MODULO DIDATTICO n 4

Sistemi motori a vapore

↳ Sistemi termici motori in cui il fluido è vapor d'acqua

↳ fluido comprimibile

Rappresentiamo sul piano di Clapeyron e di quello entropico le proprietà del vapore.

(Pag. 2)

il punto critico C → Separa la curva limite inferiore (luogo dei punti in cui il fluido si trova alla temperatura di saturazione) da quella limite superiore (luogo dei punti in cui il vapore si trova alla temperatura di saturazione)

- curva del liquido saturo
- curva del vapore saturo (tutto il liquido è evaporato siamo a questo punto nel campo del vapore surriscaldato)

all'interno della campana c'è una miscela liquido vapore (fluido bifase)

MASTER COPY
Tel. 050.83.12.126
Cell. 388.9837.745

Temp. di saturazione → Se abbiamo la pressione standard alla temp ambiente e forniamo calore all'acqua, la temperatura aumenta fino ad arrivare a 100 °C (temperatura di saturazione)

Titolo della miscela

$m_{(tot)} = m_L + m_V$

$m_{(tot)}$ ↓ massa tot. miscela liquido-vapore

Si definisce titolo (x) del vapore

$$x = \frac{m_V}{m_{tot}} = \frac{m_V}{m_L + m_V}$$

(rapporto tra la massa di vap. e quella totale)

(Pag. 1)

in un punto come (A) (zona liquido sottoraffreddato, curva liquido saturo)

$m_V = 0 \Rightarrow x = 0$

in un punto come (B) (zona liquido surriscaldato, curva del vapore saturo).

$m_L = 0 \Rightarrow x = 1$

Tutti i punti intermedi avranno un titolo compreso tra 0 e 1.

↳ campo del vapor umido

Famiglia di curve nel piano (P, V)
vediamo l'andamento delle **isoterme**:

- nel campo del vapor umido (saturo) coincide con l'isobara, quindi è una retta orizzontale
- nel campo del vapore surriscaldato, a pressioni basse questi isoterme hanno lo stesso comportamento dei gas reali (pendenze maggiori delle isoentropiche)
- nel campo del liquido (per i liquidi, anche aumentando P, V non cambia, sono idealmente incomprimibili), la curva di liquido saturo tende alla verticalità, l'isoterma sarà una verticale.

Attenzione: **Non** si possono applicare le leggi dei gas ideali nel campo del liquido !!!

$$PV \neq RT$$

NOTE:

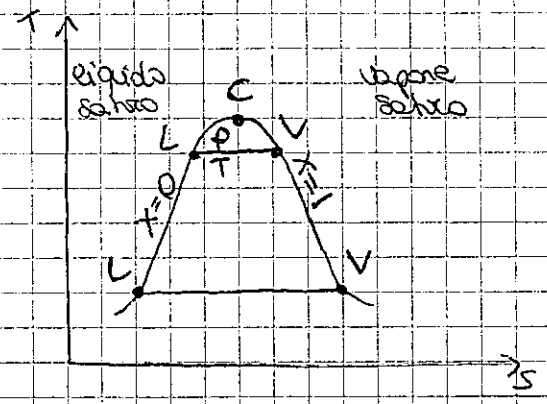
LIQUIDO SOTTORAFFREDDATO → Non può evaporare
LIQUIDO SATURO → può evaporare
VAPORE SATURO SECCO → può condensare
VAPORE SURRISCALDATO → non può condensare

MASTER COPY
Tel. 050.8312126
Cell. 388.9837745

Proprietà termodinamiche vapor d'acqua

Ci leggiamo sul diagramma di Mollier (piano entalpico)
È richiesto una certa precisione, per tale motivo utilizziamo le tabelle di Mollier)

Piano entropico



incongruenza appare: osserviamo nel campo sat. di miscela è isot.

Come si calcola l'**entropia** e l'**entalpia** di un punto x (caratterizzato da un **titolo** $0<x<1$)?

per def $\Rightarrow x = \frac{m_v}{m_L + m_v}$ → è una miscela di fase liquida e fase vapore (pti intermedi della curva)

Vogliamo calcolare H entalpia tot.

$$H_x = H_L + H_v$$

$H_L = m_L \cdot h_L$

$H_v = m_v \cdot h_v$

$H_x = (m_L + m_v) h_x$

$$\Rightarrow (\underbrace{m_L + m_v}_{\text{quantità che rappresenta il denominatore del titolo}}) h_x = m_L h_L + m_v h_v =$$

m_L lo possiamo esplicitare come $m_T - m_v$ (numeratore del titolo)

$$= (\underbrace{m_L + m_v}_{m_T} - m_v) h_L + m_v h_v$$

$$= [(m_L + m_v) - m_v] h_L + m_v h_v$$

$$= \frac{(m_L + m_v) h_L - m_v h_L + m_v h_v}{m_L + m_v}$$

$$h_x = h_L + \frac{(h_v - h_L) m_v}{(m_L + m_v)} \rightarrow x$$

$$\boxed{h_x = h_L + (h_v - h_L) \cdot x}$$

→ entalpia differenziale

BASTANO QUINDI LE TABELLE DI MOLLIER PER CALCOLARE h_x

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

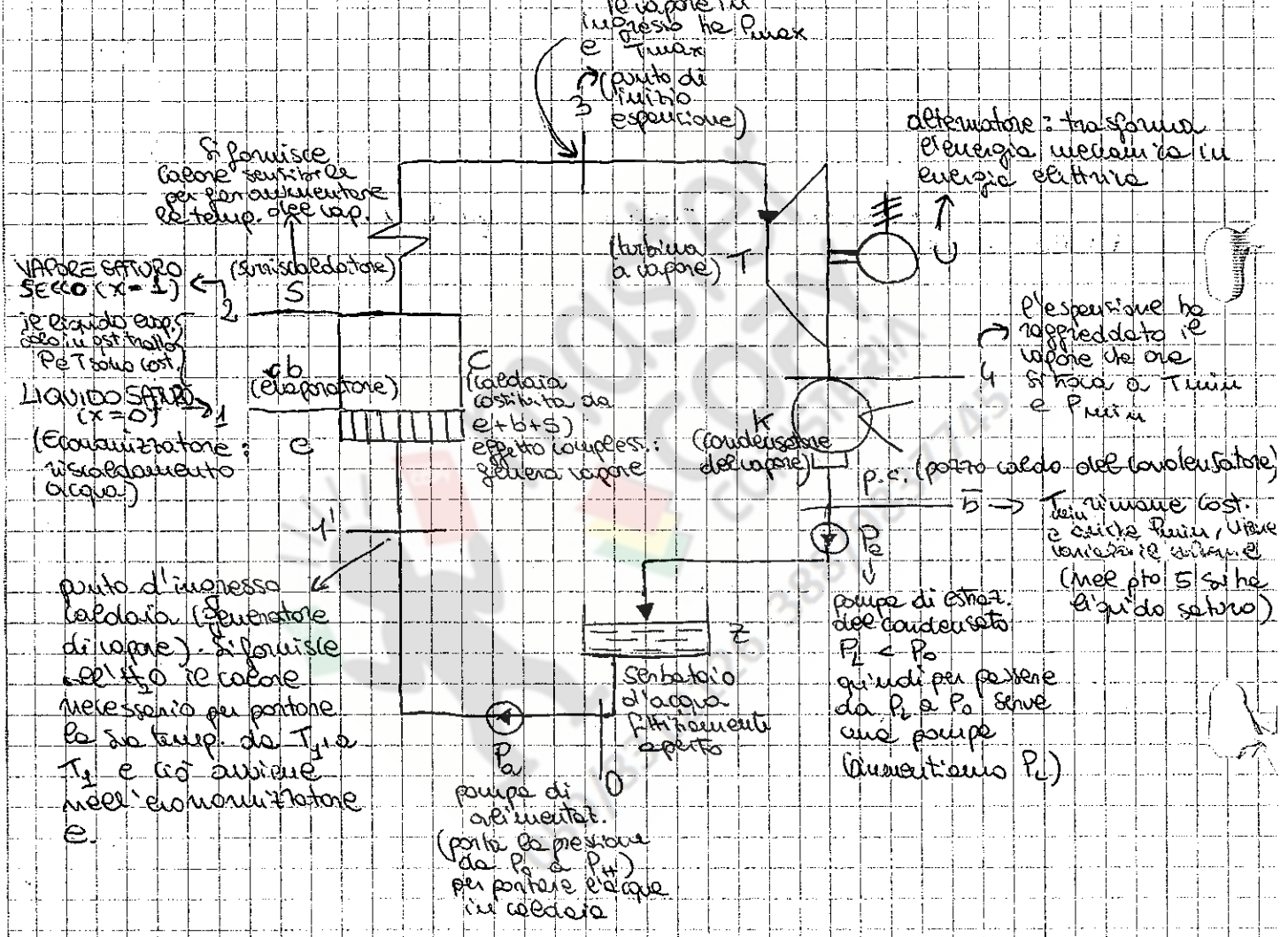
Allo stesso modo si dimostra che l'entropia massica si ricava come:

$$s_x = s_L + (s_V - s_L)x$$

—o—o—

Schema dell'impianto motore a vapore

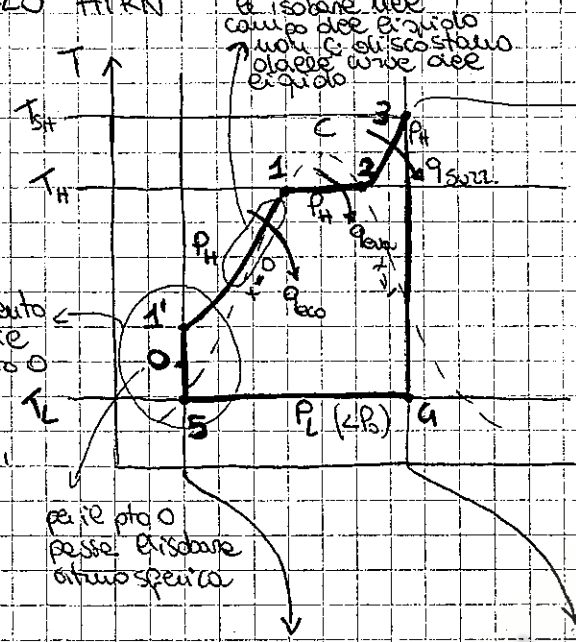
macchina termica motrice dinamica rotante } turbina



MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

CICLO HIRN

Hp: ciclo limite; fluido reale ma non viscoso, macchine ideali



le isobare nel campo del liquido sono ci discostano molto dalle curve del liquido

→ 1'-1-3 è l'isobara a pressione P_H

q_{eco} → calore economizzatore
q_{eva} → calore evaporatore
q_{surr} → calore surriscaldatore

Il raffreddamento tra lo stato 1' e lo stato 0 sono molto vicini la temp. $T_{1'}$ differisce di pochissimo da T_L

per il pto 0 passa l'isobara atmosferica

Supponiamo che la **pompa** di alimentazione sia **adiabatica**, quindi in assenza di attriti posso considerare una trasformazione isoentropica che porta la pressione da $P_0 \Rightarrow P_{1'}$ cioè a P_H

nella **turbina** supponiamo che la trasformazione sia **adiabatica**. Consideriamo nulli gli attriti perché siamo nelle Hp di ciclo limite allora la trasformazione è reversibile e quindi isoentropica.

- Come calcolare il **lavoro all'albero della turbina**?

$$w_{x_T}^{3\to 4} \qquad q - w_x = \Delta h + \Delta e_k + \Delta e_p \qquad \text{Steady-Flow}$$

($q = 0$, $\Delta e_k = 0$, $\Delta e_p = 0$)

inoltre, la macchina è adiabatica:

$-w_x = \Delta h \Rightarrow w_x = -\Delta h$

$w_{x_T}^{3\to 4} = h_3 - h_4$ (è un lavoro positivo, la turbina è una macchina motrice)

- Come si calcola il **lavoro all'albero della pompa**?

$w_{x_P}^{5\to 1'} = h_5 - h_{1'} < 0$ perché sono macchine idrauliche operatrici

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

- Trasformazione punti $1' \to 3$ (avviene in caldaia)

$w_x = -\int v\,dP = 0$ poiché $dP = 0$ (cioè la pressione è cost.)

$\Rightarrow q = \Delta h$

quant'è il calore che bisogna fornire al liquido per riscaldarlo dal pto 1' al punto 3?

$q_{eco} = h_1 - h_{1'}$ (> 0) calore dei passi economizzatori

$q_{eva} = h_2 - h_1$ (> 0) calore dell'evaporatore

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745