

LA TERMOLOGIA

La termologia è la parte della fisica che si occupa dello studio del calore e dei fenomeni legati alle variazioni di temperatura subite dai corpi.

Essa si può distinguere in:

Termometria studia la temperatura di un corpo e la sua misurazione;

Calorimetria studia la quantità di calore di un corpo e la sua misurazione;

Dilatazioni termiche studia le variazioni di dimensione di un corpo a causa di una variazione di temperatura;

Cambiamento di stato che studia il passaggio di una stessa sostanza da uno stato di aggregazione ad un altro, a causa di un assorbimento o di una cessione di calore;

Termodinamica che studia le trasformazioni di calore in lavoro e viceversa;

Termochimica che studia le trasformazioni di energia termica in energia chimica e viceversa.

LA TEMPERATURA

Iniziare uno studio di termodinamica non è semplice perché si pone immediatamente un problema metodologico, ossia per iniziare uno studio di termodinamica occorre conoscere il concetto di temperatura e per conoscere il concetto di temperatura è necessario conoscere molti argomenti della termodinamica.

Le sensazioni umane sono legate alla sensazione che contraddistingue un corpo dall'essere freddo o dall'essere caldo; in altri termini confrontando due oggetti è possibile stabilire quale dei due corpi è caldo e quale è freddo. Pertanto fu necessario costruire un oggetto, che misurasse in modo oggettivo la temperatura di un corpo, ossia misurasse quantitativamente quanto un corpo fosse caldo o fosse freddo.

Un altro fenomeno a cui possiamo dare una valutazione soggettiva, ossia legata alle nostre sensazioni. Quando mescoliamo una bacinella di acqua fredda con una bacinella di acqua calda ci si accorge che l'acqua fredda tende a scaldarsi, mentre quella calda tende a raffreddarsi, in modo tale che alla fine la temperatura risulti un compromesso delle due temperature iniziali. In altri termini l'acqua raggiunge uno stato di equilibrio detto **equilibrio termico**.

Comunque, senza ulteriori introduzioni chiamiamo **termometro** lo strumento per la misura oggettiva della temperatura. Per costruire il termometro Celsius, il termometro in gradi centigradi si sono stabilite due posizioni limiti, la temperatura del miscuglio acqua e ghiaccio e lo stato termico in cui l'acqua comincia ad evaporare, sempre alla pressione atmosferica. Al primo stato termico si è attribuito il valore di 0°, mentre al secondo il valore di 100°. Dopo di che si è osservato la dilatazione subita da una colonna di mercurio in questi due stati termici e la dilatazione conseguita si è divisa per 100, ottenendo la scala termometrica in gradi centigradi o il termometro Celsius.

Esistono altre scale termometriche, ad esempio la scala Fahrenheit, molto usata nei paesi Anglo Sassoni, dove; $t (^\circ F) = 32 + 1,8 t (^\circ C)$.

DILATAZIONE TERMICA LINEARE

Se sottoponiamo una sbarrettina a calore, (in altri termini la scaldiamo), allora la sbarrettina subisce un allungamento. Questo allungamento viene indicato col nome di fenomeno di dilatazione lineare.

Se indichiamo con L_0 la lunghezza della sbarrettina alla temperatura iniziale e con L_t la lunghezza della sbarrettina alla temperatura finale, il fenomeno della dilatazione lineare ci consente di scrivere la seguente relazione:

$L_t - L_0 = \lambda L_0 t$, ossia $L_t = L_0 (1 + \lambda t)$, dove λ si dice coefficiente di dilatazione lineare, che è diverso da sostanza a sostanza.

SOSTANZA	λ in $(^\circ\text{C})^{-1}$
ALLUMINIO	24×10^{-6}
DIAMANTE	$1,3 \times 10^{-6}$
FERRO	12×10^{-6}
PIOMBO	29×10^{-6}
RAME	16×10^{-6}
VETRO	9×10^{-6}
ZINCO	30×10^{-6}

ESEMPIO. Una sbarretta di rame ha lunghezza di 1 metro alla temperatura di 800 °C. Qual è la sua lunghezza alla temperatura di 200 °C ?

SOLUZIONE

Ritenendo che L_0 sia la lunghezza della sbarretta di rame alla temperatura di 0 °C, attraverso due passi è possibile rispondere alla richiesta del problema, ossia valutare la lunghezza della sbarretta alla temperatura di 200 °C.

PASSO 1 $L_{800} = 1 \text{ m} = L_0 (1 + \lambda t_{800}) = L_0 (1 + 16 \times 10^{-6} \times 800) = 1,0128 L_0$.

PASSO 2 $L_{200} = L_0 (1 + \lambda t_{200}) = L_0 (1 + 16 \times 10^{-6} \times 200) = 1,0032 L_0$.

Impiegando il PASSO 1 ottengo il valore di L_0 . poiché: $1,0128 L_0 = 1 \text{ metro}$, da cui $L_0 = 1 / 1,0128 = 0,9874 \text{ m}$.

Sapendo la lunghezza iniziale risalgo quindi alla sua lunghezza alla temperatura di 200 °C; infatti dal PASSO 2 si desume che:

$L_{200} = 1,0032 L_0 = 1,0032 \cdot (0,9874) = 0,99 \text{ metri circa}$

Nel passare dalla temperatura di 800 °C alla temperatura di 200 °C la sbarretta si accorcia di circa 0,01 m, cioè passa dalla lunghezza di 1 metro alla lunghezza di 0,99 m.

L'esperienza mostra che anche i volumi dei corpi all'aumentare della temperatura aumentano. In altri termini si sviluppa un fenomeno di dilatazione anche per i volumi, e ciò viene indicato col nome di **dilatazione cubica**. Supponiamo di considerare un solido, isotropo di forma parallelepipedica, e innalziamo la sua temperatura da 0 °C alla temperatura t °C. Come si è detto esso si dilaterà secondo le tre dimensioni e proprio per questo i suoi lati si dilateranno, portandosi al seguente valore:

$$\begin{aligned} a_t &= a_0 (1 + \lambda t), \\ b_t &= b_0 (1 + \lambda t), \\ c_t &= c_0 (1 + \lambda t). \end{aligned}$$

In definitiva il suo volume iniziale $V_0 = a_0 b_0 c_0$, ed il suo volume finale dopo il riscaldamento alla temperatura t è:

$V_t = a_t b_t c_t = a_0 b_0 c_0 (1 + \lambda t)^3 = a_0 b_0 c_0 (1 + 3 \lambda t + 3 \lambda^2 t^2 + \lambda^3 t^3)$ si trascurano

$$V_t = a_t b_t c_t = a_0 b_0 c_0 (1 + 3 \lambda t) = V_0 (1 + \alpha t),$$

avendo posto $\alpha = 3 \lambda$. Il coefficiente α prende il nome di coefficiente di dilatazione cubica, ed esso è pari al triplo prodotto del coefficiente di dilatazione lineare, della sostanza che costituisce il volume.

SOSTANZA	α in $(^\circ\text{C})^{-1}$
ALCOOL ETILICO	$1,12 \times 10^{-3}$
GLICERINA	$0,53 \times 10^{-3}$
MERCURIO	$0,18 \times 10^{-3}$
OLIO DI OLIVA	$0,74 \times 10^{-3}$

Sapendo inoltre che, la **densità** di una sostanza è il rapporto fra la massa ed il volume, ossia $\delta = m / V$, si capisce che all'aumentare della temperatura la densità diminuisce, poiché il volume aumenta dilatandosi.. Per i liquidi non ha senso parlare di dilatazione lineare, ma ha senso parlare di dilatazione del loro volume. La legge di dilatazione cubica dei liquidi è simile a quella dei solidi. C'è da osservare che il liquido più comune come l'**acqua**, ha un comportamento differente da tutti gli altri liquidi; infatti il volume di una massa d'acqua pura all'aumentare della temperatura da 0°C al $3,98^\circ\text{C}$ **diminuisce** e perciò aumenta la propria densità, (ciò significa che in questo intervallo di temperatura l'acqua possiede un coefficiente di dilatazione negativo), mentre al di sopra di $3,98^\circ\text{C}$, il suo comportamento è identico a tutti gli altri liquidi. Si può praticamente dire che alla temperatura di circa 4°C una massa d'acqua ha il minimo volume e di conseguenza la massima densità.

Lo studio relativo alla dilatazione cubica dei gas, ha mostrato che se si mantiene costante la pressione del gas stesso, la sua dilatazione cubica avviene con la stessa legge con cui si dilatano solidi e liquidi. I gas rispondono tanto più a quanto detto, quanto più essi sono rarefatti, (cioè a bassa densità), e lontani dalle condizioni di liquefazione, in altri termini in quelle condizioni in cui i gas si possono ritenere **gas perfetti** o **ideali**. Si è infine, scoperto, che per tutti i gas il coefficiente di dilatazione cubica è lo stesso e vale: $\alpha = 1 / 273,16$, che viene approssimato al valore

$$\alpha = 1 / 273.$$

A questo punto noi esamineremo la **termologia** dal punto di vista **termodinamico**.

Introduciamo però alcune definizioni importanti:

il **calore** è una forma di energia, essa si misura nel **Sistema Internazionale** con il **Joule**, ma è possibile impiegare anche la **caloria**.

Inoltre, **1 cal è la quantità di calore necessaria per elevare di 1°C una massa di 1 grammo massa di acqua.**

Si ricordi che :

$$1 \text{ cal} = 4,1840 \text{ J}.$$

Calore specifico di una sostanza è numericamente eguale al numero di calorie necessarie per elevare 1 grammo massa, di quella stessa sostanza, di 1°C .

Il calore specifico si esprime in $\text{cal} / \text{g}^\circ\text{C}$, oppure, in $\text{J} / \text{Kg}^\circ\text{C}$.

Per l'acqua il calore specifico vale **$1 \text{ cal} / \text{g}^\circ\text{C}$ o $1 \text{ kcal} / \text{Kg}^\circ\text{C}$** .

Capacità termica di una sostanza o di un corpo è la quantità di calore necessaria per elevarne la temperatura di 1°C . Essa si misura in $\text{cal} / ^\circ\text{C}$ oppure in J / K .

In definitiva la capacità termica è esprimibile come massa del corpo o della sostanza x calore specifico, ossia **$C = m c$** .

Calore acquistato o perduto da un corpo, in cui non avvengono cambiamenti di stato fisico = **massa x calore specifico x variazione di temperatura =**

= **Capacità termica x variazione di temperatura**. In termini abbreviati si ottiene che: $Q = m c \Delta t = C \Delta t$.

Calore di fusione di un solido è la quantità di calore necessaria per portare allo stato liquido una unità di massa del solido senza che vari la sua temperatura.

Calore di fusione del ghiaccio = 80 cal / g o 80 kcal / Kg, a 0°C e alla pressione di 1 atm.

Calore di evaporazione di un liquido è la quantità di calore necessaria per portare allo stato di vapore o aeriforme una unità di massa di liquido senza che vari la sua temperatura.

Calore di evaporazione dell'acqua = 540 cal / g o 540 kcal / Kg, a 100 °C ed alla pressione di 1 atm.

Calore di sublimazione di una sostanza solida è la quantità di calore necessaria per portare l'unità di massa dallo stato solido allo stato gassoso o aeriforme, direttamente, senza che vari la sua temperatura.

LA TERMODINAMICA ED I SUOI PRINCIPI

La termodinamica studia gli scambi di energia meccanica, (LAVORO), e di calore fra i corpi e gli oggetti che ci circondano. In particolare si occupa delle trasformazioni del calore in lavoro, che hanno luogo in tutti i motori termici.

Comunque il concetto di sistema termodinamico è molto più generale; infatti si chiama **SISTEMA TERMODINAMICO** qualsiasi corpo o sistema di corpi il cui comportamento può essere studiato dal punto di vista degli scambi di LAVORO e di CALORE sia fra le diverse parti del sistema che fra queste ed altri corpi, (vicini e lontani), non appartenenti al sistema stesso, che costituiscono ciò che indichiamo con il nome di ambiente circostante o esterno o UNIVERSO.

La termodinamica è una parte della fisica, molto generale, ma ciò nonostante, essa stabilisce poche leggi, ben precise a cui rispondono tutti i sistemi termodinamici e qualsiasi siano i fenomeni che in essi avvengono. Dette leggi nascono da osservazioni ed esperimenti e costituiscono i **Principi della Termodinamica**.

Il **primo Principio** è un'estensione del principio di conservazione dell'energia meccanica. In esso viene però messa in luce una nuova forma di energia, il calore Q o l'energia termica Q.

Il **secondo Principio** della termodinamica è una legge di tipo nuovo, essa stabilisce alcune limitazioni alle possibilità di trasformare energia meccanica in energia termica, (ma non viceversa).

Per potere enunciare correttamente i vari principi è necessario introdurre alcune nozioni fondamentali, come **sistema termodinamico, stato termodinamico, trasformazione termodinamica**, ecc.

C'è da osservare che termodinamica tratta questi sistemi da un punto di vista **macroscopico**; infatti uno studi termodinamico che coinvolga scambi di calore e lavoro del sistema termodinamico con l'ambiente esterno, viene effettuato valutando i volumi, le pressioni, le temperature, ecc., delle diverse parti del sistema o del corpo.

Pertanto, il nostro interesse coinvolge un insieme di molecole e perciò non si ha un interesse microscopico del sistema, ma un interesse macroscopico, di un gruppo o di diversi gruppi di molecole o di atomi. In poche parole quando si studia un sistema termodinamico si rinuncia a dare una descrizione dettagliata dei moti delle singole molecole. La termodinamica fornisce, invece, una descrizione macroscopica dei fenomeni, nella quale intervengono grandezze che possono essere misurate direttamente.

SISTEMI TERMODINAMICI

Allo scopo di chiarire la definizione di sistema termodinamico ci serviremo di alcuni esempi. Nella discussione di ciò chiariremo il concetto di stato termodinamico e il concetto di variabili termodinamiche.

ESEMPIO Un esempio particolarmente semplice di sistema termodinamico è costituito da un fluido omogeneo, che considereremo sempre contenuto, in un recipiente cilindrico, chiuso superiormente, con un pistone scorrevole a tenuta, nelle cui pareti sono inseriti un manometro, per la misura della pressione p , un termometro per la misura della temperatura t , ed inoltre, per mezzo di un indice " i ", che si muove su un'asta graduata, è possibile determinare il volume V del fluido.

Naturalmente, affinché il volume resti costante, è necessario che la pressione esterna, sia uguale ed opposta alla pressione interna, ossia alla pressione esercitata dal fluido sul pistone; il valore della pressione esterna risulta determinato dal peso del pistone e dalla pressione atmosferica. Inoltre, supporremo che le pareti laterali del cilindro siano costituite da un materiale perfettamente isolante al calore, mentre il fondo del cilindro sia di materiale perfettamente conduttore del calore.

Se il fluido nel recipiente cilindrico è un GAS, esso costituisce un sistema termodinamico molto semplice; inoltre, se in questo caso, il GAS fosse IDEALE, allora ci si trova di fronte al sistema termodinamico più semplice in assoluto.

Tale semplicità è dovuta al fatto che il comportamento di un gas perfetto o ideale è regolato dalla sua **equazione di stato**, ossia dall'equazione: $PV = n R T$.

Come si vede l'equazione di STATO dei gas perfetti, lega in modo semplice i valori delle tre grandezze: p = pressione; V = volume; T = temperatura assoluta.

Inoltre, basta assegnare il valore a due di esse, per potere così caratterizzare completamente lo STATO termodinamico del gas, ossia è possibile ricavare la terza grandezza termodinamica. In poche parole la conoscenza dei valori delle tre grandezze termodinamiche ci consente di determinare lo STATO TERMODINAMICO del sistema. Proprio per questa ragione risulta possibile definire, come **FLUIDO OMOGENEO**, qualsiasi corpo il cui comportamento sia regolato da un'equazione di STATO, cioè da una relazione che lega fra loro i valori delle tre grandezze: pressione, volume e temperatura.

In conclusione lo **stato termodinamico** di un fluido **omogeneo**, è completamente determinato se si conoscono i valori delle tre grandezze **pressione, volume e temperatura**.

EQUILIBRIO TERMODINAMICO

In un diagramma **P, V** , (o **$P, t ; V, t$**), un punto A rappresenta uno stato termodinamico del sistema, a cui corrisponde la pressione P_A ed il volume V_A , mentre la temperatura dello stato A, t_A , si ottiene dall'equazione di stato del fluido.

Questo stato è sempre uno stato di equilibrio termodinamico, nel senso che, dal punto di vista macroscopico, tutto è fermo e nulla cambia al passare del tempo. Ma affinché lo stato A sia uno **stato di equilibrio** è necessario che la pressione p e la temperatura t , abbiano gli stessi valori P_A e t_A , **in tutti i punti del fluido** stesso.

Da ciò si capisce che la definizione di **STATO TERMODINAMICO vale solo nelle condizioni di EQUILIBRIO TERMODINAMICO**.

Naturalmente ci si potrebbe domandare il motivo per cui si parla di equilibrio termodinamico. La risposta è semplice, l'equilibrio termodinamico implica tre diversi tipi di equilibrio contemporanei:

- 1) **equilibrio meccanico;**
- 2) **equilibrio termico;**
- 3) **equilibrio chimico.**

EQUILIBRIO MECCANICO

Consideriamo sempre l'esempio di un fluido omogeneo, chiuso da un pistone, all'interno di un recipiente cilindrico, (vedi le stesse considerazioni precedenti). Pertanto, affinché il

volume V_A non vari, vi deve essere equilibrio fra la forza esercitata dal pistone sul fluido e la forza esercitata dal fluido sul pistone. Come noi sappiamo, se questo equilibrio viene a mancare il pistone si mette in moto, perciò il volume del fluido si modifica.

EQUILIBRIO TERMICO

Affinché la temperatura abbia lo stesso valore in tutti i punti del fluido, il sistema deve essere in equilibrio termico, ossia deve essere isolato termicamente dall'ambiente circostante, oppure se è in contatto con una sorgente, ne deve avere la stessa temperatura. In altri termini tutti i suoi punti devono essere alla stessa temperatura.

EQUILIBRIO CHIMICO

Le condizioni devono essere tali che, la struttura interna e la composizione del sistema rimangono costanti.

TIPI FONDAMENTALI DI TRASFORMAZIONI TERMODINAMICHE

Prendiamo in esame le trasformazioni più importanti che un fluido, o più in generale che un sistema termodinamico può effettuare o subire. Ciò è un problema molto importante, proprio perché, in queste circostanze, cioè nel passaggio da uno stato di equilibrio ad un altro, viene scambiato con l'ambiente circostante calore e lavoro meccanico.

Le trasformazioni più importanti sono:

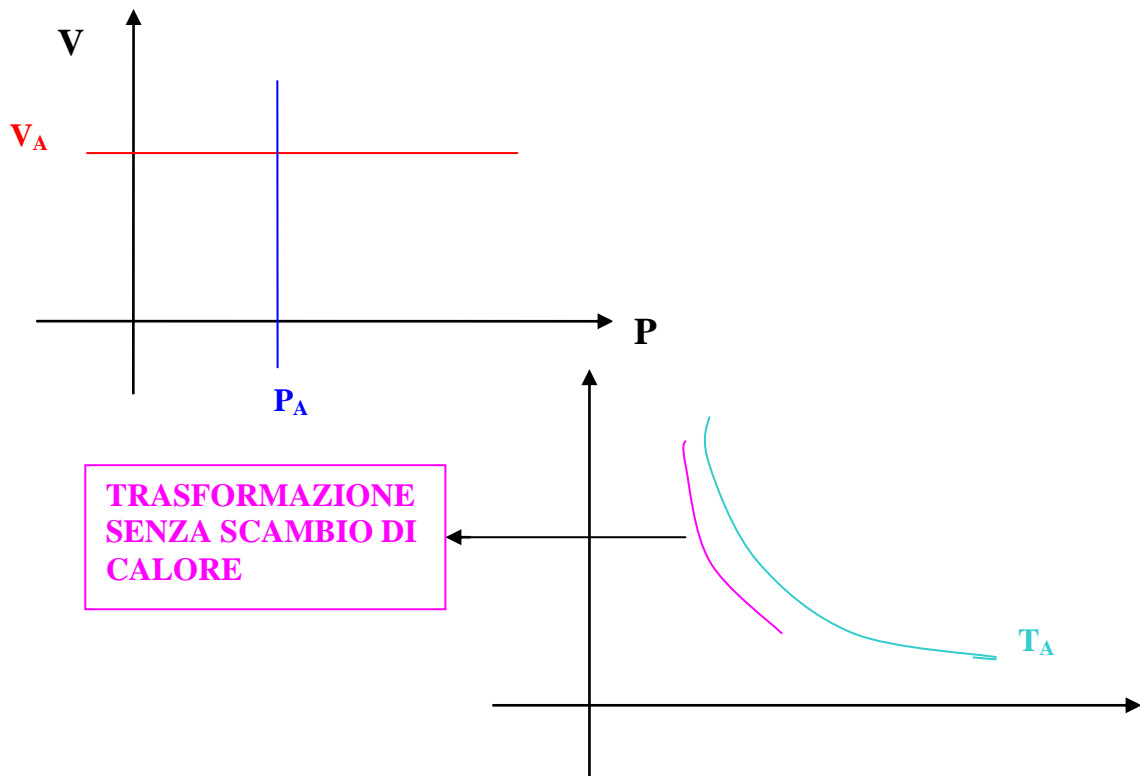
ISOTERME o **trasformazioni a temperatura costante;**

ISOBARE o **trasformazioni a pressione costante;**

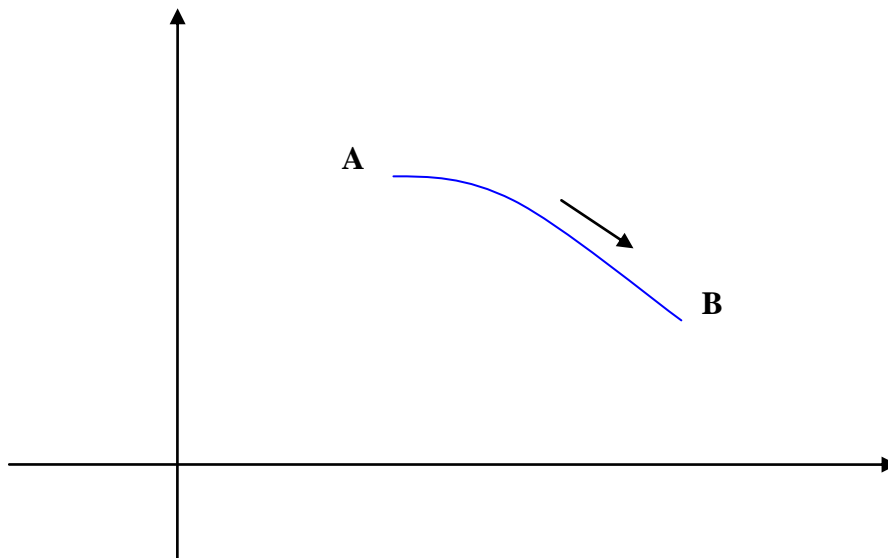
ISOCORE o **trasformazioni a volume costante;**

ADIABATICHE o **trasformazioni senza scambio di calore.**

Nei diagrammi $P - V$ le trasformazioni isocore sono rette parallele all'asse delle ascisse; mentre le trasformazioni isobare sono rette parallele all'asse delle ordinate, mentre le trasformazioni isoterme sono archi di curva, ed infine nello stesso diagramma le trasformazioni sono rappresentate da curve iperboliche:



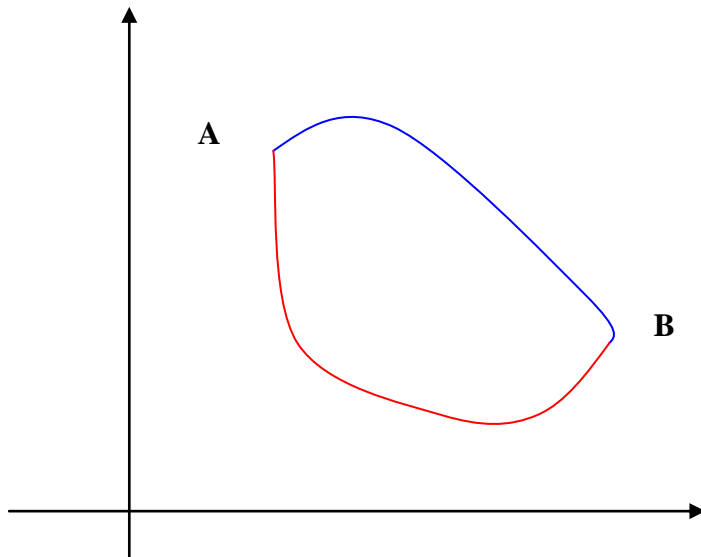
Oltre ai quattro tipi di trasformazioni termodinamiche introdotte ne esistono infinite altre, anche più complesse, e ciò perché in un diagramma P - V una qualsiasi curva che colleghi, senza interruzione due punti A e B, rappresenta una trasformazione termodinamica del sistema:



La trasformazione **A B**, è dunque una trasformazione generica che porta il sistema termodinamico dallo stato di equilibrio **A** allo stato di equilibrio **B**. In tale passaggio, visto che

le tre grandezze, volume, pressione e temperatura si modificano senz'altro con l'ambiente esterno viene scambiato lavoro e calore.

Se la curva che rappresenta la trasformazione è **CHIUSA**, ossia il sistema parte da uno stato **A** e dopo aver raggiunto stati distinti ritorna nella situazione di partenza, allora in questo caso la **trasformazione si dice CICLICA** e la **curva che lo descrive si dice CICLO**.



LE TRASFORMAZIONI CICLICHE, come vedremo sono molto importanti nello studio delle MACCHINE TERMICHE o MOTORI TERMICI.

Molto importante è anche studiare le **TRASFORMAZIONI CICLICHE** caratterizzate da un'opportuna combinazione delle quattro trasformazioni introdotte, ossia come opportuna combinazione di trasformazioni isobare, isocore, isoterme ed adiabatiche.

ENERGIA INTERNA

Vogliamo ricordare che l'energia interna U di una certa massa m di una qualsiasi sostanza, ad una certa temperatura t **è la somma delle energie cinetiche e delle energie potenziali di tutte le sue molecole.**

Riprendendo la definizione data, potremo allora ammettere che:

si chiama energia interna U di un sistema termodinamico qualsivoglia, (solido, liquido, gassoso, soluzione, ecc.), l'ENERGIA TOTALE di tutte le sue molecole.

L'energia interna, inoltre, è una **FUNZIONE di STATO**, ossia se un sistema termodinamico passa da uno stato iniziale " i " ad uno stato finale " f ", l'ENERGIA INTERNA dipende solo dallo stato finale ed iniziale, ossia:

$$\Delta U = U_f - U_i.$$

Per quanto detto si capisce che anche l'ENERGIA INTERNA, dipendendo da stati di equilibrio dipende anch'essa dalle grandezze termodinamiche, in altri termini dipende o da **$P - V$** , o da **$P - T$** o da **$V - T$** . Sperimentalmente, si è constatato che per **i gas perfetti l'energia interna dipende solo da T** , se si ragiona per trasformazioni a pressione costante o per trasformazioni a volume costante.

Nelle macchine termiche il fluido deve sempre compiere un **CICLO**, perché deve sempre ritornare nelle condizioni iniziali per ripetere le stesse trasformazioni, per un tempo indefinito.