui si opera.

Vale in questo caso la relazione:

$$p = p_0(1 + \alpha T)$$

Dove p_0 = pressione iniziale a temperatura 0°C

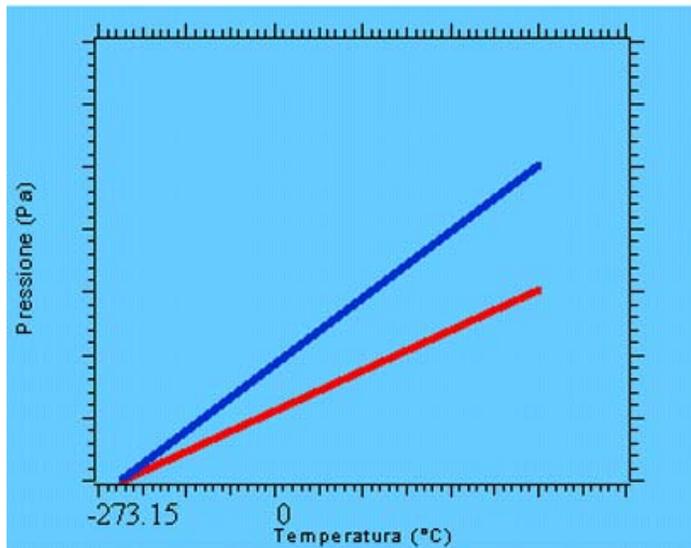
p = pressione finale a temperatura T ($^\circ\text{C}$)

$\alpha = 1/273$

Altra forma della seconda legge di Guy-Lussac

La rappresentazione grafica della **seconda legge di Guy-Lussac** è una retta che interseca l'ascissa sempre nello stesso punto ($T = -273.15 \text{ }^\circ\text{C}$, $p = 0$).

Poichè è logico supporre che non esistano pressioni negative, $-273.15 \text{ }^\circ\text{C}$ è la temperatura piu' bassa che puo' essere raggiunta e quindi viene preso come **zero assoluto** della scala delle temperature assolute.



$$p = p_0 \left[1 + \frac{T(^{\circ}\text{C})}{273.15\text{K}} \right] \longrightarrow p = p_0 \left[\frac{273.15 + T(^{\circ}\text{C})}{273.15\text{K}} \right]$$

$$\text{Poichè } T(\text{K}) = 273.15 + T(^{\circ}\text{C})$$

$$p = p_0 \times \frac{T(\text{K})}{273.15} \longrightarrow \frac{p}{T(\text{K})} = \frac{p_0}{273.15\text{K}}$$

Da cio' deriva che l'espressione p/T di un volume di gas dato ha sempre il valore $p_0/273.15$, quindi è costante

$$\frac{p}{T} = \frac{p_0}{T_0}$$

Equazione dei gas

Immaginiamo di avere una determinata quantità di gas in un certo stato iniziale

Stato iniziale

$$P_0, V_0, T_0$$

A temperatura costante portiamo il volume da $V_0 \rightarrow V$. Dalla legge di Boyle - Mariotte la pressione

$$P_1, V, T_0$$

A volume costante portiamo la temperatura da $T_0 \rightarrow T$. Dalla seconda legge di Guy - Lussac:

Stato

$$P, V, T$$

$$P_1 = \frac{P_0 \times V_0}{V}$$

Per un gas l'espressione $P \times (V/T)$ e' una costante che rimane invariata per qualsiasi variazione di pressione, di temperatura e di volume

$$\frac{P}{T} = \frac{P_1}{T_0}$$

$$\frac{P}{T} = \frac{P_0 \times V_0}{V \times T_0}$$

$$P \times \frac{V}{T} = P_0 \times \frac{V_0}{T_0}$$