

## CICLI A VAPORE:

14/05

I cicli a vapore sono cicli che funzionano, appunto, a vapore.

In sé non sono dei buoni cicli in termini di rendimento (adesso le migliori macchine a vapore hanno un rendimento inferiore al 50%), tuttavia hanno un grande vantaggio: tutte le macchine a vapore devono comunque accoppiare una fase di compressione a una di espansione.

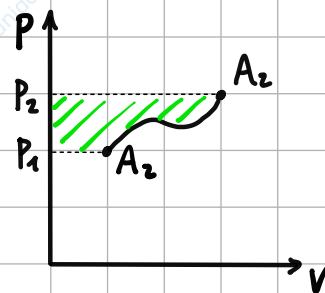
Il lavoro in espansione è molto maggiore di quello in compressione.

Perché?

Semplicemente perché si comprime in fase liquida ed espandiamo in fase gassosa!

↳ il LAVORO UTILE per SISTEMI APERTI è esprimibile come:

$$\dot{L}_u = \dot{m} \int v dp \begin{cases} \dot{L}^{\leftarrow} = \dot{m} \int v_{liq} dp \\ \dot{L}^{\rightarrow} = \dot{m} \int v_{gas} dp \end{cases}$$



$$PQS: \int_{p_1}^{p_2} v dp = \frac{\dot{L}_u^{\leftarrow}}{\dot{m}}$$

LAVORO D'ALBERO  
DEI SISTEMI APERTI

A parità di  $\Delta p$  speso, avrò un fattore

$v_{gas} \gg v_{liq}$ .

Infatti  $\rho_{gas}$  è dell'ordine di  $1 \frac{kg}{m^3}$   
mentre  $\rho_{liq}$  è dell'ordine di  $1000 \frac{kg}{m^3}$ .

In altri termini, il lavoro utile che la macchina a vapore è in grado di fornire è 1000 volte più grande del lavoro che bisogna spendere per farla funzionare.

Per questo motivo ancora oggi sono cicli ampiamente utilizzati!

Comunque, tra i cicli più usati c'è il CICLO RANKINE.

## CICLO RANKINE:

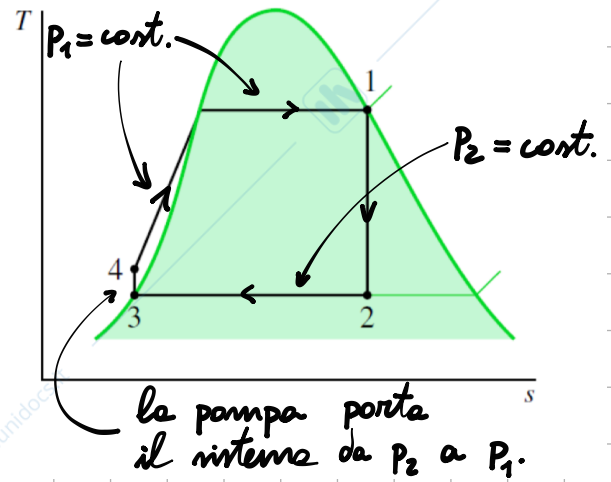
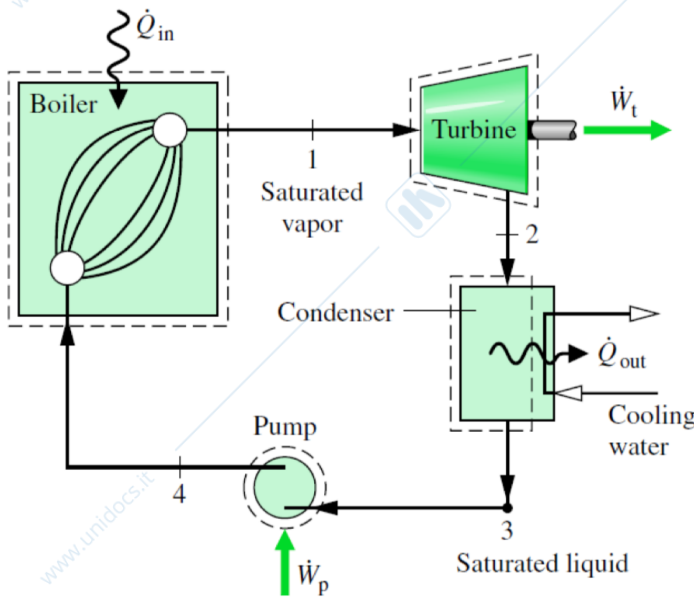
È un ciclo a circuito chiuso che utilizza il vapore come fluido di lavoro.

Il ciclo si compone di 4 elementi principali: una caldaia, una turbina, un condensatore e una pompa.

Il vapore saturo entra in turbina e genera lavoro  $\dot{W}_t$ , dopodiché lo si condensa per trasformarlo in acqua liquida tramite il condensatore.

Dopodiché comprimiamo il liquido saturo con una pompa per riportarlo

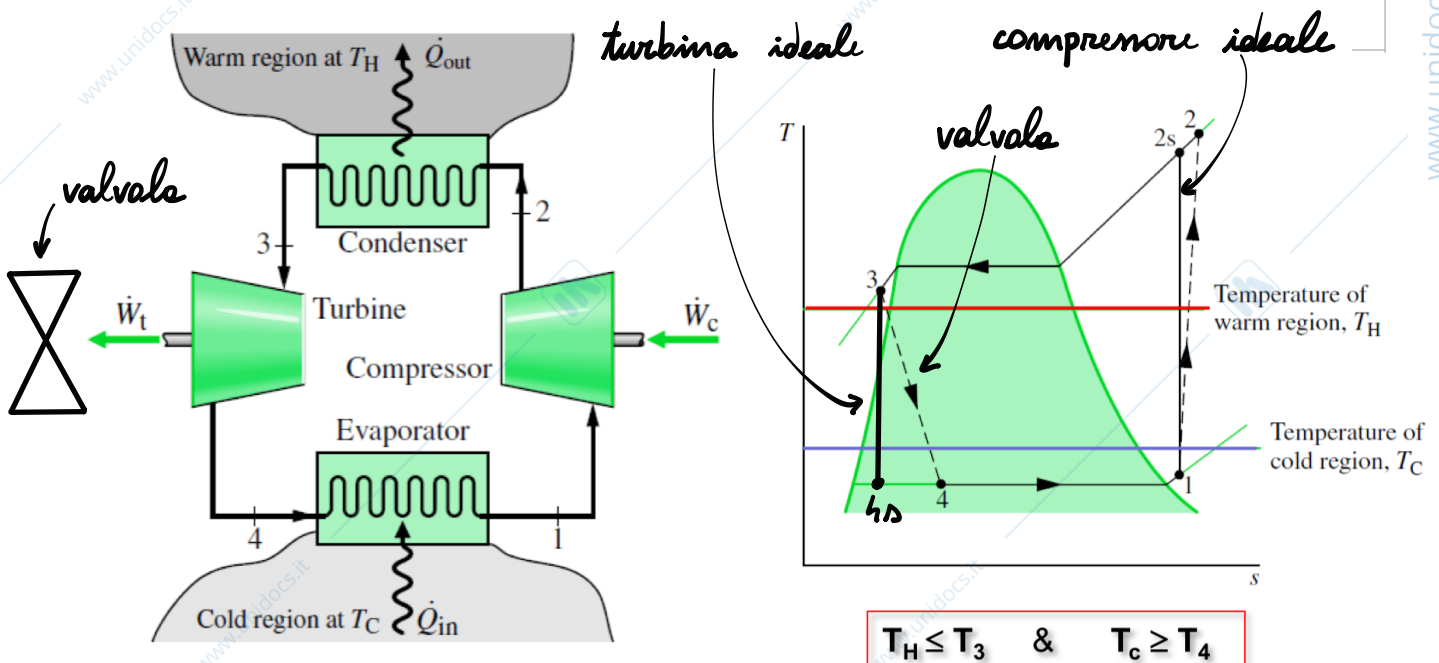
alle isobare iniziali (da  $p_2$  a  $p_1$ ). Infine, portiamo il liquido in caldaia per vaporizzarlo nuovamente e ripetiamo il processo:



L'acqua utilizzata è distillata e demineralizzata per evitare che altri elementi vadano ad intaccare le pareti delle pompe e della turbina.

Comunque, i cicli a vapore sono anche ampiamente utilizzati con il ciclo inverso: un esempio sono i **CICLI FRIGORIFERI**:

### CICLI FRIGORIFERI A COMPRESSIONE DI VAPORE



I cicli frigoriferi, innanzitutto, non lavorano esattamente con il vapore ma con dei fluidi refrigeranti particolari. Il motivo per cui non si può usare il vapore d'acqua è banale: l'acqua a  $0^\circ\text{C}$  ghiaccia. La maggior parte dei cicli frigoriferi (come il frigorifero o il freezer di casa) lavorano con il freon o refrigeranti simili.

Ora, vediamo il ciclo in sé:

↳ il fluido è inizialmente compresso con un compressore, qui la temperatura aumenta inevitabilmente. Proprio per questo motivo, il fluido passa poi attraverso un condensatore, che permette uno scambio termico fino al punto 3. Dal punto 2 al punto 3 (ovvia passando attraverso il condensatore) si ha sostanzialmente il passaggio da vapore a liquido saturo, ed è per questo motivo che la temperatura NON varia in questo processo.

Dopodiché il fluido passa per una turbina (intercambiabile con una valvola) dove si ha l'espansione e il conseguente abbassamento di pressione (oltre che di temperatura).

Infatti, per ipotesi, la turbina lavora con  $P_2 < P_1$ , e inoltre sotto l'ipotesi di gas perfetto:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{R}{C_p}}$$

$$\Rightarrow T_2 = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{R}{C_p}} < T_2 \text{ !}$$

Dopo l'espansione del fluido in turbina il fluido entra in un vaporizzatore in cui assorbe calore da un ambiente esterno e lo "raffredda". Questo comunque avviene con il fluido che rimane a  $T = \text{cost.}$  ricomincia la trasformazione del liquido in vapore e si conclude solo quando tutto il liquido è stato trasformato in vapore. Così si conclude il ciclo.

### VALVOLA vs TURBINA:

Molto spesso la turbina viene sostituita con una VALVOLA, che controlla la pressione in entrata e uscita del fluido.

La differenza sostanziale fra le due scelte è che la turbina è in grado di produrre lavoro utile mentre la valvola no.

Vediamo in termini di bilancio cosa implica questo:

•TURBINA:

$$\begin{cases} \frac{dM^T}{dt} = \dot{m}_1 - \dot{m}_2 = 0 \rightarrow \dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m} \\ \frac{dE^T}{dt} = \dot{m}_1 \bar{H}_1^* - \dot{m}_2 \bar{H}_2^* - \dot{Q}_0^{\rightarrow} - \dot{L}_u^{\rightarrow} = 0 \rightarrow \dot{L}_u^{\rightarrow} = \dot{m}_1 \bar{H}_1^* - \dot{m}_2 \bar{H}_2^* \\ \frac{dS^T}{dt} = \dot{m}_1 \Delta_1 - \dot{m}_2 \Delta_2 - \dot{S}_0^{\rightarrow} + \dot{S}_{irr} = 0 \rightarrow \dot{S}_{irr} = \dot{m} (\Delta_2 - \Delta_1) \end{cases}$$

o *adiabatico*

o *adiabatico*

$\rightarrow$  possiamo rendere reversibile il processo, ossia  $\dot{S}_{irr} = 0$ .

•VALVOLA:

$$\begin{cases} \frac{dM^T}{dt} = \dot{m}_1 - \dot{m}_2 = 0 \rightarrow \dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m} \\ \frac{dE^T}{dt} = \dot{m}_1 \bar{H}_1^* - \dot{m}_2 \bar{H}_2^* - \dot{Q}_0^{\rightarrow} - \dot{L}_u^{\rightarrow} = 0 \rightarrow \dot{m}_1 \bar{H}_1^* - \dot{m}_2 \bar{H}_2^* = 0 \rightarrow h_1 = h_2 \\ \frac{dS^T}{dt} = \dot{m}_1 \Delta_1 - \dot{m}_2 \Delta_2 - \dot{S}_0^{\rightarrow} + \dot{S}_{irr} = 0 \rightarrow \dot{S}_{irr} = \dot{m} (\Delta_2 - \Delta_1) \end{cases}$$

o *adiabatico*

o *la valvola non compie lavoro*

o *adiabatico*

Dove il processo è isoentalpico (dal secondo bilancio).

Questo implica necessariamente che il processo sia irreversibile!

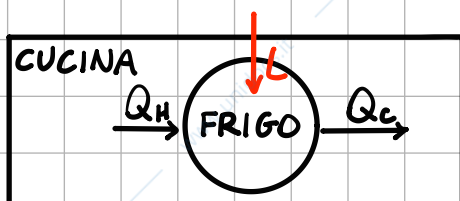
Se fosse reversibile, infatti, otterremmo un sistema isoentalpico e al tempo steno isentropico. In altri termini, ho due gradi di libertà e li fino entrambi costanti. Vual dire che il processo NON AVVIENE!

OSSERVAZIONE:

Ci poniamo la seguente domanda: lasciando aperto il frigorifero in cucina, questa si raffredderà?

La risposta è NO!

Poniamo schematizzare il sistema così:



$\rightarrow Q_C = L + Q_H$  cioè il calore in uscita dal frigo è maggiore di quello in entrata.

$$h_3 - h_4 = 0$$

$$\mu_3 + p_3 V_3 - \mu_4 - p_4 V_4 = 0$$

$$T_3 \Delta_3 - p_3 V_3 + \sum_{i=1}^3 \mu_i y_i + p_3 V_3 - T_4 \Delta_4 + p_4 V_4 - \sum_{i=1}^3 \mu_i y_i - p_4 V_4 = 0$$

$$T_3 \Delta_3 + \mu_3 y_3 - T_4 \Delta_4 - \mu_4 y_4 = 0$$

$$\text{con } y_3 = y_4 = y = \frac{n_i}{n_{\text{TOT}}} = \frac{n_{\text{H}_2\text{O}}}{n_{\text{H}_2\text{O}}} = 1$$

$$\rightarrow T_3 \Delta_3 + \mu_3 - T_4 \Delta_4 - \mu_4 = 0$$

$$\mu = ??$$

$$\rightarrow \mu = g = \frac{G}{n} \quad \text{pono valutare } G?$$

$$G = H - TS = n + pV - TS$$

$$\rightarrow g = \bar{u} + pV - T\Delta$$