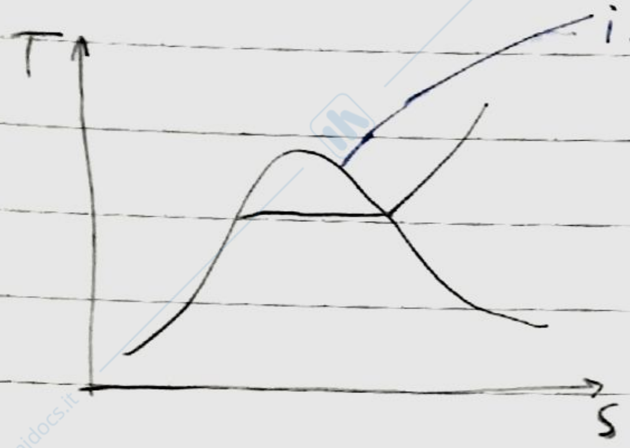
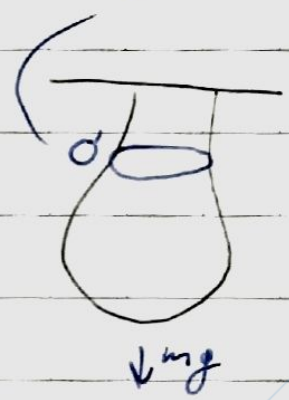
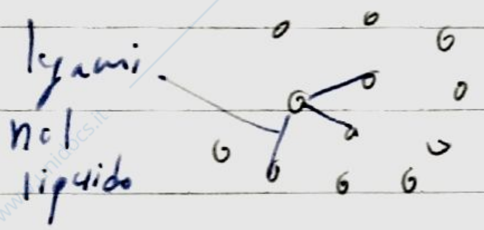
Riprendiamo da:



Se prendiamo una goccia:



Se considero delle molecole

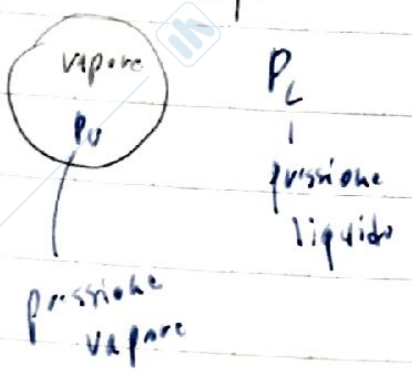


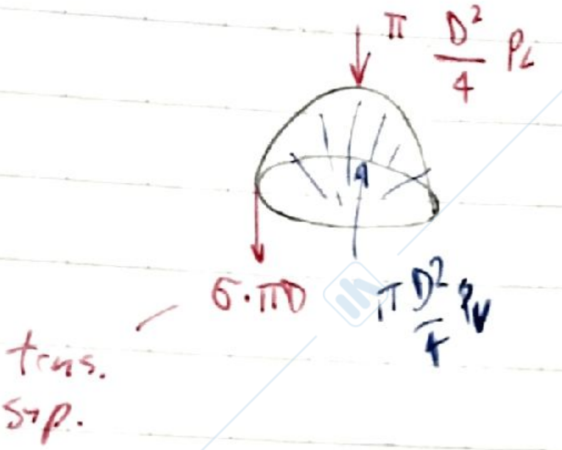
Se scaldiamo il liquido le molecole acquistano energia e il liquido evapora

dipende anche da quanto l'ambiente intorno è saturo di umidità

→ es. Se in sauna mi asciugo i capelli ci metto molto di più che in condizioni normali

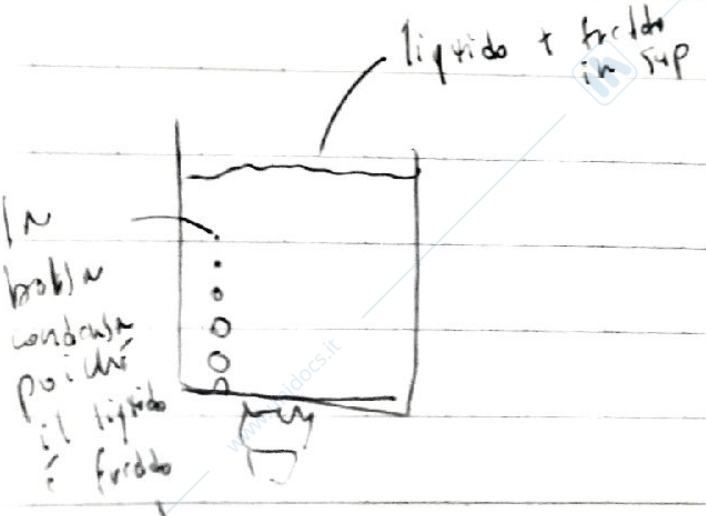
La s. tensione quando abbiamo una bolla è:





equilibrio:

dove $\Delta P = \frac{4\sigma}{D}$ da $\rightarrow \Delta P \cdot \frac{\cancel{\pi} D^{\cancel{2}}}{4} = \sigma \cancel{\pi D}$



quando salgono fino in superficie significa che tutto il liquido è scaldato

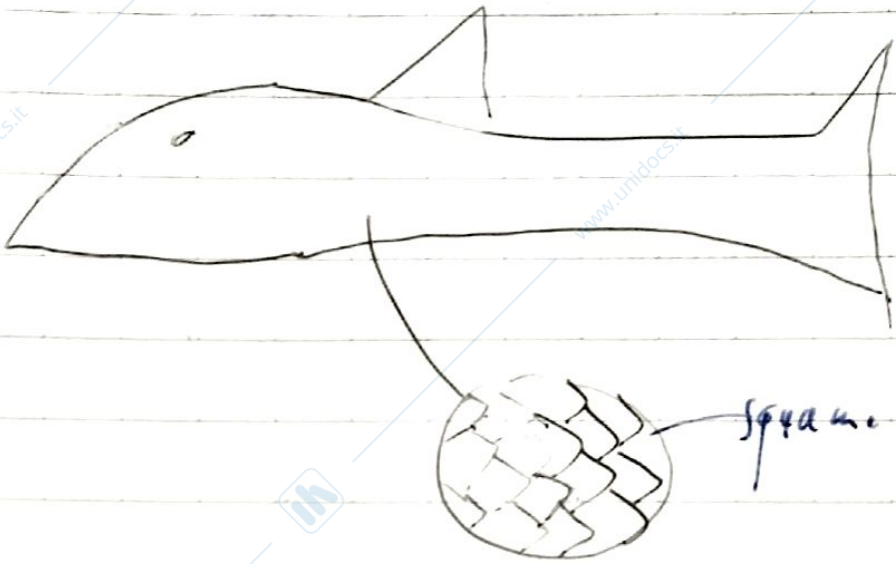
↓

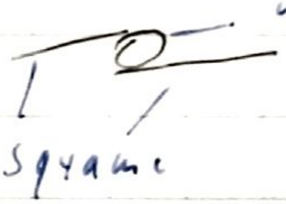
buttiamo la pasta

intanto portano energia per tutto il liquido

Il fenomeno delle bolle che si formano e poi collassano si chiama **CAVITAZIONE** → in idraulica

es. "Squali che riescono a nuotare veloci"

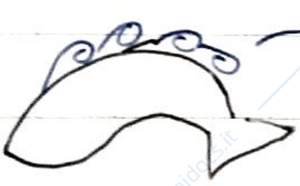




dunque l'attrito è come quello dell'aria

come se nuotasse in aria ⇒ va veloce in acqua

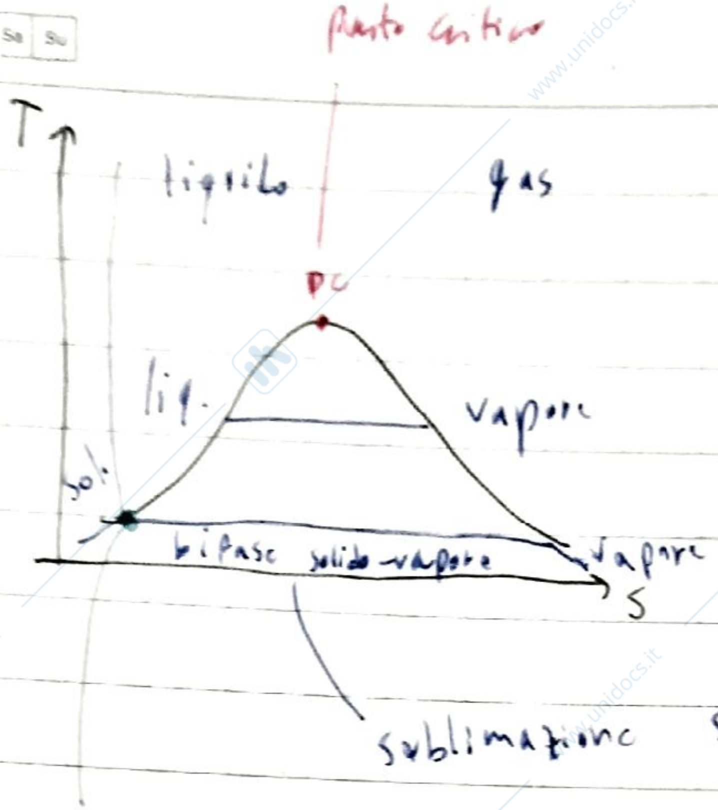
es. "Delfini"



invece di schiacciare i vortici li accomodano → dunque diminuisce l'attrito

No. FISICA TECNICA

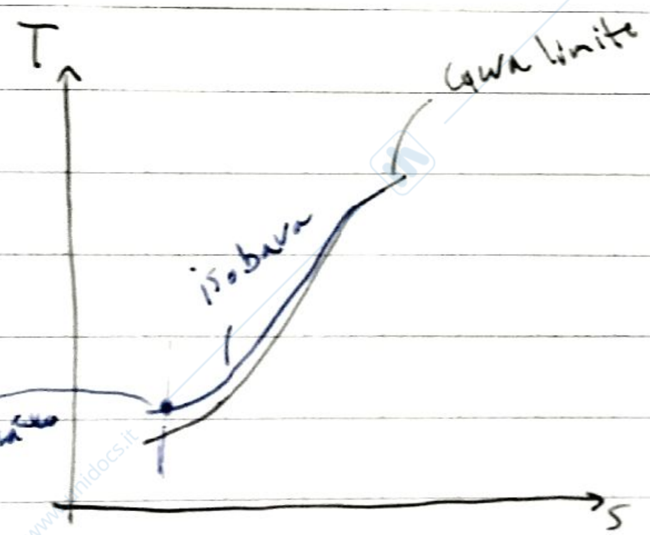
Date 12 11 19



sublimazione solido → vapore

Punto triplo — c'è solo una specifica pressione per ogni liquido per cui abbiamo il punto triplo

→ trovare grafico pressione - temperatura con varie fasi



aumento di temperatura

↓

aumento di entalpia $H = U + pV$

- si scaldiamo aumenta U
- si comprimiamo aumenta p

Consideriamo

$$dH = dU + d(pV)$$

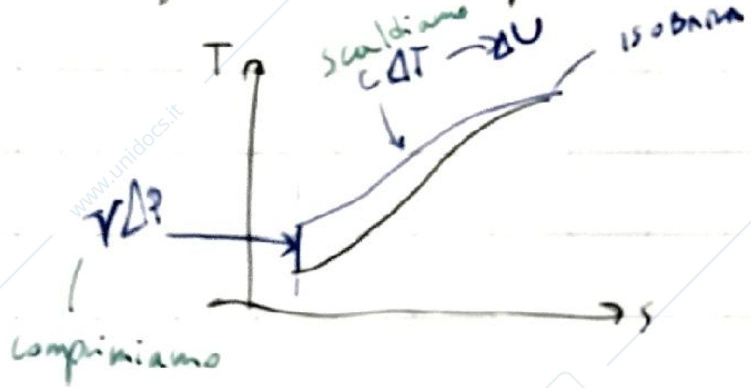
$$dH = dU + Vdp + pdV$$

$$\Delta H = \Delta U + \cancel{\int p dV} + \int V dp = \Delta U + V\Delta p$$

se liquido ideale volume non cambia

per un liquido riusciamo a separare la parte legata alla U e alla p

Nel grafico di prima



es.

Cerchiamo $h(20°C, 1\,Atm) = ?$

da Tabelle $h(20°C, P_{sat})$ $\to$ 0,023 bar $\quad u(20°C, P_{sat})$

vedi App: Converter PAD

Sappiamo che $h = u + pV$

TAB $u(20°C) + V\Delta p + pV$

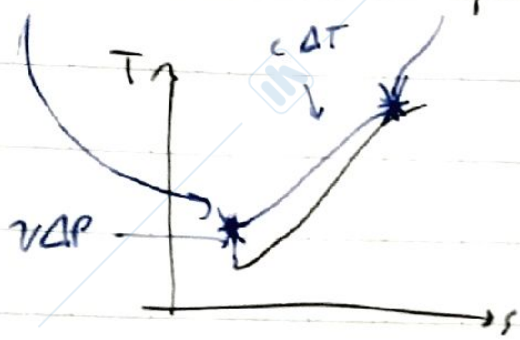
oppure

$$h(20°C, 1\ bar) = h(20°C, p_{sat}) + v\underbrace{\Delta p}_{(1\ bar - p_{sat})}$$

oppure dalle tabelle trovo $h(100°C, 1\ Atm)$

e faccio: $h(100°C, 1\ Atm) - c\Delta T$

dipende se siamo più vicini ai punti *:



guarda sito NIST

si comporta come gas perfetto $pv = RT$

→ per un gas reale vale $pv = ZRT$

$P_{rid.} = \frac{P}{P_{cr.}}$

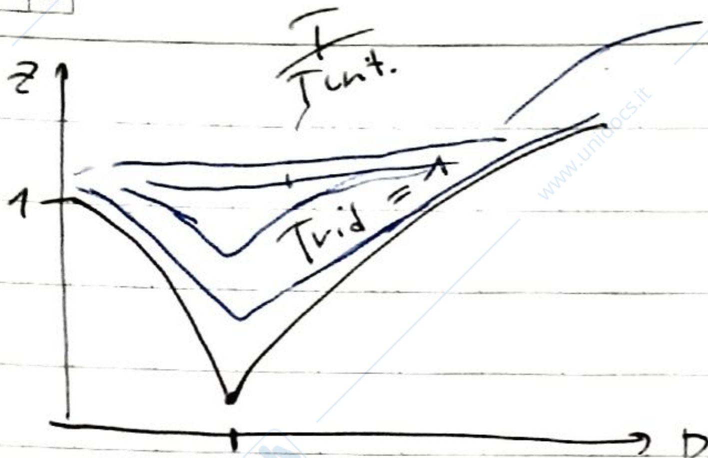
P critico

$Z(P_{rid}, T_{rid.})$ ← fattore comprimibilità

7

No. FISICA TECNICA

Date 12 · 11 · 19



Se cambiamo la temperatura
|
se $T_{rid} = 2$
|
$Z = 1$

Se la temperatura ridotta è il doppio della critica siamo come per un gas perfetto.

guarda grafici tridimensionali
e tabella punti critici delle sostanze
grafico fattore di comprimibilità, Prid

es.

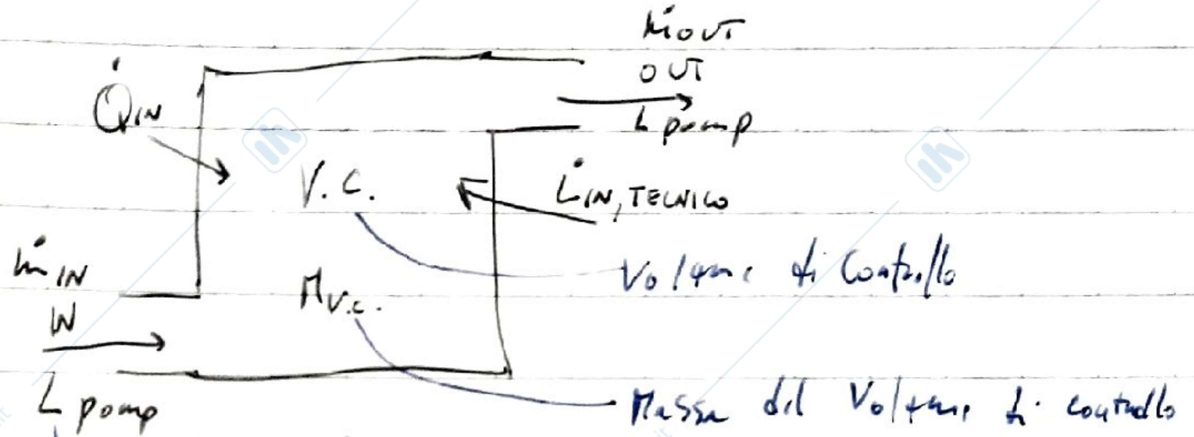
O_2	T(k)	P(bar)
Atm	300	1
Cr	154	50
Rid	~2	0,02

Atmosfera

CO_2	T	P
Atm	300	1
Cr	304	73
Rid	<1	0,015

e poi guardi nel grafico se si comporta come un gas perfetto e con che gas d'errore

Sistemi aperti



in entrata e in uscita c'è un lavoro di pompaggio

Si tratterà di fare bilanci di massa ed energia.

La massa si conserva:

$$\dot{m}_{IN} = \dot{m}_{OUT} + \underbrace{\frac{d M_{V.C.}}{dt}}_{\text{variazione della massa del volume di controllo}}$$

$$m_{IN} = m_{OUT} + \Delta M_{V.C.}$$

L'energia si conserva: 1° pdT (per sistemi chiusi) $Q_{IN} + L_{IN} = \Delta U$

L_{IN}: $\underbrace{L_p + L_E}$ (pompaggio, elica) — TOTALI

Per i sistemi aperti: $Q_{IN} + \underbrace{L_{IN_{TE}}}_{\text{lavoro tecnico o di elica}} = \Delta H$ ← variazione di entalpia (con lavoro diverso da $L_{IN_{TE}}$ ci sarà L_p)

Oss. Nel sistema chiuso $L_p = 0$

Mo Tu We Th Fr Sa Su

No. FISICA TECNICA

Date 13.11.19

$$E_{IN} = E_{OUT} + \Delta E_{v.c}$$

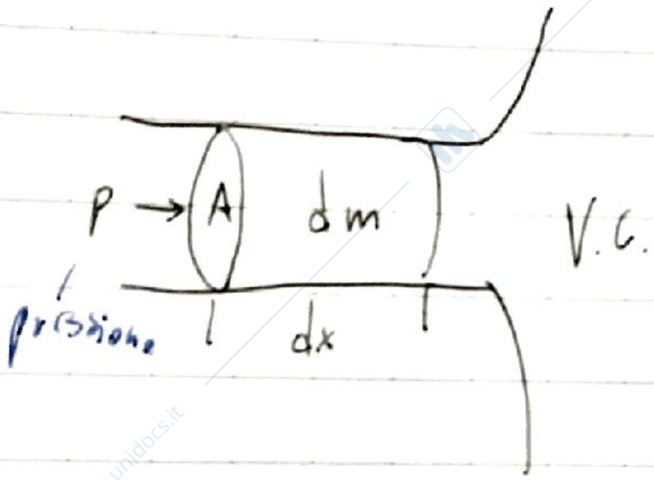
$\Delta E_{v.c} = 0$ se sistema staz.

energia interna, energia potenziale (gz), energia cinetica

$$\dot{m}_{IN}(u + e_p + e_c)_{IN} + \dot{Q}_{IN} + \dot{L}_{IN,E} + \dot{L}_{IN,P} =$$

$$= \frac{dE_{v.c.}}{dt} + \dot{m}_{OUT}(u + e_p + e_c)_{OUT} + \dot{L}_{OUT,P}$$

Quanto vale L_p il lavoro di pompaggio?



$$dL = F \cdot dx =$$
$$= P \cdot A \cdot dx =$$
$$= p\,dV$$

$$dm \longleftrightarrow p\,dV$$

cerco

$$l_{P,IN} = \frac{dL}{dm} = \frac{p\,dV}{\rho\,dV} = pv$$

lavoro di pompaggio specifico

volume specifico $\left(v = \frac{V}{m} = \frac{1}{\rho}\right)$

$$L_{P,IN} = \dot{m}_{IN}(pv)$$

$$L_{P,OUT} = \dot{m}_{OUT}(pv)$$

$$\rightarrow \dot{m}_{IN}(u + e_p + e_c + (pv))_{IN} + \dot{Q}_{IN} + \dot{L}_{IN,E} = \frac{dE_{v.c}}{dt} + \dot{m}_{OUT}(u + e_p + e_c + pv)_{OUT}$$

$h \rightarrow$ entalpia $\quad h$

L_p è "nascosto" nell'entalpia

$$\Rightarrow \boxed{\dot{m}_{IN}\left(h + gz + \frac{1}{2}w^2\right)_{IN} + \dot{Q}_{IN} + \dot{L}_{IN,E} = \dot{m}_{OUT}\left(h + gz + \frac{1}{2}w^2\right)_{OUT} + \frac{dE_{v.c}}{dt}}$$

1° PdT (per sistemi aperti)

- Se il sist. è staz. $\frac{dE_{v.c}}{dt} = 0$
- e_c trascurabile: es. se ho un lago come sistema
  ec posso trascurarlo,
  in delle turbine no
- gz trascurabile: se ho dei gas normalmente
  l'energia gravitazionale è trascurabile
  se ho un gas molto compresso
  potrei avere e_p
- scambiatori di calore: ad aria conta il ΔT
  ad acqua conta anche molto la pressione

$\rightarrow$ bisogna esaminare caso per caso quali tipi di energia sono trascurabili

$\theta = \left(h + \frac{1}{2} w^2 \right) \rightarrow$ Entalpia totale

Possiamo dunque scrivere

Se gas: $\dot{m}_{IN} \cdot \theta_{IN} + \dot{Q}_{IN} + \dot{L}_{IN,IE} = \dot{m}_{OUT} \cdot \theta_{OUT} + \frac{dE_{VC}}{dt}$

S. staz.: $\dot{m}_{IN} = \dot{m}_{OUT}$

$dM_{V.C} = 0$

$\frac{dE_{V.C}}{dt} = 0$

dovuta

$\hookrightarrow h_1 + g z_1 + \frac{W_1^2}{2} + q_{IN} + l_{IN,E} = h_2 + g z_2 + \frac{W_2^2}{2}$

S. possiamo trascurare l'energie

$h_1 + q_{IN} + l_{IN_{IE}} = h_2$

$\hookrightarrow \underline{q_{IN} + l_{IN_{IE}} = \Delta h}$

Oss. S. si parla di: pompa $\rightarrow$ liquido

compressore $\rightarrow$ gas

es. - Pompa d'acqua all'8° piano

Avremo $(h + gz + w)_i + / + L = (h + gz + w)_u + /$

cc trasc. — no Q_{IN} — no $\frac{dE_{v.c}}{dt}$

Se gz trasc. $\rightarrow \dot{L}_{IN} = \dot{m}\,\Delta h$ dove $\Delta h = \cancel{\Delta u} + \Delta p v + v\Delta p$ (liq.)

- Compressore turbina a gas

$$(h + / + w) + / + \dot{L} = (h + / + w) + /$$

- Ugelli →  fluido prende velocità uscendo da un beccuccio

diffusori  → fluido rallenta

In entrambi bisogna osservare la pressione e l'energia cinetica

Avremo $\left(h_1 + / + \frac{W_1^2}{2}\right) + / + / = \left(h_2 + / + \frac{W_2^2}{2}\right) + /$

- Scaldabagno (scambiatore di calore):

$$(h + / + /) + \dot{Q}_{IN} + / = (h + / + /) + /$$

$$\dot{m} h_1 + \dot{Q}_{IN} = \dot{m} h_2 \rightarrow \dot{Q}_{IN} = \dot{m}\,\Delta h$$

cambia → $u + pv$

poiché ΔT cambia

questo probabilmente non cambia

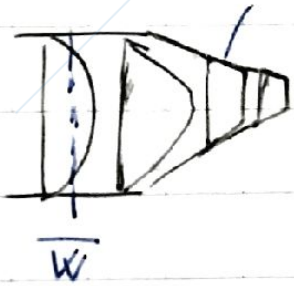
Profili di velocità:

• Ugello:

liq. → si conserva la massa

$\dot{m} = \rho \overline{w} A$

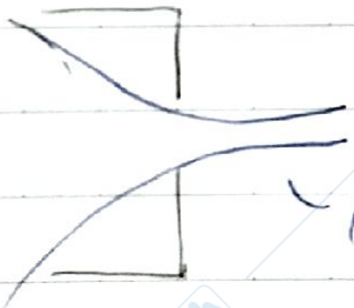
utilizziamo una velocità media poiché non è costante →



compatta il profilo e rende la velocità più omogenea

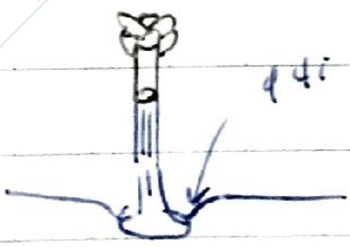
Oss. $\overline{w}$ non è il valore ottimale per calcolare l'energia cinetica (normalmente si accetta comunque $\overline{w}$)

Se abbiamo

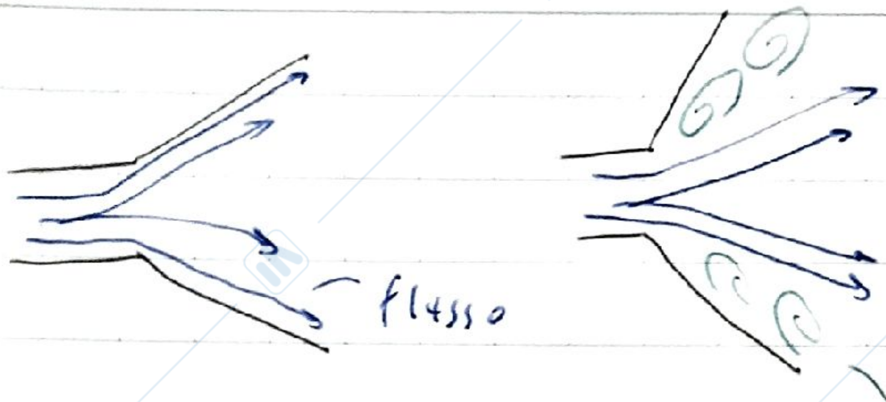


Idealmente si dovrebbe fare un condotto con la stessa forma del flusso

• Diffusore: Riprendiamo la situazione

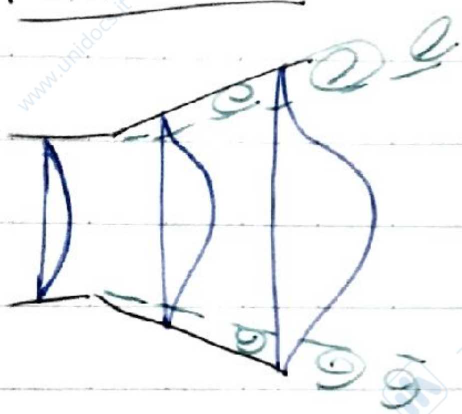


qui l'energia cinetica si trasforma in pressione



Se troppo ampio il flusso non segue la forma ma crea dei vortici e con gli attriti sprecano solo energia

Profilo velocità:



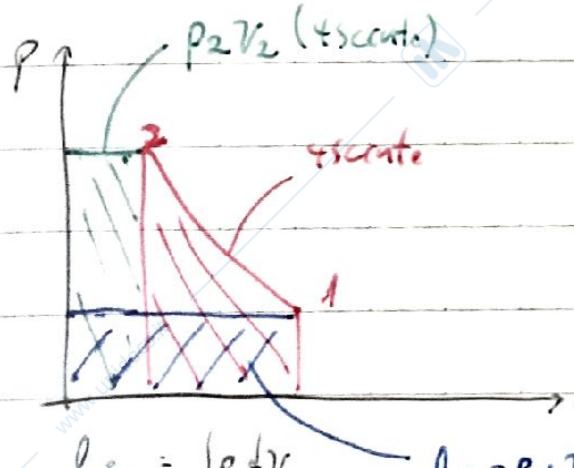
Lavoro

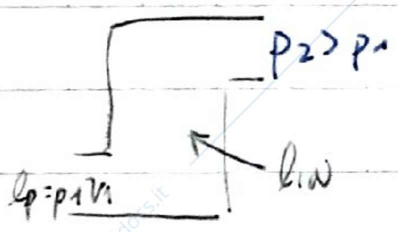
Concentriamoci sull'espressione:

$$\dot m h_1 + \dot L_{IN,E} = \dot m h_2$$

$$l_{IN,E} = \Delta h$$

per semplicità $l_{IN,E} = l_{IN}$

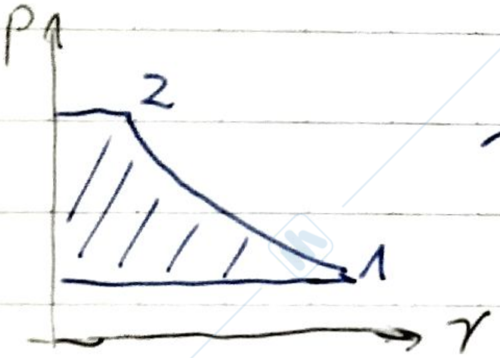




$l_{SC} = \int p\,dv$ — $l_p = p_1 v_1$ (entranti)

sistema chiuso

Otteniamo dunque:



→ $l_{sA} = \int v\,dp$

↳ sistema aperto

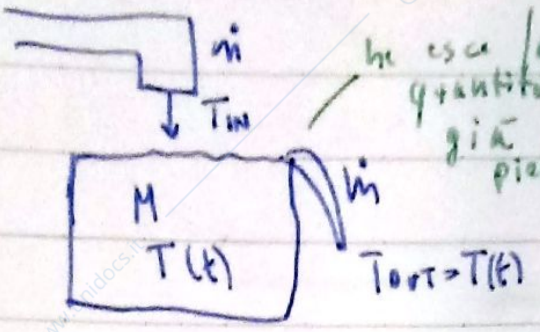
<u>OSS</u>

Se è un liquido la curva sarà diversa e v è costante

$$v\Delta p$$

Esercizi

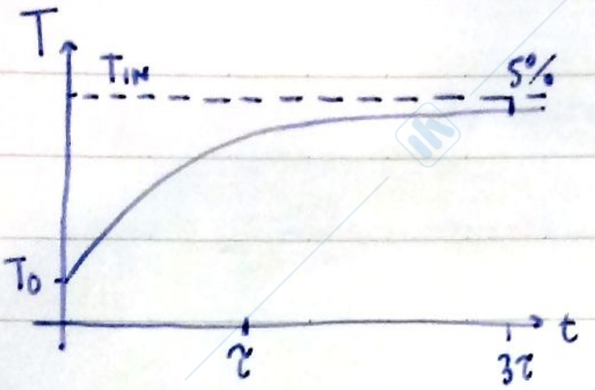
① (14n.1)



ne esce la stessa quantità poiché già totalmente pieno

ma alla temperatura T(t) poiché si mischiano perfettamente — ipotesi di: MESCOLAMENTO PERFETTO

- sistema aperto
- $\dot{m}_{IN} = \dot{m}_{OUT} = \dot{m}$
- $\frac{\partial M_{v.c}}{\partial t} = 0$



trascurabile / trascurabile

Conservazione energia: $\dot{m}_{IN}\left(h_1 + \cancel{gz} + \cancel{\frac{w^2}{2}}\right) + \cancel{\dot{Q}_{IN}} + \cancel{\dot{L}_{IN}} = \dot{m}_{OUT}\left(h_2 + \cancel{gz} + \cancel{\frac{w^2}{2}}\right) + \frac{dE_{vc}}{dt}$

$\rightarrow \dot{m}(h_1 - h_2) = \frac{dH_{vc}}{dt}$ ← tipo entalpia ← ci interessa la parte dell'energia legata al ΔT

Si definisco

$H = \underbrace{McT(t)}_{\text{cambia solo } \Delta U}$ $\quad h_1 = c\,T_{IN}$ $\quad h_2 = c \cdot T(t)$

$\dot{m}\left(T_{IN} - T(t)\right) = M\frac{dT(t)}{dt}$ $\quad \rightarrow \frac{M}{\dot{m}} = \tau$ → [s]

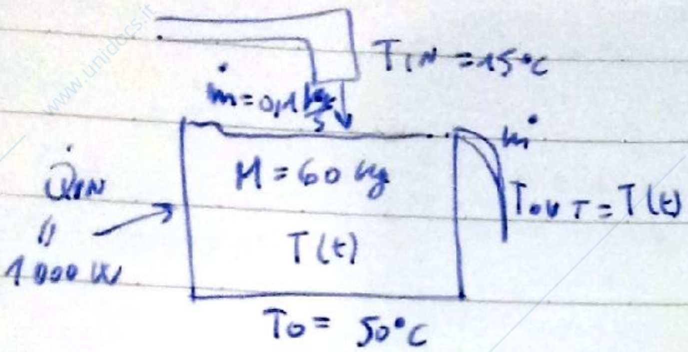
↑ tempo per riempire il recipiente vuoto

$\frac{dT(t)}{T - T_{IN}} = -\frac{dt}{\tau}$ (solita forma)

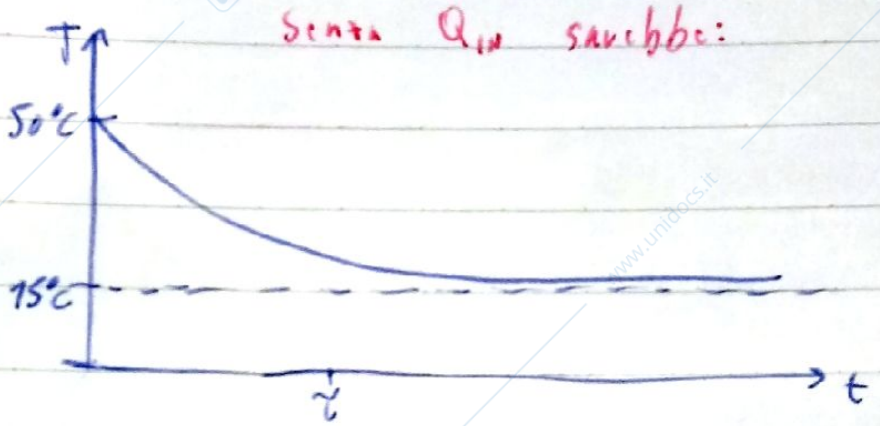
(2) (14a.2)

l'eq. da risolvere è:

$$\dot{m}_{IN} h_{IN} + \dot{Q}_{IN} = \dot{m}_{OUT} h_2 + \frac{dH_{v.c}}{dt}$$



Senza $\dot{Q}_{IN}$ sarebbe:

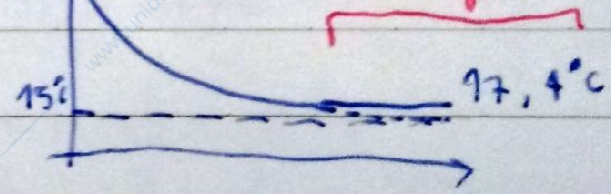


$$\tau = \frac{M}{\dot{m}} = \frac{60 \; kg \cdot s}{0,1 \; kg} = 600 \; s = 10 \; min.$$

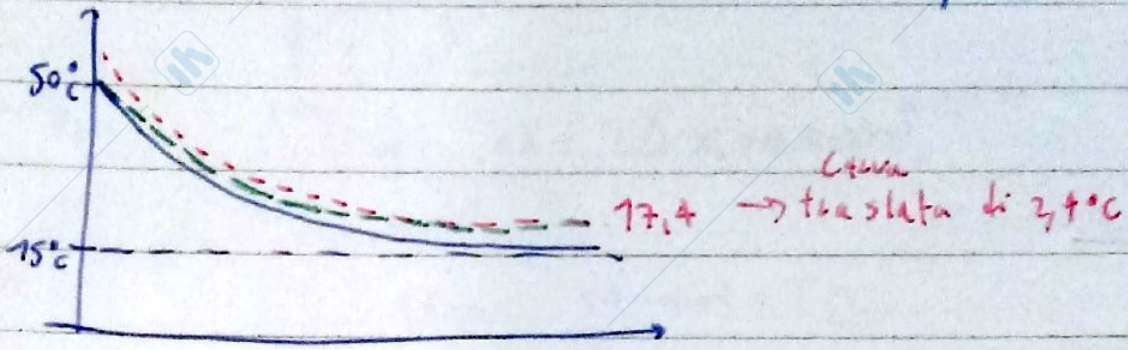
A regime: $\frac{dH_{v.c}}{dt} = 0$

$$\dot{Q}_{IN} = \dot{m} \, \Delta h \qquad 1000 \; W = 0,1 \frac{kg}{s} \underbrace{4200}_{\simeq c_{p\,H_2O}} \Delta T$$

$$\Delta T = 2,4 °C \rightarrow$$



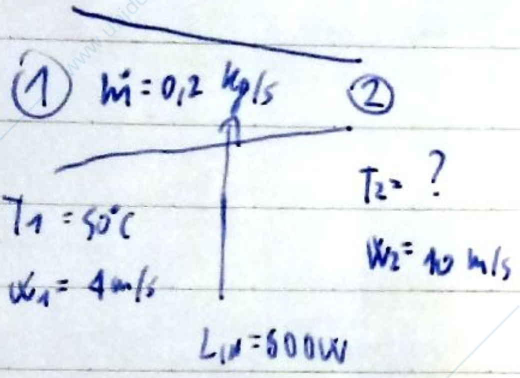
Se l'ingresso del calore arriva vicino alla zona di uscita sarebbe ——— se vicino alla zona di ingresso ———



Se apporto calore in uscita l'acqua in uscita non è a 50°C ma 52,4°C

Se apporto il calore in ingresso, l'acqua in uscita è comunque 50°C ma il resto si scalda di 2,4°C

③ (14a.3)



$$\dot m \left(h_1 + \frac{w_1^2}{2}\right) + \dot L_{IN} = \dot m \left(h_2 + \frac{w_2^2}{2}\right)$$

$$l_{IN} = \frac{\dot L_{IN}}{\dot m} = \frac{600}{0,2} = 3000\ W \qquad l_{IN} = \Delta h + \frac{\Delta w^2}{2} = c_p (T_2 - T_1) + \frac{(w_2^2 - w_1^2)}{2}$$

$$3000 = 4184\,(T_2 - T_1) + \frac{(10^2 - 4^2)}{2}$$

$$3000 = 4184\,\Delta T + 42$$

$$\Delta T = \frac{3000 - 42}{4184} = 0{,}79$$

4 (14a.4)

Rispetto all'esercizio precedente cambiano $W_2 = 100\ m/s$ e $W_1 = 40\ m/s$

→ facciamo allora

$$3000 = 4184\,\Delta T + 4200$$

$$\Delta T \cong -0{,}3$$

Qui la parte di energia cinetica inizia a pesare

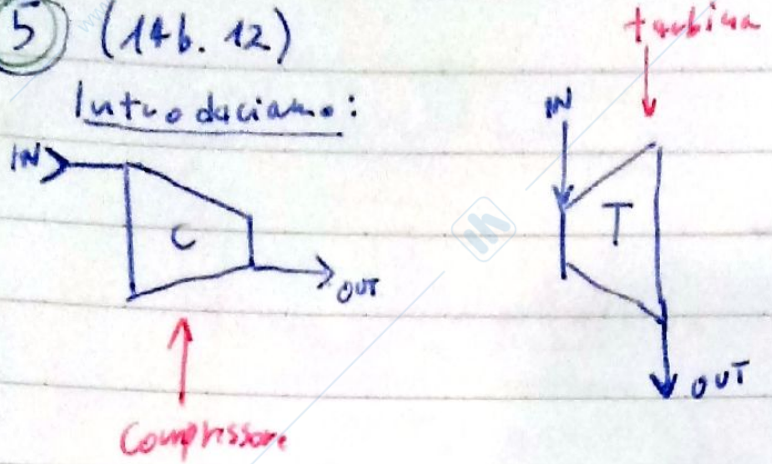
↳ quantificando: $\frac{W^2}{2} = c_p^{\,aria}\,\Delta T$

$$W = \sqrt{2 \cdot 1000\,\underbrace{\Delta T}_{\text{per } 1°C}}$$

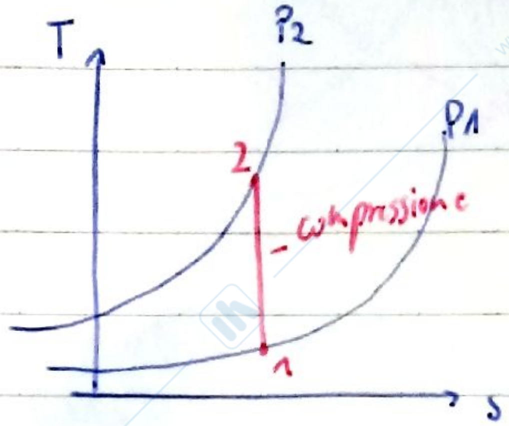
per un $\Delta T = 1°C$ — $W \approx 45\ m/s$

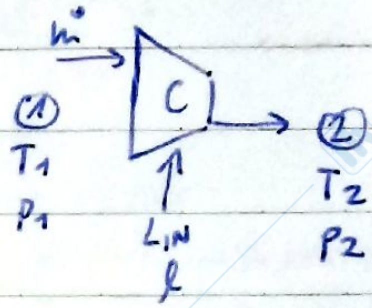
(5) (146. 12)

Introduciamo:



Compressore





$\rightarrow \quad \dot{m} h_1 + L_{IN} = \dot{m} h_2$ (gas perfetto)

$\hookrightarrow \quad l = \Delta h_{12}$ $\quad\downarrow\quad$ $\Delta h_{12} = c_p \Delta T_{12}$

$\downarrow$

$l = c_p \Delta T_{12}$

da Eq. isoentropica gas perfetto sappiamo:

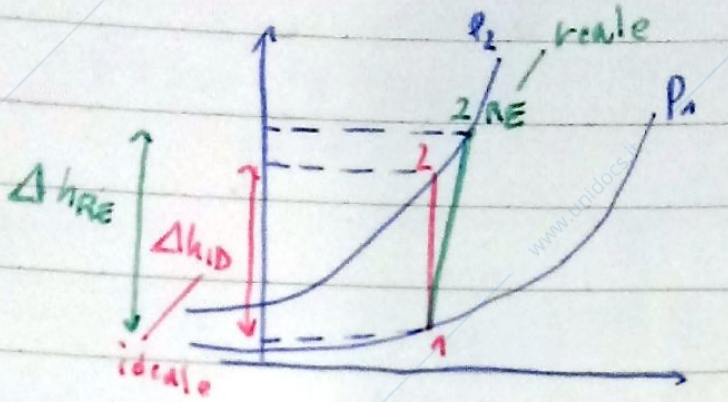
$$T_2 = T_1 \beta^{\theta} = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{R}{c_p}}$$

e troviamo ciò che ci serve

→ Il compressore può NON essere isoentropico

↓

es. compressore adiabatico



Se c_p rimane uguale

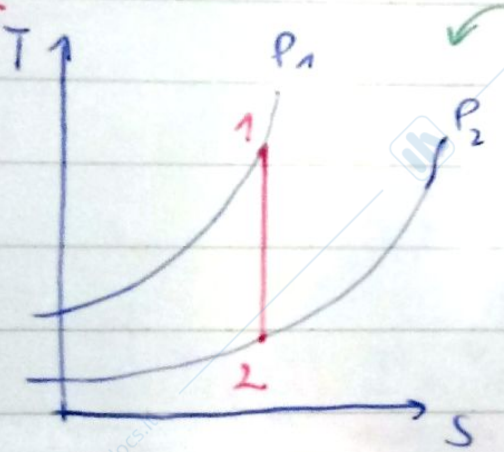
↳ rendimento $\eta_c = \frac{\dot{L}_{ID}}{\dot{L}_{RE}} = \frac{\cancel{\dot{m}}\, l_{ID}}{\cancel{\dot{m}}\, l_{RE}} = \frac{\Delta h_{ID}}{\Delta h_{RE}} = \frac{\cancel{c_p}\Delta T_{ID}}{\cancel{c_p}\Delta T_{RE}}$

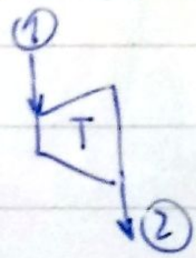
1° PdT S.A.

$$\eta_c = \frac{\Delta T_{ID}}{\Delta T_{RE}}$$

Turbina

(caso isoentropico/ideale)



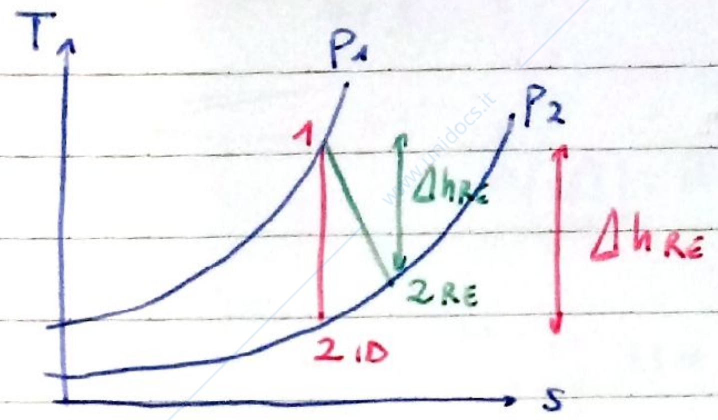


$\dot{L}_{IN} + \dot{m} h_1 = \dot{m} h_2 \longrightarrow l_{OUT} = h_1 - h_2 \longrightarrow l = \Delta h = c_p \Delta T$

$$T_{2_{ID}} = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{R}{c_p}}$$

ideale

Turbina reale



cp rimane uguale

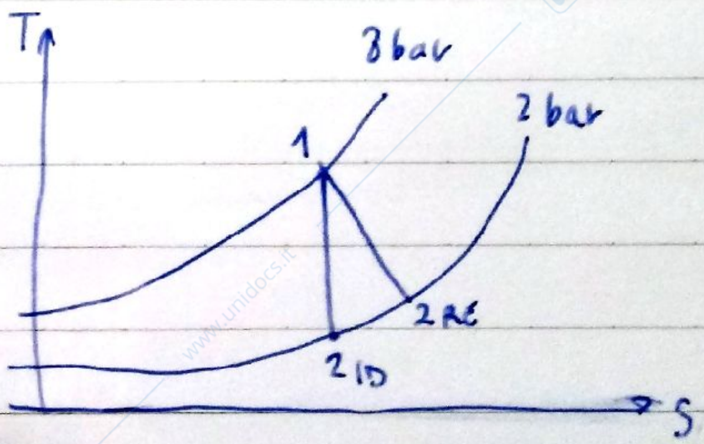
$$\eta_T = \frac{\dot{L}_{RE}}{\dot{L}_{ID}} = \frac{\Delta h_{RE}}{\Delta h_{ID}} = \frac{\Delta T_{RE}}{\Delta T_{ID}}$$

Nell'esercizio:

- turbina adiabatica
- regime staz
- $l_{OUT} = 2000 \frac{kJ}{kg}$
- He
- $P_1 = 8$ bar, $P_2 = 2$ bar
- $T_1 = 800$ °C

8 bar → 2 bar

1073 K → T_2?



$$l_{out} = h_1 - h_2 = c_p \Delta T_{RE}$$

$$2000 = \frac{5}{2} \cdot \frac{8{,}314}{4} \Delta T_{RE}$$

$$\rightarrow \Delta T_{RE} = \frac{2}{5} \cdot \frac{8000}{8{,}314}$$

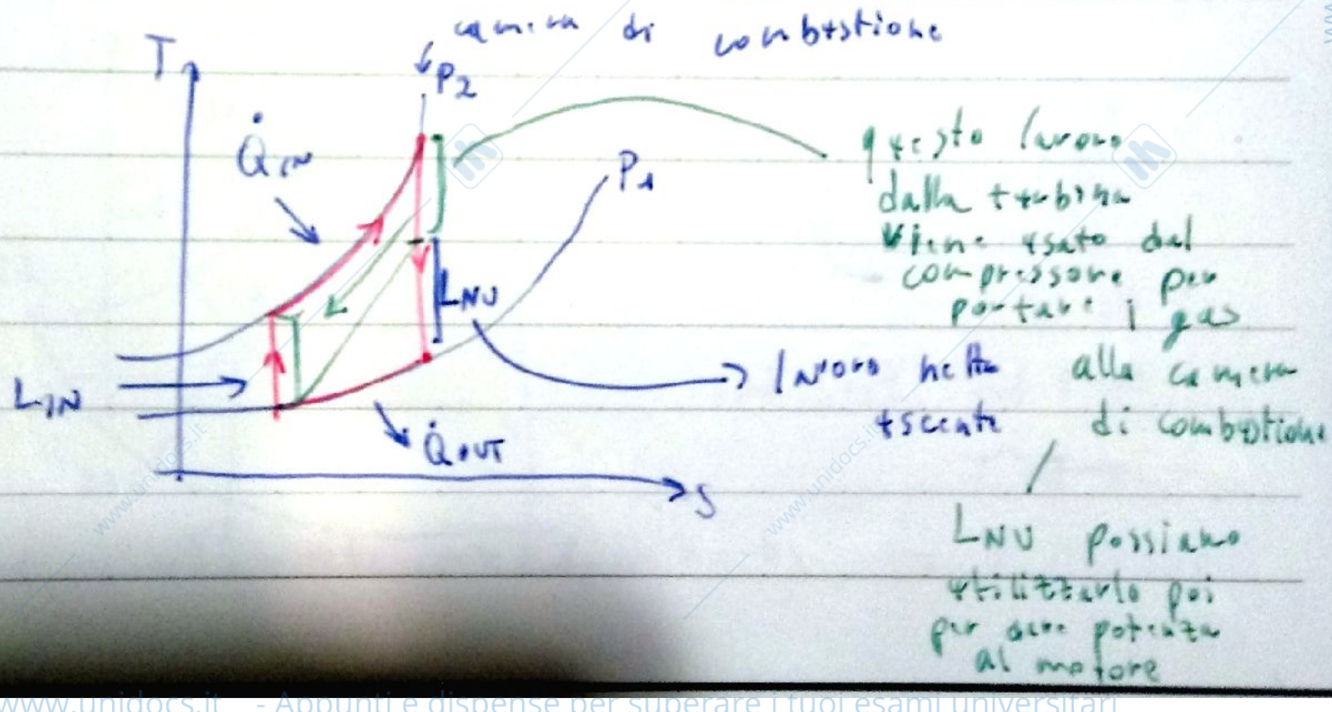
$$T_{2_{ID}} = T_1 \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{R}{c_p}}$$

$$T_{2_{ID}} = 1073 \left(\frac{1}{4}\right)^{0{,}4} = 616\ K$$

$$\Delta T_{ID} = 1073 - 616$$

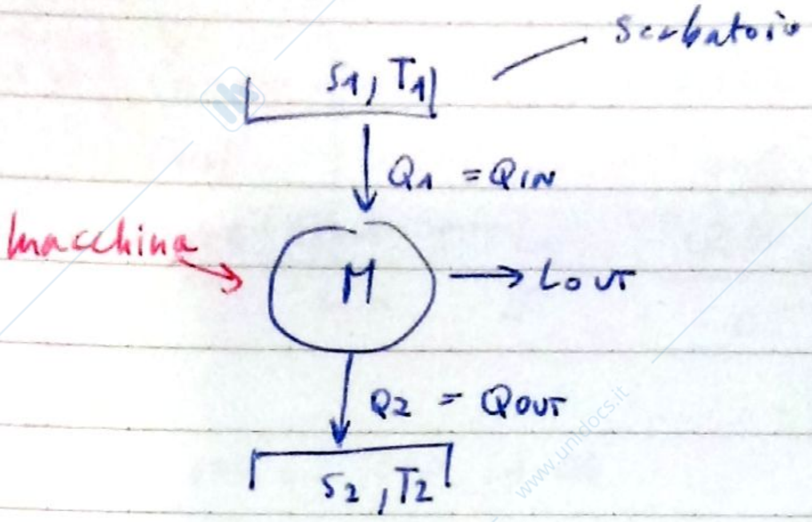
$$\eta_T = 0{,}84 \rightarrow 84\ \%$$

es. Motori idealizzati di aereo



Macchine

In generale è come si avessimo



$$Q_1 = Q_2 + L_{OUT} + \cancel{\Delta E_M} = 0 \rightarrow$$ se stazionario (ossia la macchina non cambia)

N.B. $\cancel{\Delta Q}$ → non è funzione di stato

$$\Delta S_{TOT} = \Delta S_{S1} + \Delta S_{S2} + \cancel{\Delta S_{SL}} + \cancel{\Delta S_M} \rightarrow$$ la macchina non cambia

ΔS_{SL} ↓ serbatoio di lavoro

↓ entropia funzione di stato

vogliamo

$\Delta S_{TOT} = 0 \rightarrow$ macchina ideale

$$\Delta S_{S1} = -\frac{Q_1}{T_1} \qquad \Delta S_{S2} = \frac{Q_2}{T_2}$$ in kelvin

$$-\frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} = 0 \qquad \frac{Q_1}{T_1} = \frac{Q_2}{T_2}$$

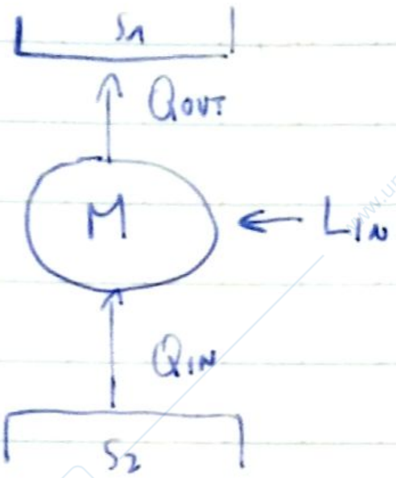
$$\eta_{ID} = \frac{L}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

es. "Vari casi"

		comb. con parete di metallo	solare
T_1	2000 ← combustione	1000	400
T_2	300 ← ambiente	300	300
η_{ID}	85%	70%	25%
IPdT $< \eta_{ID}$ ← η_{RE}			

$$\frac{\eta_{RE}}{\eta_{ID}} = \eta_{II}$$

Macchina frigorifera



Lo scopo è raffreddare (Q_{IN}) usando L_{IN}

Vogliamo trovare il coefficiente di prestazione COP_{FR} (in inglese $C.O.P_{FR}$)

$$COP_{FR} = \frac{Q_{IN}}{L_{IN}} \overset{\text{se ideale}}{=} \frac{Q_{IN}}{Q_{OUT} - Q_{IN}} = \frac{T_{INF}}{\Delta T}$$

temperatura inferiore

Pompa di calore

Stessa macchina di prima

Lo scopo è scaldare (Q_{OUT}) usando L_{IN}

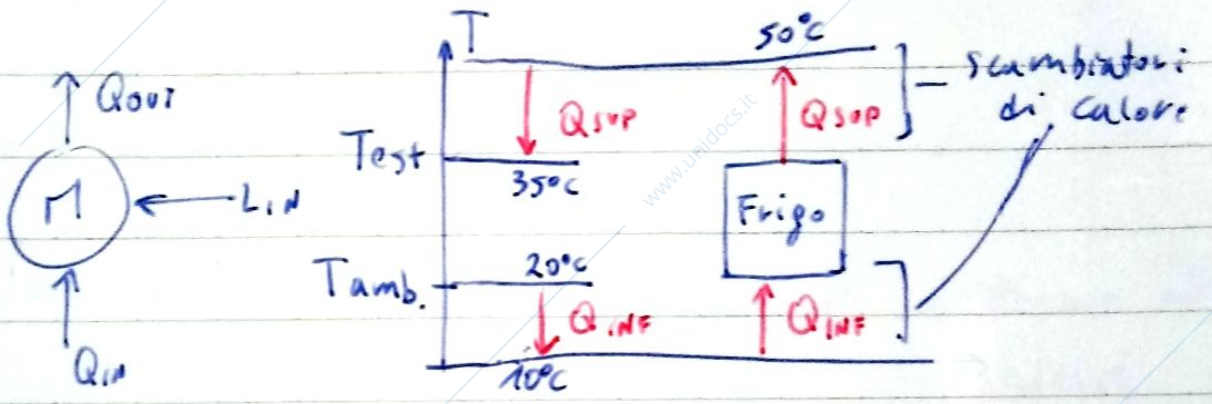
$$CDP_{P.C.} = \frac{Q_{OUT}}{L_{IN}} = \frac{T_{SUP}}{\Delta T} = \frac{T_{INF} + \Delta T}{\Delta T} = CDP_{FR} + 1$$

Oss Questi sono CDP ideali

nella realtà

es

→ Condizionatore



Frigo ideale: $CDP_{ID} = \frac{T_{INF}}{\Delta T} = \frac{293}{15} = 19{,}5$

ciclo ideale + scamb. reali → $CDP_{ID+SC} = \frac{283}{40} \simeq 7$

scamb. di cal.

$CDP_{RE} = 3 \text{ o } 4$ ← il ciclo non è ideale

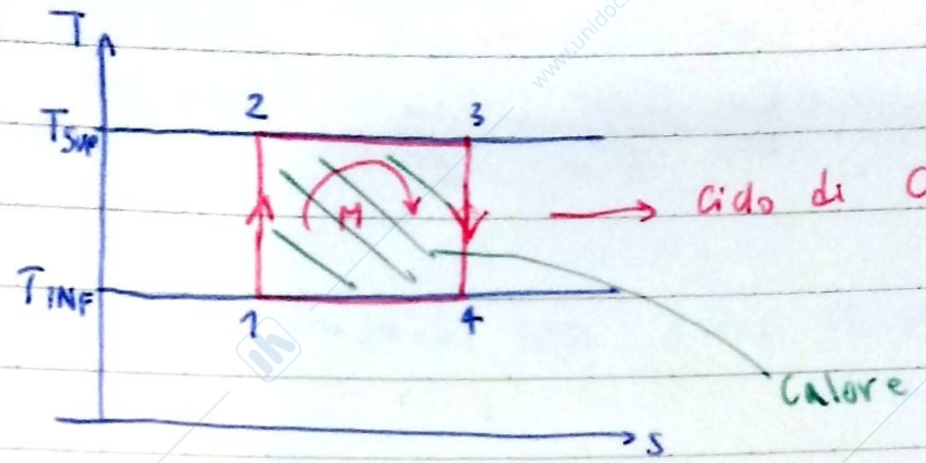
12

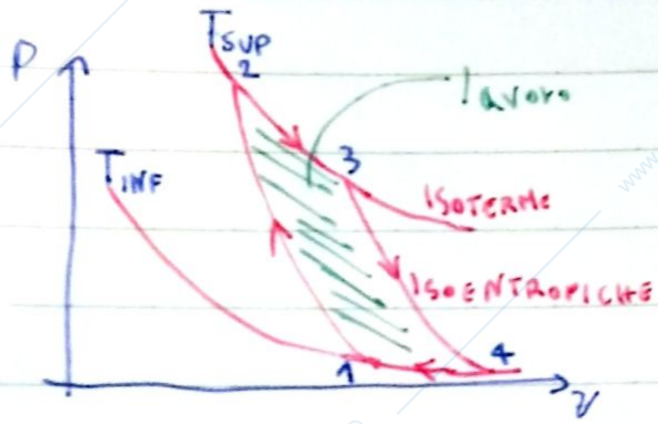
No. FISICA TECNICA

Date 14 · 11 · 19

Ciclo di Carnot

Scambia calore tra temperature fisse





La macchina di Carnot ha il rendimento massimo possibile.