

A/A 2011/12

corso di:

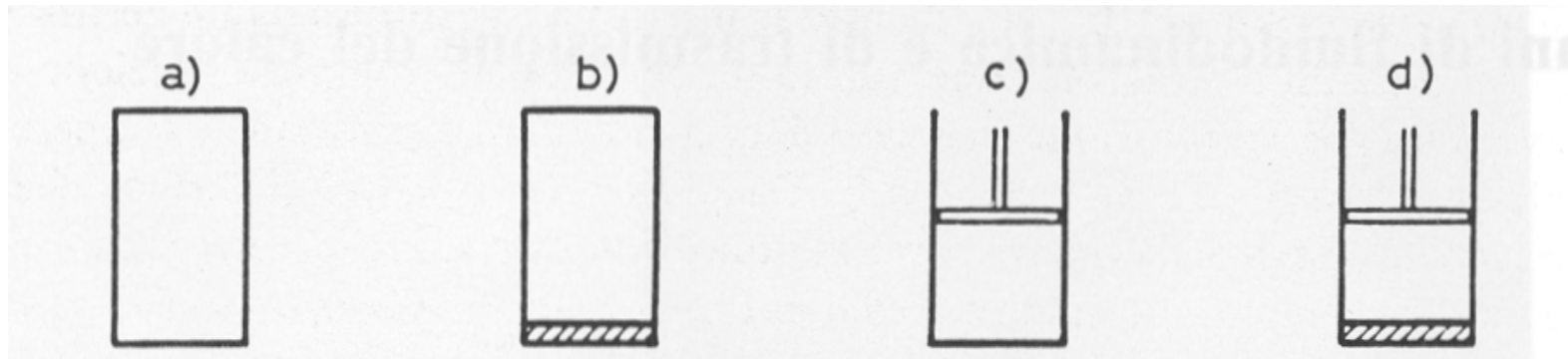


***Impianti di Propulsione  
Navale***

richiami di termodinamica e macchine

# Richiami di termodinamica e macchine

## Sistema **chiuso**



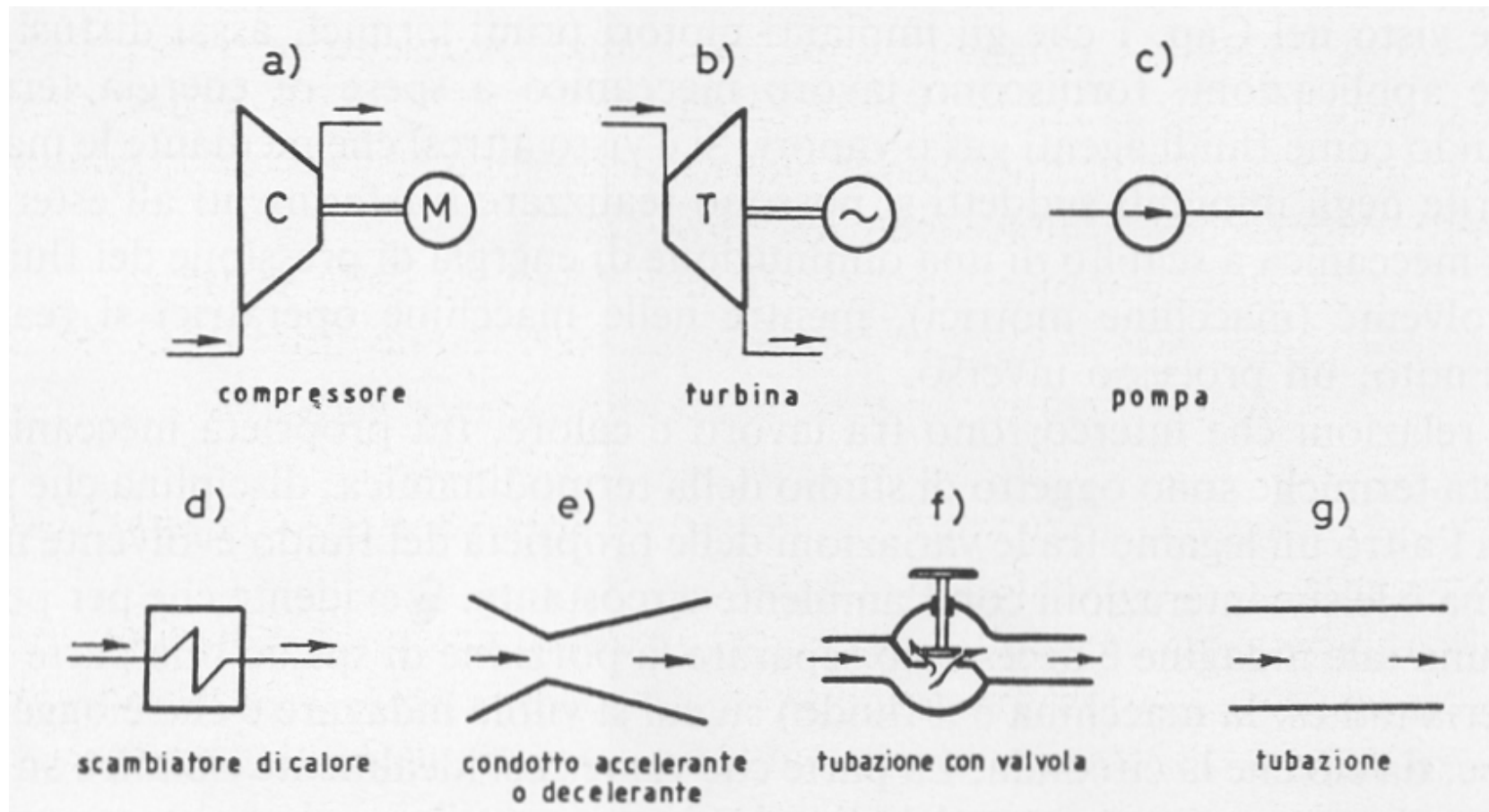
a) sistema **isolato**

b) sistema **rigido**

c) sistema **adiabatico**

# Richiami di termodinamica e macchine

## Sistema aperto



## Richiami di termodinamica e macchine

I **principi** termodinamica sono in alcuni casi del tutto empirici ed in altri si dimostrano sulla base di quelli empirici

Il valore delle **variabili di stato** dipende dallo stato attuale e non dalla storia delle trasformazioni

Il **Principio zero della termodinamica** definisce la variabile di stato **temperatura**

## Richiami di termodinamica e macchine

Le variabili il cui valore dipende dalla massa del sistema osservato si dicono **estensive**, quelle indipendenti dalla massa si dicono **intensive**; le variabili (intensive) ottenute da quelle attraverso il rapporto tra una variabile estensiva ed una massa o un volume, si dicono **specifiche**

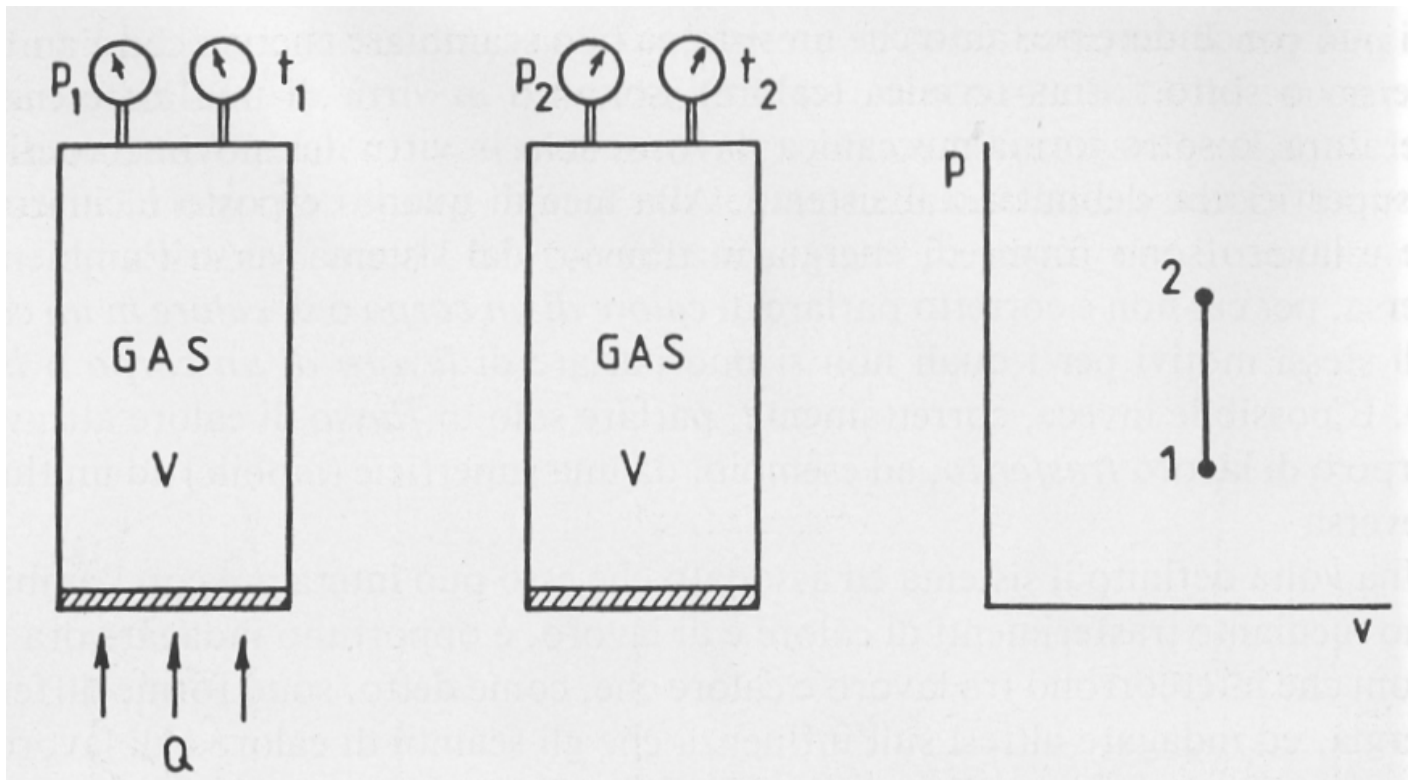
Le **trasformazioni** di cui è oggetto un sistema sono generalmente rappresentabili sui vari **piani termodinamici** di cui sono coordinate le variabili di stato

Una trasformazione è **quasi statica** se il sistema muta il proprio stato passando per stati infinitamente vicini tra loro; una trasformazione quasi statica può essere rappresentata in tutti i suoi passaggi.

Una trasformazione **non quasi statica** non può essere definita in tutti gli stati percorsi ma soltanto attraverso i valori **iniziale** e **finale** delle variabili

## Richiami di termodinamica e macchine

Le trasformazioni quasi statiche sono rappresentabili con le **curve** delle trasformazioni



## Richiami di termodinamica e macchine

$F$  forza esercitata dal gas sul pistone

$p$  pressione del gas

$A$  area del pistone

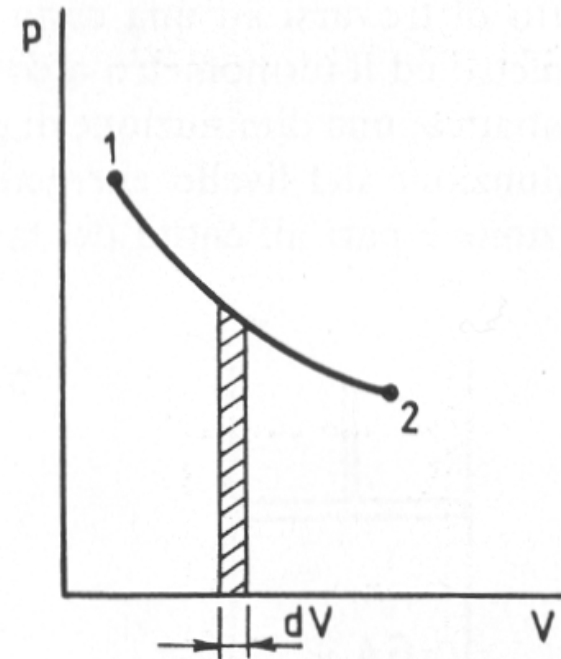
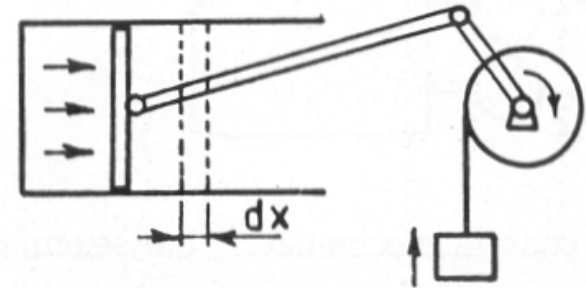
$$F = p A$$

in una trasformazione **infinitesima** relativa ad uno spostamento infinitesimo  $dx$  del pistone si avrà un lavoro infinitesimo:

$$\partial L = F dx = p A dx$$

$$dV = A dx$$

$$\partial L = p dV$$



## Richiami di termodinamica e macchine

$F$  forza esercitata dal gas sul pistone

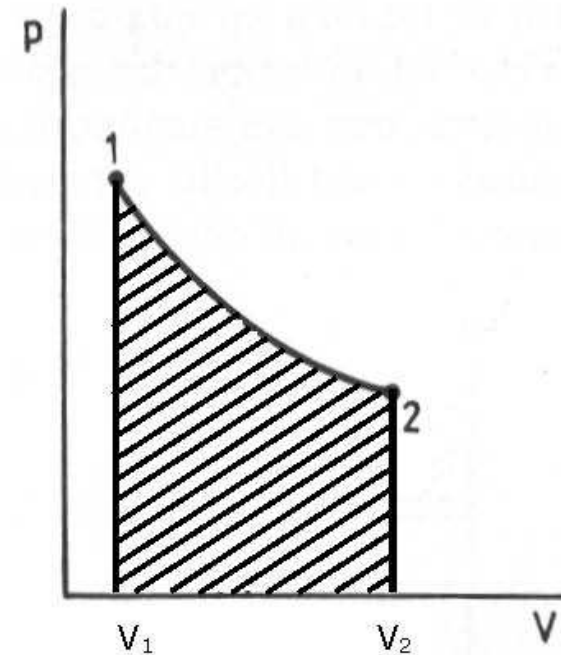
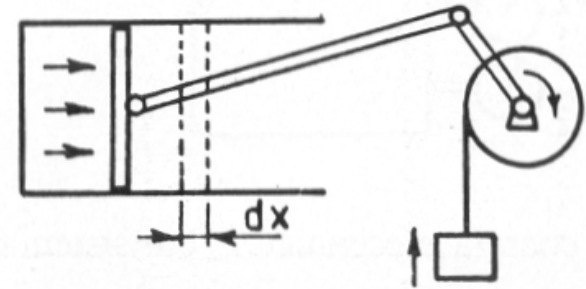
$p$  pressione del gas

$A$  area del pistone

$$F = p A$$

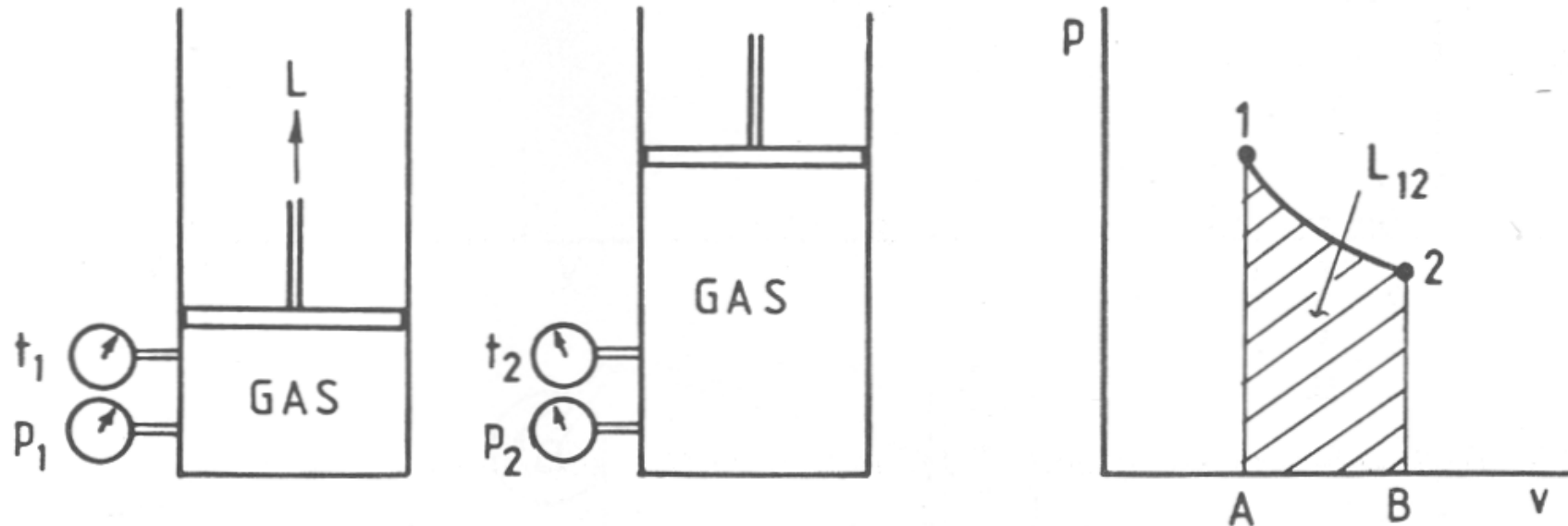
nella trasformazione **finita** relativa a tutto lo spostamento del pistone tra i volumi  $V_1$  e  $V_2$  il lavoro scambiato varrà:

$$L_{1,2} = \int_{V_1}^{V_2} p dV$$



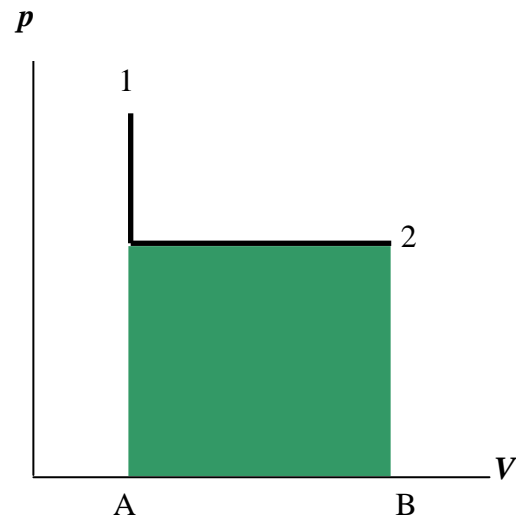


## Richiami di termodinamica e macchine

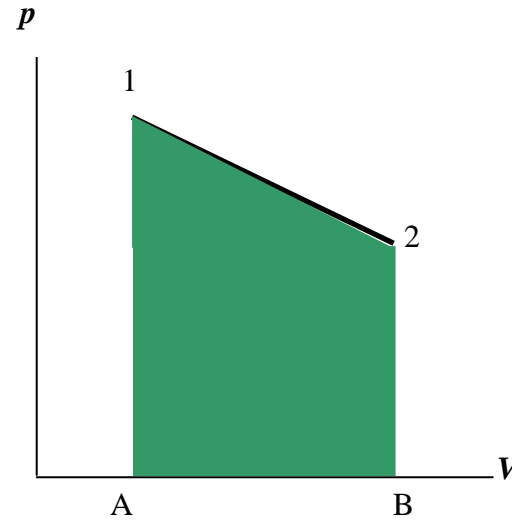


$$AREA A12B = \int_A^B p dV = L_{1,2}$$

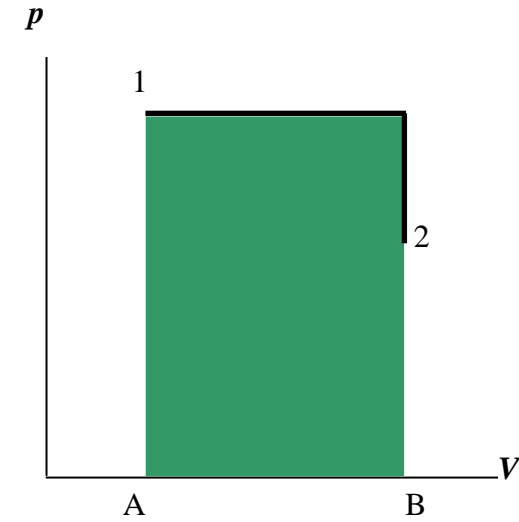
## Richiami di termodinamica e macchine



I



II



III

$$\left( \int_A^B p dV \right)_I < \left( \int_A^B p dV \right)_{II} < \left( \int_A^B p dV \right)_{III}$$

## Richiami di termodinamica e macchine

Il **Primo Principio della termodinamica** definisce la variabile di stato **energia interna**

$$\Delta U = U_2 - U_1 = Q_{1,2} - L_{1,2}$$

In termini generali:

$$\Delta U = \sum Q - \sum L$$

e, per trasformazione ciclica:

$$\Delta U = 0$$

## Richiami di termodinamica e macchine

Il **Primo Principio della termodinamica** definisce la variabile di stato **energia interna**

in termini differenziali:

$$\delta Q = du + p dv$$

Variabile di stato **entalpia**

$$h = u + pv$$

$$\delta Q = du + p dv = dh - v dp$$

## Richiami di termodinamica e macchine

**calore specifico**

$$c = \frac{\delta Q}{\delta T}$$

**a pressione costante**

$$c_p = \left. \frac{\delta Q}{\delta T} \right|_p = \left. \frac{\partial h}{\partial T} \right|_p$$

$$dh - du = (c_p - c_v) dT$$

$$d(pv) = (c_p - c_v) dT$$

$$R = c_p - c_v$$

**a volume costante**

$$c_v = \left. \frac{\delta Q}{\delta T} \right|_v = \left. \frac{\partial u}{\partial T} \right|_v$$

$$dh = du + d(pv)$$

$$d(pv) = R dT$$

$$k = \frac{c_p}{c_v}$$

# Richiami di termodinamica e macchine

## Trasformazioni **politropiche**

( $c = \text{cost}$  lungo la trasformazione)

$$p v^m = \text{cost}$$

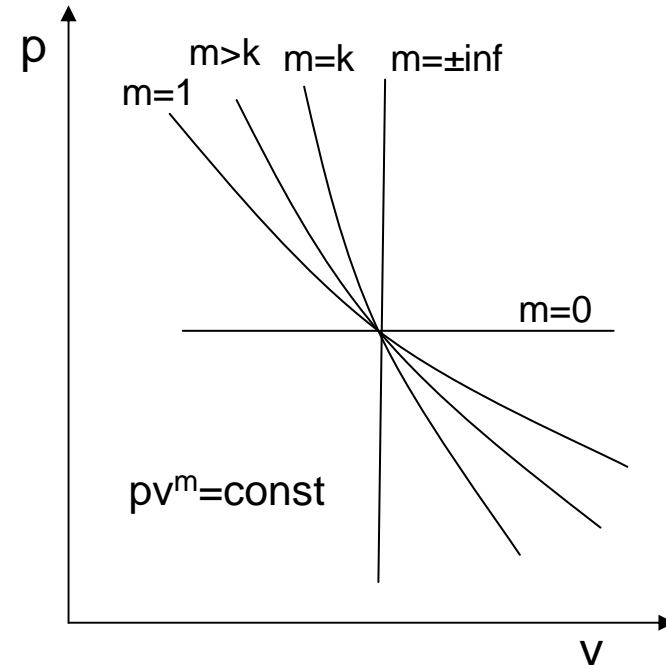
$$\partial q = dh - v dp$$

$$\partial q = du + p dv$$

$$c dT = c_p dT - v dp$$

$$c dT = c_v dT + p dv$$

$$\frac{c - c_p}{c - c_v} = -\frac{v dp}{p dv} = \mathbf{m} \quad (\text{indice della politropica})$$



# Richiami di termodinamica e macchine

## Trasformazioni **politropiche**

(c = cost lungo la trasformazione)

$$p v^m = \text{cost}$$

$$m \frac{dv}{v} + \frac{dp}{p} = 0$$

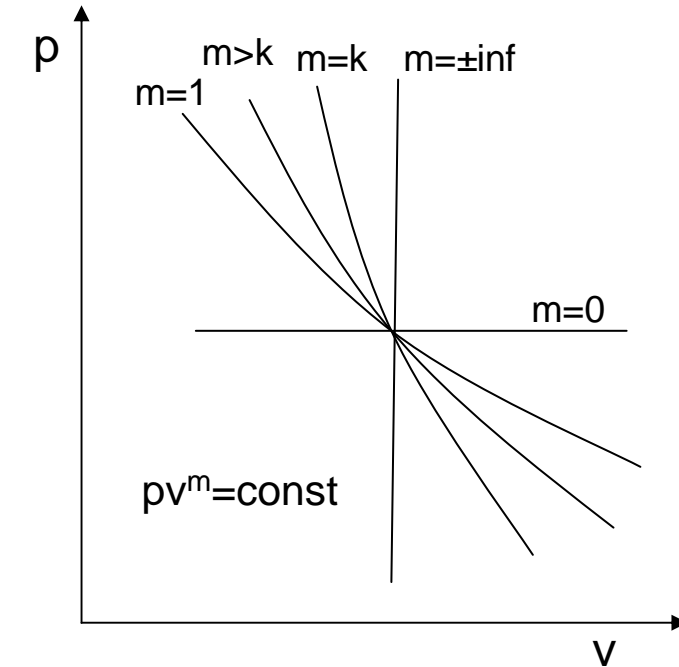
integrando:

$$c = c_v \frac{m - k}{m - 1}$$

e se il fluido è un gas perfetto:

$$p v = RT$$

$$T v^{m-1} = \text{const}$$



## Richiami di termodinamica e macchine

**Il Secondo Principio della termodinamica** definisce la variabile di stato **entropia**

in termini differenziali:

$$dS = \frac{\delta Q}{T}$$

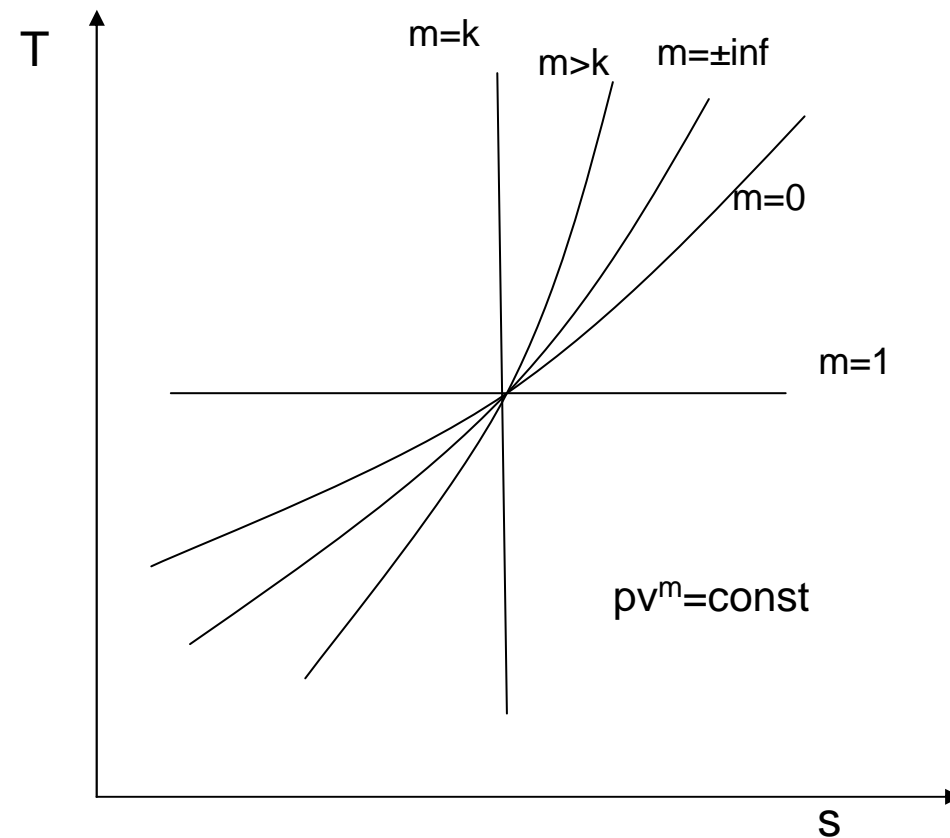
**Enunciato di *Kelvin-Planck*** – è impossibile realizzare una trasformazione che abbia come unico risultato l'assorbimento di calore da una fonte e la sua conversione integrale in lavoro

**Enunciato di *Clausius*** – è impossibile realizzare una trasformazione il cui unico risultato sia far passare del calore da un corpo più freddo ad un corpo più caldo



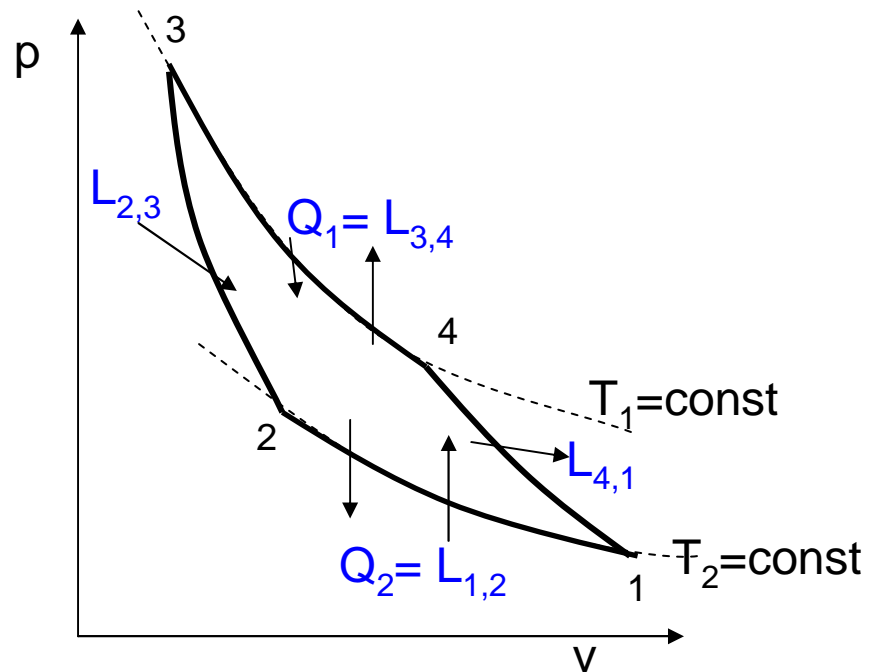
## Richiami di termodinamica e macchine

Il **Secondo Principio** della termodinamica definisce la variabile di stato **entropia**



# Richiami di termodinamica e macchine

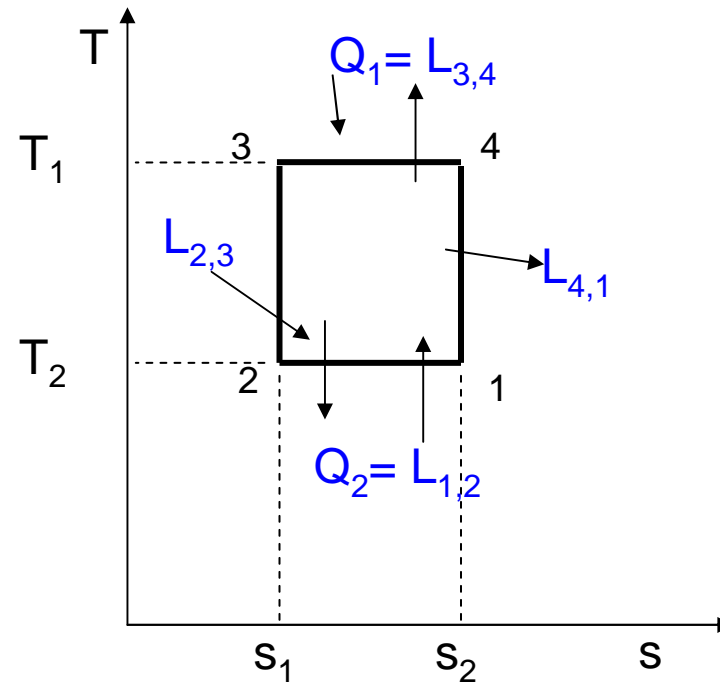
## Ciclo di Carnot (piano p,v)



$$\eta = \frac{L_u}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

# Richiami di termodinamica e macchine

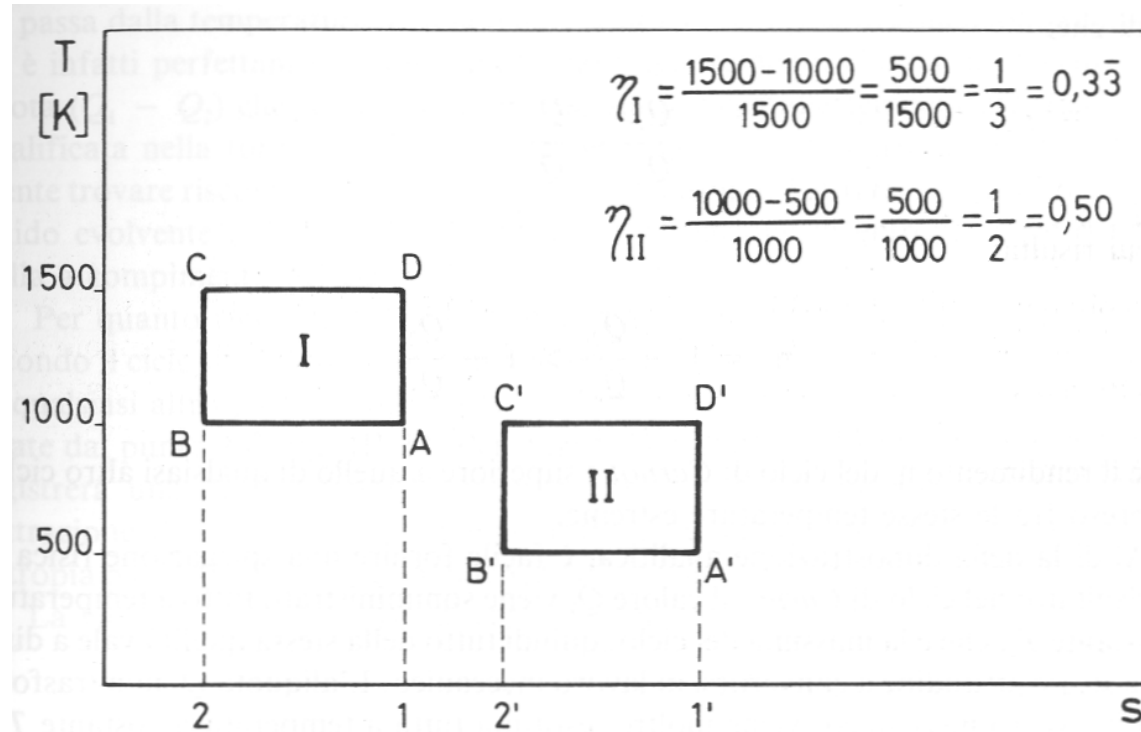
## Ciclo di Carnot (piano T,S)



$$\eta = \frac{L_u}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

# Richiami di termodinamica e macchine

## Ciclo di Carnot (piano T,S - esempio)



$$\eta = \frac{L_u}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

# Richiami di termodinamica e macchine

## Rendimenti di un impianto motore

Rendimento **globale**

$$\eta_g = \frac{P_B}{\dot{m}_c H_i}$$

---

Rendimento di **combustione**

$$\eta_b = \frac{\dot{Q}_1}{\dot{m}_c H_i}$$

Rendimento **limite** (fluido reale e macchina ideale)

$$\eta_l = \frac{P_l}{\dot{Q}_1}$$

Rendimento **interno** (macchina reale)

$$\eta_i = \frac{P_r}{P_l}$$

Rendimento **meccanico**

$$\eta_m = \frac{P_B}{P_r}$$

---

Rendimento **globale**

$$\eta_g = \frac{\dot{Q}_1}{\dot{m}_c H_i} \cdot \frac{P_l}{\dot{Q}_1} \cdot \frac{P_r}{P_l} \cdot \frac{P_m}{P_r} = \eta_b \cdot \eta_l \cdot \eta_i \cdot \eta_m$$

## Richiami di termodinamica e macchine

### Consumo specifico di combustibile

$$SFOC = c_s = \frac{\dot{m}_c}{P_B} \left[ \frac{g}{J} ; \frac{g}{kWh} \right]$$