



appunti
www.centroappunti.it

Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino

Appunti universitari

Tesi di laurea

Cartoleria e cancelleria

Stampa file e fotocopie

Print on demand

Rilegature

NUMERO : 259

DATA : 05/03/2012

A P P U N T I

STUDENTE : Grand Blanc

MATERIA : Termodinamica Applicata - Trasmissione del Calore

Prof. Verda

Il presente lavoro nasce dall'impegno dell'autore ed è distribuito in accordo con il Centro Appunti. Tutti i diritti sono riservati. È vietata qualsiasi riproduzione, copia totale o parziale, dei contenuti inseriti nel presente volume, ivi inclusa la memorizzazione, rielaborazione, diffusione o distribuzione dei contenuti stessi mediante qualunque supporto magnetico o cartaceo, piattaforma tecnologica o rete telematica, senza previa autorizzazione scritta dell'autore.

ATTENZIONE: QUESTI APPUNTI SONO FATTI DA STUDENTI E NON SONO STATI VISIONATI DAL DOCENTE.
IL NOME DEL PROFESSORE, SERVE SOLO PER IDENTIFICARE IL CORSO.

Termodinamica Applicata

IPOTESI CARDINALE

Materie \rightarrow modello continuo

no pieni & vuoti,
trattazione microscopica,
forze gravitazionali...

Definizioni

ENERGIA

- proprietà delle materie
 - grandezza di scommisura
- | posso associare a una qt di materia un'energia

CORPO

"Quantità finite di materia sulle quale è possibile eseguire delle misure"

SISTEMA

insieme di corpi oggetto di studio

} UNIVERSO

AMBIENTE ESTERNO

Tutto ciò che sta al di fuori del sistema

VOLUME DI CONTROLLO

Volume occupato dal sistema, delimitato da una superficie reale o immaginaria che separa il sistema dall'ambiente esterno, denominata superficie di controllo

Grandezze

estensive \rightarrow dipendenze delle qt di mese

intensive \rightarrow non N

specifiche \rightarrow p. extensive / messe

Stato di un sistema

Caratterizza un sistema dividendo in numeri minimi gli variabili indipendenti

$$\vec{x}(t) = \begin{pmatrix} x_1(t) \\ \vdots \\ x_n(t) \end{pmatrix}$$

Spazio degli stati

Le N coordinate fissaolitiche

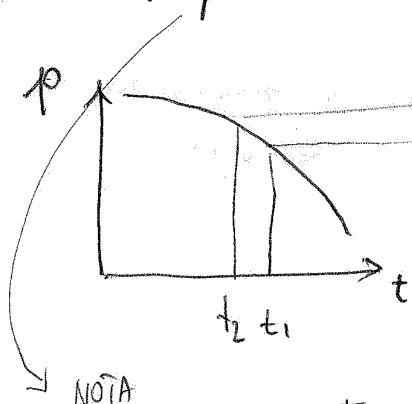
N possono interpretare come le coordinate
di un punto a N dimensioni.

NOTA \rightarrow la rappresentazione non fornisce informazioni sul tempo di reazione.

PROCESSO & TRASFORMAZIONE

\rightarrow evoluzione di una
variabile nel
tempo

\rightarrow progressione del processo
nello spazio degli stati

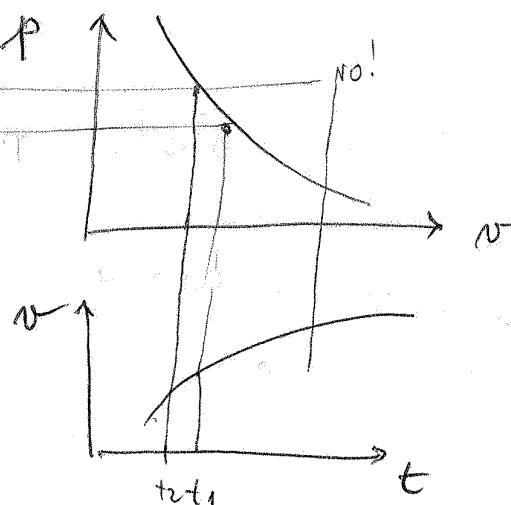


NOTA

Processo composto

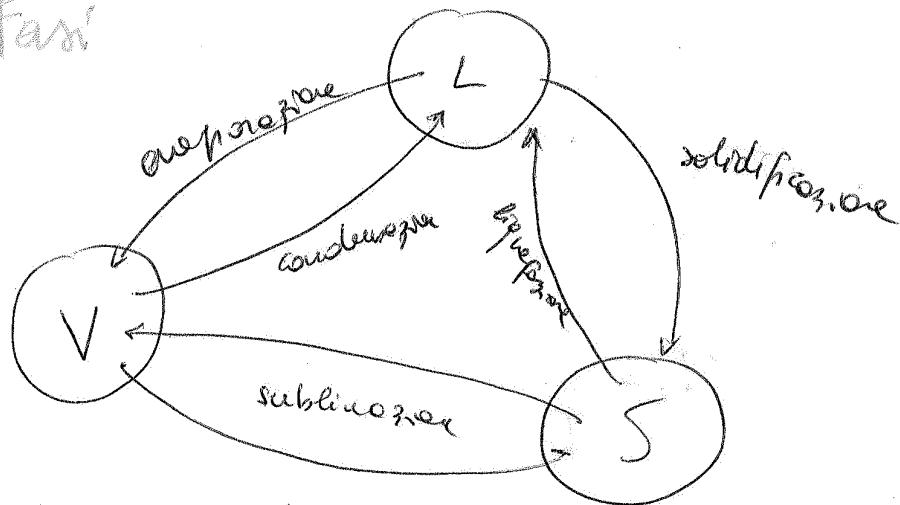
successione temporale di sottoprocesi

$P_{tot} = P_{int} \cdot 1$ ciclico se ...

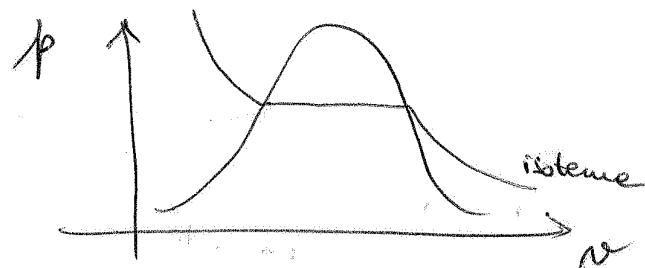


3 -

Fasi



Curva di Andrews



Gas, equazioni

$$P \cdot V = n R T$$

gas ideale

oppure

$$P \cdot v = R^* T$$

con $R^* = R / M_M$ (mole
molare)

Condizioni solidificazione elettronegatività

→ no interazioni molecole

→ no contrapposi sul sole delle molecole

→ no contrapposi sul sole delle molecole

Van der Waals

$$\Rightarrow \left(P + \frac{a}{v^2} \right) (v - b) = R^* \cdot T$$

> pressione
interna

→ costante

Princípio Zero della Termodinamica

"Se due corpi sono in equilibrio termico assieme con un terzo corpo, allora sono in equilibrio termico fra loro."

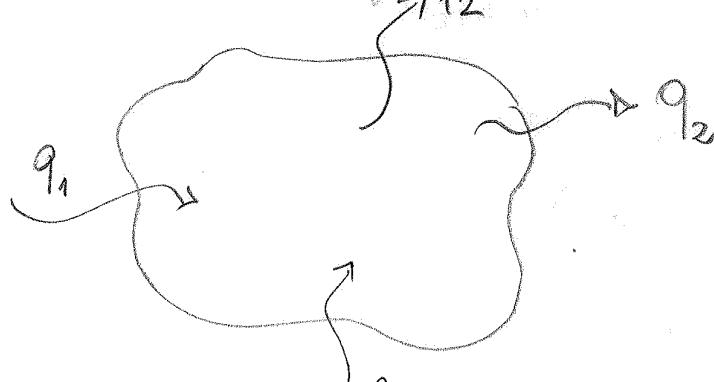
Calore (Def.)

"Energie scambiata fra due corpi fra cui esiste un diseguale tenore"

$$\Phi = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{Q(P(\Delta t))}{\Delta t} \quad [W \text{ o } J/s]$$

flusso termico

Convenzione dei segni



Calore

- + positivo \rightarrow fornito da ~~esterno~~ a ~~interno~~ q_1
- negativo \rightarrow ν da ~~interno~~ a ~~esterno~~ q_2

Lavoro

- + positivo \rightarrow lavoro del ~~interno~~ su ~~esterno~~ l_2
- negativo \rightarrow ν subito dall'~~interno~~ sull'~~esterno~~ l_1

Equazione conservazione
Teorema lavoro - Teorema Anelli

$$L_{\text{es}} + L_i = \Delta E_c$$

Ore	L_{sp}	spostamento (legato entrate uscite fluido nel sistema)
$\underline{\text{SE}}$	L_d	deformazione
	L_t	termico

$+ L_d^d = +\Delta E_p$ T. lavoro-
energia potenziale

$$L_d = \int P d \cdot A \cdot dx = \int P d \cdot dV \quad L_i = \int p dV - \underbrace{L_{\text{ai}}}_{\text{attriti interni}}$$

$$\Rightarrow -W_t - \underbrace{W_d}_{=0} - W_{\text{sp}} + W_i = \frac{d E_c}{dt} + \frac{d E_p}{dt}$$

$\text{G} \frac{d(pv)}{dt}$

Sistemi chiusi ($W_{\text{sp}} = 0$)

$$-W_t + \int \frac{p dV}{dt} - W_{\text{ai}} = \left[\frac{d(E_c + E_p)}{dt} \right]_{\text{vc}} + \sum_i G_i (\Delta e_c + \Delta e_p) = 0$$

In regime stazionario, considerando nullo

$$L_t = - \int p dV$$

Sistemi aperti

$$L_t = \int v dp$$

Ces stesse

$$C_V = C_V(T) \Rightarrow q_p(T) = R^* + C_V(T)$$

$$\begin{cases} \partial v = p \\ \partial p = -v \end{cases}$$

Trasformazione

Adattamenti

$$q_{int} = \emptyset \rightarrow \begin{cases} -v dp + q_p dT = \emptyset \\ pdv + C_V dT = \emptyset \end{cases}$$

con $\frac{C_p}{C_V} = \gamma$

\Rightarrow press cost

$T \cdot v^{x-1}$ cost

$p T^{\frac{n}{1-x}}$ cost

I sottratti

T cost \Rightarrow pr cost

$$q = -f_t$$

I principio termodinamico

$$\underline{\Phi} - W_t = \left(\frac{\partial U^t}{\partial t} \right)_{rc} + \sum_i a_i h^t$$

dove $U^t = U + e_c + e_p$

$$h^t = h + e_c + e_p$$

System chiuso

$$\sum_i a_i h^t = \emptyset$$

- Regime stazionario

$$\left(\frac{\partial U^t}{\partial t} \right)_{rc} = \emptyset$$

II Principio Termodinamico

$\int \frac{\Phi dt}{T} \leq 0$

$\left| \begin{array}{l} = 0 \text{ reversibile} \\ > 0 \text{ irreversibile} \end{array} \right.$

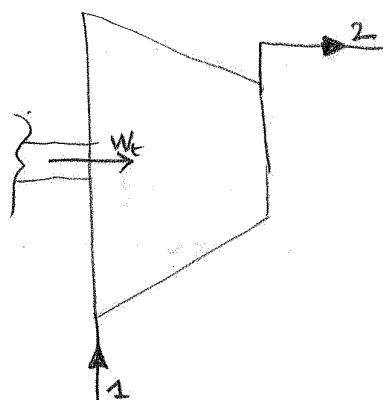
se $= 0 \forall$ funz. calore $\rightarrow \frac{\Phi dt}{T}$ funzione di stato!

$$\int \frac{\Phi dt}{T} \leq \Delta S$$

$$\frac{\Phi}{T} + \sum_i \xi_i = \frac{dS}{dt} = \left(\frac{\partial S}{\partial t} \right)_{rc} + \sum_i a_i s_i$$

$\rightarrow = 0$ se reversibile

Affluito



$$\text{I.p.t.} \quad \cancel{\dot{W}_t = \left(\frac{\partial U^t}{\partial t} \right)_{rc}}^= 0 + \sum_i c_i h_i^t \quad d(e_0) \approx d(ep) \approx 0$$

$$- W_t = G (h_2 - h_1)$$

$$\Rightarrow - l_t = (h_2 - h_1)$$

T. l-ean x sist aperti

$$- l_t - f \nu dp - bai = 0$$

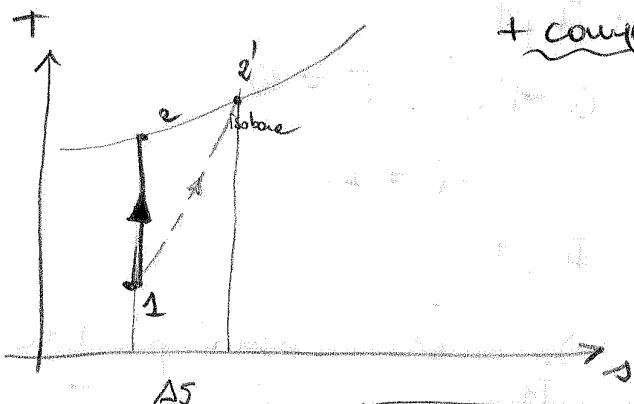
$$- l_t = \int \nu dp + bai \quad | = \int \nu dp$$

\Rightarrow A parità di l_t quindi,

$v' > v$ (con v' valore specifico nel caso senza effetto)

+ compenso a parità di p

\rightarrow quindi con effetto, è parità di v che $T' < T$



$$\Rightarrow \sum_i = G (s_2' - s_1)$$

Nel caso con effetto

Rend. isentropico compiuta

$$\eta_{ts,c} = \frac{|l_{t, \text{ideale}}|}{|l_{t, \text{reale}}|} = \frac{(h_{2r} - h_1)}{(h_2 - h_1)}$$

De ricordare

1) $dV = \beta \cdot V \cdot dT - R_T V dp$

con $\beta = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P$

$R_T = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial P} \right)_T$

2) ADIABATTICA

$q = 0$

per cui $\delta V dV + C_V dT = \delta p dP + C_P dT$

con $\begin{cases} C_V + R^* = C_P & \text{Relazione [1]} \\ pV = R^* T & \text{H_p per ideale} \end{cases}$

ricordando che $\delta V = P$
 $\delta p = -V$

$pV^\gamma = \text{cost}$

$p \cdot T^{\frac{1}{1-\gamma}} = \text{cost}$ (ole air)

$\ell = - \int p dV \quad o \quad \ell = \int V dp$

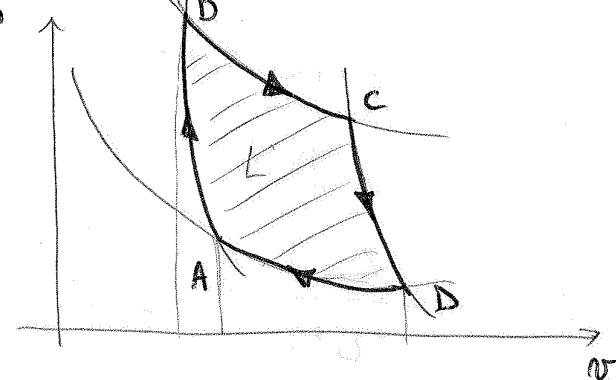
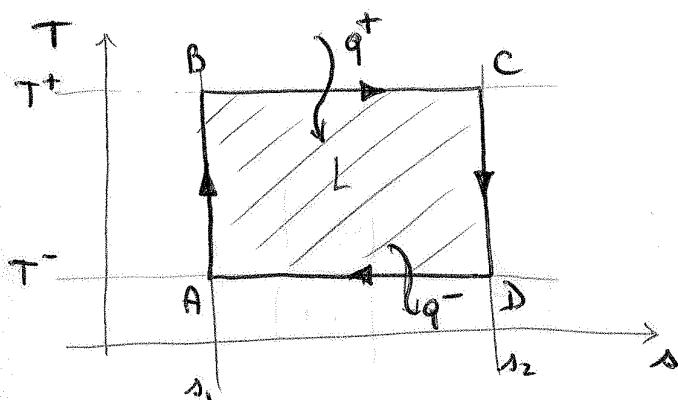
I SOTERMA

$T \text{ cost}$

$q + \ell = 0 \quad (\Delta Q = 0 \quad \Delta T = 0)$

Ciclo di CARNOT

(Emane teorico)



- 1- Compressione reversibile (s costante) adiabatica
- 2- Aumento di calore isoterma (T cost)
- 3- Espansione
- 4- Cessione calore isoterma

Lavori svolgenti

$$\delta = |q^+| - |q^-|$$

$$\text{ove, } q \int \frac{pdv}{T} = \Delta s \quad \text{II princ. Termo.}$$

$$\text{per cui } \frac{q}{T} = \Delta s \quad q = T \cdot \Delta s$$

δ = area sottesa nel ciclo ($T-s$)

me anche

$$\delta = \int pdv = \int_B^C + \int_C^D - \int_D^A - \int_A^B = \text{area sottesa nel} \\ \text{ciclo ($p-v$)}$$

rispondente

Ipotesi sui cicli

- Gas ideale \rightarrow ARIA STANDARD

$$\Rightarrow \boxed{Pv = R^* T}$$

- C_p, C_v costanti

Ciclo termodinamico chiuso

(conservazione delle masse, dell'energia)

$$\Rightarrow \boxed{l_t = l_i}$$

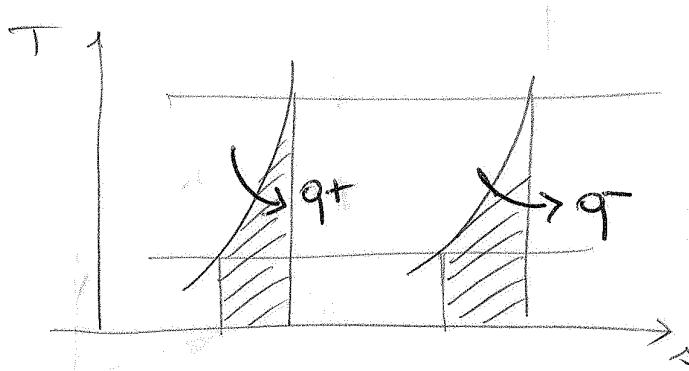
- Operazioni di combustione = calore fornito

(no miscela, distribuzione del combustibile...)

- Fase espansione gas caldi, immischi gas freddi

\rightarrow combusterà come un raffreddamento degli stessi.

Questo ci fa diventare interessante del momento
che



le aree sotto le sono uguali e pari a $\alpha(T^+ + T^-)$ in modulo.

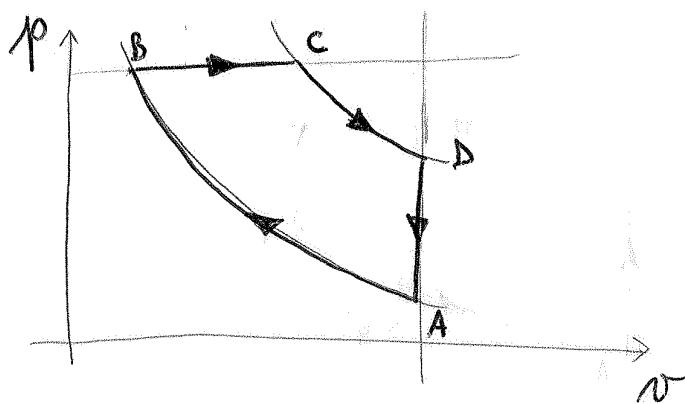
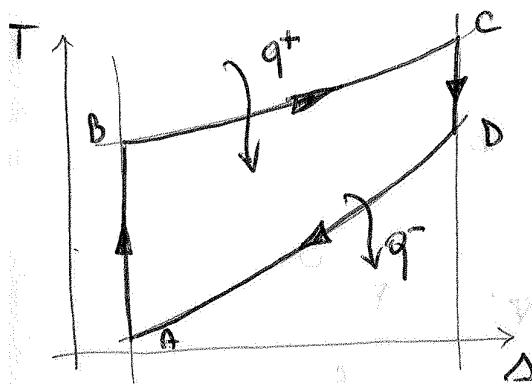
=> Posso pensare di utilizzare il colore ceduto per effettuare il successivo filtro.

Se questo è fatto, allora l'efficienza diventa

$$\epsilon = 1 - \frac{T_B(S_B - S_A)}{T_B(S_C - S_B)} =$$

$$\boxed{\epsilon = 1 - \frac{T^-}{T^+}}$$

Ciclo DIESEL



- 1- Compressione adiabatica
- 2- Assorbimento isobaro
- 3- Espansione adiabatica
- 4- Cambio isocore

$$\xrightarrow{\text{Isobare}} T = T_0 e^{\frac{45}{C_p}}$$

$$\xrightarrow{\text{Isocore}} T = T_0 e^{\frac{45}{C_v}}$$

Le penalze delle isobare
è minore delle penalze
delle isocore nei diagrammi
T-s.

(legato al $C_p > C_v$)

Risoluzione

$$\eta = 1 - \frac{q^-}{q^+} = 1 - \frac{C_v(T_B - T_A)}{C_p(T_C - T_B)} =$$

$$= 1 - \frac{1}{\gamma} \frac{T_A (T_B/T_A - 1)}{T_B (T_C/T_B - 1)}$$

vorremo che $\frac{T_A}{T_B} = \frac{1}{f^{\gamma-1}}$

ora

$$\frac{T_D}{T_A} = \frac{T_D}{T_C} \cdot \frac{T_C}{T_B} \cdot \frac{T_B}{T_A}, \text{ per cui diventa}$$

$$\frac{T_D}{T_A} = \left(\frac{V_C}{V_D} \right)^{\gamma-1} \cdot \left(\frac{V_C}{V_B} \right) \cdot \frac{1}{f^{\gamma-1}} =$$

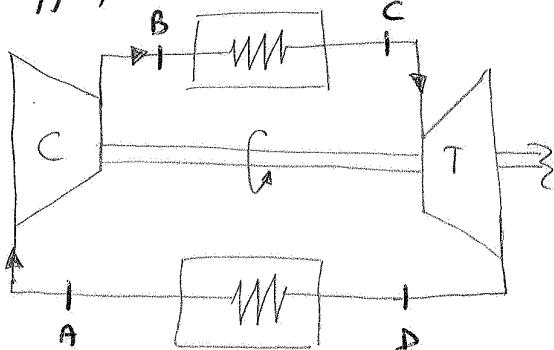
$$= \left(\frac{V_C}{V_B} \right)^{\gamma-1} \cdot \left(\frac{V_B}{V_D} \right)^{\gamma-1} \cdot \left(\frac{V_C}{V_B} \right) \cdot \frac{1}{f^{\gamma-1}}$$

$$= \left(\frac{V_C}{V_B} \right)^\gamma$$

note

Se $T_D > T_A$, ovvero il colore è ceduto ad una temperatura maggiore di quella ambiente, significa che è possibile recuperare quel colore
 → COGENERAZIONE.

Stilizzazione del circuito



caso rispondente al circuito (vediamo solo le variazioni di colore)

es- cinetica allo scambio di colore ($B \rightarrow C$) per ottenere

$$h_t^{(0)} + \int v dp + h_a^{(0)} + \Delta \epsilon + \Delta \epsilon p = 0$$

caso ideal reg cost

$$\int v dp = 0 \Rightarrow p \text{ cost} \text{ isobare}$$

$$\eta = 1 - \frac{1}{\beta^{\frac{n-1}{\gamma-1}}}$$

one,

$$\ln = \ln q^+ - \ln q^- = c_p \left[(T_c - T_b) - (T_d - T_a) \right]$$

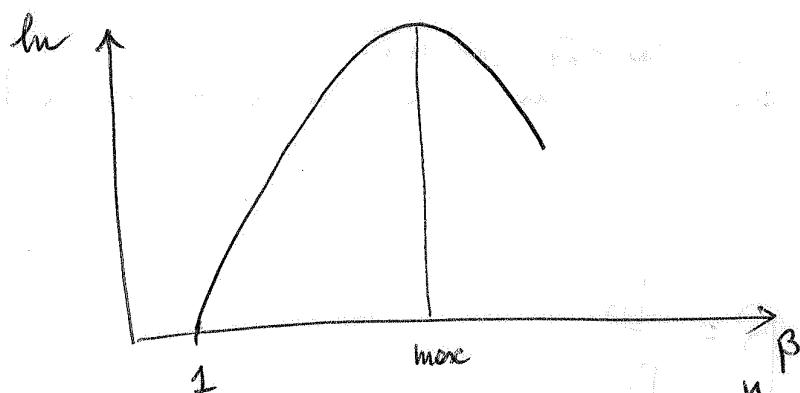
per cui

$$\frac{\ln}{c_p} = T_c \left(1 - \frac{T_d}{T_c} \right) - T_a \left(\frac{T_b}{T_a} - 1 \right)$$

infine

$$\frac{\ln}{c_p} = T_{max} \left(1 - \frac{1}{\beta^{\frac{n-1}{\gamma-1}}} \right) - T_{min} \left(\beta^{\frac{n-1}{\gamma-1}} - 1 \right)$$

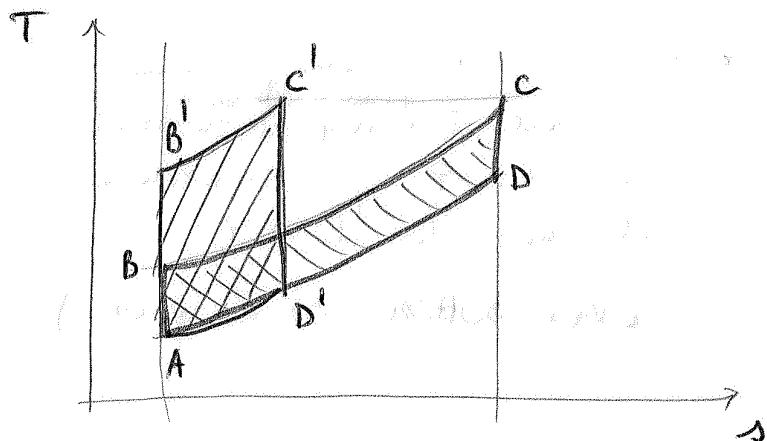
\ln dipende da T_{max} , T_{min} , β



$$\beta(T_{max}) = \left(\frac{T_{max}}{T_{min}} \right)^{\frac{n}{2(\gamma-1)}}$$

non occorre avere β troppo elevato
 Co rendimenti megiori ma potenze x uniti
 oh non v'è!

A quota di T_{max} , T_{min} cosa succede quindi



- se $T_{D'} > T_B'$, impossibile applicare le riduzioni (con limite $T_{D'} = T_B'$)
- si noti che generatore $L'_n > L_n$

Per cui

⇒ turbine e presele potenze
ciclo surrisc

⇒ piccole centrali ($\sim 10^2$ kW)
ciclo TOLL-RIENERGATIVO

RAPPORTO ISENTROPICO DI COMPRESSIONE

$$\eta_{is,c} = \frac{[l_c]_{\text{ideale}}}{[l_c]_{\text{reale}}} = \frac{T_{B_{in}}^{\frac{1}{\gamma}-1} - T_A}{T_{B_{in}}^{\frac{1}{\gamma}} - T_A}$$

caso generico

$$l_{T \text{ ideale}} > l_{T \text{ reale}}$$

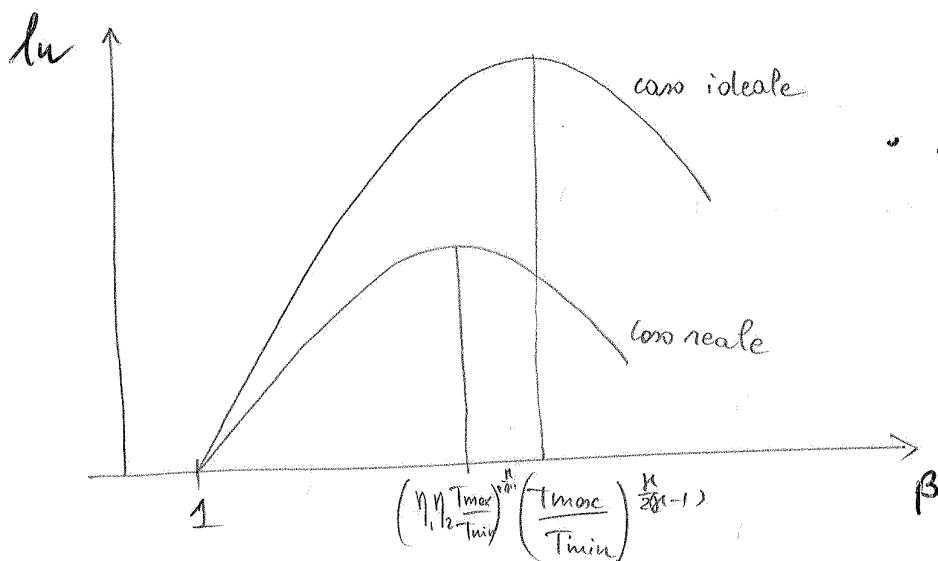
RAPPORTO ISENTROPICO DI ESPANSIONE

$$\eta_{is,T} = \frac{[l_T]_{\text{reale}}}{[l_T]_{\text{ideale}}} = \frac{T_D_{in} - T_C}{T_D_{in}^{\frac{1}{\gamma}} - T_C}$$

Volumi minimizzati il \ln ,

$$\ln = -C_p(T_{D_{in}}^{\frac{1}{\gamma}} - T_A) + C_p(T_C - T_{B_{in}}),$$

$$\beta(\ln_{\text{min}}) = \left(\eta_{is,c} \cdot \eta_{is,T} \cdot \frac{T_{\text{max}}}{T_{\text{min}}} \right)^{\frac{1}{\gamma(\gamma-1)}}$$



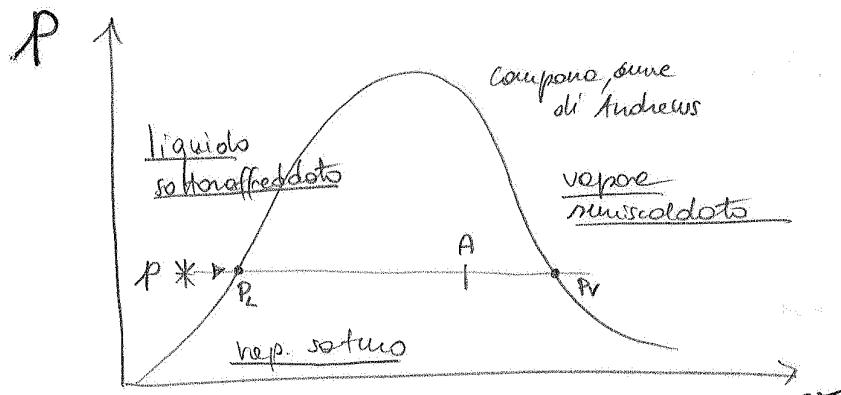
- il lavoroneutto diminuisce nel caso reale, tuttavia $\beta / \ln \rightarrow \ln_{\text{min}}$ diminuisce !

Fase Vapor Satura?

Definisco

TITOLO

$$x_c = \frac{M_{\text{vapore}}}{M_{\text{vapore}} + M_{\text{liquido}}}$$



Mole

sotto le curve di Andrews, p cost
corrisponde T cost

P_L punto liquido
contiene tutte le info
nel liquido alle date
preziosa e tempesta, h.s
soltanto P_v .

$$n_A = \frac{M_p \cdot V_e + M_v \cdot V_r}{M_p + M_v} = x_c \cdot V_r + (1-x_c) V_e$$

le formule sopra vale per volume specifici, entalpie,
entalpi, tutte le funzioni di stato.

\Rightarrow è fondamentale punti per descrivere lo stato
in A conoscere il titolo x_c e i valori
interventisti di P_L e P_r .

\Leftrightarrow poiché non hanno ne una
curva, le relazioni indipendenti
si riducono a 1 sola.

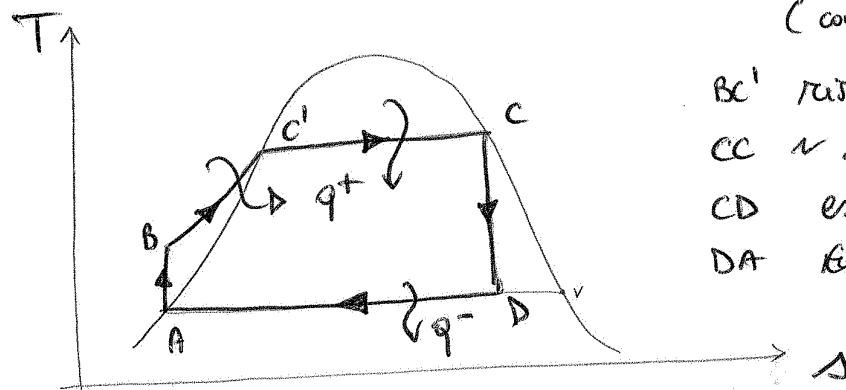
↓

se mi trovo nel campo del vapore suriscaldato, posso
anche pensare di utilizzare le eq. di gas reale,
ma molto difficilmente in
in genere, ricorre a

Tabelle

Dati pressioni (ad esempio da Mollier h-s)

Ciclo RANKINE



- AB Pompe di accoglienza
(comprensione adiabatica)
- BC' riscaldamento isobare
- CC ~ ~ (ma anche isoterma)
- CD espansione isochorica
- DA completa condensazione

note sulle pompe di accoglienza



pompe di accoglienza

\neq comprensione $\rightarrow \Delta s$

- p.c. comporta una variazione di volume molto ridotto

$v \approx \text{cost}$

(riconoscimento spazio poco)

noto

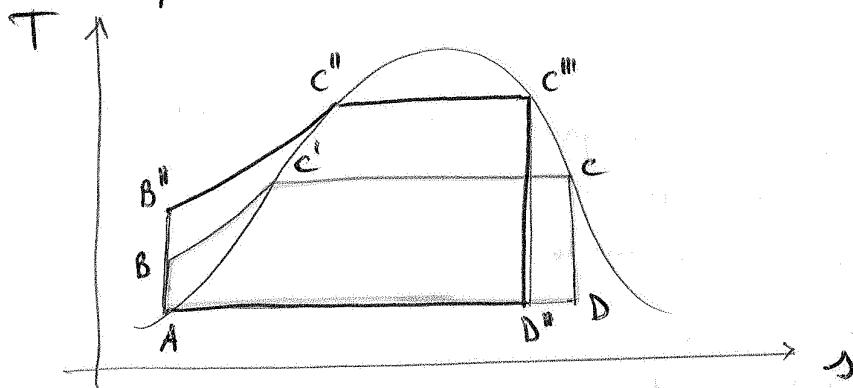
Essendo il fluido liquido, le contrazioni
sarebbero fuori, non più all'interno del ciclo
 \rightarrow ACCIAIO

Come usare il tablo XD

$$\text{Dalle relazione } s_D = s_A x_D + (1-x_D) s_v,$$

- conosco $s_D = s_c$
- $\approx s_v$ (da tabella, note le temperature)
- $\approx s_A$

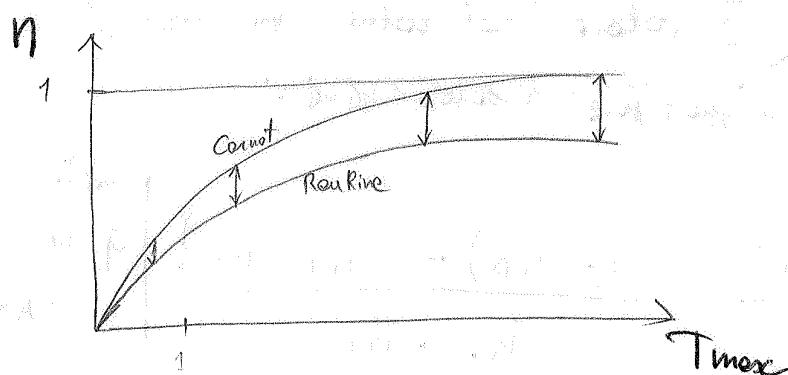
• Posso punzare di aumentare T_{max}

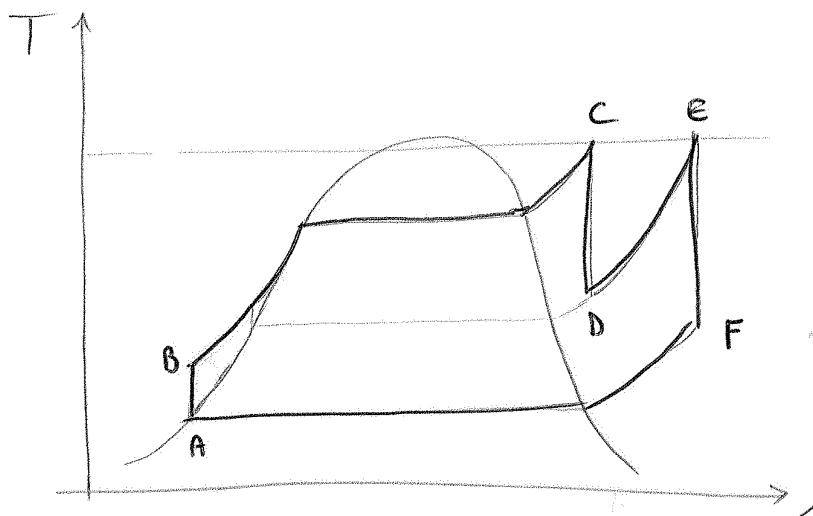


il rendimento η aumenta, tuttavia si discute su se
di più del ciclo R di Carnot corrispondente

(avendo l'impiego del moto $B''C''$)

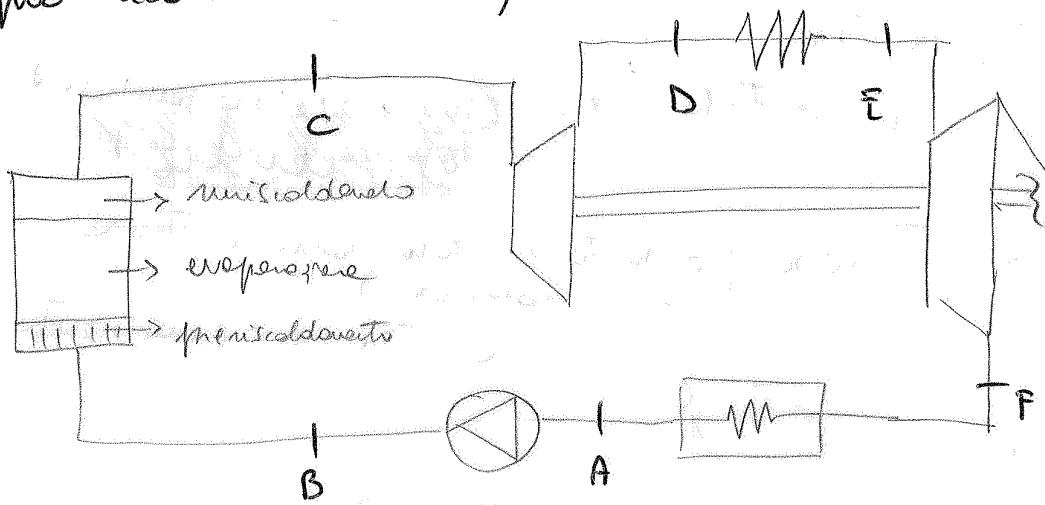
e inoltre $x_{D''} < x_D$, deve essere accettabile





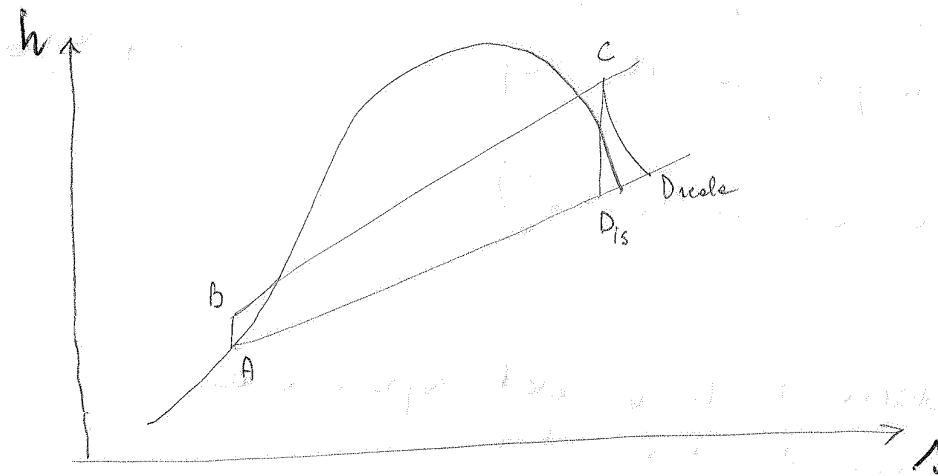
L'chiedere... T.

Per aumentare il lavoro teorico disponibile (area) si può trovare e soluzioni del tipo $\uparrow \downarrow$.



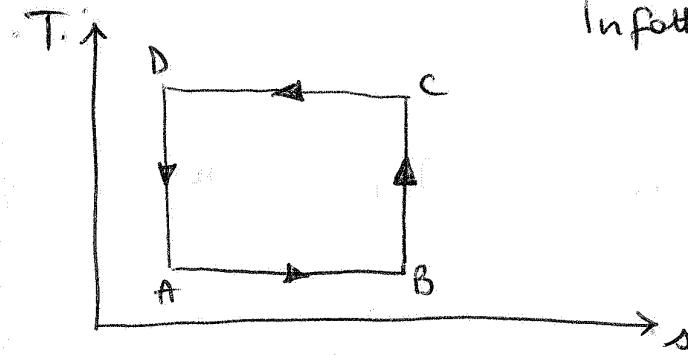
• riscaldaventano DE in corso miscolamento.

Mentre comunque l'ineluttabilità dell'espansione:



$$\eta = \frac{l_T}{l_{\text{Tideale}}} = \frac{hc - h_D}{hc - h_{D\text{ad}}(c, z)}$$

In fatto (ohm. note)



IPT

$$\frac{\Phi}{T} + \sum_i \frac{ds}{dt} = \frac{ds}{dt} \Rightarrow \int \frac{\Phi dt}{T} = \Delta S = 0$$

(D funzione di stato)

reversibile

$$\int_A^B \frac{\Phi dt}{T} + \int_C^D \frac{\Phi dt}{T} = 0$$

$$\frac{Q_{AB}}{T_A} + \frac{Q_{CD}}{T_C} = 0 \quad \text{ovvero}$$

$$|\frac{q^-}{T^-}| - |\frac{q^+}{T^+}| = 0 \quad [1]$$

(il calore q^+ viene ceduto)

Da [1], poiché $T^+ > T^-$

$$\Rightarrow |q^+| > |q^-|$$

Inoltre, ragionando sulle temperature:

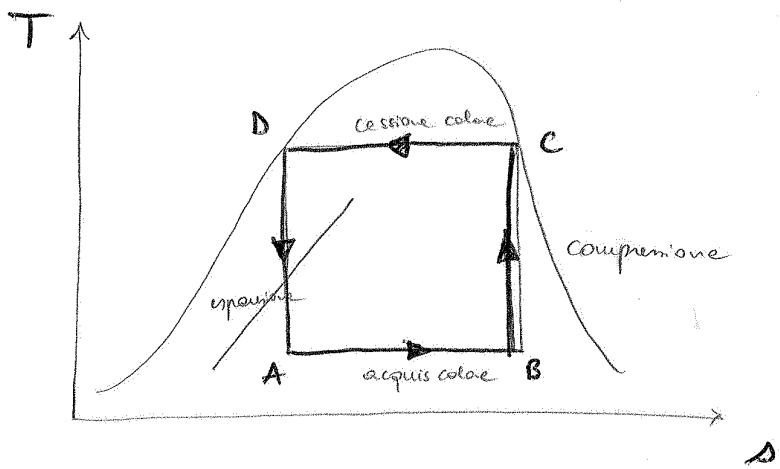
$$E_F = \frac{|\frac{q^-}{T^-}|}{|\frac{q^+}{T^+}|} = \frac{|\int_A^B T ds|}{|\int_C^D T ds| - |\int_A^B T ds|} = \frac{T_A \Delta S}{T_C \Delta S - T_A \Delta S} = \frac{T_{\min}}{T_{\max} - T_{\min}}$$

per cui

$$E_F = \frac{T_{\min}}{T_{\max} - T_{\min}}$$

$$E_P = \frac{T_{\max}}{T_{\max} - T_{\min}}$$

Cicli inversioni esoclasti e Vapore



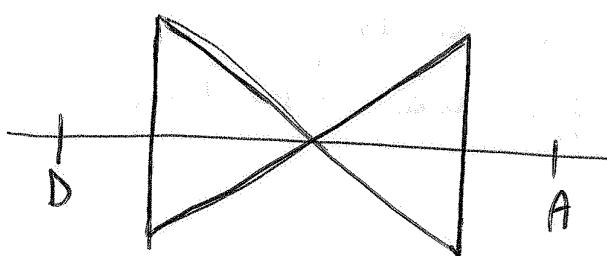
Problemi

- ① Fermare acquisizione calore = x_B
- ② Comprensione τ_0 - liqlo velenoso (cup fettile)
- ③ Espansione DA - e liqlo velenoso
 - fluido molto simile ad un liquido
 - $l_t = - \int v dp \approx - \bar{v} \Delta p$ molto preciso

\Rightarrow DA eliminato

Devo tuttavia ottenere una diminuzione di Tep

VALVOLA DI ESPANSIONE



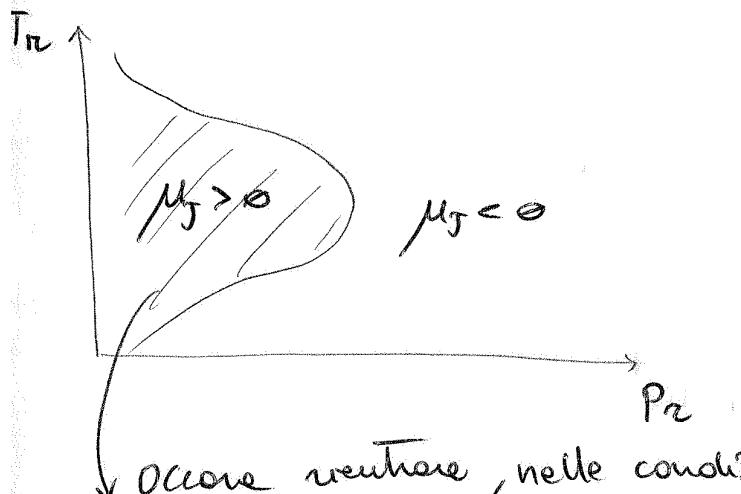
- struttura per far diminuire le p,
"secondo" che presta
caratteri che diminuiscono
di T.

~~per effetto espansione:~~

$$l_t + l_e + \int v dp + \cancel{\Delta e} + \cancel{\Delta p} = 0$$

$$l_e + \int v dp = 0$$

$$- l_t$$



$$\text{con} \quad T_2 = \frac{T}{T_c}$$

$$P_2 = \frac{P}{P_c}$$

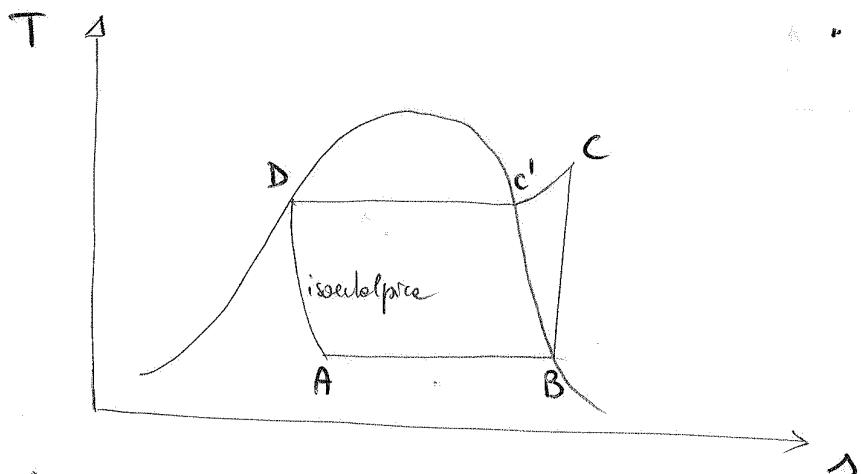
Occhio tenere, nelle condizioni operate, in queste aree.

Ora, il colore q^- è volato e cause dell'evento del halo

→ numero effettivo

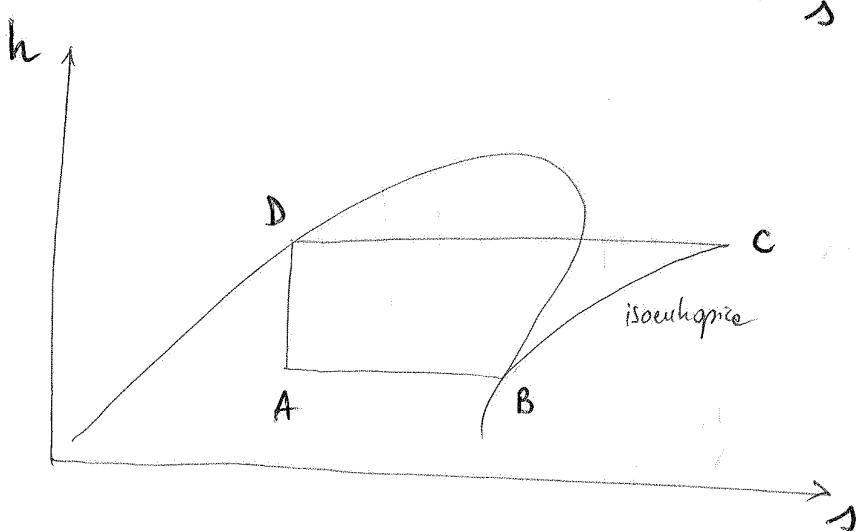
Dovei avere le partite e posso essere costante

Soluzione

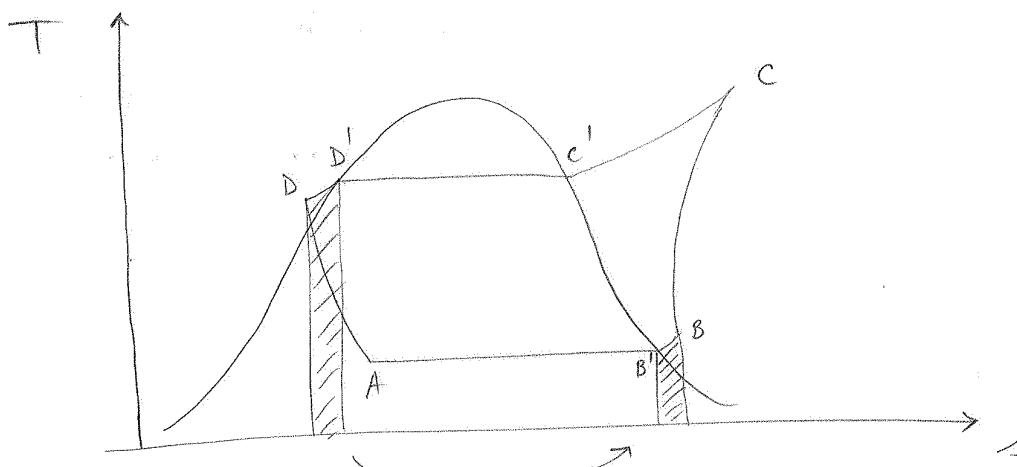


note
controllo halo x_B
mi genera
(fase e $x_B=1$)

↓
avvento di q^+
(e q^+)



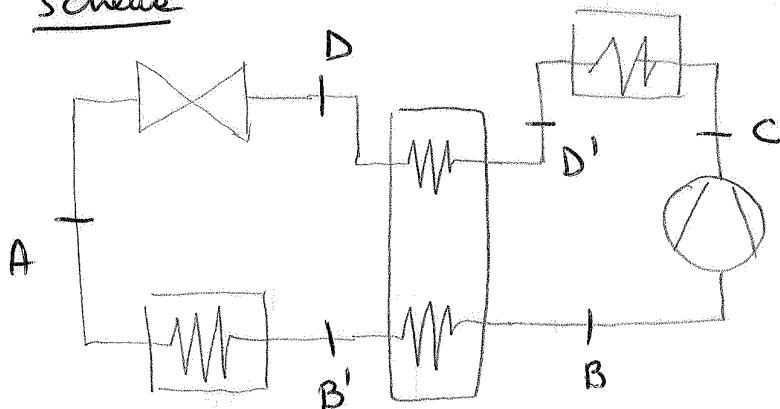
Per non perdere troppo in E ,
è possibile usare la rigenerazione



Utilizzare il calore ceduto da D e D' per scaldare il fluido da B' e B .

→ T_{in} e T_{ex} rimangono invariate (essere E in confronto al ciclo non-R)

schemi



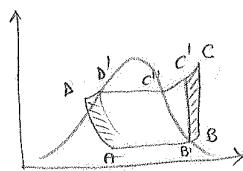
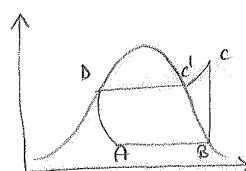
Note (di confronto)

- $l_T(BC) > l_T(B'C')$

la turbina veloce maggiore lavoro

- $q_{AB'}^-$ anzitutto $> q_{AB}^-$

la turbina fissa che il quantitativo è maggiore (turbina)



A questo punto, posso definire le
variabili di stato del gas-miscela in
funzione delle varie variabili dei gas-componenti e
delle loro frequenze (molee/molecole)

Es

$$h = X_A h_A + X_B h_B \quad \text{se } h, s \text{ sono espese}$$
$$\Delta = X_A \Delta_A + X_B \Delta_B \quad \text{in } \frac{\text{KJ}}{\text{Kmol}}, \frac{\text{KJ}}{\text{Kmol} \cdot \text{K}}$$

$$\tilde{h} = Y_A \tilde{h}_A + Y_B \tilde{h}_B \quad \text{se } \tilde{h} \text{ è espresa}$$
$$\text{in } \frac{\text{KJ}}{\text{Kmol}}$$

TIPOLOGIE DI IRREVERSIBILITÀ

- Attito;
- Scambi di calore fra fonti e temperature diverse;
- Esposizione libere gas;
- Miscelamento di componenti diversi
oltre

②

Definisco che grandezze

TITOLO

$$\alpha_c = \frac{M_{vapore}}{M_{aria secca}}$$

UMIDITÀ

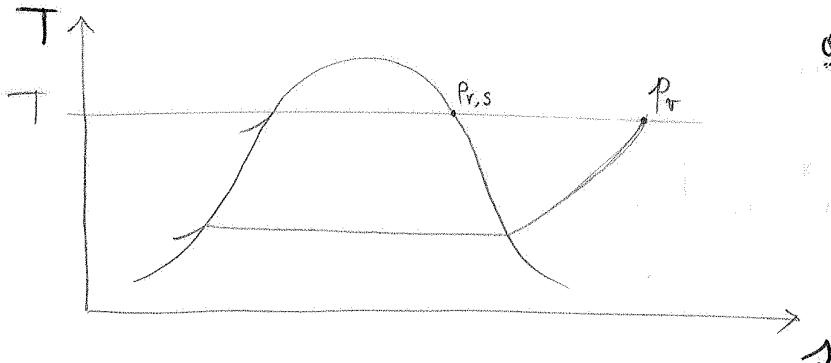
RELATIVA

$$\varphi = \frac{M_{vapore}}{M_{vapore, sature}} \quad \text{messe oh' vapore in condizione di saturazione}$$

fumetto

$$\varphi = \frac{P_{vapore}}{P_{vap, sat}}$$

$$pV = M R^x T \quad \text{con } T, R^x, V \text{ costanti}$$



Diagramma

note $\rightarrow P_{vap,s}$ si trova sulle curva

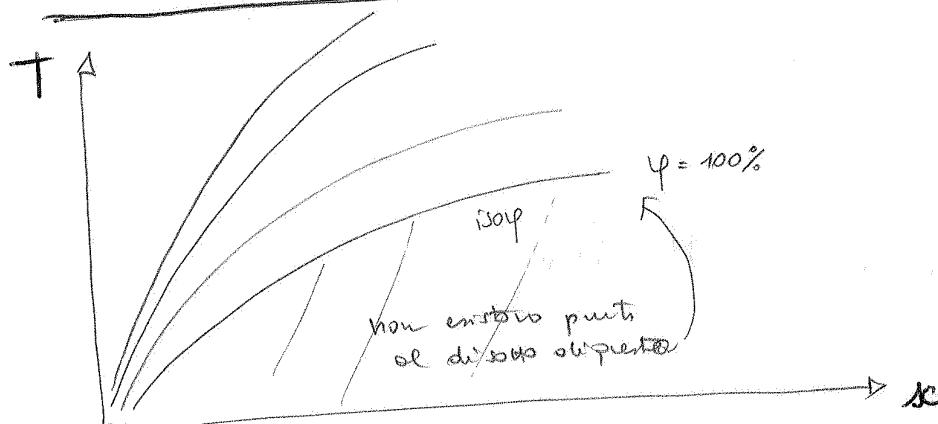
coso



Anre umde

Strumento fondamentale:

DIAGRAMMA DI MOULIER

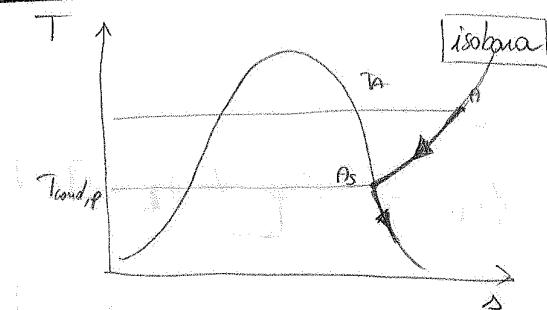
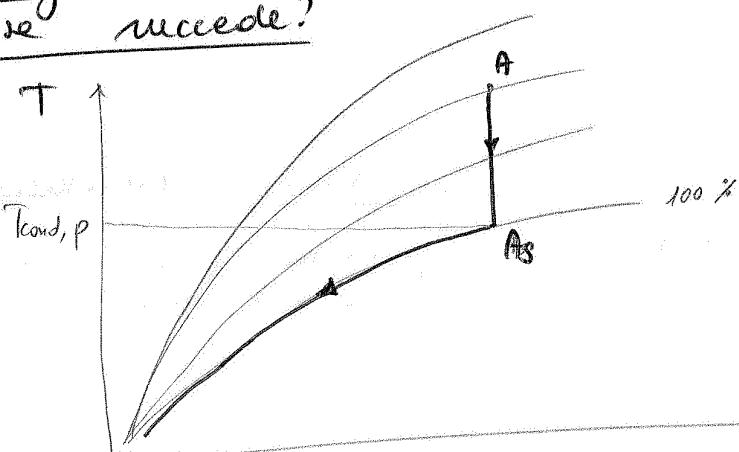


Note

isofene non perfetta
azotante

CO non
solubile

- Se voglio diminuire progressivamente le temperature, cosa succede?

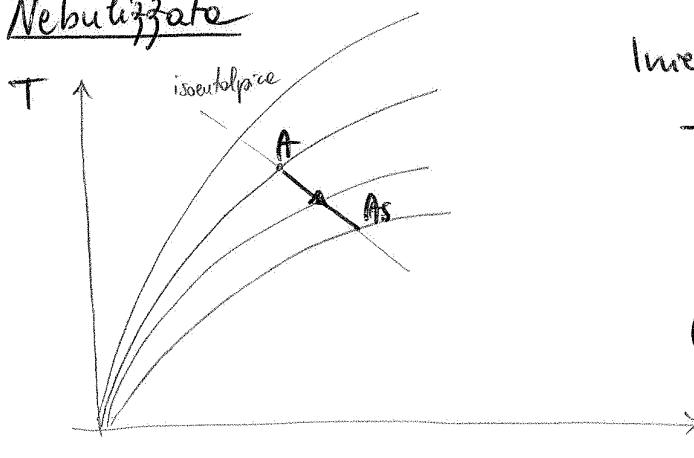


Il T_{cond} rimane costante fino alle temperature di condensazione (e p costante \rightarrow sobra) fino $T_{cond, p}$

\Rightarrow A quel punto, se T diminuisce ancora, diminuisce anche il T_{cond} (cause che le condensano)

acque

l Nebulizzate



Inietta acque nebulizzate

\rightarrow evaporare (può calore latente)

diminuzione delle T

(l'entropia è costante, fredda e contributo Marqu-Hip è nullo)

Per cui

$$\left\{ \begin{array}{l} \Phi = -G_v h_v - G_e h_I + G_e h_{AI} \\ G_a x_I + G_v - G_e x_{AI} = 0 \end{array} \right.$$

Se i segni negativi?
se il calore è entrante, positivo
bilancio energetico
PORTATA

Dal quale ottengono

$$\frac{\Phi}{G_v} + h_v = \frac{(h_{AI} - h_I)}{(x_{AI} - x_I)}$$

RETTA AMBIENTE

\rightarrow Soddisfa i

bilanci

note

- AI è determinato \rightarrow il punto

$$AI = B$$

\parallel le risposte dipendono solo
su x_I e h_I (condizioni volute)

Come determinare x_{I} ? \Rightarrow

- ΔT più piccolo possibile \rightarrow confort (no shif: grandi
variazioni e ambiente)
- minor spese energetiche

note

più avanti x_I e AI

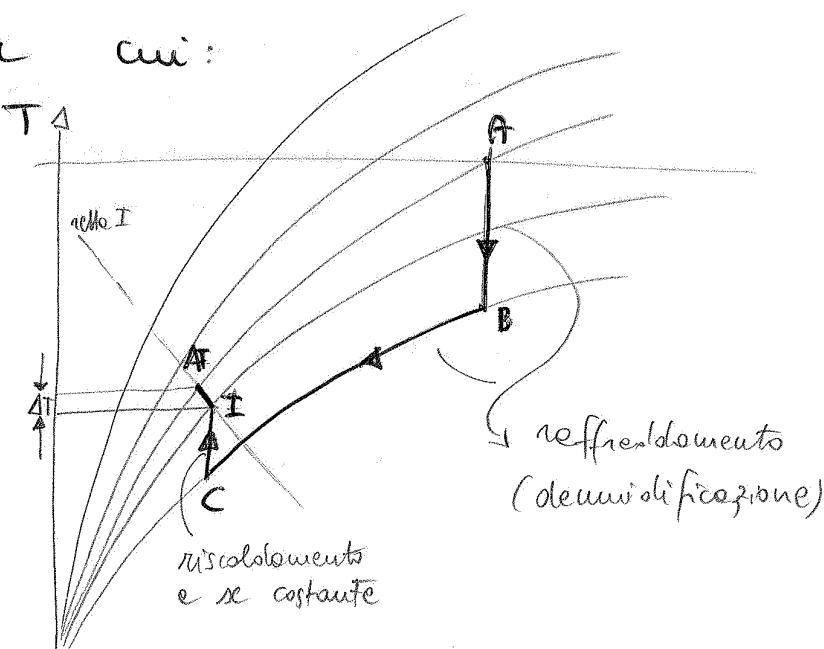
$$I \rightarrow AI$$

minori valori entalpico; occorre
quindi maggiore portata

$$\Phi = G_e (h_{AI} - h_I) - G_v h_v$$

(significano condotti + grandi,
maggiori velocità \rightarrow minori, alto)

Per cui:



- ABC raffreddamento (deumidificazione)

- CI riscaldamento e se costante

- $I \rightarrow AI$ retta ambienti

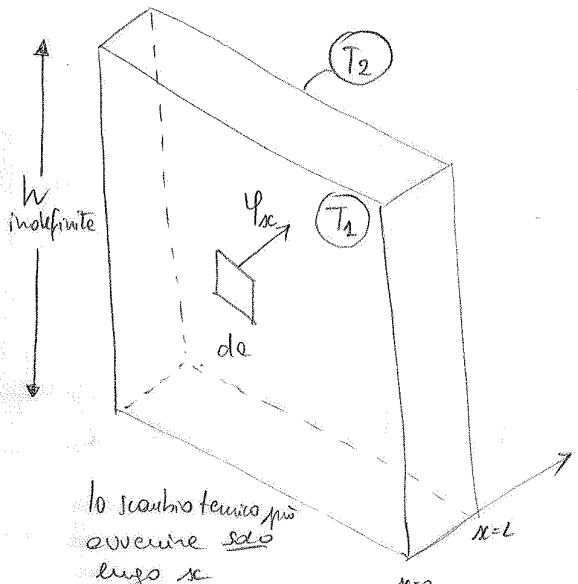
→ Le colture e condutture utilizzano
H₂S (acque esce liquide)

Acqua di mare → Na^+ → Cl^- → Mg^{2+} → Ca^{2+} → K^+ → SO_4^{2-}

$\text{Mg}^{2+} + \text{Cl}^- \rightarrow \text{MgCl}_2$

Condizione

- Presenze di molecole.
- A corpo fisso.
- Avviene per contatto.



$$\Rightarrow \dot{\Psi}_x \propto \frac{|T_2 - T_1|}{L}$$

Le costante di proporzionalità si indica con

λ CONDUTTIVITÀ $\left[\frac{W}{mK} \right]$

FLUSSO DI UNITÀ DI SUPERFICIE (IN DIREZIONE x)

$$\dot{\Psi}_{sc} = \lambda \frac{(T_1 - T_2)}{L}$$

$T_1 > T_2$
 $\left[\frac{W}{m^2} \right]$

λ è una costante di materiali che dipende al limite delle temperature, ma non delle geometrie

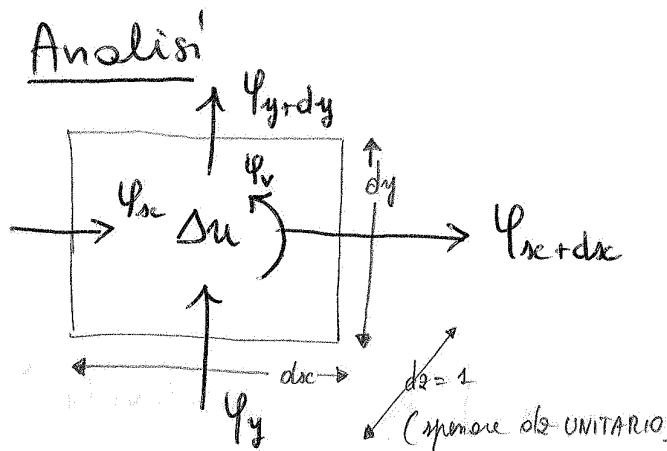
Meccanismi principali

FONDIOSCO | Associato alla vibrazione delle molecole

→ buon conduttore \Rightarrow reticollo cristallino

ELETTRONICO | Associato al movimento degli elettroni liberi

→ buon conduttore \Rightarrow materiali metallici



IPT

$$\phi - W_t = \left(\frac{\partial U}{\partial t} \right)_{vc} + \sum_i G_i h_i^t$$

$\Delta(e_k, e_p) = 0$ corpo in quiete

no lavoro

no portate in uscita

$$\phi = \left(\frac{\partial U}{\partial t} \right)_{vc} \quad \text{ovvero} \quad \phi = \left(\frac{\partial u}{\partial t} \right)_{vc}$$

Per cui:

$$\underbrace{\psi_{x+dx} d\mathbf{y} + \psi_y d\mathbf{x}}_{\cdot d^2=1} - \psi_{x+dx} \cdot d\mathbf{y} - \psi_{y+dy} d\mathbf{x} + \psi_y d\mathbf{y} =$$

$$= \left(\frac{\partial u}{\partial t} \right)_{vc} = \frac{\partial}{\partial t} (C \rho T d\mathbf{y})$$

Tuttavia, posso definire (Taylor)

$$\psi_{x+dx} = \psi_x + \frac{\partial \psi_x}{\partial x} dx + o(c)$$

$$\psi_{y+dy} = \psi_y + \frac{\partial \psi_y}{\partial y} dy + o(c)$$

note

$$dU = d(M du) =$$

$$= pdv \cdot C dT$$

perché sono funzioni lineari
 ψ !

Per cui ottengo

$$\begin{cases} - \frac{\partial \psi_x}{\partial x} (dx dy) - \frac{\partial \psi_y}{\partial y} (dx dy) + \psi_r (dx dy) = \int C (dx dy) \frac{\partial T}{\partial t} \\ \vec{\psi} = - \lambda \nabla T = - \lambda \left(\frac{\partial T}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial T}{\partial y} \vec{j} \right) \end{cases}$$

↓

ottengo

$$\begin{cases} \psi_x = \vec{\psi} \cdot \vec{i} = - \lambda \frac{\partial T}{\partial x} \\ \psi_y = \vec{\psi} \cdot \vec{j} = - \lambda \frac{\partial T}{\partial y} \end{cases}$$

Per risolvere il problema abbiamo
bisogno di ulteriori informazioni:

- GEOMETRIA (∇^2)
- PROP. MATERIALI (ρ, c, λ)
- CONDIZIONI AL CONTORNO (mob. condiz...)
- CONDIZIONI INIZIALI (se il prop. è trasitivo)

Condizioni al contorno

1) DIRICHLET ($\circ 1^{\circ}$ tipo)

T_s nota

2) NEUMANN ($\circ 2^{\circ}$ tipo)

Ψ_s nota (\rightarrow e quindi $\text{grad } T_s$)

caso particolare

ADIABATICA

$$\Psi_s = \emptyset$$

3) $\Psi_{s,\text{cond,ind}} = \Psi_{s,\text{conv,ext}}$

$$\Rightarrow \Psi_x = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} = -\lambda \frac{(T_2 - T_1)}{L} = \lambda \frac{(T_1 - T_2)}{L} \quad \text{c.v.v}$$

$$\Phi = \Psi_x \cdot A = \frac{A \cdot \lambda}{L} (T_1 - T_2)$$

Analogo elettrico con le leggi di Ohm

$$I = \frac{\Delta V}{R}$$

Possiamo definire in analogia una RESISTENZA TERMICA
(in questo caso DI CONDUZIONE)

$$\phi = \frac{\Delta T}{L/\lambda A}$$

$$R_{\text{cond}} = \frac{L}{A \lambda}$$

RESISTENZA TERMICA
CONDUZIONE

Per cui ci troviamo nelle ~~condizioni~~^{condiz.} di risolvere
il problema del tipo in fig.:

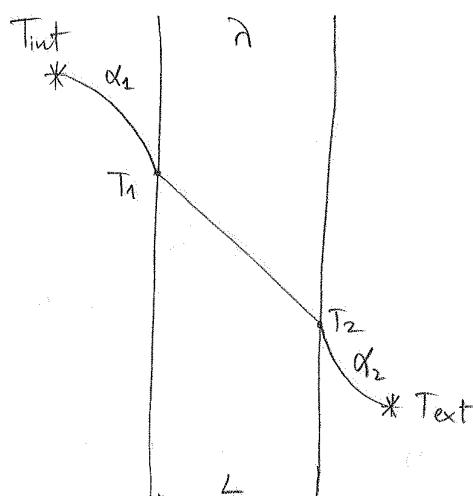


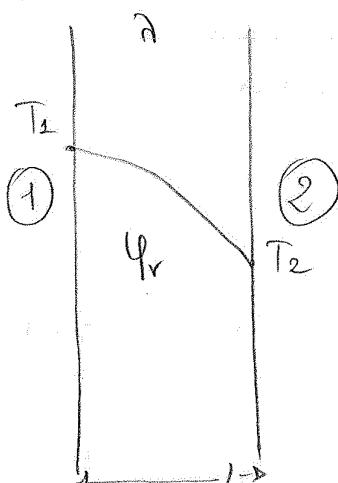
fig.

$$R_{TOT} = \frac{1}{\alpha_1 A} + \frac{L}{\lambda A} + \frac{1}{\alpha_2 A}$$

$$\phi = \frac{\Delta T}{R_{TOT}} = \frac{T_{ext} - T_{int}}{R_{TOT}}$$



Poisson



Input

→ λ, ρ, c not

→ $\varphi_v \neq 0$

→ Condiz. stazionarie] Poisson

→ Cond. al contorno Dirichlet

$$\lambda \nabla^2 T + \varphi_v = 0$$

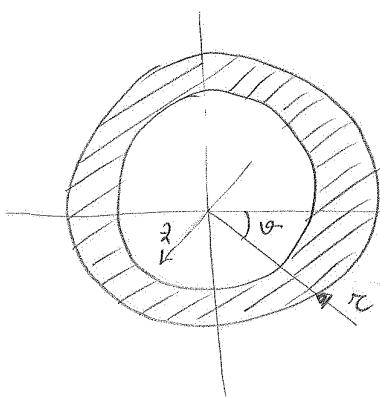
$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = -\frac{\varphi_v}{\lambda} \rightarrow T = -\frac{\varphi_v \lambda c^2}{\lambda^2} + R_1 x + R_2$$

Impongo le condiz. al contorno e ottengo

$$\begin{cases} R_1 = \frac{2\lambda (T_2 - T_1) + \varphi_v L^2}{2\lambda L} \\ R_2 = T_1 \end{cases}$$

-m-

Tubo. Condizioni stazionarie, $\varphi = 0$ (laplace)



$$\nabla^2 T = 0$$

ovvero

$$\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 T}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = 0$$

formule sconosciute

Situazione che interessa, ottieno T indipendente da
 θ e da z

$$\Rightarrow \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} = 0$$

ovvero

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \cdot \frac{\partial T}{\partial r} \right) = 0$$

$$\Rightarrow r \cdot \frac{\partial T}{\partial r} = \text{costante}$$

$$\text{ovvero } \frac{\partial T}{\partial r} = \frac{R_1}{r}$$

$$\Rightarrow T = R_1 \ln r + R_2$$

Impongo le condiz al contorno di Dirichlet

$$\begin{cases} T_1 = R_1 \ln r_1 + R_2 \end{cases}$$

$$\begin{cases} T_2 = R_2 \ln r_2 + R_2 \end{cases}$$

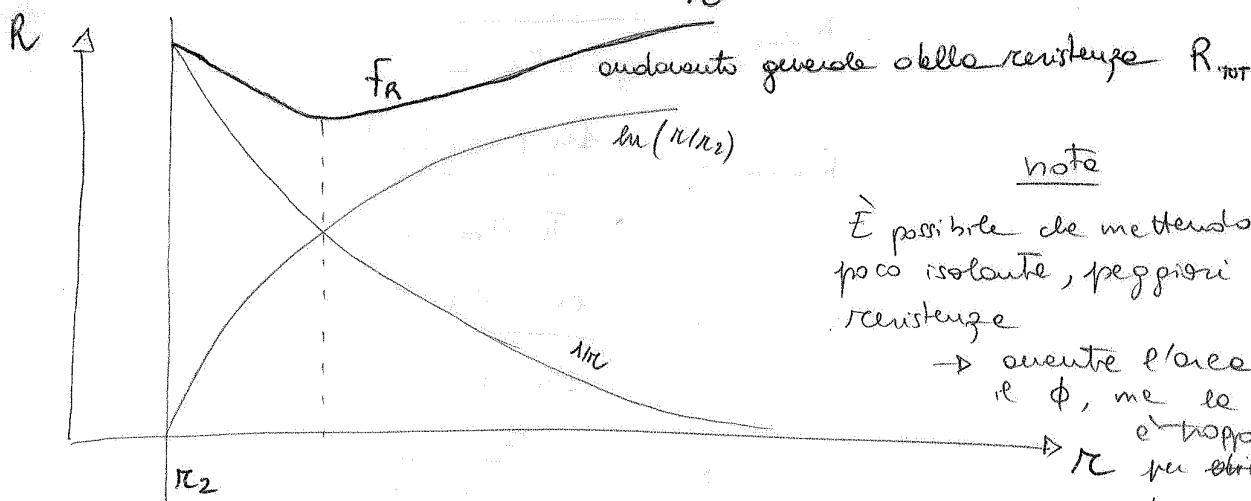
$$\Rightarrow \begin{cases} R_1 = \frac{(T_1 - T_2)}{\ln \left(\frac{r_1}{r_2} \right)} \end{cases}$$

$$R_2 = T_1 - \frac{(T_1 - T_2) \ln r_1}{\ln \left(\frac{r_1}{r_2} \right)}$$

- In particolare posso vedere come varie ϕ in funzione di R_3 (negli estremi isolante)

$$\phi(r) = \frac{T_i - T_e}{R^*_{\text{cond}_1, \text{cond}_2} + \frac{\ln(r/r_2)\alpha_2 \cdot r + \delta_{\text{dis}}}{(2\pi L)(\alpha_2 \delta_{\text{dis}}) \cdot r}}$$

- R^* costante
- $R_{\text{cond},2}$ ha andamento logaritmico, con
 $r = r_2$ (r_{\min}) $\rightarrow R_{\text{cond},2} = \infty$ [no isolante]
 $r > r_2 \rightarrow R_{\text{cond}} \text{ crescente}$
- $R_{\text{cav},B}$ ha andamento $\frac{1}{r}$ iperbolico, diminuisce.



Studio del minimo

$$\frac{d R_{\text{tot}}}{dr} = 0 \rightarrow \frac{1}{2\pi L \delta_{\text{dis}}} \cdot \frac{1}{r} - \frac{1}{2\pi \alpha_B L r^2} = 0$$

RAGGIO CRITICO
DI ISOLAMENTO

$$R_c = \frac{\delta_{\text{isolante}}}{\alpha_{\text{fluido ext}}}$$

In genere
 $r_c \approx 2 \text{ mm}$
 $(\delta \approx 0,03, \alpha \approx 10 \div 20)$

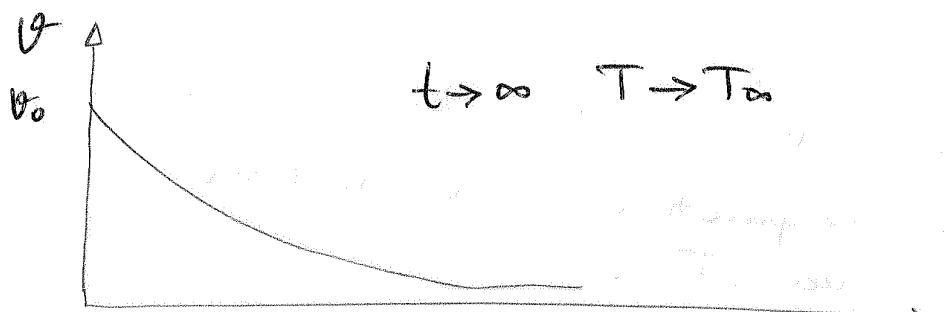
Posto scivere

$$\rho V c \frac{d\vartheta}{dt} + \alpha A \vartheta = 0$$

equazione differenziale e variabili rappresentate

$$\vartheta = \vartheta_0 e^{-\frac{\alpha A}{\rho V c} \cdot t}$$

$$\text{con } \vartheta_0 = T_0 - T_\infty$$



Esponeute

$$\frac{\alpha A}{\rho V c} t$$

$$\frac{\alpha A}{\rho V c} t = \frac{\alpha \cdot t}{\rho c} \frac{A}{V} =$$

$$= \frac{\alpha t}{L \lambda} \frac{\lambda}{\rho c} =$$

$$= \frac{a \alpha t}{L \lambda} \cdot \frac{L}{L}$$

Definisco

$$\frac{L}{\lambda} \text{ LUNGHEZZA CARATTERISTICA}$$

$$\frac{1}{a}$$

DIFFUSIVITÀ TERMICA

$$\frac{a}{\rho c}$$

$$Bi = \frac{\alpha L}{\lambda} \quad \underline{\text{numero di BIOT}}$$

adimensionato

Le situazioni studiate ne sono per

$$Bi \ll 1$$

(è grande...)

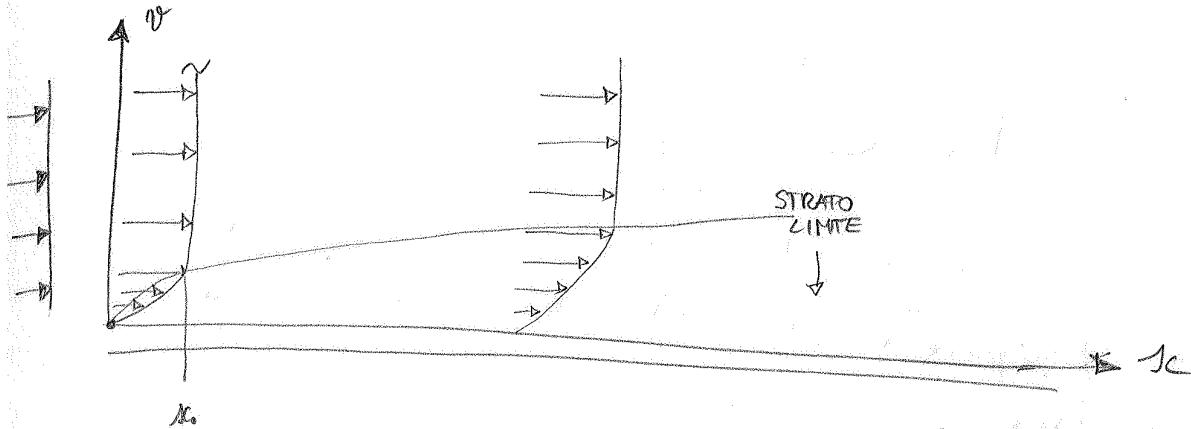
discutibile

$$Bi \approx 0,1$$

(oggetti la condig.
divente rilevante)

Case A.

- Convezione forzata
- Superficie libere



Le particelle a contatto delle pulsioni avranno
 $V = 0$ per attrito, viscosità.

A loro volta, queste particelle trasportano il
disordine che crescerà fino ad un certo
valore y ($y = y(x)$)

Le zone in cui le pressioni delle pulsioni
mancano degli effetti di rallentamento è detta
STRATO LIMITE FONDAMENTALE

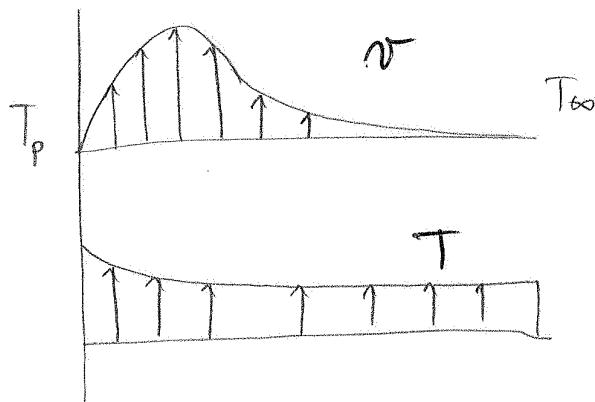
$$\delta_F = \frac{V}{V_\infty} \quad (\text{spresso sheto})$$

discriminante

$$\text{Sheto} = \boxed{\delta_F < 0,99}$$

Caso C

- convezione notturna
- deflusso esterno



note

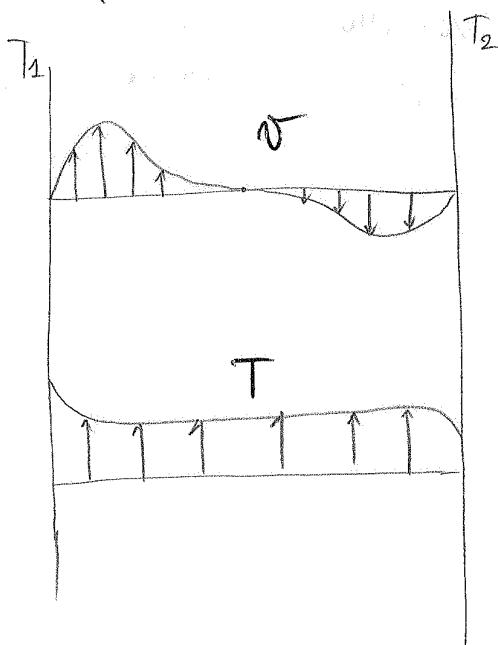
e l'olitutto si propaga

- $V = \rightarrow$ sulle pareti / tutto vie più vicine, maggiore è la temperatura \rightarrow minore densità \rightarrow

gravidità fa sì che
scalgo + velocità

Caso D

- convezione notturna
- deflusso interno



avvicinante così

$$T_1 > T_2$$

I he numeri edimensionati sono

$$Re = \frac{\text{Forze cinetiche}}{\text{Forze viscose}} = \frac{\rho v L}{\mu}$$

numero di REYNOLDS

$$Pr = \frac{C_p / \mu}{\lambda}$$

numero di PRANDTL

e Hussel, che può essere espresso come

$$Nu = c Re^e \cdot Pr^b$$

note

$Re = \frac{\rho v L}{\mu}$, voglio considerare
per me neve
 \Rightarrow ne faccio un modellino,
L più piccolo, avendo
N con Re non cambia!

In fine

$$\left\{ \begin{array}{l} Nu = c Re^e Pr^b \\ Nu = \frac{\alpha L}{\lambda} \end{array} \right. \Rightarrow \underline{\alpha \text{ varia}} !$$

Ad esempio

$$Nu = 0.023 \cdot Re^{0.8} \cdot Pr^{0.33}$$

Il numero in gioco è

$$Gr_2 = \frac{g \beta L^3 (T_p - T_\infty)}{\nu^2}$$

numero di GRASHOFF

con ν viscosità
CINEMATICA

$$\nu = \frac{f}{\rho}$$

viscosità
densità

$$Nu = c Gr^e \cdot Pr^b$$

(in molti casi $e=b \rightarrow Nu=c (Gr \cdot Pr)^a$)

$$Gr \cdot Pr = Re \cdot Ra^{1/a} \dots$$

$$\phi_{x+dx} = \phi_x + \frac{\partial \phi_x}{\partial x} dx$$

Per cui ottenete

$$\left\{ \begin{array}{l} -\frac{\partial \phi_x}{\partial x} dx - \phi_{\text{conv}} = 0 \\ \end{array} \right. \quad \text{Bilancio energ.}$$

$$\phi_x = -\lambda A \frac{\partial T}{\partial x} \quad \Rightarrow \quad A = \text{sezione}$$

Modello Fourier

$$\phi_{\text{conv}} = \alpha p dx (T - T_{\infty}) \quad \Rightarrow \quad \text{Superficie di riferimento calata per convezione} = p \cdot dx$$

$$\text{Per cui definisco } \vartheta = T - T_{\infty} \Rightarrow \frac{d^2 \vartheta}{dx^2} = \frac{d^2 T}{dx^2}$$

ottengo

$$\frac{d^2 \vartheta}{dx^2} - \frac{\alpha p}{\lambda A} \vartheta = 0$$

Definisco

$$\boxed{\mu^2 = \frac{\alpha p}{\lambda A}}$$

CARATTERISTICA
PROPRIA DEL'ANALISI

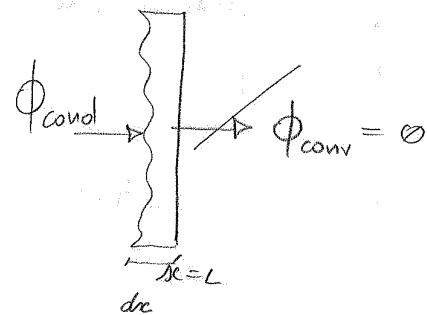
Da cui ottengo

$$\boxed{\vartheta = R_1 e^{-\mu x} + R_2 e^{\mu x}}$$

esponente
proprio
selez.

Punto A obiettivo

$$\boxed{\phi_{\text{punto}} = \emptyset} \quad \text{condizione}$$



Per cui ϕ_{conv}

$$-\lambda A \frac{\partial T}{\partial x} = -\lambda A \frac{\partial \vartheta}{\partial x} = \emptyset \quad \text{per } x=L$$

per cui $\left. \frac{\partial}{\partial x} \left(R_1 e^{-\mu x} + R_2 e^{\mu x} \right) \right|_{x=L} = \emptyset$

$$\Rightarrow -R_1 e^{-\mu L} + R_2 e^{\mu L} = \emptyset$$

Inoltre $x=0 \rightarrow \vartheta = \vartheta_0$

$$\begin{cases} \vartheta_0 = R_1 + R_2 \\ -R_1 e^{-\mu L} + R_2 e^{\mu L} = \emptyset \end{cases}$$

Da cui

$$\boxed{R_1 = \vartheta_0 \cdot \frac{e^{\mu L}}{e^{-\mu L} + e^{\mu L}}}$$

$$\boxed{R_2 = \vartheta_0 \cdot \frac{e^{-\mu L}}{e^{-\mu L} + e^{\mu L}}}$$

~~R2G1~~

ovvero $R_2 = \vartheta_0 \left(1 - \frac{e^{\mu L}}{e^{-\mu L} + e^{\mu L}} \right)$

$$\Rightarrow \boxed{\vartheta = \vartheta_0 \frac{\cosh(m(L-x))}{\cosh(muL)}}$$

Scambiatori di calore
(sono coinvolti sempre due fluidi)

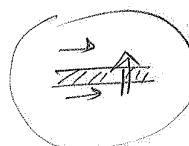
Le compresezione avviene secondo
tre criteri.

MISCEZIONE

- Scambiatore di calore e miscela:

il calore viene trasferito
con uno scambio
eugenico

- ~ e superficie

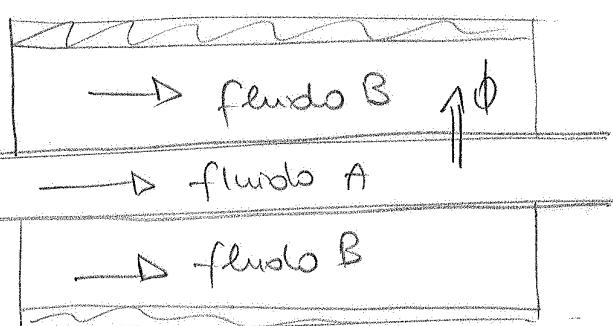


RUOLO

- Evaporatori
- Condensatori

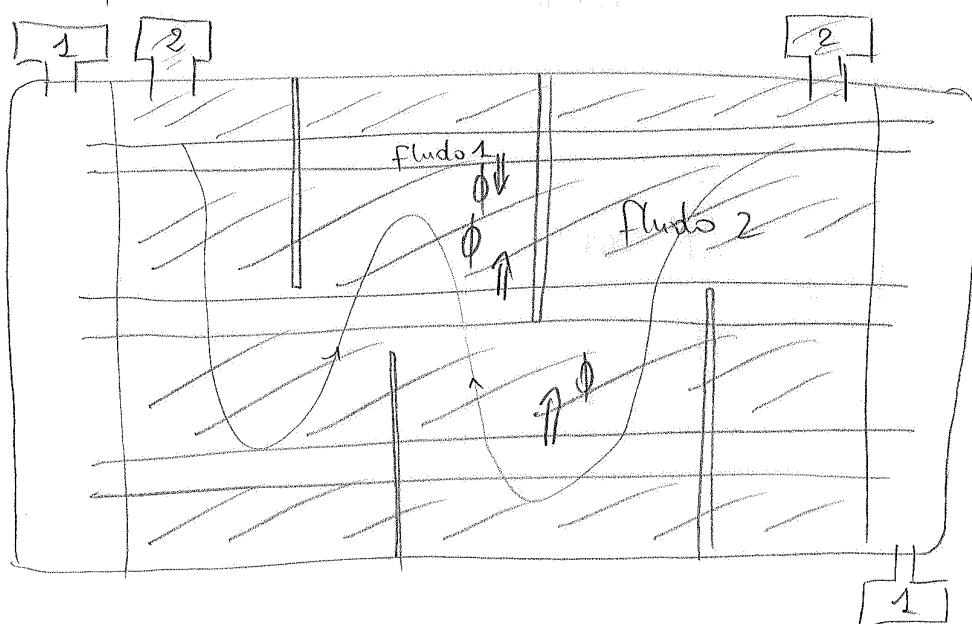
AEROMETRIA

1)

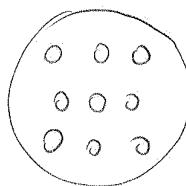


|| TUBI
CONCENTRICI

2)

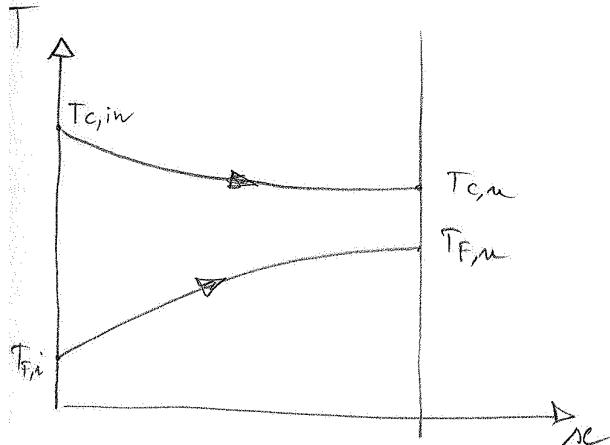


|| TUBI
E
MANTECCO
(efficace, ampio)



Analisi'

→ Mauro e' vero che i fluidi ~~entro~~ escono nello scambiatore, la low T vede.

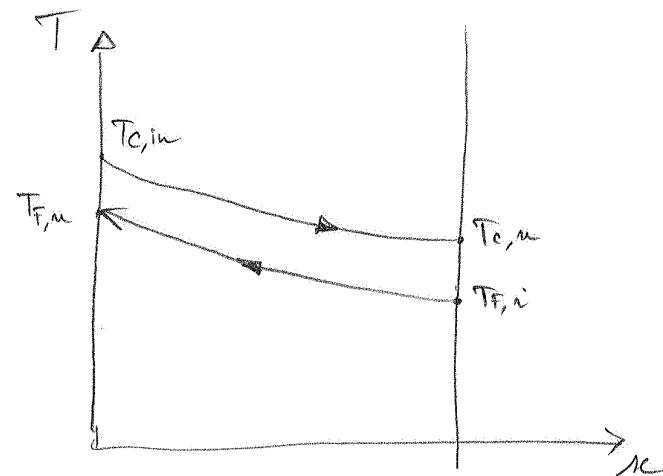


EQUICORRENTE

Note che

$T_{F,u} > T_{c,m}$
e' possibile

(conclu...)



COTRACCORRENTE

(In genere le configurazioni sono MISTE)

→ occorre distinguere i due casi
e introdurre nei rapporti
dei coeff. convettivi)

in genere più efficace
→ $T_{c,x} - T_{B,x}$
+ spesso
lungo
lungo
scambiatore

Metto e noto

$$\left\{ \begin{array}{l} dT_c = -d\phi \left(\frac{1}{C_c} \right) \\ dT_F = d\phi \left(\frac{1}{C_F} \right) \\ d\phi = K dA (\bar{T}_E - \bar{T}_F) \end{array} \right. \rightarrow \begin{array}{l} C_c (\bar{T}_{c,u} - T_{c,i}) = -\phi \\ C_F (\bar{T}_{F,u} - \bar{T}_{F,i}) = \phi \end{array} *$$

→ parallelo

$$d(\bar{T}_F - T_c) = d\phi \left(\frac{1}{C_F} + \frac{1}{C_c} \right)$$

$$\Rightarrow \frac{d(\bar{T}_E - \bar{T}_F)}{(\bar{T}_E - \bar{T}_F)} = -K \left(\frac{1}{C_c} + \frac{1}{C_F} \right) \cdot dA$$

Integrando

$$\ln \frac{(\bar{T}_E - \bar{T}_F)_2}{(\bar{T}_E - \bar{T}_F)_1} = -K \left(\frac{1}{C_c} + \frac{1}{C_F} \right) A$$

* sostituisco

Pongo $\Delta_2 = T_{c,u} - T_{F,u}$ || nota, nel caso CONTACORRENTE variano i Δ , ma non il risultato finale
 $\Delta_1 = T_{c,i} - T_{F,i}$

$$\phi = K \cdot A \cdot \frac{\Delta_2 - \Delta_1}{\ln \left(\frac{\Delta_2}{\Delta_1} \right)} = KA \Delta T_{u,\log}$$

ovvero

DIFERENZA DI
TEMPERATURA MEDIA
LOGARITMICA

$$\Delta T_{u,\log} = \frac{\Delta_2 - \Delta_1}{\ln \left(\frac{\Delta_2}{\Delta_1} \right)}$$