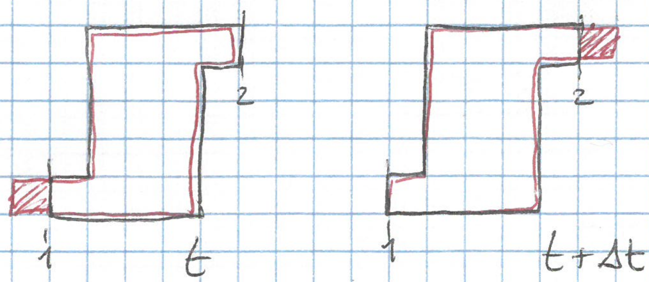
EQUAZIONE DI BILANCIO DELL'ENTROPIA (sistemi aperti)



Per il TEOREMA DELLA NON DIMINUZIONE DELL'ENTROPIA abbiamo visto che

$$S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{dQ}{T} + \Delta S_I$$

PRODUZIONE DI IRREVERSIBILITÀ

Nel nostro caso:

$$\circledast \quad S_{t+\Delta t} - S'_t = \int \frac{dQ}{T} + \Delta S'_I$$

SI [illegible]

$$= \sum_{j=1}^{n} \frac{Q_j}{T_j} + \Delta S'_I$$

Dobbiamo calcolare:

$$S_t = \Delta M_1 \cdot s_1 + \left(\int_V \rho\, s\, dV \right)_t$$

$$S_{t+\Delta t} = \Delta M_2 \cdot s_2 + \left(\int_V \rho\, s\, dV \right)_{t+\Delta t}$$

quindi la $\circledast$ diventa:

$$\Delta M_2 s_2 - \Delta M_1 s_1 + \left(\int_V \rho s\, dV \right)_{t+\Delta t} - \left(\int_V \rho s\, dV \right)_t = \sum_{j=1}^{n} \frac{Q_j}{T_j} + \Delta S_I$$

divido per Δt e calcolo $\lim_{\Delta t \to 0}$

$$\boxed{Q_{m2} s_2 - Q_{m1} s_1 + \frac{\partial}{\partial t} \int_V \rho\, s\, dV = \sum_{j=1}^{n} \frac{\dot{Q}_j}{T_j} + \dot{\Delta S}_I}$$

PRODUZIONE DI IRREVERSIBILITÀ PER UNITÀ DI TEMPO $\left(\lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta S_I}{\Delta t}\right)$

EQ. PER SISTEMI APERTI A DUE CORRENTI

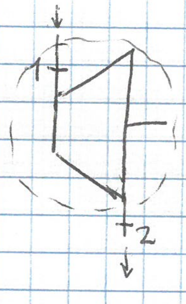
POTENZA SCAMBIATA CON I SERBATOI A TEMP. T_j

Più in generale:

$$\sum_{i=1}^{n} Q_{mi} s_i + \frac{\partial}{\partial t}\int_V \rho s \, dV = \sum_{i=1}^{N} \frac{\dot{Q}_i}{T_i} + \Delta \dot{S}_I$$

in generale s non lo conosco e non posso calcolare l'integrale, nel caso STAZIONARIO $\frac{\partial}{\partial t}\int = \varnothing$

Esempio: TURBINA ADIABATICA REVERSIBILE



(quasi tutti i cicli di potenza (RANKINE, BRIGHT, ecc.) usano turbine adiabatiche reversibili)

$$Q_{m2} s_2 - Q_{m1} s_1 + \cancel{\frac{\partial}{\partial t}\int_V \rho s \, dV} = \cancel{\sum_{i=1}^{N} \frac{\dot{Q}_i}{T_i}} + \cancel{\Delta \dot{S}_I}$$

STAZIONARIO ADIABATICA REVERSIBILE

$$\Downarrow$$

$$Q_{m2} s_2 = Q_{m1} s_1$$

Siccome per la conservazione della massa $Q_{m2} = Q_{m1}$,

$\Rightarrow s_2 = s_1$ (È UNA MACCHINA ISOENTROPICA)

[ricordiamo che abbiamo trovato $h_2 - h_1 = -l$, l = lavoro prodotto dalla turbina]

— o —

DEFINIZIONE DI EXERGIA

Torniamo alla eq. di bilancio dell'energia:

$$(*) \quad \frac{w_2^2 - w_1^2}{2} + g(z_2 - z_1) + h_2 - h_1 = q - \ell \qquad J/kg$$

Vogliamo ottenere qualcosa di simile per l'entropia:

$$Q_{m2} s_2 - Q_{m1} s_1 + \cancel{\frac{\partial}{\partial t}\int_V \rho s \, dV} = \sum_{j=1}^{N} \frac{\dot{Q}_j}{T_j} + \dot{\Delta S}_I$$

STAZIONARIO

ma $Q_{m1} = Q_{m2} = Q_m$, divido per Q_m

$$\Rightarrow \quad s_2 - s_1 = \sum_{j=1}^{N} \frac{\dot{Q}_j}{Q_m T_j} + \frac{\dot{\Delta S}_I}{Q_m}$$

chiamo $\frac{\dot{Q}_j}{Q_m} = q_j$ (grandezza specifica) e $\frac{\dot{\Delta S}_I}{Q_m} = \varphi$

$$\Rightarrow \quad s_2 - s_1 = \sum_{j=1}^{N} \frac{q_j}{T_j} + \varphi \qquad J/kg\,K$$

moltiplico ora per T_0 = temperatura più bassa di tutti i serbatoi coinvolti nel processo

$$\Rightarrow \quad T_0 (s_2 - s_1) = \sum_{j=1}^{N} q_j \cdot \frac{T_0}{T_j} + T_0 \varphi \qquad J/kg$$

$(**)$

(ho raggiunto le dimensioni della eq. di bilancio dell'energia)

Calcolo $(*) - (**)$

$$\frac{w_2^2 - w_1^2}{2} + g(z_2 - z_1) + h_2 - h_1 - T_0(s_2 - s_1) = \overset{q}{\overset{\|}{\sum_{j=1}^{N} q_j}} - \ell - \sum q_j \frac{T_0}{T_j} - T_0 \varphi$$

$$\Downarrow$$

$$\frac{w_2^2 - w_1^2}{2} + g(z_2 - z_1) + (h_2 - T_0 s_2) - (h_1 - T_0 s_1) = \sum_{j=1}^{N} q_j \left(1 - \frac{T_0}{T_j}\right) - (\ell + T_0 \varphi)$$

COEFF. ECONOMICI CARNOT

Introduco EXERGIA $e_x = h - T_0 s$ (FUNZIONE DI STATO)

Se supponiamo Δe_c e $\Delta e_p = 0$ otteniamo:

$$e_{u2} - e_{u1} = \sum_{j=1}^{N} q_j \left(1 - T_0/T_j\right) - \left(\ell + T_0 \varphi\right)$$

$$\Rightarrow \ell = e_{u1} - e_{u2} + \sum_{j=1}^{N} q_j \left(1 - T_0/T_j\right) - T_0 \varphi$$

Il lavoro è max quando $\varphi = 0$, cioè quando la macchina è <u>reversibile</u>.

L'<u>exergia</u> è stata introdotta per calcolare più facilmente i rendimenti dei cicli termodinamici:

considero $N = 2$ (due serbatoi a T_1 e T_2, $T_2 < T_1 \Rightarrow T_0 \equiv T_2$)

$$\ell = e_{u1} - e_{u2} + q_1 \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right) + q_2 \cancel{\left(1 - \frac{T_2}{T_2}\right)} - T_0 \varphi$$

$$\Rightarrow \ell + T_0 \varphi = e_{u1} - e_{u2} + \underbrace{q_1 \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right)}_{\text{LAVORO PRODOTTO DA MACCHINA DI CARNOT}} = \ell_{max}$$

$$\Rightarrow \eta_{\tau} = \frac{\ell}{\ell_{max}} = \frac{\ell}{\ell + T_0 \varphi} = \frac{\ell}{(e_{u1} - e_{u2}) + q_1 \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right)}$$

<u>OSS</u>: se considero un sistema aperto CICLICO (per esempio un tubo ad anello in cui $i = u$) allora $e_{u1} = e_{u2}$ e quindi $\eta_T = \dfrac{\ell}{q_1 (1 - T_2/T_1)} = \dfrac{\varepsilon}{\varepsilon_c}$

Le definizioni date per i sistemi CHIUSI valgono anche per i sistemi APERTI CICLICI (e noi studieremo questi, una serie di sistemi APERTI collegati tra loro a formare un CICLO).

SALTIAMO PER ORA L'EQ. DELL'ENERGIA MECCANICA
(LA VEDIAMO PIÙ AVANTI)

Vediamo come calcolare le proprietà termodinamiche: cominciamo con i SISTEMI SEMPLICI MONOCOMPONENTI

[SEMPLICE: se c'è lavoro è di tipo $p \cdot v$, non c'è lavoro chimico, elettrico, magnetico, ...]

Partiamo dal teorema di Gibbs: per conoscere completamente lo stato di un sistema devo conoscere $3-f$ grandezze intensive o specifiche (se il sist. è fisicamente omogeneo), $C-1$ concentrazioni, la massa m di ogni fase, la natura dei componenti.

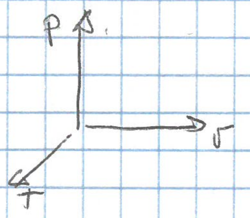
Per un sistema SEMPLICE MONOCOMPONENTE: $C-1=0$ $\quad m=m_{tot}$

Quando $f=1$ $\quad v=f(p,T)$

$$v-f(p,T)=0$$

$$F(p,v,T)=0$$ → SI CHIAMA EQUAZIONE DI STATO

$F(p,v,T)=0$ rappresenta una superficie nello spazio p, v, T



Queste superfici si ricavano per via sperimentale.

$\boxed{\text{PPT - 1}}$