

*Prof. Angelo Serafino Caruso, Docente di Meccanica, Macchine ed Energia
Istituto Tecnico Industriale "E. Majorana" di Rossano*

Le mie lezioni:

La Termodinamica (3/4[^])

*1 Cambiamenti di Stato della Materia
Capacità Termica, Combustione, Le Leggi dei Gas Ideali*

Il Sistema Termodinamico e Le Trasformazioni

Il Primo Principio e La Prima Equazione

La Prima Equazione applicata alle Trasformazioni

Trasformazione Termodinamica Reversibile e Il Ciclo di Carnot

Il Secondo Principio della Termodinamica e l'Entropia, 3[^] Principio

Diagramma del Vapor d'Acqua

L'Entalpia, Diagramma di Mollier

1 Cambiamenti di Stato della Materia

7 Cambiamenti di Stato della Materia (Esposizione, n. 40)

Per capire bene il processo basta preparare il caffè con la caffettiera tipo moka. Si riempie d'acqua la parte inferiore, serbatoio, e vi si poggia sopra



l'imbutto/filtro che viene riempito opportunamente dalla miscela di caffè macinato, non pressato, lasciato lì a formare la "montagnella". Si avvita, ben stretta, la parte superiore con spruzzatore al centro del contenitore protetto da un coperchio basculante attaccato al manico. La caffettiera, così preparata, va poggiata sul fornello e si accende la fiamma che, alimentata dal gas

(combustibile) e dall'aria (comburente), sprigiona, all'atto della combustione, Energia Termica (Energia Potenziale Chimica).

Una parte si disperde nell'ambiente circostante ma l'altra parte riscalda la base e i fianchi del serbatoio dell'acqua.

L'acqua riceve il calore e si riscalda fino alla temperatura di ebollizione (100°C) che trasforma il liquido in vapore (evaporizzazione). Il vapore si espande con forza occupando il volume disponibile, attraversa il filtro di caffè macinato per ascendere, attraverso lo spruzzatore, nella zona superiore, a temperatura è inferiore.

Il vapore, impregnato di caffè già libera nell'aria l'aroma e si ritrasforma in liquido (condensazione) che trabocca, borbottando, all'interno del contenitore grazie alla trasformazione dell'energia interna del liquido in energia cinetica e, risalendo, incrementa la sua energia potenziale.

Osseviamo che il calore è un'energia

- e in quanto tale si misura in joule come il lavoro -
che alza la temperatura dei corpi passando spontaneamente da uno caldo ad uno freddo, attiva le trasformazioni di stato nella materia, liquido/vapore e vapore/liquido, che generano,

a sua volta, energia interna, cinetica e potenziale.

Già in questa esperienza c'è il concetto di lavoro, rottura dei legami che tengono unita la materia (legami chimici tra atomi e molecole).

La termodinamica studia proprio queste trasformazioni di calore in lavoro meccanico e viceversa.

La materia in natura si aggrega allo stato solido, liquido, gassoso e plasma (sostanza altamente ionizzata costituita da anioni (-) e cationi (+) ad alta temperatura, è la materia stellare presente nell'universo al 99%), è tenuta insieme dalle forze di coesione molte elevate nei solidi (tenacità) deboli nei liquidi e nulle negli aeriformi.

Il vapore acqueo, ottenuto per ebollizione dell'acqua, è fondamentale per la sua proprietà di accumulare e cedere energia. L'aria è un gas e si condensa a -194° (temperatura impossibile per lo sviluppo della vita in natura).

Il calore è un'energia disordinata che viene ordinata dalle

macchine termiche e sfruttata come Energia Pregiata,
altrimenti è persa e si accumula sotto forma di Entropia.
Mentre, come abbiamo visto nelle lezioni di macchine a fluido,
le turbine idrauliche lavorano tra differenze di salto idraulico,
le macchine termiche lavoro tra differenze di temperatura.

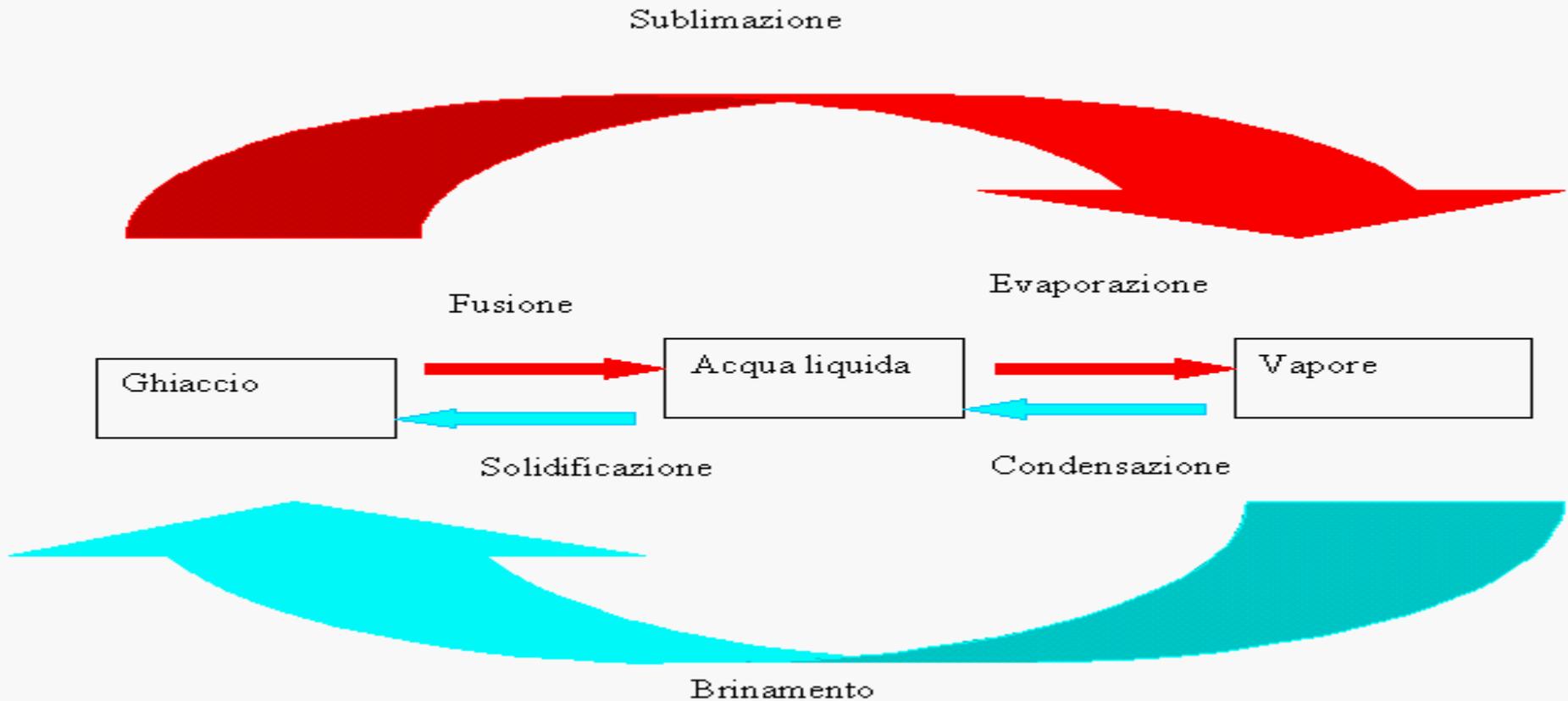
Ricordiamo che la temperatura non è un'energie ma
è la misura indiretta del calore e si misura in gradi Kelvin.

La scala Kelvin (Lord Kelvin o William Thomson, scienziato del XIX sec., fondatore
della Termodinamica Classica, approccio macroscopico. Invece, quella Statistica ha un
approccio microscopico) o anche scala termodinamica assoluta delle temperature
ha lo zero in corrispondenza dello zero assoluto ($-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$), per cui tutte le
temperature assumono valori positivi, $T_K = t^{\circ}\text{C} + 273,15\text{ K}$

(Nella scala Kelvin, l'acqua bolle a $373,15\text{ K}$ e ghiaccia a $273,15\text{ K}$)

Non è possibile raggiungere lo Zero Assoluto, Terzo Principio,
non esisterebbe la materia perché l'elettrone cadrebbe sul nucleo.

7 Cambiamenti di Stato della Materia



<http://www.bing.com/images/search?q=ciclo+frigorifero+disegni&view=detailv2&qvpt=ciclo+frigorifero+disegni&id=03BA0D9190242E6AB38D298253727368829CAA27&selectedIndex=2&ccid=frlcE9fr&simid=608003727251603522&thid=OIP.M7eb95c13d7eb629d38051a71718760a3o0&ajaxhist=0>

Capacità Termica

Se si somministra una quantità di calore a corpi di materiali diversi ma con la stessa massa si nota che si riscaldano in modo disuguale per le differenti variazioni dei micromovimenti dei diversi tipi di molecole di cui sono formate.

Quindi, capacità termica:

$$C = \text{calore fornito} / \text{variazione di temperatura} = Q / \Delta t \quad [J / ^\circ C - J / K]$$

e Capacità Termica Massica:

$$c = \text{valore fornito} / \text{massa} \times \text{variazione temperatura} = Q / m \Delta t \quad [J / kg ^\circ C - J / kg K]$$

è la quantità di energia termica che deve essere trasmessa a un kg di materia per ottenere l'innalzamento di un grado.

La Combustione

libera l'energia contenuta nel combustibile sotto forma di energia termica.

La combustione è un'insieme di reazioni chimiche di ossidazione fra una

sostanza combustibile, formata per lo più da carbonio e idrogeno, e ossigeno presente nell'aria come comburente.

Carbonio + Ossigeno > Biossido di carbonio + Q

Idrogeno + Ossigeno > Vapore d'acqua + Q

Le tre leggi più una dei Gas Ideali

Legge di Boyle-Mariotti con $T = \text{Cost}$: $PV = k_1$ detta Isotermica

Legge di Charles con $P = \text{Cost}$: $V/T = k_2$ detta Isobarica

Legge di Gay-Lussac con $V = \text{Cost}$: $P/T = k_3$ detta Isocora

Legge di Avogadro, a Pressione e Volume costante, il volume è direttamente proporzionale al numero di molecole del gas "n", $V/n = k_4$

Se "R" è la costante universale dei gas ideali

le equazioni viste si combattono in un'unica formula nota come

Equazione di Stato dei Gas Ideali: $PV = nRT$

Le tre grandezze fondamentali sono dette

Variabili di Stato o Coordinate Termodinamiche.

Il Sistema Termodinamico

è una porzione di materia, come gas o vapore o una miscela o liquido, isolata dall'ambiente esterno, se non si può introdurre altra materia è chiuso altrimenti è aperto, è in equilibrio quando non si verificano più trasformazioni spontanee.

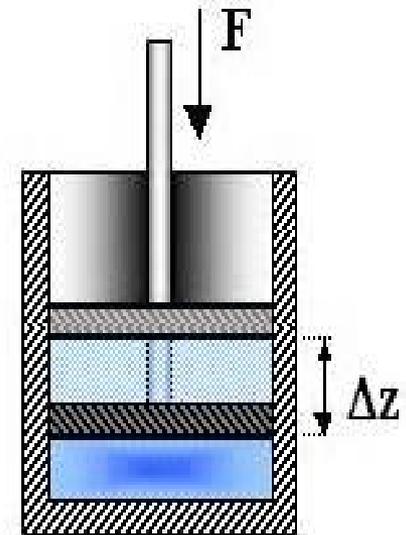
Le grandezze macroscopiche che regolano un sistema termodinamico sono la temperatura, la pressione, il volume, l'energia interna, entalpia e l'entropia, variando una sola di esse il sistema subisce trasformazioni fino al raggiungimento di un nuovo stato d'equilibrio. Le trasformazioni sono irreversibili perché l'energia fornita al sistema per una trasformazione non viene più recuperata nel processo inverso perché si dissipa.

Il gas reale si assimila a quello ideale se è rarefatto ed è ad alte temperature.

*A fianco sono riportati due sistema termodinamici.
La pentola a pressione viene riscaldata introducendo
il Calore dal fornello che provoca, nella massa del
liquido contenuto, un aumento di Pressione e,
contemporaneamente, di Temperatura, ovviamente,
siccome il Volume rimane costante, il vapore (gas)
non può espandersi.*

*La stessa sorte tocca al cilindro con pareti
indeformabili ma con stantuffo mobile a tenuta.
In esso, il Calore erogato, produce un aumento di
Temperatura ma non di Pressione poiché
il gas si può espandere liberamente e occupare
in parte del Volume disponibile.*

*A parità di condizioni iniziali e di calore introdotto,
si ha che la Temperatura è maggiore nel caso*



della trasformazione a volume costante (pentola a pressione), mentre, nel sistema cilindro/stantuffo, trasformazione a pressione costante, la Temperatura si mantiene più bassa.

Dunque, nel riscaldamento a volume costante il calore rimane intrappolato nelle molecole del gas.

Invece, nel riscaldamento a pressione costante una parte del calore è utilizzata per spostare lo stantuffo e, quindi, compie lavoro, ciò per effetto delle forze di pressione sul piattello interno dello stantuffo ristabilendo l'equilibrio del sistema.

Il gas, con $P=\text{cost.}$, siccome ha impiegato una parte dell'energia per compiere lavoro si troverà con la temperatura finale inferiore.

Da qui deriva che la capacità termica massica a volume costante è minore di quella a pressione costante, $R=c_p-c_v$ (Costante del Gas) e $\kappa=c_p/c_v$ (Coefficiente di Poisson).

Trasformazioni Termodinamiche

Nell'esposizione n. 7, le tre leggi dei gas ideali, si è già annunciato quanto illustrato in figura. Rissumendo:

per $T = \text{cost}$: $PV = \text{cost}$ (Isotermica);

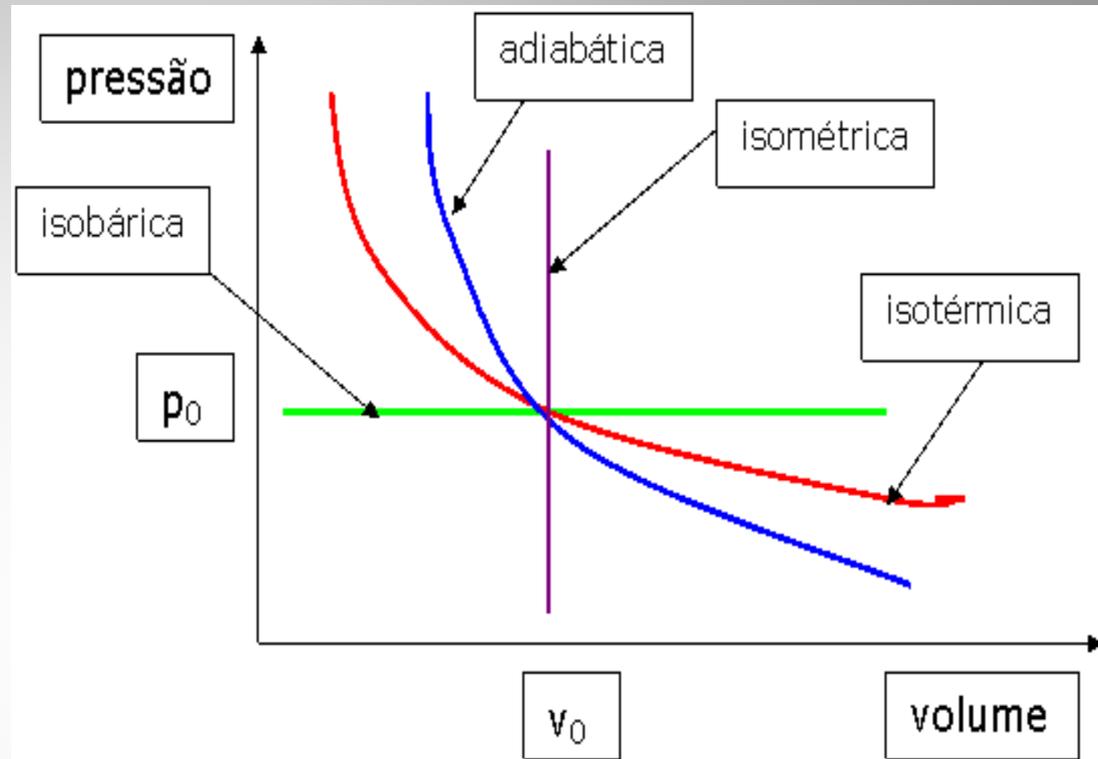
per $P = \text{cost}$: $V/T = \text{cost}$ (Isobarica);

per $V = \text{cost}$: $P/T = \text{cost}$
(Icora/Isometrica);

$PV^a = \text{cost}$ con $a = c_p/c_v$

(Adiabatica o Isentropica), avviene

senza scambio di calore con l'ambiente esterno, per cui i flussi di calore sono nulli, il sistema è termicamente isolato.



<http://www.geocities.ws/resumodefisica/termodinamica/trm0605.gif>

$PV^\alpha = \text{cost}$ con $\alpha = c - c_p/c - c_v$ (Politropica)
È una trasformazione intermedia tra le adiabatiche e le isotermiche.

L'Adiabatica

Il gas non cede e non riceve calore, e il calore non si trasmette attraverso le pareti, in questo caso, aumentando la pressione sullo stantuffo e, quindi,

sul gas, diminuisce il volume e aumenta la temperatura (compressione adiabatica), diminuendo la pressione aumenta il volume e diminuisce la temperatura (espansione adiabatica). Sono adiabatiche anche le trasformazioni dei motori endotermici perché le fasi di compressione e espansione durano circa tre millesimi di secondo e il calore non ha il tempo di passare attraverso le pareti, se non in misura trascurabile.

Per il principio di conservazione dell'energia, durante la compressione adiabatica il lavoro compiuto sul gas si trasforma interamente in energia interna e, durante l'espansione adiabatica, il gas compie lavoro a spese della propria energia interna.

La politropica

per $\alpha=0$, diventa isobara

per $\alpha=\infty$, diventa isocora

per $\alpha=1$, diventa isoterma

per $\alpha=c_p/c_v=k$, diventa adiabatica

Il Primo Principio della Termodinamica o Principio di Equivalenza tra Calore e Lavoro

Il principio di conservazione dell'energia, già introdotto (*Dinamica, n.14*) ora viene applicato alla termodinamica, recita:

*"Il calore si può trasformare in lavoro e viceversa,
secondo un rapporto costante"*

In altri termini, l'Energia Termica e L'Energia Meccanica non si creano e né si distruggono ma si trasformano l'una nell'altra.

Clausius nel suo postulato afferma che il calore passa spontaneamente da una sorgente calda a quella fredda ma, per passare dalla sorgente fredda alla calda, bisogna spendere lavoro.

*È impossibile creare un moto che produce più lavoro
di quanta energia consumi*

(Moto Perpetuo di Prima Specie)

La Prima Equazione della Termodinamica

Tornando al sistema in equilibrio cilindro/stantuffo di area "A", sul quale agisce una forza "F", si ha la pressione, $p=F/A$.

Se dall'esterno si somministra calore si ha, conseguentemente, l'aumento della temperatura, il gas si dilata e spinge lo stantuffo dal tratto ΔZ verso l'alto. il volume aumenta di ΔV e il lavoro:

$$L = Fl = pAl = p\Delta V \text{ [j/kg]}$$

Le molecole nei fluidi (liquidi e aeriformi) sono in perenne movimento, e l'energia cinetica aumenta con la temperatura.

Nei solidi, ma anche nei liquidi, le molecole, per le forze di coesione, si attraggono reciprocamente, ma, tali forze, negli aeriformi sono trascurabili.

Un corpo, solido o liquido, quando si dilata, le molecole si allontanano vincendo le forze coesive e il corpo acquista energia potenziale molecolare

dovuta alla trasformazione parziale del calore fornito.

La somma di queste due energie molecolari, potenziale e cinetica,

Forma l'Energia Interna del Corpo "U".

$$Q = U_2 - U_1 + L$$

Questa è la 1^a equazione della Termodinamica che si spiega:

Somministrando il calore "Q" ad un corpo, si ottiene un aumento di energia

interna, rispettivamente di valore iniziale "U₁" e finale "U₂"

più il lavoro "L" esterno di dilatazione del gas.

Ma questo è il Principio di Conservazione dell'Energia.

Attenzione: Negli aeriformi il calore fornito è quasi utilizzato tutto per l'aumento

dell'energia interna e per il lavoro esterno, nei solidi e nei liquidi, invece,

il calore fornito è quasi speso per vincere le forze di coesione.

E, ancora, il calore sottratto ad un corpo può derivare in parte dalla

diminuzione dell'energia interna e in parte dal lavoro di compressione

compiuto sul corpo dalle forze esterne.

Per convenzione, l'energia interna di un corpo è nulla a 0 °C.

Il gas o il vapore non sono altro che il mezzo per eseguire trasferimenti o trasformazioni di energia:

Calore e Lavoro sono la stessa entità.

$$Q = L$$

L' Energia Termica è stata trasformata tutta in Energia Meccanica, i valori iniziali del manometro e del termometro restano gli stessi.

$$Q > L$$

L' Energia Termica in esubero fa aumentare la temperatura, una parte di calore resta all' interno del gas.

$$Q < L$$

Il termometro cala di temperatura perché il lavoro è svolto a spese del raffreddamento interno molecolare che assorbono calore dalle loro riserve energetiche interne.

Quindi, se nel sistema stantuffo/pistone, ovviamente isolato termicamente cioè con pareti adiabatiche, si riempie con gas caldo e compresso

si ottiene un'espansione e una produzione di lavoro ($\Delta L = \int p \Delta Z$)
a spese di una riduzione di temperatura Δt e di pressione Δp , segnalate
rispettivamente sia dal termometro che dal manometro.

Allora, entra in gioco anche il "patrimonio" Energetico Molecolare
della massa presente nel sistema, l' Energia Interna "U", già detta,
e la formula del 1° Principio, si esprime anche come:

$$\Delta Q = \Delta L + \Delta U$$

Essa vale con i segni assunti + o - perché è valevole sia per il calore
somministrato dall'esterno che per quello sottratto dal sistema.

Il calore fornito può trasformarsi tutto in energia interna,
tutto in lavoro o parte in energia in interna e parte in calore.
È per questo, che all'inizio del paragrafo, abbiamo introdotto
il Primo Principio della Termodinamica
o Principio di Equivalenza tra Calore e Lavoro.

Il principio appena illustrato vale per ogni sostanza e in tutto l'universo, quindi, anche per gli esseri viventi.

J. R. Mayer nel 1840, medico di bordo sulle navi olandesi studiò il fabbisogno alimentare dei marinai rapportandolo con la fatica fisica, il clima e la temperatura corporea e misurò l'Equivalente Termico del Lavoro, fissato successivamente in $1\text{kcal}=427\text{ kgf m}$

Un secolo prima Lavoisier (*Dinamica, n. 14*) insieme a Laplace, misurò il calore, allora "calorico", emesso da un essere vivente. Poi Lavoisier continuò col misurare l'ossigeno consumato e l'anidride carbonica " CO_2 ", allora "aria fissa", esalata durante la respirazione concludendo che questo processo era una combustione lenta perché si consumava ossigeno e si produceva CO_2 e calore, quindi la "fiamma della vita" degli antichi non era una semplice metafora, come non lo è nemmeno "bruciare calorie" usata per le diete dimagranti, da qui ebbero inizio gli studi di fisiologia.

La respirazione, la traspirazione e la digestione sono tre processi termodinamici, infatti, il primo è la combinazione di idrogeno e carbonio con ossigeno dell'aria, avviene nei polmoni, producendo calore che tramite il sangue si diffonde in tutto il corpo mantenendo costante la temperatura. Nella traspirazione la perdita d'acqua (sudore) attraverso la pelle e i polmoni permette di disperdere l'eccessivo calore. Con la digestione, il cibo, ridà al sangue quello che aveva perso con la respirazione e con la traspirazione.

Trasformazioni Termodinamiche e Prima Equazione della Termodinamica

$$\Delta Q = \Delta L + \Delta U$$

*Trasformazioni isocore o isovolumiche o isometrica,
insomma, a Volume Costante*

In questo caso, per $V=0$, (Esposizione, n.11) il 1° Principio diventa:

$$\Delta Q = \Delta U$$

perché non essendoci variazione di volume non c'è lavoro.

$$\Delta Q = C_v \Delta T = C_v (T_f - T_i) = \Delta U$$

*che è molto usata per calcolare l'Energia Interna anche
nei casi che non sono a $V=cost.$*

Trasformazioni isobara o isobarica, insomma, a Pressione Costante

*Ora il volume varia (Esposizione, n.11) da V_i a V_f e il lavoro
si calcola come l'area del rettangolo sotteso di altezza "po"*

$$\Delta L = P (V_f - V_i) \text{ e la } \Delta Q = \Delta L + \Delta U \text{ resta così com'è,}$$

se esprimiamo il calore e il lavoro in funzione della capacità termica C_v e C_p

si otteniamo $C_p((T_f - T_i) = P(V_f - V_i) + C_v(T_f - T_i)$

che, per l'equazione dei gas perfetti: $P V_f = R T_f$ e $P V_i = R T_i$, diventa

$$C_p((T_f - T_i) = R T_f - R T_i + C_v(T_f - T_i)$$

$$C_p((T_f - T_i) - C_v(T_f - T_i) = R(T_f - T_i)$$

da cui $C_p - C_v = R$ che ha validità generale.

Trasformazioni isoterma o isotermica, insomma, a Temperatura Costante

Essa è una iperbole (Esposizione, n.11) e il 1° Principio diventa:

$$\Delta Q = \Delta L$$

perché, con $T = \text{cost}$, non c'è variazione di Energia Interna.

Nell'espansione, tutto il calore fornito dal gas si trasforma in lavoro

e, nella compressione, tutto il lavoro riversato sul gas

si trasforma in calore che il sistema versa sull'ambiente.

Trasformazioni adiabatica o isentropica, insomma, $PV^a = \text{Costante}$

con $a = C_p/C_v$, è una curva (Esposizione, n.11) e il 1° Principio diventa:

$$\Delta Q = -\Delta U$$

per sua natura è un'adiabatica è non c'è alcun flusso termico né entrante né uscente, si svolge lavoro a spese dell'energia interna.

Si aggiunge, infine, che il lavoro e il calore sono "funzioni di linea", cioè, dipendono, non solo dagli stati iniziali e finali, ma anche dal percorso per passare dalla configurazione 1 alla configurazione 2.

L'energia interna, invece, è una "funzione di stato" che dipende solo dai valori della temperatura iniziale e finale, ovviamente, a meno della costante C_v . Essa non dipende dal cammino percorso né dall'andamento, né dalla forma della linea termica.

Trasformazione Termodinamica Reversibile

è il processo in cui il sistema torna allo stato iniziale senza apportare modificazioni di qualsiasi genere all'ambiente esterno.

Il lavoro assorbito e erogato, in un sistema reversibile ideale, è uguale.

Infatti in un ciclo chiuso, o percorrendo il medesimo tratto sia all'andata che al ritorno, il lavoro è lo stesso: $\Delta L = \Delta Q$, per l'isoterma.

La condizione essenziale per la reversibilità, è che deve essere infinitesima sia la differenza di pressione che quella della temperatura fra il gas e l'ambiente esterno, e non vi devono essere dispersioni di energia e né perdite dovute alle resistenze passive.

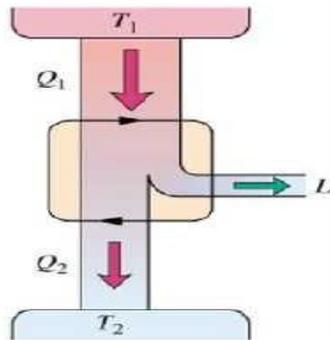
Inoltre il gas deve essere ideale e omogeneo chimicamente.

Nelle macchine reversibili la trasformazione procede con grande lentezza e, le linee termiche della compressione e dell'espansione, coincidono con l'isoterma ideale.

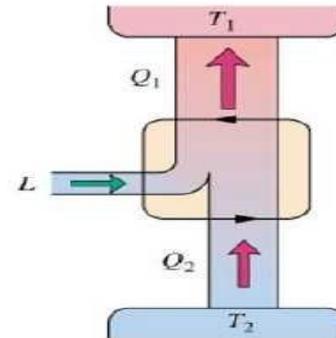
Di contro, la irreversibilità è sempre presente nelle trasformazioni reali per la presenza degli attriti, per gli scambi di calore non adiabatici e per le modificazioni dell'ambiente esterno che provoca il sistema.

Macchine termiche

Schema di una generica macchina termica:



Schema di una generica macchina frigorifera:



Rendimento: $\eta = \frac{W}{Q_1}$

Efficienza: $\varepsilon = \frac{Q_2}{W}$

<http://www.bi ng.com/images/search?q=macchina+termica+reversibile&view=detailv2&id=BE1570E6544A57E07CA47750F0F43D5E756AED0D&selectedindex=2&ccid=WaoRyZ50&simid=608054188804016112&thid=OIP.M59aa11c99e4ec627b79cfb0002df041fo0&mode=overlay&first=1>

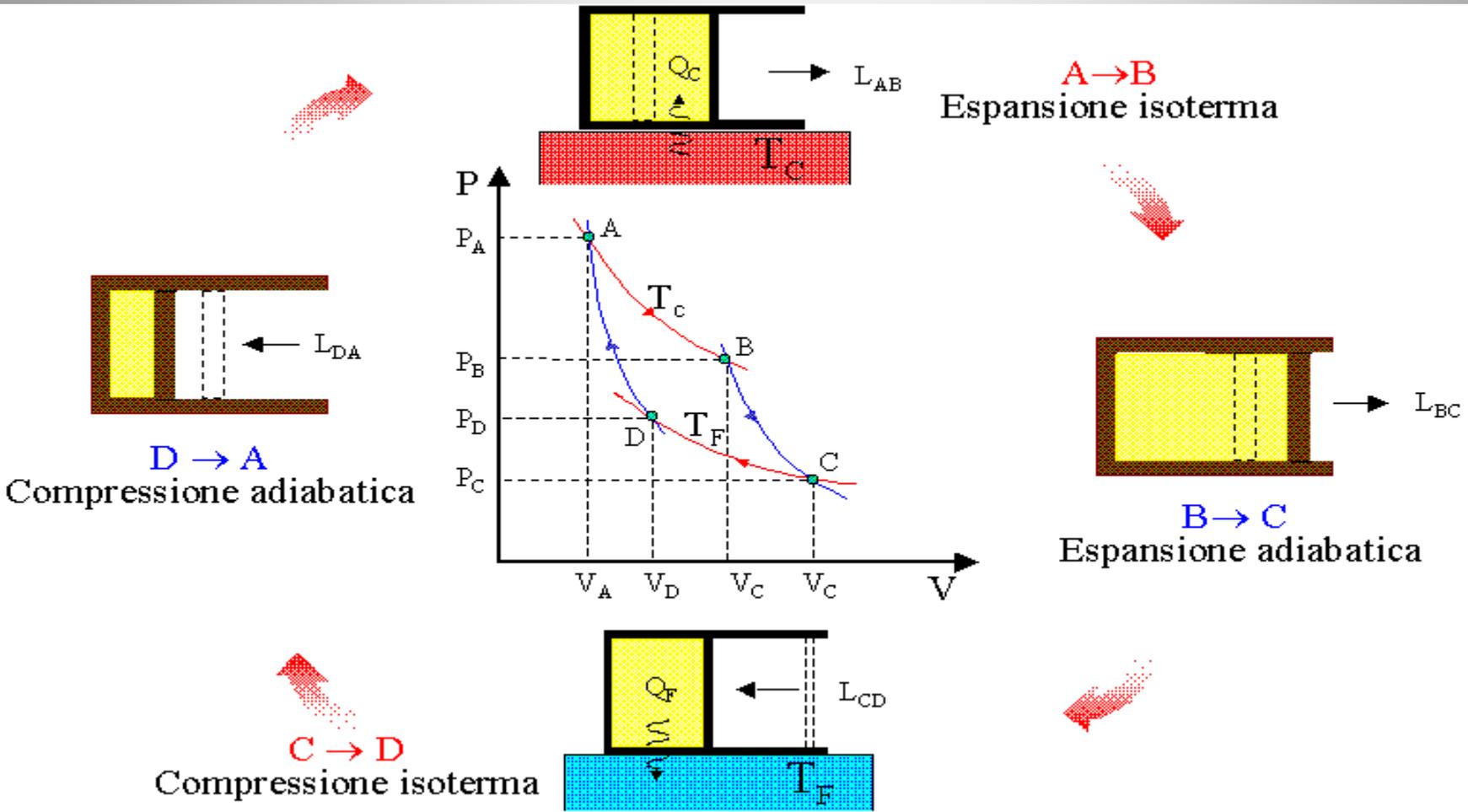
W è L

Il fluido in una macchina termica motrice riceve una quantità di energia sotto forma di calore dall'esterno e restituisce un'altra energia sotto forma di lavoro. In una macchina operatrice, il fluido, riceve energia sotto forma di lavoro e ne cede altra sotto forma di calore da un corpo freddo a uno caldo.

T1 è la sorgente calda di calore e T2 è la sorgente fredda di calore.

Il Ciclo di Carnot

Sadi Carnot nel 1824 rappresentò il suo Ciclo Termodinamico con due adiabatiche e due isoterme, più vicine sperimentalmente, alle condizioni reversibilità, esso rimase come riferimento ad ogni altro ciclo.



http://www.scienze.unitn.it/~fisica1/fisica1/appunti/termodinamica/cap_4/cap_4_5.htm

La figura è di per sé molto eloquente, si aggiungono delle considerazioni:

Tratto D-A: Il ciclo parte dal punto D, viene compresso adiabaticamente dalla temperatura T_f alla T_c fino al punto A.

Il lavoro L_{DA} è negativo perché proviene dall'esterno al gas (entra da A-V_A).

Tratto A-B: Inizia l'espansione isoterma durante la quale si introduce il calore $Q_c (Q_1)$ proveniente dal termostato superiore e il gas eroga il lavoro L_{AB} .

Tratto B-C: Nonostante sia cessato l'apporto di calore dall'esterno, l'espansione prosegue oltre per il valore molto alto dell'energia interna al gas. È questa espansione adiabatica che causa il raffreddamento del gas fino a T_f , il gas eroga lavoro positivo L_{BC} .

Tratto C-D: È l'ultima trasformazione che chiude il ciclo, riportando il gas nelle condizioni iniziali D, è la compressione isoterma che espelle calore a $Q_f (Q_2)$, inviandolo al termostato T_f , il lavoro L_{CD} è negativo, proviene dall'esterno (entra da C-V_C).

Osserviamo le quattro fasi di Carnot da un altro punto di vista:

Tratto A-B: La pressione diminuisce da P_a a P_b , il volume aumenta da V_a a V_b e, il gas, prende calore dalla sorgente Q_c (Q_1).

Poiché la temperatura non cambia, la sua energia cinetica si mantiene costante e tutto il calore trasferito al gas è utilizzato per generare lavoro meccanico sul pistone che è spinto verso destra e il gas eroga il lavoro L_{AB} .

Tratto B-C: La pressione diminuisce a P_c , il volume aumenta a V_c , la temperatura del gas diminuisce da T_c a T_f .

La trasformazione è l'espansione adiabatica, senza scambio di calore con l'esterno, il lavoro che si continua a esercitare (L_{BC}) sul pistone, che è spinto verso destra, è fatto a spese dell'Energia Cinetica del gas che è diminuita poiché anche la temperatura è scesa.

Tratto C-D: La pressione aumenta da P_c a P_d , il volume diminuisce da V_c a V_d e il gas è a contatto con la sorgente a temperatura T_f , la trasformazione è una compressione isoterma.

Poiché non c'è variazione di temperatura, l'energia cinetica del gas non cambia e il lavoro realizzato sul pistone (LCD), che è spinto verso sinistra, è dovuto al calore ceduto dal gas alla sorgente a bassa temperatura.

Tratto D-A: La pressione aumenta da P_d a P_a , il volume diminuisce da V_d a V_a e la temperatura aumenta fino al valore iniziale (T_c) realizzando lavoro a spese dell'aumento dell'energia cinetica. L'ultima fase è la compressione adiabatica che produce il calore in virtù del lavoro realizzato sul pistone (LDA), che è spinto verso sinistra.

In questo caso la macchina funziona prendendo calore dalla sorgente calda (Pompa di calore) oppure da quella fredda (Frigorifero).

Si afferma che quanto maggiore è la temperatura del gas, tanto maggiore è la sua energia cinetica, che è l'energia data dalla velocità delle sue molecole.

Il ciclo di Carnot è solo ideale, è irrealizzabile per gli attriti, le dispersioni di calore ecc. È il riferimento obbligatorio per la realizzazione dei cicli reali.

Il Rendimento del Ciclo di Carnot.

$$\eta_c = L/Q_1 = Q_1 - (|Q_2|/Q_1) = 1 - (|Q_2|/Q_1) = T_1 - T_2/T_1 = 1 - (T_2/T_1)$$

|Q2| è in valore assoluto perché si deve prendere con il proprio segno nell'ultima formula è stato soppresso il valore assoluto perché il calore nel Ciclo di Carnot è sicuramente positivo.

Proseguendo con il Rendimento

$$\eta_c = 1 - (T_2/T_1)$$

Pertanto, il Rendimento dipende unicamente dal rapporto tra le temperature assolute delle due sorgenti di calore e non dipende dal gas impiegato, però il gas si deve comportare da gas ideale cioè deve seguire le leggi dell'adiabatica e dell'isoterma.

e, ancora è $Q_2/Q_1 = T_2/T_1 = Q_1/T_1 + Q_2/T_2 = 0$ da cui

$$\eta_c = \sum Q/T = 0, \text{ in forma sintetica}$$

La somma dei rapporti delle due isoterme vale zero.

È impossibile avere un Rendimento Unitario, matematicamente si dovrebbe avere $T_2=0$ (sorgente fredda=0, vuol dire raggiungere lo zero assoluto) oppure $T_1=\infty$ (sorgente calda infinità).

Però possiamo agire, per avere il massimo rendimento, innalzando T_1 fino al limite di riscaldamento dei materiali degli organi meccanici, ridurre le dispersioni di calore e gli attriti per rendere il ciclo più reversibile e rilasciando i fluidi di scarico a temperature più basse possibili per recuperare gli sprechi allo scarico e sfruttare al meglio il salto T_2-T_1 .

Inversione del Ciclo di Carnot

Percorrendo il ciclo di Carnot in senso inverso e supponendolo irreversibile, si ha che le quantità di calore e lavoro cambiano di segno, il sistema consuma lavoro invece di produrlo e il calore assorbito, dalla sorgente più fredda, viene riversato alla sorgente più calda, è la Macchina Frigorifera.

Lo schema e il funzionamento è insito nella Macchina Termica (Esposizione n. 23).

Il Primo Principio della Termodinamica si esprime:

$$|Q_1| = Q_2 + L$$

Il Rendimento si chiamerà Efficienza o Coefficiente di prestazione:

$$\epsilon = Q_2 / |L| = T_2 / T_1 - T_2$$

Il Secondo della Termodinamica

deriva dal Ciclo di Carnot: Il calore non si può trasformare tutto in lavoro perché una parte si disperde obbligatoriamente a temperatura più bassa. La parte di calore convertita in lavoro è tanto maggiore quanto più alto è il salto termico disponibile.

Max Plank (Emerito Scienziato del XX sec.), sull'idea che il calore passa spontaneamente da un corpo caldo ad uno freddo e che tutto il calore non può essere trasformato in lavoro, afferma che costruire una macchina simile è impossibile, nonostante ci sia qualcuno che vende macchine simili, facendo credere di aver realizzato il moto perpetuo di seconda specie.

Plank, nel suo trattato sulla Termodinamica del 1897, definisce così il 2^o Principio: "È impossibile costruire un motore che, lavorando secondo un ciclo completo, non produca altro effetto che sollevare un peso e raffreddare una sorgente di calore"

Da qui segue il Moto Perpetuo di Seconda Specie che non si può trasformare in lavoro tutto il calore fornito (W. Thomson alias Lord Kelvin).

Entropia

Il 2° Principio si può esprimere anche tramite il concetto di Entropia, grandezza che dipende dalla massa e definisce lo stato fisico di un corpo come l'energia interna e l'entalpia che sono funzioni di stato (Esposizione n. 21).

Essa, non può essere misurata direttamente come la temperatura, la pressione e il volume ma, in una qualsiasi trasformazione i cui stati sono infinitamente vicini, considerando le somme dei singoli rapporti del rendimento espresso in forma sintetica (Esposizione n. 28) si arriva alla formula:

$$S = \sum Q/T \text{ oppure } dS = dQ/T \text{ [j/kg K]}$$

e, siccome, il calore passa naturalmente dai corpi a temperatura più caldi a quelli più freddi, ogni diminuzione di temperatura aumenta l'entropia e diminuisce l'utilizzabilità del calore, degradando l'energia. L'entropia gode della proprietà additiva, le singole entropie si sommano.

La $dS = dQ/T$ nei sistemi isolati per processi ideali/reversibili rimane costante, mentre nei processi reali/irreversibili aumenta:

$$dS \geq dQ/T$$

È per questo che il 2° Principio della Termodinamica è, secondo Clausius, Principio dell'Aumento dell'Entropia.

Quindi, in quest'ultima trasformazione, entropia totale aumenta quando l'energia si converte, una parte viene dispersa e non è più utilizzabile per produrre lavoro anche se rimane nell'ambiente,

visto e considerato che né può essere creata e né distrutta.

Nell'universo, l'entropia è sempre in aumento e tende al massimo.

Alcune conseguenze di questo Principio:

Se mescoliamo acqua fredda con acqua calda, l'entropia totale aumentata per la proprietà additiva.

Una pietra che cade, sobbalza e si ferma, l'energia posseduta si è trasformata in calore (attrito tra pietra e terreno e pietra aria).

L'esempio è più vistoso se pensiamo ad un meteorite che lascia, cadendo, dei crateri nei quali si può apprezzare l'effetto del calore prodotto nell'imbatto sulle rocce fuse e nell'ambiente con il riscaldamento dell'aria circostante.

L'energia che resta di una macchina la troviamo toccando i freni che scottano e, il calore sprigionato dal motore riscalda se stesso e l'ambiente esterno.

È proprio impossibile riconvertire questo calore prodotto dalla pietra, dal meteorite, dai freni e dal motore di nuovo in lavoro che non è energia "persa" ma è energia convertita in calore difficilmente utilizzabile, essa va ad aumentare l'entropia dell'universo.

Ragionando sul 1° e 2° Principio, Max Plank, ottenne la seguente equazione: $T\Delta S = \Delta L + \Delta U$ che collega Entropia, Lavoro e Energia Interna e che utilizzò per le ricerche sul corpo nero.

Egli, enunciò il 3^o Principio della Termodinamica.

"Quando la temperatura diminuisce indefinitamente, il valore dell'entropia di un corpo chimicamente omogeneo di densità finita si approssima indefinitamente a zero".

Deriva dal Teorema di Nerst: "Attorno allo Zero Assoluto tutti i processi si realizzano senza variazione dell'entropia.

Ma l'entropia si esprime, nel linguaggio moderno, come:

$$S = K \log W$$

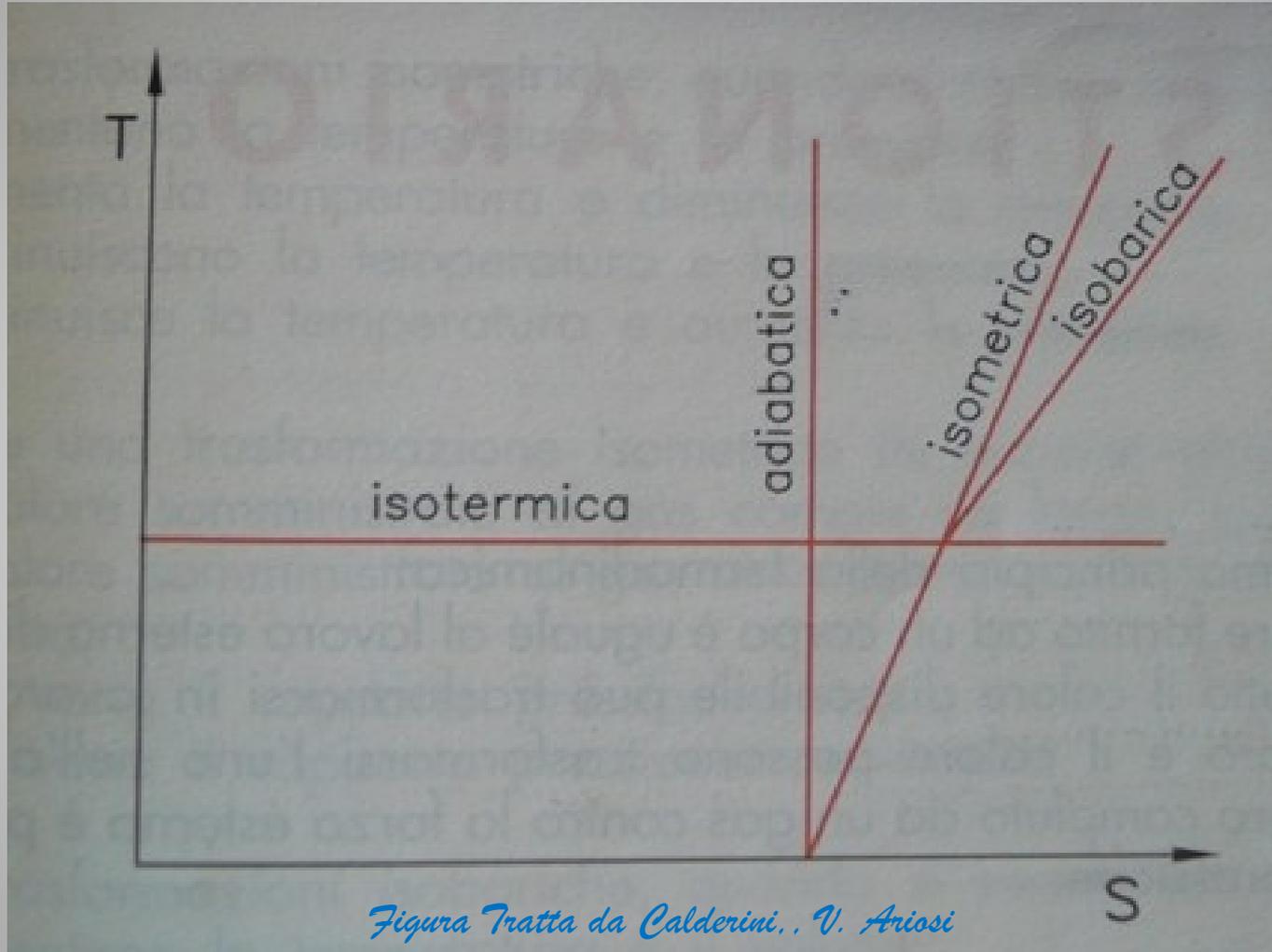
con K , costante di Boltzmann e

W , numero dei micro stati compatibile con il macro stato.

È anche interpretata come la probabilità del macro stato che è direttamente proporzionale al numero dei micro stati e, infine, siccome a più micro stati corrisponde un maggiore disordine, a più disordine si ha una maggiore entropia.

All'aumentare di W aumenta S (per un solo micro stato $S=0$) per cui, l'entropia è la misura del disordine del sistema termodinamico.

Questa formula è talmente importante che è incisa sulla tomba di Boltzmann (Scienziato del XIX sec.).



*Trasformazioni fisiche nel diagramma
Entropia/Temperature Assolute, È il diagramma Entropico*
AS CARUSO - I.T.I. "MAJORANA" ROSSANO - TERMODINAMICA - N.RO 37

L'Entalpia

di un fluido è intesa come la somma fra l'energia interna
e il lavoro di pompaggio

$$h = U + Pv \quad [j/kg]$$

e riferendosi al 1° Principio si ha: $\Delta Q + \Delta L = \Delta h$

Il lavoro sviluppato da un fluido operativo in moto permanente,

all'interno di una macchina
adiabatica, è pari alla
variazione
di Entalpia subita dal
fluido stesso.

A fianco sono rappresentate le
trasformazioni fisiche nel
diagramma Entropia/Entalpia,
Diagramma Entalpico o di
Mollier

Figura Tratta da Calderini., V. Ariosi

