

# Corso di Fisica Generale 1

## a.a. 2018/2019

*corso di laurea in Ingegneria dell'Automazione,  
Informatica, Biomedica, Telecomunicazioni ed Elettronica  
canale CIS-FER e RON-Z*

*20° lezione ( 17 e 19 / 12 / 2018)*

Prof. Laura VALORE

Email : [laura.valore@na.infn.it](mailto:laura.valore@na.infn.it) / [laura.valore@unina.it](mailto:laura.valore@unina.it)

Pagina web : [www.docenti.unina.it/laura.valore](http://www.docenti.unina.it/laura.valore)

Ricevimento : **appuntamento per email** – studio presso il Dipartimento di Fisica  
(Complesso Universitario di Monte Sant'Angelo, Edificio 6) – stanza 1H09

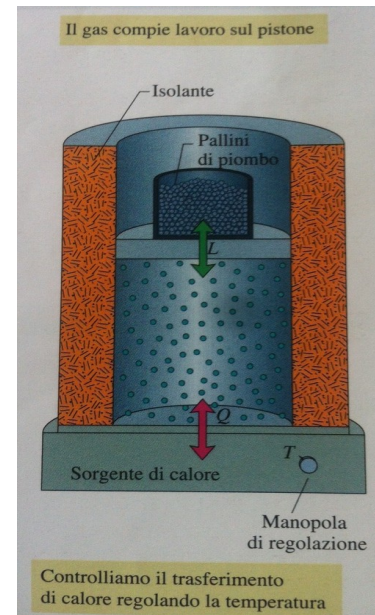
Oppure Laboratorio (Hangar) 1H11c0

# Cenni di termodinamica

La TERMODINAMICA è la branca della fisica che descrive le trasformazioni subite da un sistema (sia esso naturale o costruito dall'uomo), in seguito ad un processo di scambio di energia con altri sistemi o con l'ambiente esterno.

In particolare, studia i processi macroscopici implicanti scambi e conversioni di calore.

Come si puo' trasformare il calore in lavoro meccanico?



# Principio zero della termodinamica

## PRINCIPIO ZERO DELLA TERMODINAMICA

Se due corpi A e B si trovano in equilibrio termico con un terzo corpo T, allora sono in reciproco equilibrio termico

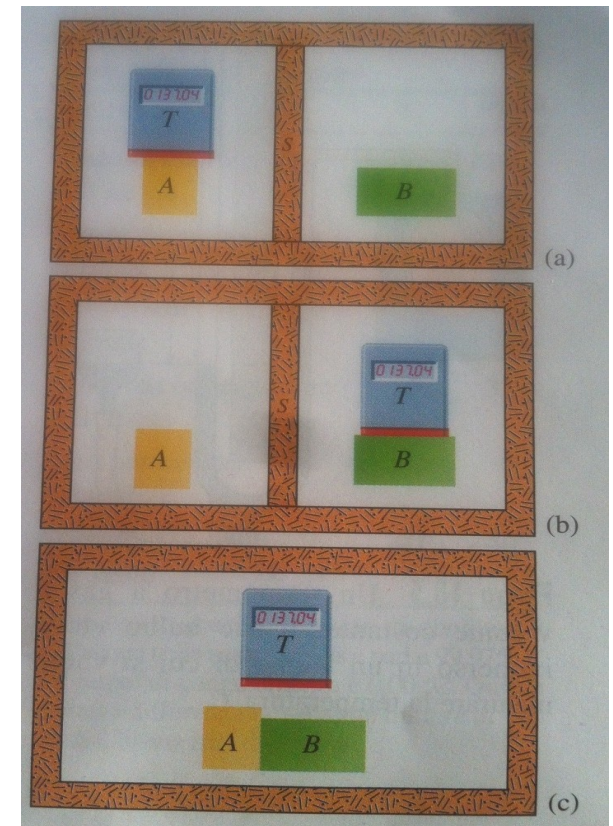
a) Se, all'interno di una scatola isolante, mettiamo a contatto un corpo A con un altro corpo T, i due corpi raggiungeranno un **equilibrio termico**.

Ovvero : se il corpo T è un termoscopio che riporta un valore  $T_1$ , quando entra in contatto con il corpo A, i valori sulla scala cambieranno fino ad arrestarsi su un valore  $T_2$  che non cambierà più'.

Il termoscopio è uno strumento non tarato, quindi sappiamo solo che A e T sono in equilibrio alla stessa (ignota) temperatura.

b) Preso un terzo corpo B, se questo, messo a contatto con il termoscopio, raggiunge l'equilibrio termico allo stesso valore letto sul termoscopio quando questo era all'equilibrio termico con il corpo A →

allora possiamo concludere che A, B e T saranno tutti in equilibrio termico



# Temperatura

## PRINCIPIO ZERO DELLA TERMODINAMICA

Se due corpi A e B si trovano in equilibrio termico con un terzo corpo T, allora sono in reciproco equilibrio termico



questo significa che i due corpi A e B si trovano alla stessa *temperatura*.

La temperatura è una grandezza scalare che indica lo stato termico di un corpo.

Per sapere se due corpi sono in equilibrio termico, non c'è quindi bisogno di metterli a contatto, basta misurare la loro temperatura : se è uguale, sono in equilibrio termico.

La temperatura è una delle 7 grandezze fondamentali del S.I.

L'unità di misura nel S.I. è il *kelvin (K)*.

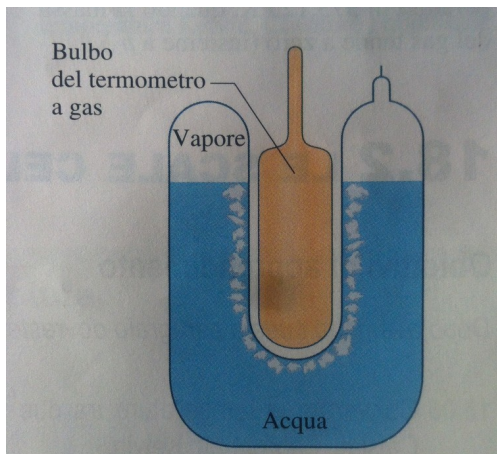
Il limite di bassa temperatura, detto zero assoluto, è lo zero nella scala Kelvin

# Come definire una scala di temperatura

Per definire una scala di temperatura vanno scelti dei fenomeni termici riproducibili ai quali attribuire un certo valore → scelta di un **punto fisso standard**

Esempi : punto di congelamento dell'acqua, punto di ebollizione dell'acqua

Per la scala Kelvin, viene scelto il **punto triplo dell'acqua**, ovvero il punto in cui l'acqua in forma liquida, gassosa e solida coesistono



temperatura del punto triplo dell'acqua :  
273,16 K

l'unità kelvin di temperatura è  $1/273,16$   
della differenza di temperatura tra il  
punto triplo dell'acqua e lo zero assoluto

la **temperatura** non può mai essere esattamente pari allo zero assoluto, anche se è possibile raggiungere temperature molto vicine ad esso. Allo zero assoluto le **molecole** e gli **atomi** di un **sistema** sono tutte allo stato fondamentale (ovvero il più basso livello di **energia** possibile)

# Scale Celsius e Fahrenheit

La scala **Kelvin** è utilizzata nel mondo scientifico. Le scale **Celsius** e **Fahrenheit** sono preferite per uso comune.

## Scala Celsius :

- il grado Celsius equivale al kelvin
- lo zero della scala Celsius è spostato per avere valori piu' comodi a disposizione

Se  $T$  è la temperatura in kelvin e  $T_c$  quella in gradi Celsius, allora :

$$T_c = T - 273,16^\circ$$

ovvero,  $T_c = 0^\circ$  corrisponde a  $T = 273,16$  K

## Scala Fahrenheit (utilizzata negli Stati Uniti ed in altri paesi anglosassoni) :

- Il grado Fahrenheit ( $^\circ\text{F}$ ) ha un'ampiezza minore del grado Celsius ( $^\circ\text{C}$ )
- lo zero è riferito ad un punto diverso

La relazione tra le scale Celsius e Fahrenheit è :

$$T_F = 9/5 T_C + 32^\circ$$

ovvero,  $T_c = 0^\circ$  corrisponde a  $T_F = 32^\circ$

**TABELLA 18.1** Confronto tra valori di temperatura nelle scale Celsius e Fahrenheit

Temperatura	°C	°F
Punto di ebollizione dell'acqua*	100	212
Temperatura corporea normale	37,0	98,6
Temperatura ambiente ottimale	20	68
Punto di congelamento dell'acqua*	0	32
Zero per la scala Fahrenheit	$\approx -18$	0
Coincidenza delle due scale	-40	-40

\* Per essere precisi, il punto di ebollizione dell'acqua nella scala Celsius è pari a  $99,975\text{ }^{\circ}\text{C}$  e il punto di congelamento è  $0,00\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Quindi vi è una differenza lievemente minore di 100 gradi Celsius tra i due punti.

# Dilatazione termica

Tutti i materiali sono soggetti ad una variazione di dimensioni al variare della temperatura.

L'aumento di temperatura accresce l'energia degli atomi, che oscillano allontanandosi di più uno dall'altro, causando la dilatazione del materiale.

## DILATAZIONE LINEARE

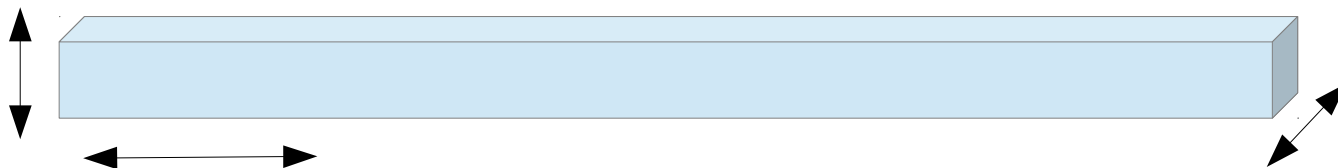
consideriamo una barra di lunghezza  $L$ , ed aumentiamo la sua temperatura di una quantità  $\Delta T$

→ la lunghezza della barra aumenterà di una quantità  $\Delta L = L\alpha\Delta T$

dove  $\alpha$  è il **coefficiente di dilatazione termica lineare** ed è una costante.

Il valore di  $\alpha$  dipende dal materiale e la sua unità di misura è il  $^{\circ}\text{C}^{-1}$  oppure il  $\text{K}^{-1}$  a seconda della scala di temperature scelta.

La dilatazione termica vale per qualsiasi dimensione lineare del solido : nel caso della barra, la lunghezza, lo spessore, tutte le sue dimensioni lineari varieranno seguendo la relazione  $\Delta L = L\alpha\Delta T$



# Dilatazione termica

Tutti i materiali sono soggetti ad una variazione di dimensioni al variare della temperatura.

L'aumento di temperatura accresce l'energia degli atomi, che oscillano allontanandosi di più uno dall'altro, causando la dilatazione del materiale.

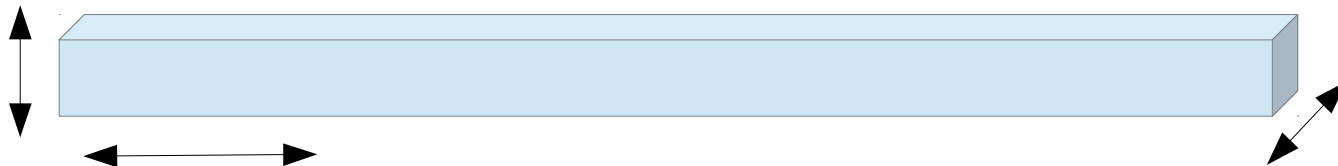
## DILATAZIONE VOLUMICA

Se tutte le dimensioni di un solido si dilatano con la temperatura, anche il suo volume cambierà di conseguenza. In particolare, se consideriamo un liquido, solo l'aumento di volume è un parametro di espansione significativo

$$\Delta V = V\beta\Delta T$$

dove  $\beta$  è il **coefficiente di dilatazione volumica**

I due coefficienti di dilatazione lineare e volumica sono legati dalla relazione :  $\beta = 3\alpha$



# Temperatura e calore

**Il calore è l'energia trasferita tra un sistema e l'ambiente circostante a causa della differenza di temperatura tra loro**

Il calore è quindi energia trasferita, ed ha senso parlare di calore solo quando c'è trasferimento di energia; non è una proprietà intrinseca di un corpo.

Il simbolo del calore è  $Q$ .

Se  $T_s$  è la temperatura del sistema e  $T_a$  è la temperatura dell'ambiente :

calore positivo  $\rightarrow$  il sistema assorbe energia dall'ambiente ( $T_s < T_a$ )

calore negativo  $\rightarrow$  il sistema cede energia all'ambiente ( $T_s > T_a$ )

unità di misura del calore :

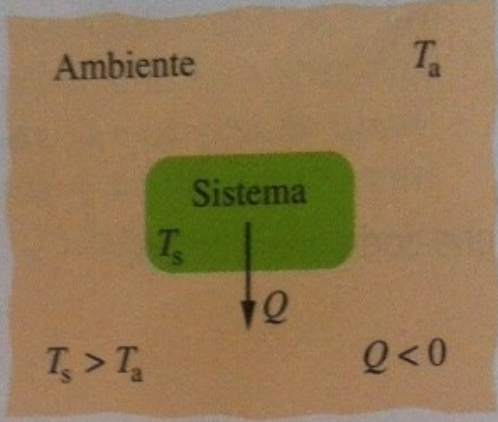
**caloria (cal)**  $\rightarrow$  la quantità di calore in grado di innalzare la temperatura di 1 g di acqua da 14,5 °C a 15,5 °C

Ma :

Il calore, come il lavoro, è energia trasferita  $\rightarrow$  **unità di misura del calore nel S.I. è il joule**

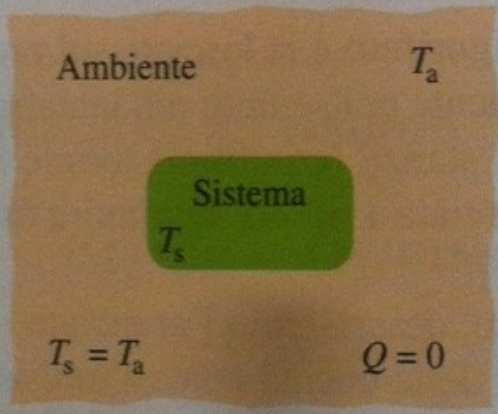
$$1 \text{ cal} = 4,1868 \text{ J}$$

Il sistema ha temperatura maggiore, per cui...



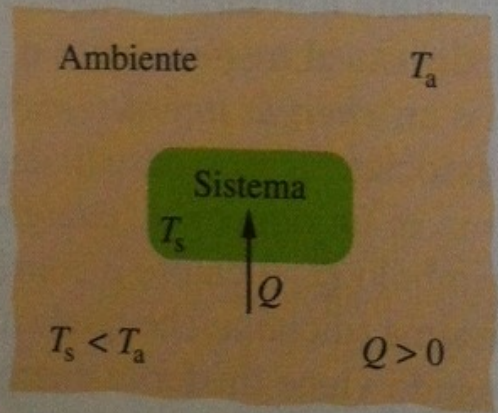
(a) ... perde energia cedendo calore

Il sistema ha la stessa temperatura, per cui...



(b) ... non c'è trasferimento di energia

Il sistema ha temperatura minore, per cui...



(c) ... acquista energia assorbendo calore

# Capacità termica e calore specifico

La **capacità termica C** di un oggetto è una costante di proporzionalità tra una certa quantità di calore e la variazione di temperatura che tale quantità di calore produce nell'oggetto

$$Q = C(T_f - T_i) = C\Delta T$$

L'unità di misura della capacità termica è quindi cal/°C oppure J/K

Il **calore specifico c** è la capacità termica per unità di massa

$$Q = cm(T_f - T_i) = cm\Delta T$$

L'unità di misura della calore specifico è cal/(g · °C) oppure J/(kg · K)

Talvolta è piu' comodo usare come unità di massa la mole o grammo-molecola : in questo caso, se la quantità di sostanza è espressa in moli, si definisce il **calore specifico molare**.

1 mol =  $6,02 \cdot 10^{23}$  unità elementari della sostanza

(ad es. , 1 mol di alluminio equivale a  $6,02 \cdot 10^{23}$  atomi di alluminio)

# Verifica

Una certa quantità di calore  $Q$  riscalda :

1 g di sostanza A di  $3\text{ }^{\circ}\text{C}$  ed

1 g di sostanza B di  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$

Quale sostanza, tra A e B, ha calore specifico maggiore?

# Verifica

Una certa quantità di calore  $Q$  riscalda :

1 g di sostanza A di 3 °C ed

1 g di sostanza B di 4 °C

Quale sostanza, tra A e B, ha calore specifico maggiore?

la risposta è A

$Q = cm\Delta T \rightarrow c = Q/m\Delta T$  , siccome  $Q$  ed  $m$  sono uguali, e  $c$  è inversamente proporzionale a  $\Delta T \rightarrow A$  ha calore specifico maggiore perché subisce la variazione di temperatura minore a parità di calore ricevuta

# Trasformazioni di fase e calore latente

La materia puo' presentarsi sotto 3 forme : **solido, liquido o aeriforme (gassoso)**.

Nello stato solido, le molecole sono legate tra loro a formare una struttura rigida, quindi possono muoversi poco. Nello stato liquido hanno piu' liberta di movimento, che è ancora maggiore nello stato gassoso.

## FUSIONE :

fondere un solido vuol dire farlo passare dallo stato solido a quello liquido → viene fornita energia al solido affinché le molecole rompano i legami della struttura rigida. Il processo inverso è detto **SOLIDIFICAZIONE** : un liquido, per diventare solido, deve cedere energia.

## EVAPORAZIONE :

far evaporare un liquido significa farlo passare allo stato gassoso. Al pari della fusione, anche in questo caso occorre fornire energia al liquido per attivare il processo di evaporazione. Il processo inverso è detto **LIQUEFAZIONE**, ed anche in questo caso il gas deve cedere energia per passare allo stato liquido.

**La quantità di calore per massa unitaria che si deve trasferire affinché un campione subisca un cambiamento di fase completo è chiamata calore latente**

# Calore latente

Quando un campione di massa  $m$  subisce un cambiamento di fase completo, il calore totale trasferito è

$$Q = Lm$$

dove  $L$  è il calore latente.

Se il cambiamento di fase è da liquida a gassosa (il campione assorbe calore), o viceversa da gassosa a liquida (il campione cede calore), si parla di **calore latente di evaporazione**. Ad esempio, per l'acqua :

$$L_V = 539 \text{ cal/g} = 2260 \text{ kJ/kg}$$

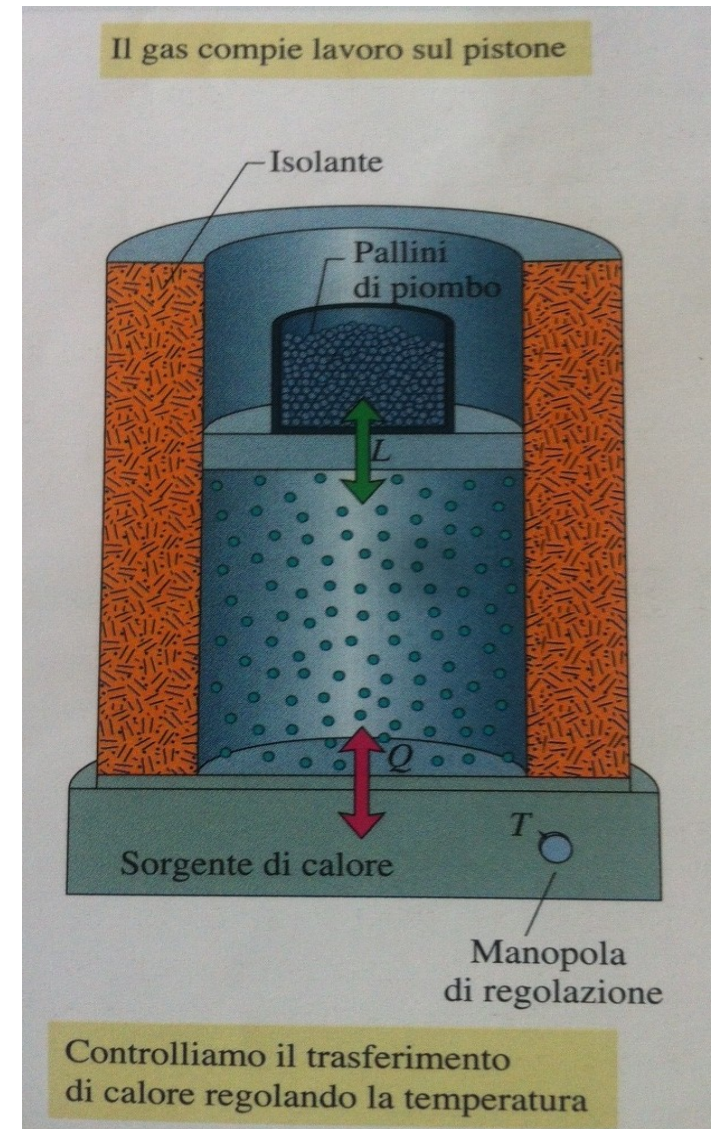
Se il cambiamento di fase è da solida a liquida (assorbimento di calore) o da liquida a solida (cessione di calore), si parla di **calore latente di fusione**. Ancora una volta, per l'acqua :

$$L_F = 79,5 \text{ cal/g} = 333 \text{ kJ/kg}$$

# Scambio di calore e lavoro

Consideriamo un sistema costituito da un gas racchiuso in un cilindro con un pistone mobile.

- La pressione del gas è bilanciata da un peso sulla parte superiore del pistone (ad esempio, dei pallini di piombo come in figura)
- Le pareti del cilindro sono di materiale isolante, che non permette trasferimento di calore all'esterno del cilindro.
- Il fondo del cilindro è appoggiato su una sorgente di calore la cui temperatura può essere regolata.

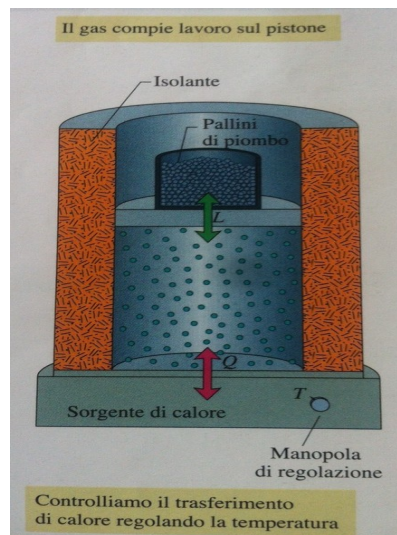


# Scambio di calore e lavoro

Il sistema parte da uno **stato iniziale "i"**, caratterizzato da pressione  $p_i$ , temperatura  $T_i$  e volume  $V_i$  e si vuole far passare il sistema ad uno **stato finale "f"**, con pressione  $p_f$ , temperatura  $T_f$  e volume  $V_f$ .

Il procedimento con il quale si passa dallo stato "i" allo stato "f" è detto **processo termodinamico**. Durante il processo :

- il calore può essere fornito al gas attraverso la sorgente di calore (calore positivo) o può essere sottratto al gas (calore negativo)
- il sistema può compiere lavoro positivo per alzare il pistone, o negativo per abbassarlo.



Se il processo avviene lentamente, in ogni istante possiamo assumere che il sistema sia in equilibrio → equilibrio termodinamico.

# Lavoro compiuto dal gas

Se dal pistone rimuoviamo uno dei pallini, il gas spingerà il pistone verso l'alto, applicando una forza  $F$  diretta verso l'alto e provocando uno spostamento infinitesimo  $ds$

Lo spostamento è infinitesimo  $\rightarrow$  possiamo supporre che la forza  $F$  sia costante  $\rightarrow F = pA$ , dove  $p$  è la pressione del gas ed  $A$  l'area del pistone.

Il lavoro infinitesimo  $dL$  compiuto dal gas sul pistone sarà :

$$dL = \mathbf{F} \cdot \mathbf{ds} = (pA)(ds) = p (Ads) = pdV$$

dove  $dV$  è il cambiamento infinitesimo di volume del gas dovuto allo spostamento del pistone

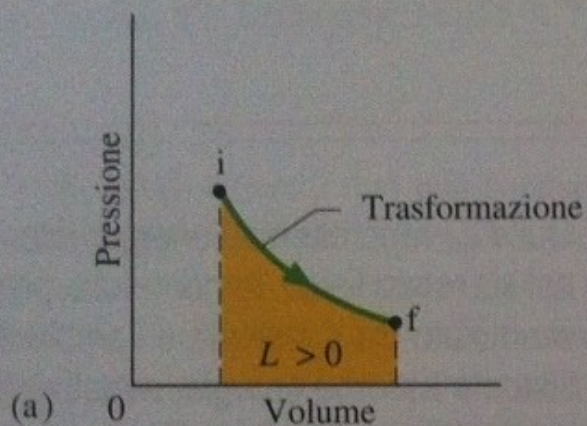
Il lavoro totale  $L$  compiuto dal gas sarà :

$$L = \int dL = \int_{V_i}^{V_f} pdV$$

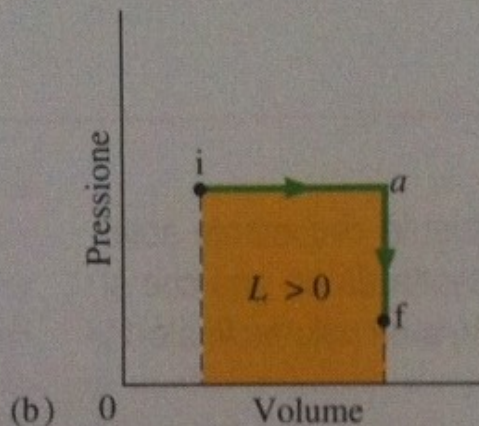
durante la variazione di volume del gas, possono variare anche la pressione e la temperatura. Per risolvere l'integrale, dobbiamo sapere come varia la pressione del gas al variare del volume durante il processo!  $p = p(V) \rightarrow p$  è una funzione di  $V$ .

# Trasformazioni da uno stato «i» ad «f»

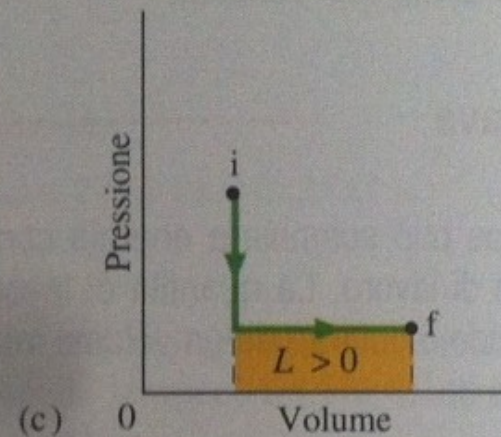
Il gas va da «i» a «f»  
svolgendo lavoro positivo



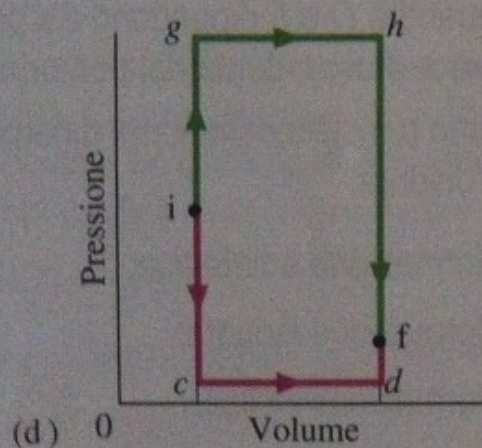
Va ancora da «i» a «f»,  
ma ora svolge più lavoro



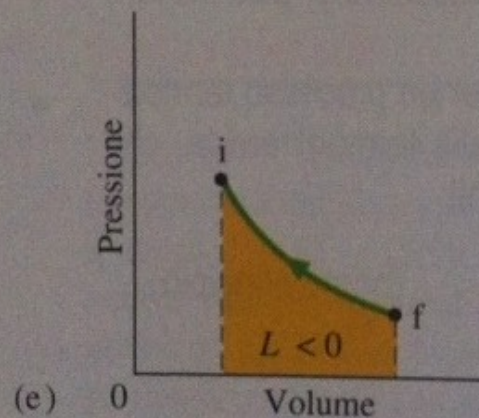
Va sempre da «i» a «f»,  
ma svolge meno lavoro



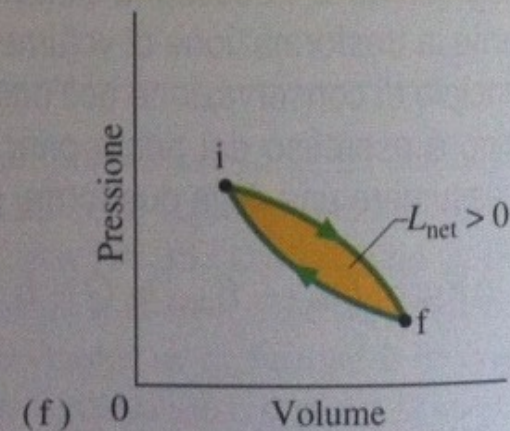
Possiamo regolare quanto  
lavoro vogliamo che svolga



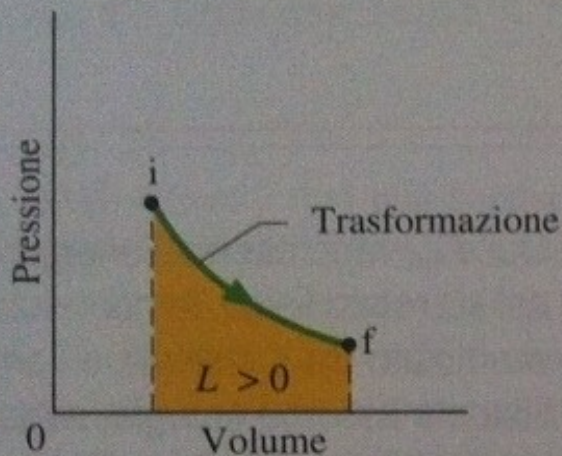
Andando da f a i svolge  
lavoro negativo



Percorrendo un ciclo  
in senso orario il lavoro  
totale è positivo



Il gas va da «i» a «f»  
svolgendo lavoro positivo



Possiamo regolare quanto  
lavoro vogliamo che svolga

Per andare da “i” ad “f” , il gas sta svolgendo lavoro  $L$  positivo (l'area sotto il grafico p-V) perché il gas sta aumentando il suo volume, spingendo il pistone verso l'alto.

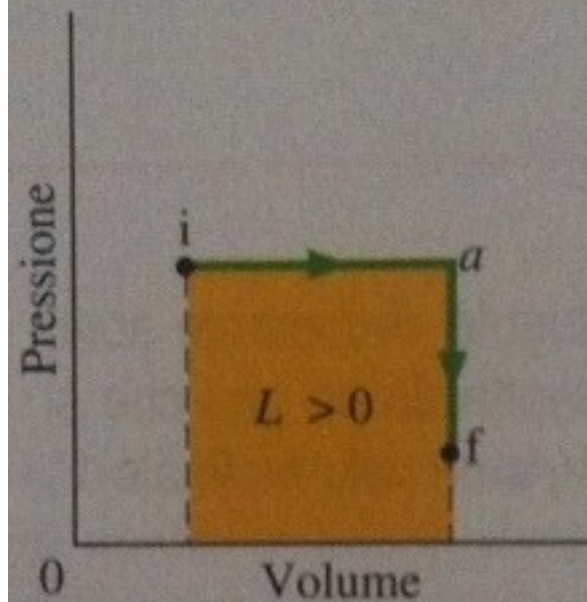
Il grafico p-V descrive come varia la pressione in funzione del volume.

possiamo andare da “i” ad “f” anche mantenendo la pressione costante fino allo stato intermedio “a” : viene fornito calore al gas per aumentare la sua temperatura e quindi il suo volume, in modo da spostare il pistone.

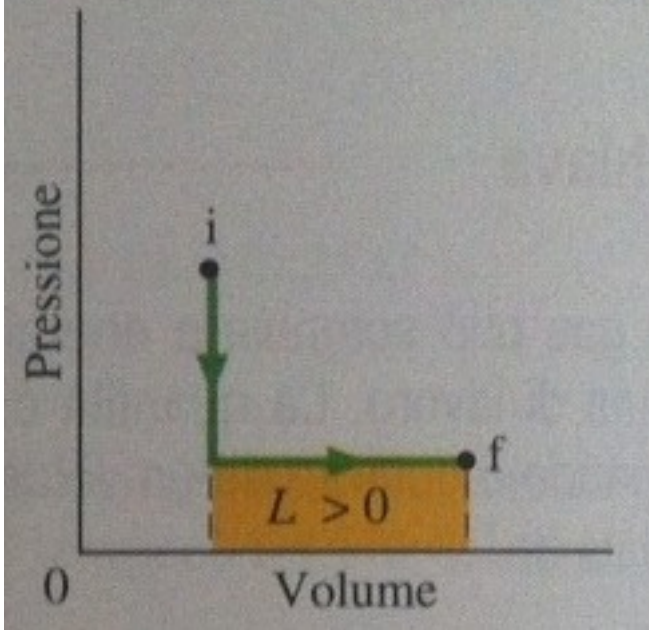
Nella seconda parte, per andare da “a” ad “f”, manteniamo il volume costante (il pistone non si sposta) e riduciamo la pressione del gas riducendo la temperatura → viene quindi ceduto calore dal gas.

→ il lavoro  $L$  totale compiuto nel processo è positivo, viene compiuto solo durante il primo stadio ed è maggiore che nel caso precedente

Va ancora da «i» a «f»,  
ma ora svolge più lavoro



Va sempre da «i» a «f»,  
ma svolge meno lavoro



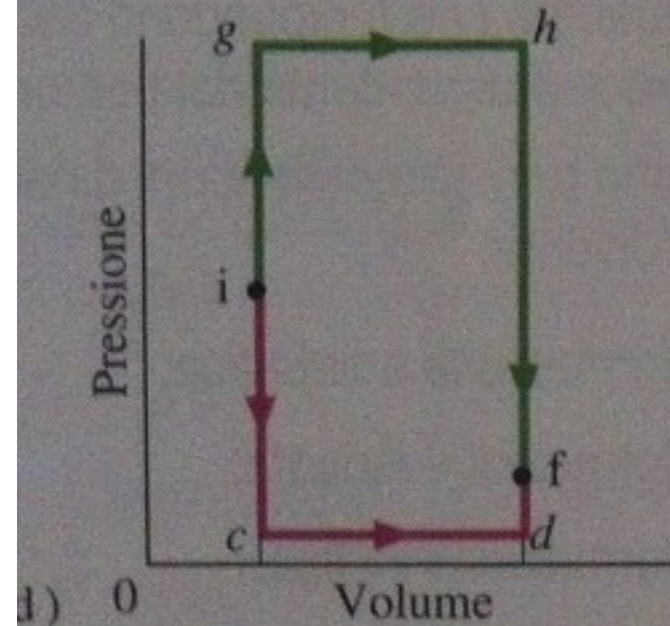
ancora, è possibile andare da “i” ad “f”  
mantenendo il volume costante nella prima  
parte (non c'è spostamento del pistone, il  
volume occupato dal gas è invariato) e poi la  
pressione costante nella seconda parte, di  
nuovo aumentando il volume attraverso  
l'assorbimento di calore da parte del gas →

in questo caso, l'area sottesa è minore e  
quindi il lavoro totale compiuto è minore che  
nei casi precedenti.

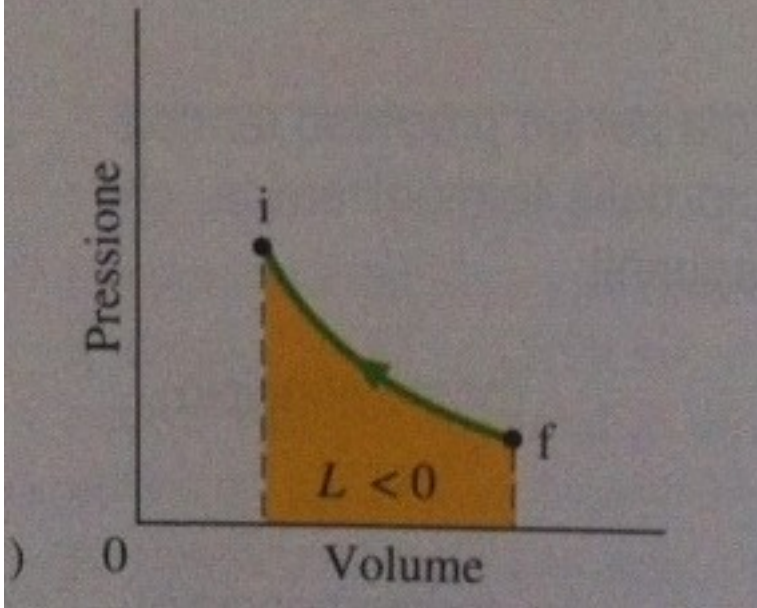
possiamo quindi regolare il lavoro che  
vogliamo svolgere scegliendo un percorso  
piuttosto che un altro

Il calore  $Q$  ed il lavoro  $L$  sono quantità che  
dipendono dal percorso scelto

Possiamo regolare quanto  
lavoro vogliamo che svolga



Andando da  $f$  a  $i$  svolge lavoro negativo



esempio di lavoro negativo :

per andare da “f” ad “i”, il volume viene ridotto ed il lavoro svolto è negativo (il pistone si abbassa).

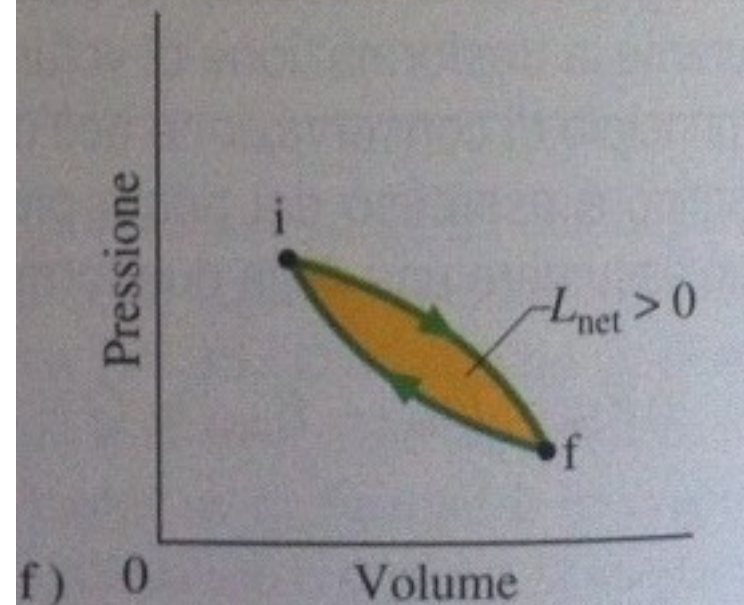
Il lavoro è ancora l'area sottesa dalla curva, ma siccome il volume si riduce, il lavoro è da considerarsi negativo.

lavoro totale compiuto durante un ciclo termodinamico completo : da  $i$  ad  $f$  e di nuovo ad  $i$ .

Il lavoro totale è la somma del lavoro  $L_1$  compiuto per andare da “ $i$ ” ad “ $f$ ” e del lavoro  $L_2$  negativo per tornare da “ $f$ ” ad “ $i$ ”.

L'area sottesa da  $L_1$  è maggiore di quella sottesa da  $L_2$  →  $L_{tot}$  è positivo.

Percorrendo un ciclo in senso orario il lavoro totale è positivo



# Primo Principio della Termodinamica

In una trasformazione termodinamica, quando un sistema passa da uno stato “i” ad uno stato “f” sia il lavoro L che la quantità di calore scambiata Q dipendono dal tipo di trasformazione. Tuttavia, la quantità Q – L non dipende dal tipo di trasformazione : è la stessa qualunque sia il tipo di percorso seguito!

La quantità Q – L rappresenta il cambiamento di una proprietà intrinseca del sistema : è uguale al cambiamento della sua energia interna

il primo principio della termodinamica dice che :

**la variazione di energia interna di un sistema è pari al calore scambiato meno il lavoro compiuto dal sistema**

$$\Delta E_{\text{int}} = Q - L$$

L'energia interna del sistema aumenta se forniamo energia al sistema mediante l'immissione di calore Q e diminuisce quando il sistema compie lavoro cedendo energia.

attenzione : parliamo di lavoro compiuto DAL sistema e non SUL sistema.