TERMODINAMICA

Evoluzione e equilibrio corpi macroscopici

Trasferimenti di energia: lavoro meccanico, calore

1750 – 1850 I rivoluzione industriale

1850 – 1900 calore = una forma di lavoro

Clausius → entropia

Maxwell, Boltzmann → interpretazione micro di T, P, S

⇒ fisica statistica

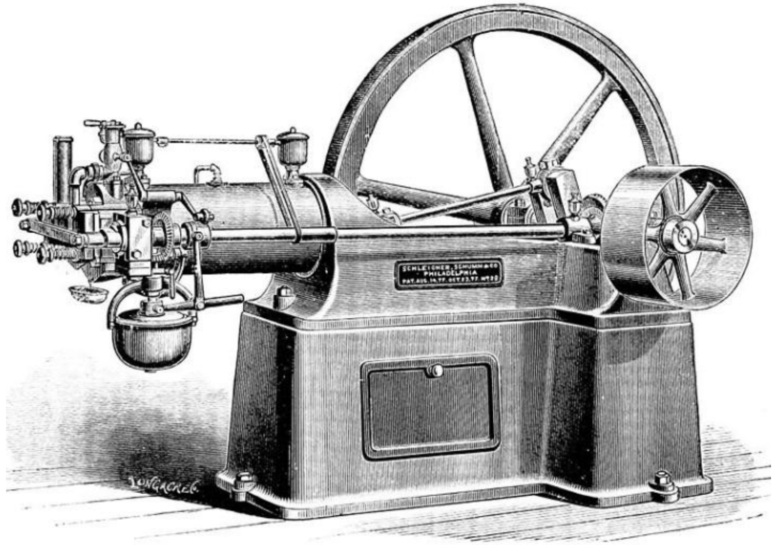
> 1900 transizioni di fase

non-equilibrio

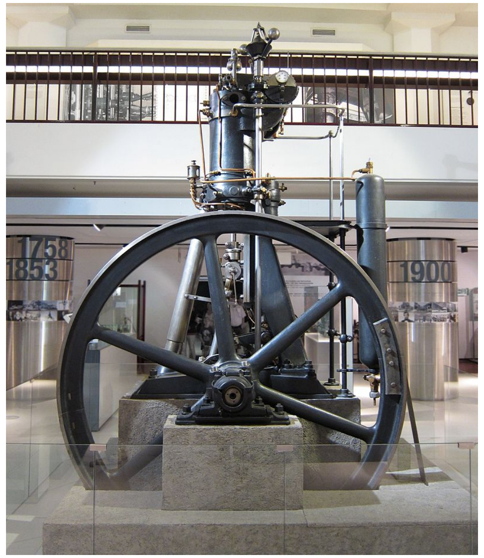
⇒ biologia

~ 2000 termodinamica quantistica

Macchina a vapore, Watt ~1770

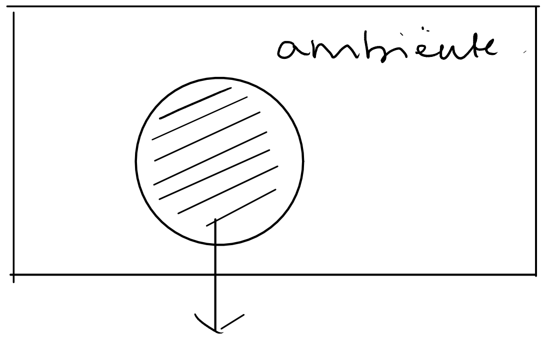


Motore Otto ~1880



Motore Diesel 1896

Stato di un sistema macroscopico



$N \simeq N_A$
sistema

	scambio particelle	scambio energia
ISOLATO	$\Delta N = 0$	$\Delta E = 0$
CHIUSO	$\Delta N = 0$	$\Delta E \neq 0$
APERTO	$\Delta N \neq 0$	$\Delta E \neq 0$

universo $\equiv$ { sistema, ambiente } è isolato

Variabili di stato

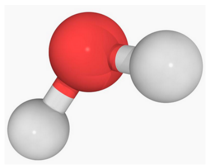
$$\{ M, \vec{R}, \vec{V} \} + \{ P, T, V, N \} + \{ \ldots\ldots \}$$

$\uparrow$
concentrazioni chimiche

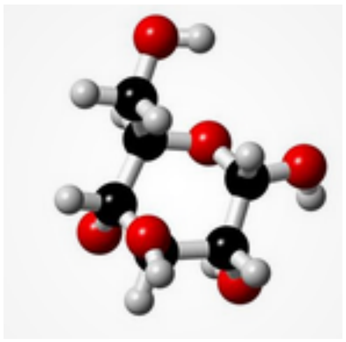
$x_1, x_2 = 1 - x_1$

$C_6H_{12}O_6$

H_2O



+



N_1

N_2

$x_1 = \frac{N_1}{N}$

$x_2 = \frac{N_2}{N}$

Funzioni di stato

$$F = F(P, T, V, N, \ldots)$$

$$\begin{cases} N \longrightarrow N' = \lambda N \\ V \longrightarrow V' = \lambda V \end{cases} \qquad \lambda \in \mathbb{R}$$

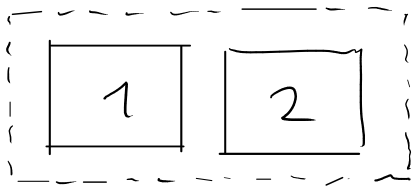
$$X \to X' = ? \quad \begin{cases} X' = X & \text{INTENSIVA} \\ X' = \lambda X & \text{ESTENSIVA} \end{cases}$$

Estensive: N, V, M

$$M \to M' = m N' = m \lambda N = \lambda (m N) = \lambda M$$

Intensive: P, T

ADDITIVITÀ



$\{1,2\}$

$$X_1 , X_2 \Rightarrow X_{\{1,2\}} = ?$$

$$X_{\{1,2\}} = X_1 + X_2 \quad \text{ADDITIVA}$$

Es: V, N

Equilibrio termodinamico

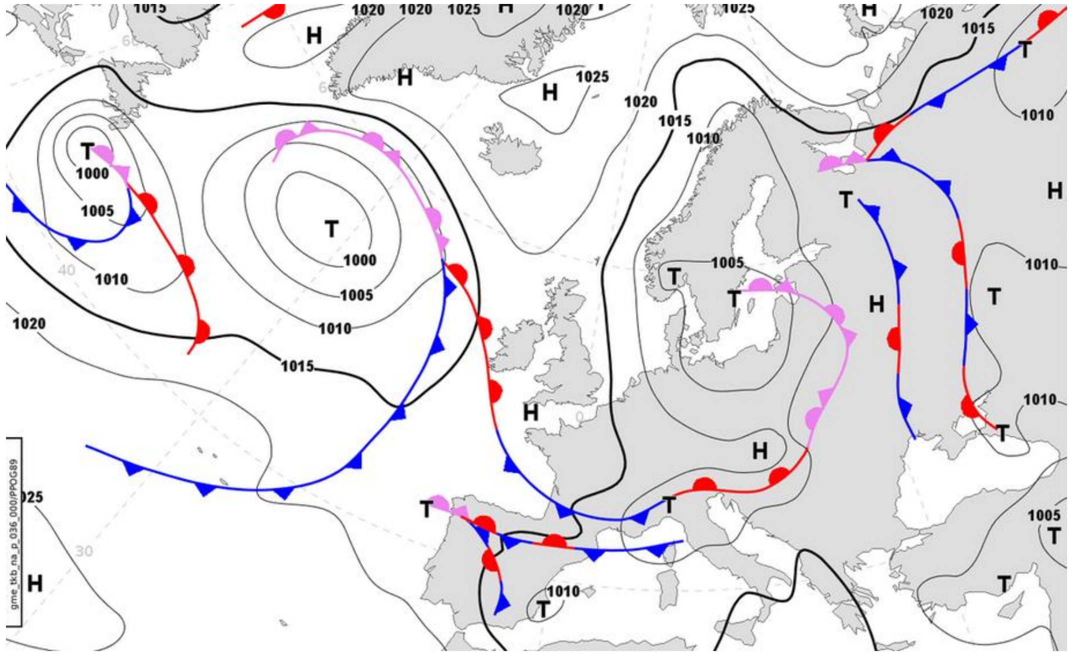
Variabili di stato ben definite e indipendenti dal tempo

chiusi

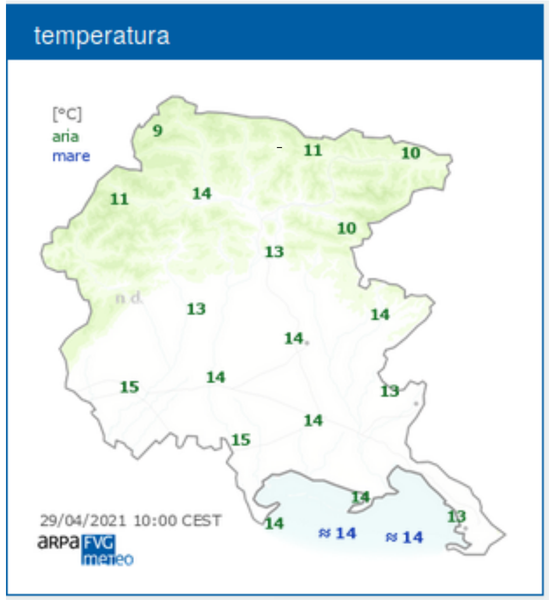
$\boxed{1}$ $\boxed{2}$

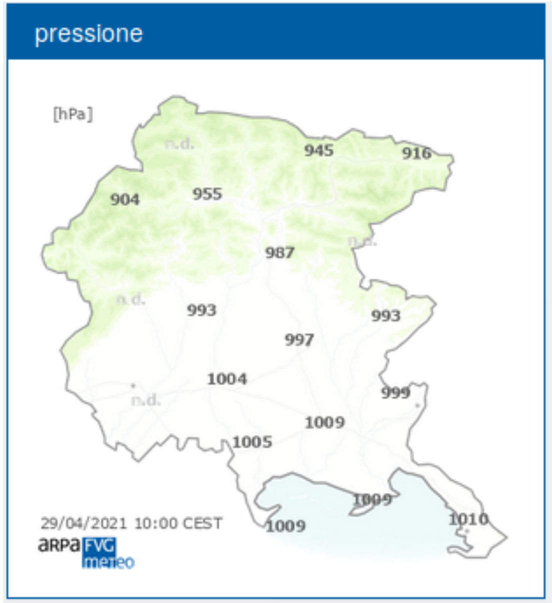
$$\left.\begin{array}{ll} T_1 = T_2 & \text{eq. termico} \\ P_1 = P_2 & \text{eq. meccanico} \end{array}\right\} \Rightarrow \{1,2\} \text{ in equilibrio}$$

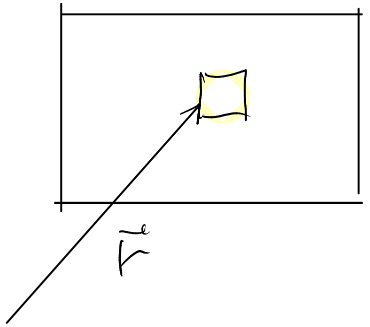
$T_1 \neq T_2 \quad P_1 \neq P_2 \quad \rightarrow$ eq. locale



Equilibrio locale: in ogni punto $\vec{r}$ sistema esiste un sottosistema macroscopico che si trova in equilibrio termodinamico nell' intervallo di tempo tra t e $t + dt$







$T(\vec{r},t) \qquad P(y) = P_0 + \rho g y$

$P(\vec{r},t) \qquad P(z) = P_0 \exp(-z/\ell)$

Trasformazioni termodinamiche

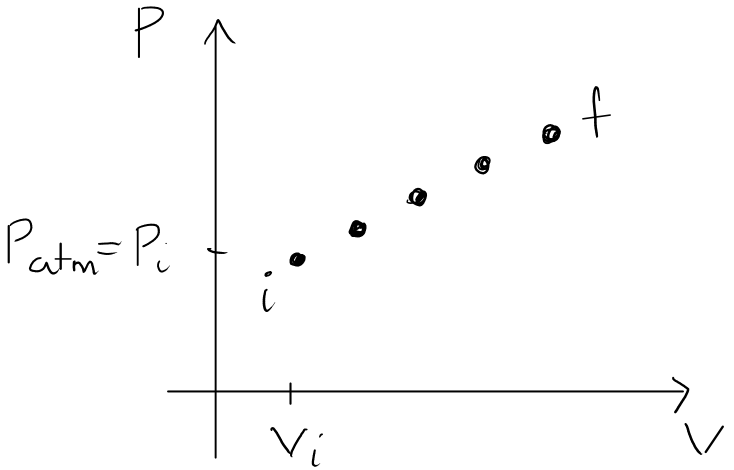
Trasformazione $\equiv$ variazione dello stato termodinamico da i a f

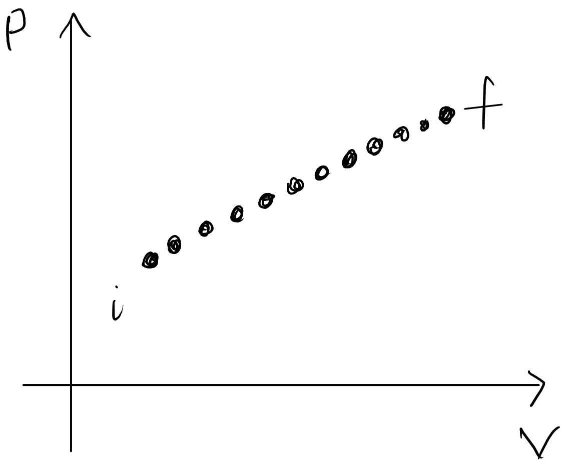
Trasformazione elementare : i e f sono "infinitamente" vicini (dP, dT, dV, ...)

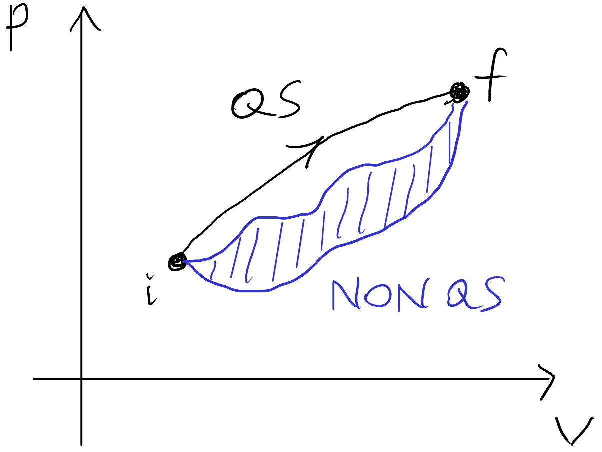
Casi particolari

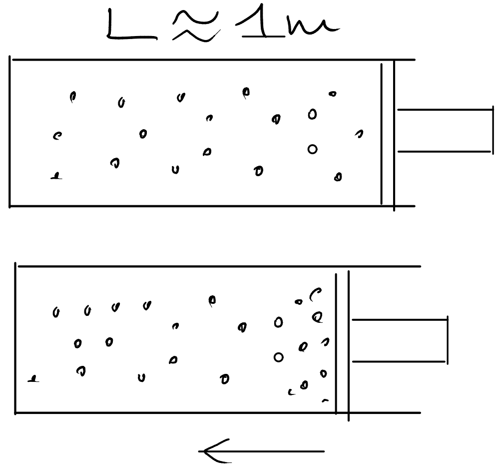
- $P =$ cost ($dP = 0$) : ISOBARA
- $T =$ cost ($dT = 0$) : ISOTERMA
- $V =$ cost ($dV = 0$) : ISOCORA
- $i = f$: CICLO TERMODINAMICO

Trasformazione quasi-statica $\equiv$ successione di stati di equilibrio del sistema









$L \approx c\tau$

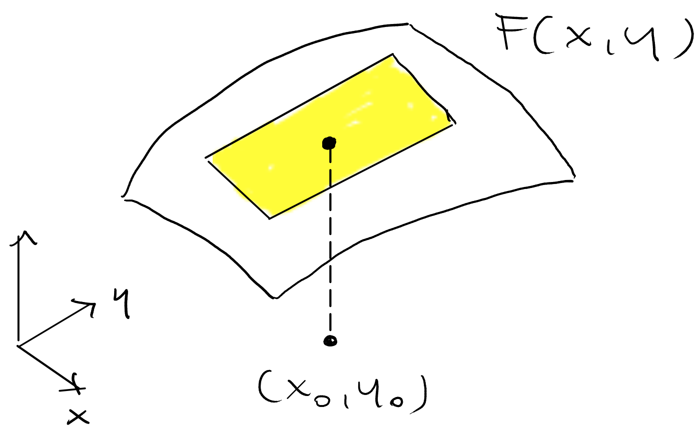
$\tau \approx \dfrac{L}{c}$

$\approx \dfrac{1\,m}{300\,m/s}$

$\approx 3 \times 10^{-3}\,s$

Forme differenziali

$F(x,y) \in \mathcal{C}^2$



Sviluppo di Taylor I ordine

$$F(x,y) = F(x_0,y_0) + \frac{\partial F}{\partial x}(x_0,y_0)(x-x_0) + \frac{\partial F}{\partial y}(x_0,y_0)(y-y_0) + \ldots$$

$$\left[\left. \frac{\partial F}{\partial x} \right|_y \right]$$

Variazioni dx, dy infinitesimali $\to$ I ordine

$$dF = \frac{\partial F}{\partial x} dx + \frac{\partial F}{\partial y} dy \qquad \text{(differenziale totale)}$$

Forma differenziale

$$\delta F = A_x(x,y)\, dx + A_y(x,y)\, dy \qquad A_x, A_y \in \mathbb{R}$$

Forma differenziale è ESATTA se $\exists\, F \in \mathcal{C}^2$ tale che

$$A_x = \frac{\partial F}{\partial x} \qquad A_y = \frac{\partial F}{\partial y} \qquad \to \text{piano tangente}$$

Proprietà :

- $\dfrac{\partial^2 F}{\partial x \partial y} = \dfrac{\partial^2 F}{\partial y \partial x}$ teor. Schwartz

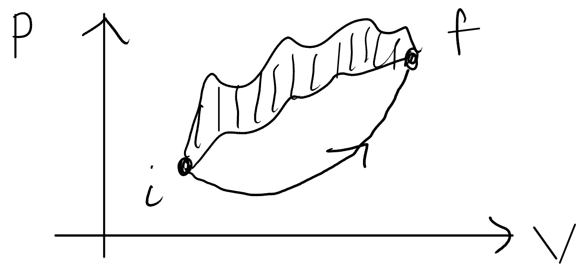
- forma differenziale esatta $\iff$ $\int_i^f dF$ non dipende dal cammino

Applicazione in termodinamica

F variabile di stato $\in \mathcal{C}^2$

$\Delta F = F_f - F_i = \int_i^f dF$ non dipende dal cammino $\Rightarrow$ dF è esatto

stati di equilibrio



Grandezze di trasformazione :

- lavoro meccanico δW, W
- calore δQ, Q