

# Lezione XXX

(Termodinamica:

Ciclo di Carnot,

Rendimento di un ciclo termodinamico,

*Secondo principio della Termodinamica,*

*Terzo principio della Termodinamica)*



## FRUIZIONE E UTILIZZO DEI MATERIALI DIDATTICI

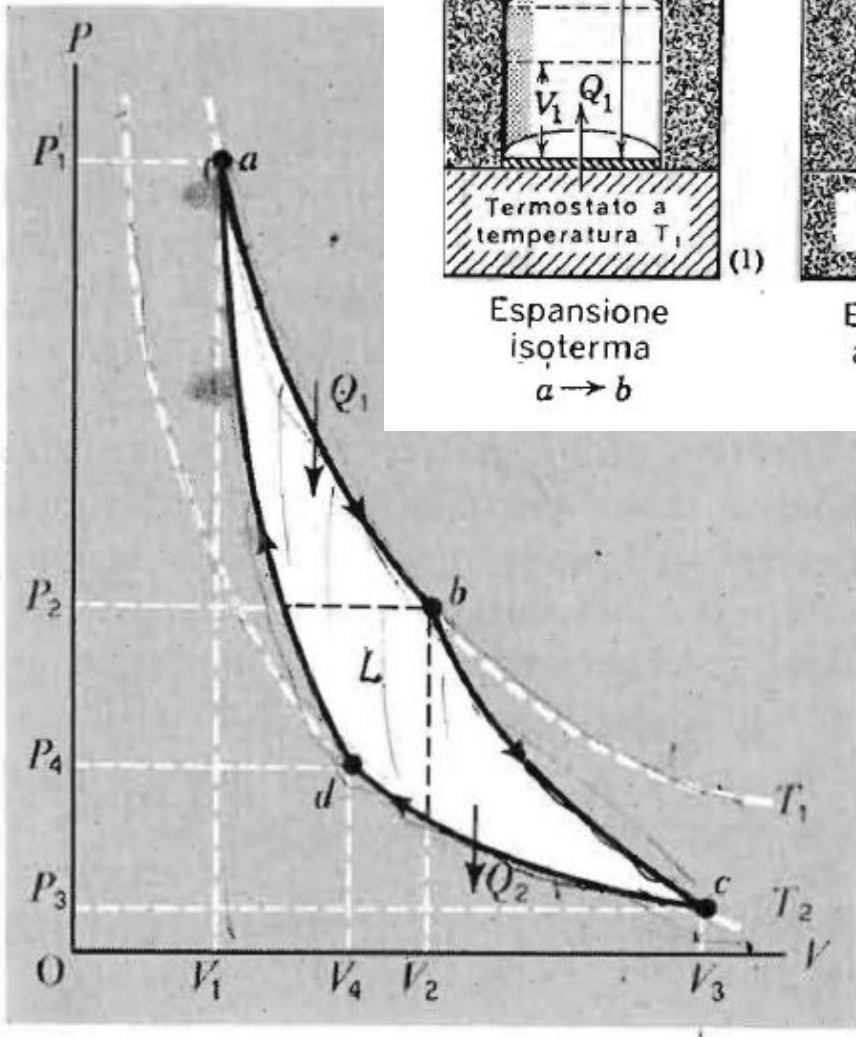
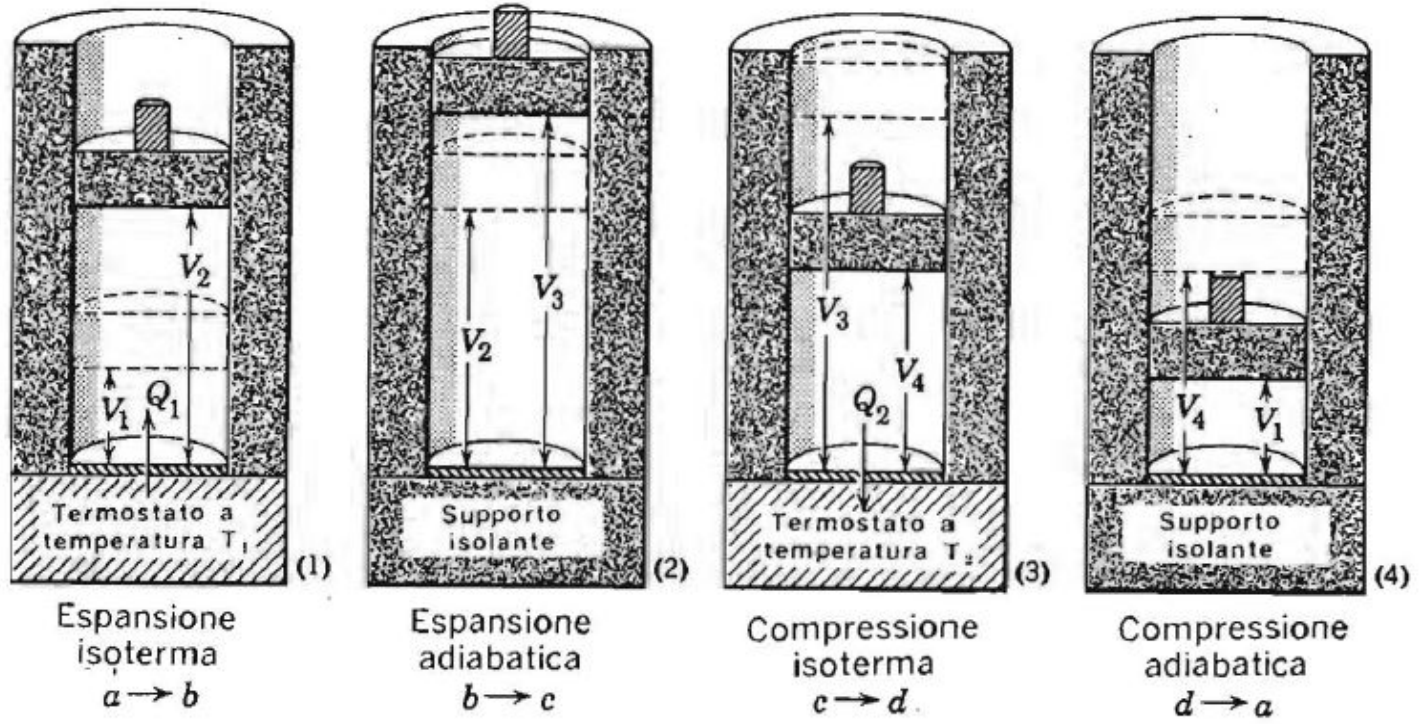
- ➔ **E' vietata** la **copia**, la **rielaborazione**, la **riproduzione** dei contenuti e immagini presenti nelle lezioni in qualsiasi forma
- ➔ **E' inoltre vietata** la **diffusione**, la **redistribuzione** e la **pubblicazione** dei contenuti e immagini, incluse le registrazioni delle videolezioni con qualsiasi modalità e mezzo non autorizzati espressamente dall'autore o da Unica

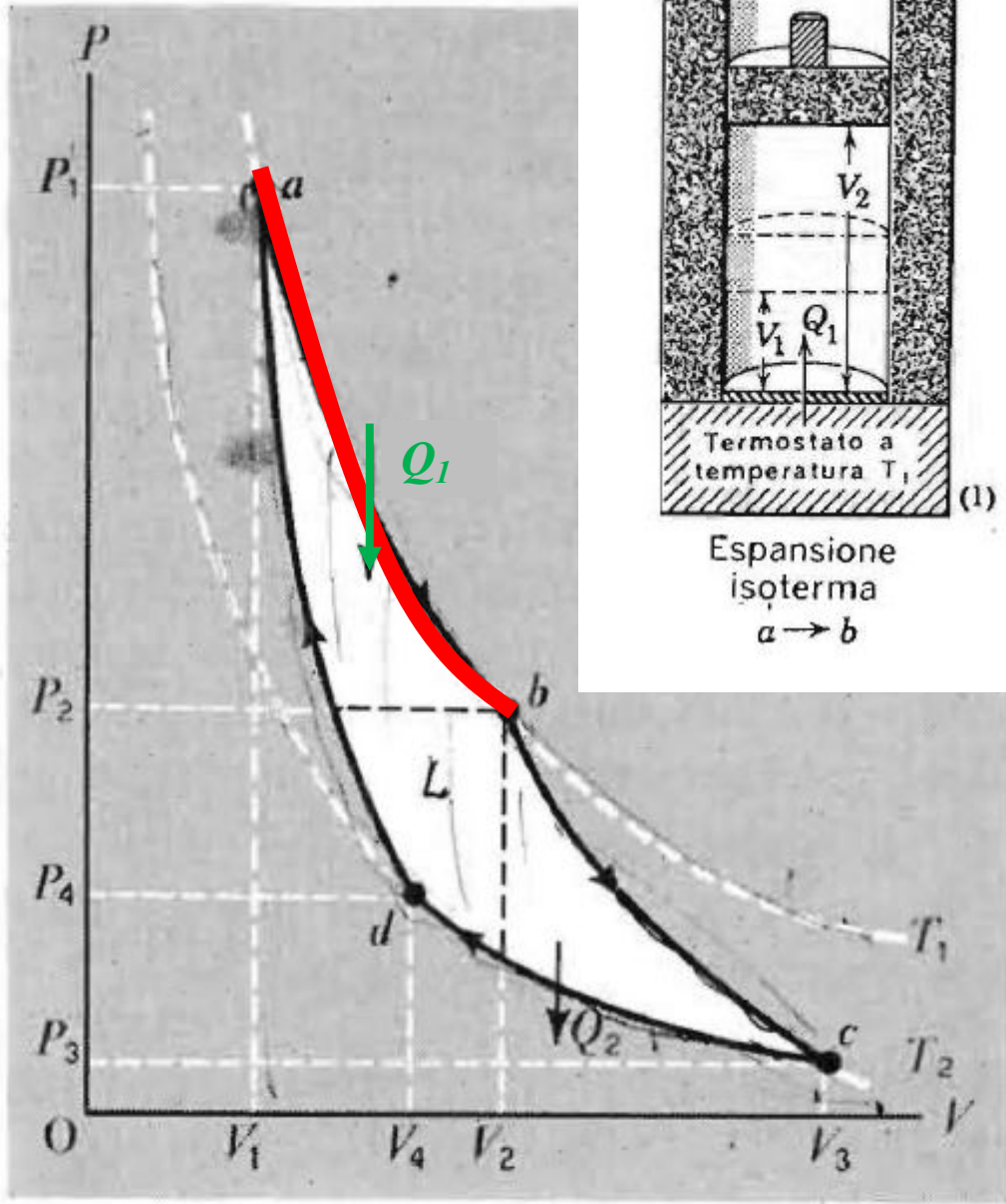
# Ciclo di Carnot

Nel **Ciclo di Carnot**, il sistema è costituito da una sostanza omogenea, per esempio un gas, che compie **4 trasformazioni reversibili consecutive**, due isoterme e due adiabatiche in alternanza.

Vediamo in concreto: consideriamo **un gas ideale in un cilindro la cui base è un buon conduttore di calore, mentre le pareti del cilindro e il pistone sono isolanti**. Oltre al cilindro, avremo a disposizione:

- **due** corpi con una capacità termica molto elevata, che funzioneranno come **termostati** (ricordiamo che la capacità termica  $C = \Delta Q / \Delta T$  è la quantità di calore necessaria per innalzare la temperatura di un grado, quindi se  $C$  è molto elevata, il sistema tende a rimanere a temperatura pressoché costante → è un termostato)
- **due corpi impermeabili al calore**





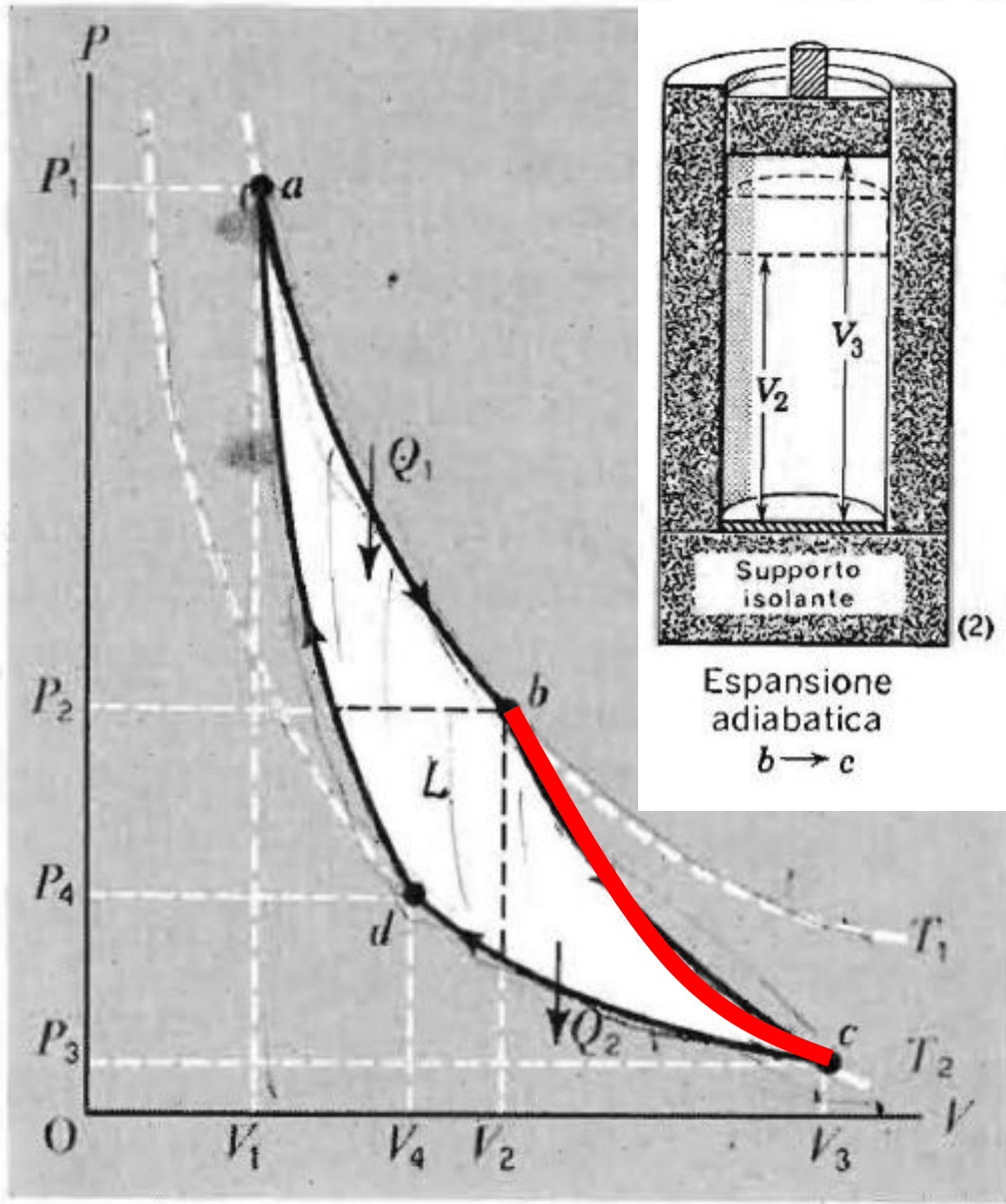
Il gas è in uno stato iniziale caratterizzato da:  $p_1 V_1 T_1$ .

Il cilindro è posto sul termostato a temperatura  $T_1$

Il gas si espande lentamente sino a raggiungere  $p_2 V_2$  restando a  $T_1$

Durante la trasformazione **una quantità di calore  $Q_1$  è assorbita dal gas**

**L'espansione è isoterma** e il **gas compie lavoro** nell'innalzare il pistone.

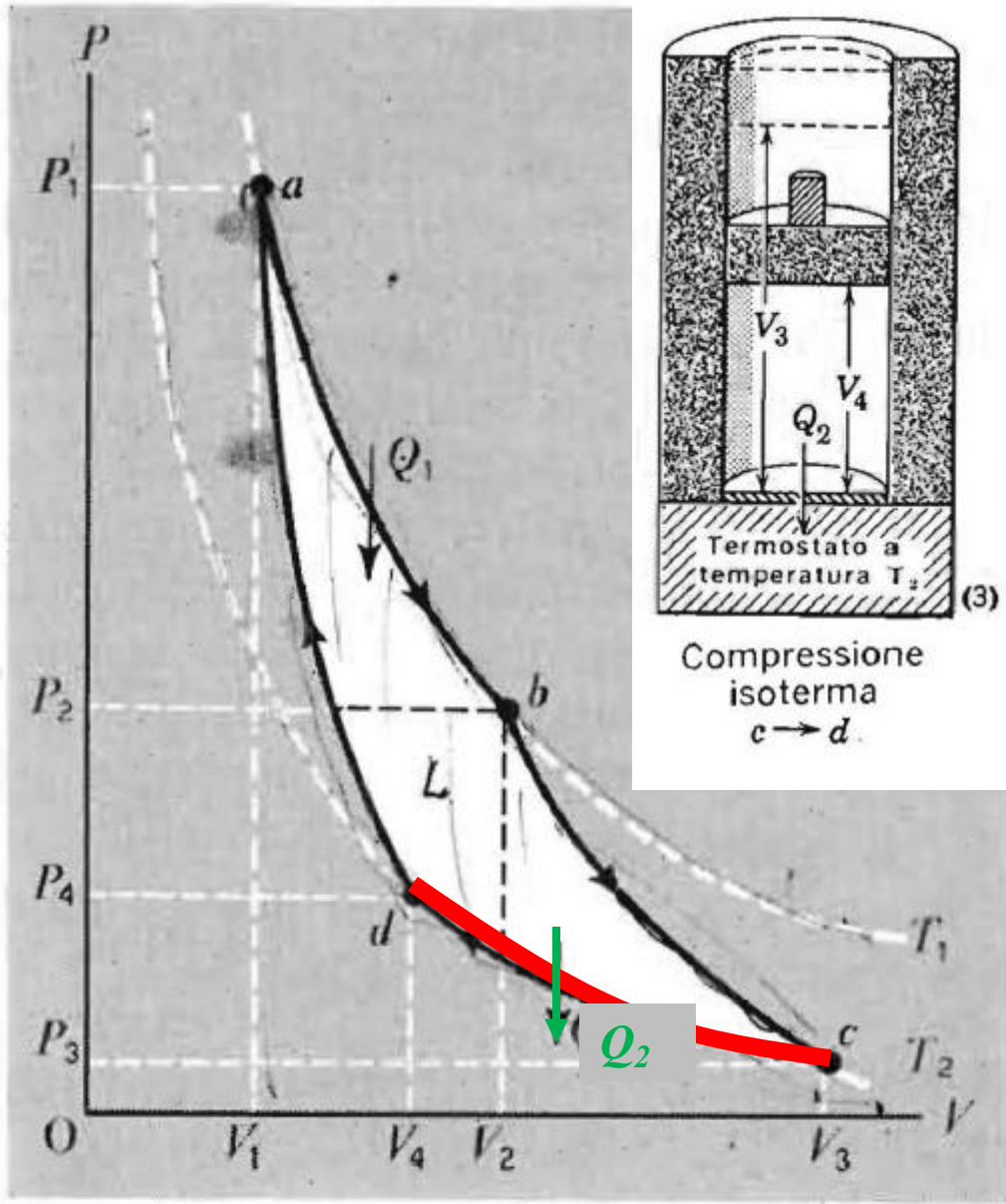


Il cilindro viene posto su di un sostengo isolante e si lascia espandere il gas lentamente sino a  $p_3$   $V_3$  e  $T_2$ .

L'espansione è **adiabatica**, cioè **senza scambio di calore**.

**Il gas compie lavoro** nell'innalzare ulteriormente il pistone.

La sua **temperatura si abbassa** fino a  $T_2$

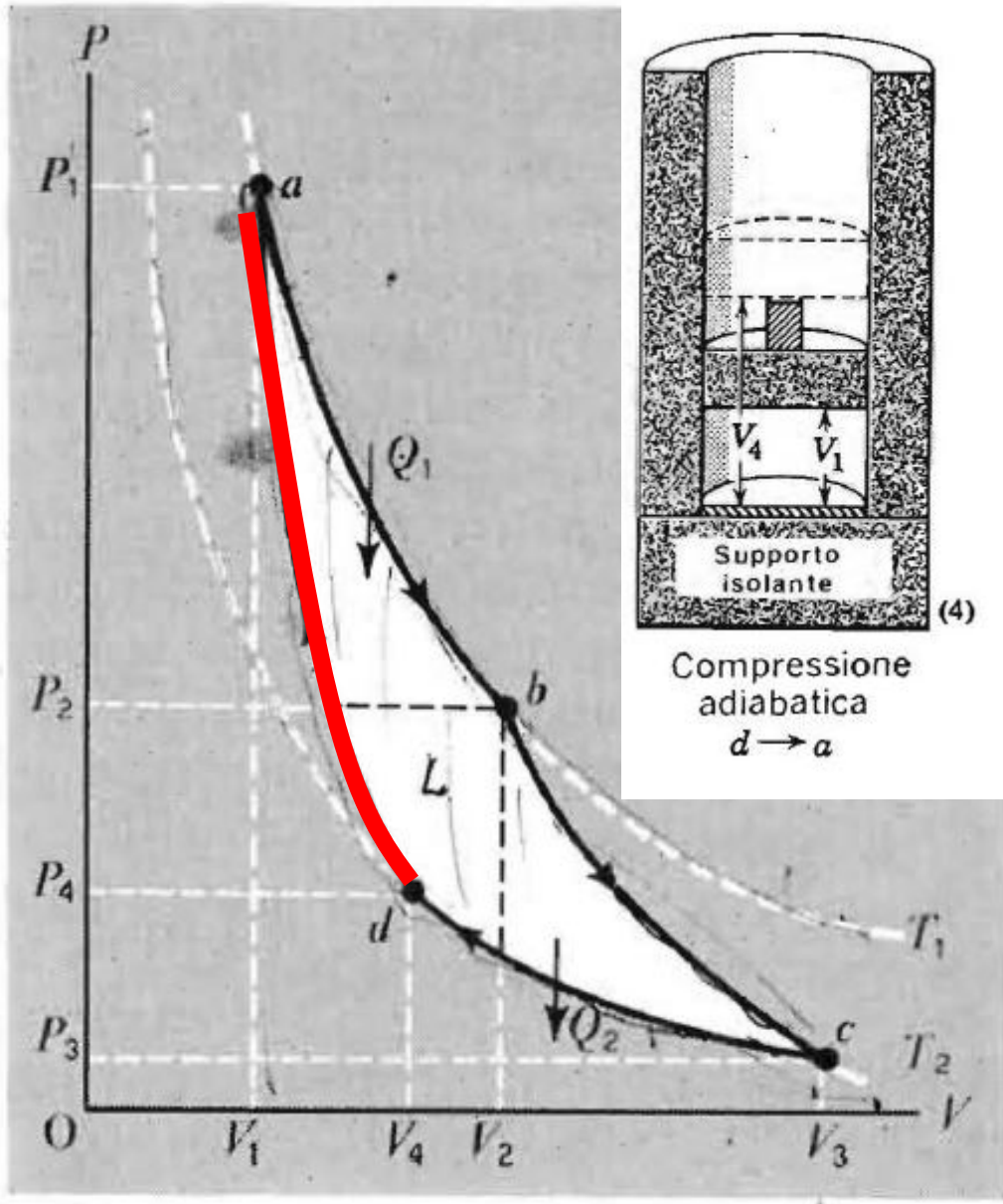


Il cilindro viene posto su di un termostato più freddo del precedente e cioè alla temperatura raggiunta  $T_2$

Il gas viene lentamente compresso fino a  $p_4 V_4$  mantenendo  $T_2$

Durante il processo, **una quantità di calore  $Q_2$  viene trasferita dal gas al termostato.**

La compressione è isoterma e il **lavoro è fatto sul gas dal pistone**



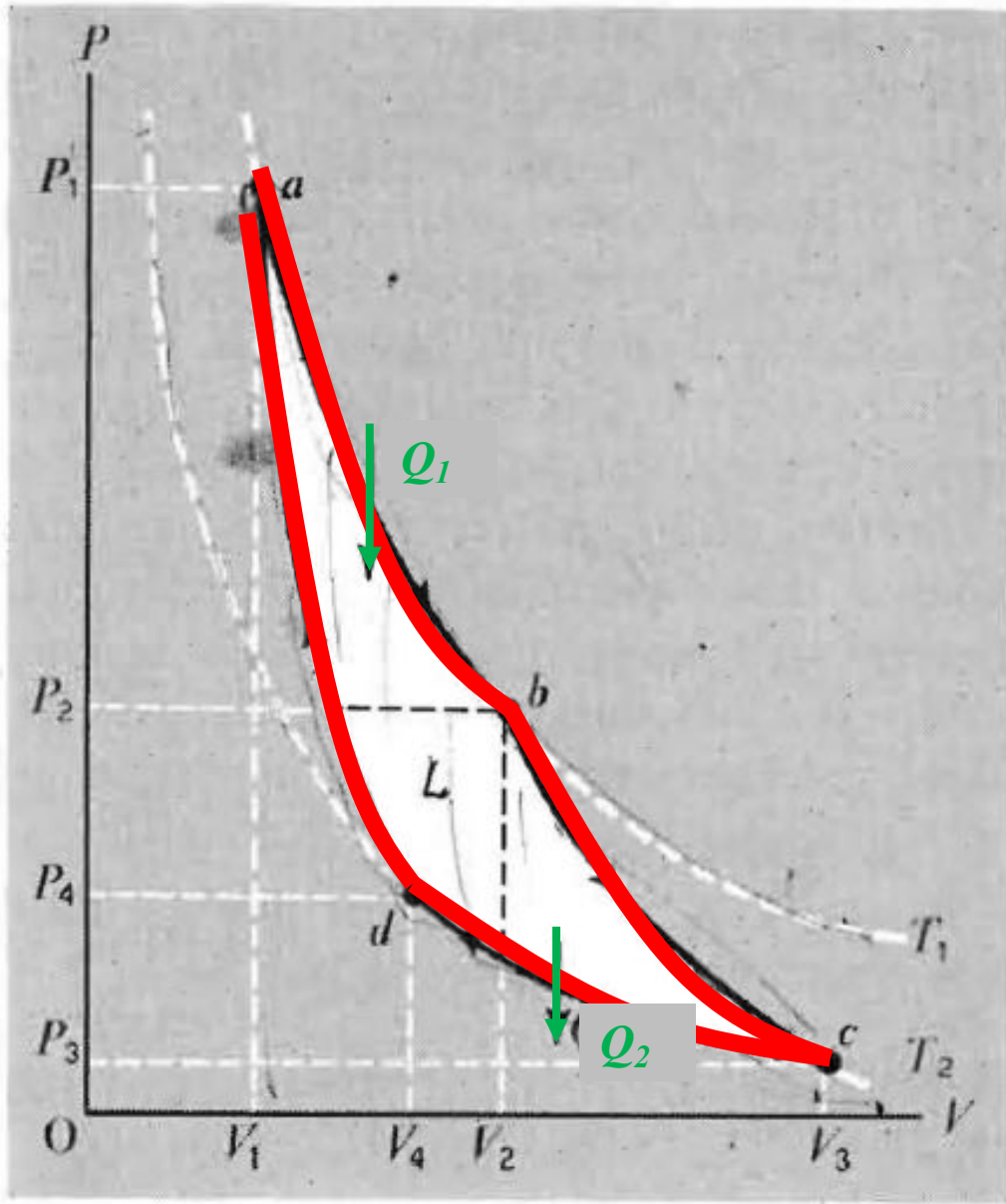
Il cilindro viene posto su un sostegno isolante

Il gas viene compresso molto lentamente fino a raggiungere lo stato iniziale

$$p_1 V_1 T_1$$

La **compressione è adiabatica** (cioè **senza scambio di calore**).

**Viene fatto lavoro sul gas** e la **temperatura sale** fino a  $T_1$



Il **lavoro** fatto durante tutto il ciclo è rappresentato dall' **area indicata in bianco figura**

L' **ammontare netto di calore** ricevuto dal sistema è dato da  $Q_1 - Q_2$  dove  $Q_1$  è il calore assorbito nel primo processo e  $Q_2$  è il calore ceduto nel terzo processo.

In tutto questo, lo stato finale coincide con lo stato iniziale, quindi non vi è stata variazione di energia interna del sistema. Quindi in base al Primo Principio:

$$L = Q_1 - Q_2$$

Cioè, il risultato netto del ciclo è stata la conversione di calore in lavoro.

Poiché il ciclo può essere ripetuto, si può ottenere il valore desiderato di lavoro.

Quindi questa è una macchina termica.

Nel caso specifico abbiamo preso in considerazione un gas ideale e quindi la sua semplice equazione di stato. Avremmo potuto utilizzare un gas reale o qualsiasi altra sostanza, ottenendo un risultato simile, pur avendo percorsi differenti nel piano  $p$   $V$ , corrispondenti alla particolare equazione di stato della sostanza in questione.

E in effetti, la schematizzazione del Ciclo di Carnot fornisce informazioni utili sul comportamento di qualsiasi macchina termica.

# Rendimento di una macchina termica

Si definisce rendimento  $\rho$  di una macchina termica il rapporto fra il lavoro fatto dalla macchina durante un ciclo, e il calore prelevato dal termostato a temperatura più elevata. Cioè:

$$\rho = \frac{L}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

Questa equazione indica che il rendimento di una macchina termica è inferiore a 1 fino a quando il calore  $Q_2$  ceduto al termostato a temperatura più bassa non è uguale a zero.

I risultati sperimentali indicano **che ogni macchina restituisce comunque una certa quantità di calore durante un ciclo**. **Non esiste** una macchina termica che sia in grado di produrre una quantità di lavoro  $L$  pari al calore assorbito  $Q_1$ .

**Un ciclo di Carnot eseguito al contrario agisce come un frigorifero, trasferendo calore da un corpo a temperatura più bassa ad uno a temperatura più alta, a patto di eseguire lavoro dall'esterno.**

Riepilogando, abbiamo affermato che:

a) *il rendimento di una macchina termica è inferiore a 1 fino a quando il calore  $Q_2$  ceduto al termostato a temperatura più bassa non è uguale a zero.*

b) L'esperienza mostra il calore ceduto da una macchina termica non è mai zero

**Quindi:** una macchina termica non può avere rendimento pari a 1, cioè non può semplicemente trasformare energia termica tutta in lavoro (sebbene questo non violerebbe il I principio della Termodinamica).

L'impossibilità di questi processi è sancita dal

## **II Principio della Termodinamica**

# II Principio della Termodinamica

Può essere enunciato nei seguenti modi:

***E' impossibile che il solo risultato di un processo termodinamico sia la trasformazione in lavoro di calore estratto da una sorgente a temperatura uniforme***

(Formulazione di Kelvin)

***E' impossibile realizzare un processo il cui unico risultato sia un passaggio di calore da un corpo ad una data temperatura ad uno a temperatura più alta.***

(Formulazione di Clausius)

**In sostanza il II Principio è una sorta di postulato basato sull'esperienza.**

# Scala termodinamica assoluta delle temperature

Risulta sperimentalmente che il rendimento  $\rho$  di una macchina reversibile non dipende dalla sostanza che è soggetta alle trasformazioni, ma dipende soltanto dalle due temperature fra cui opera. E poiché:

$$\rho = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

allora anche il rapporto  $Q_2 / Q_1$  deve dipendere solo dalle temperature. Questo suggerisce l'introduzione di una nuova scala di temperature :

Se  $\theta_1$  e  $\theta_2$  rappresentano queste due nuove temperature, allora scriveremo:

$$\frac{\theta_1}{\theta_2} = \frac{Q_1}{Q_2}$$

Cioè, in questa scala le temperature stanno fra di loro come le quantità di calore assorbite e cedute da una macchina di Carnot che opera fra queste due temperature.

Cioè abbiamo **usato come proprietà termometriche**  $Q_1$  e  $Q_2$

Poiché una scala del genere è indipendente dalle particolari caratteristiche di una data sostanza, viene definita **scala termodinamica assoluta delle temperature**

Per completarne la definizione, **assegneremo il valore arbitrario di 273,16 K assoluti al punto triplo dell'acqua.**

Adottando questa definizione,  $T_{(scala\ Kelvin)} = \theta_{(scala\ termodinamica)}$  e il rendimento  $\rho$  risulta essere espresso come

$$\rho = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

# Il terzo principio della Termodinamica

Siccome:

$$\rho = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

risulta che per ottenere un'efficienza del 100% dovremmo avere  $T_2 = 0$ .

Soltanto **quando il termostato a temperatura più bassa è allo zero assoluto il calore assorbito dal termostato a temperatura più elevata verrebbe interamente convertito in lavoro**

Ora **l'esperienza dimostra che più bassa è la temperatura, più difficile è abbassarla ulteriormente**. Questo ha condotto alla formulazione del **III Principio della Termodinamica**:

***E impossibile ridurre un qualunque sistema allo zero assoluto con un numero finito di Processi, qualunque sia il procedimento adottato e comunque si idealizzi il sistema stesso***

Quindi non è ammissibile l'esistenza di una macchina termica con efficienza del 100%, perché necessiterebbe di un termostato allo zero assoluto.