

TERMODINAMICA → dove va il sys?



scambio Sys	MATERIA	CALORE	LAVORO
CHIUSO	x	✓	✓
APERTO	✓	✓	✓
ADIAB.	✓	x	✓
ISOLATO	x	x	x

PROPRIETÀ → INT ≠ EXT - dipendono da dim e massa sys

VARIABILI DI STATO = grandezze int. misurabili x caratterizzare stato termid. → sottogruppo: FUNZIONI DI STATO

FASE = posizione di materia

GIBBS → $F = C - P + 2$ → GRADI LIBERTÀ = COMPONENTI - FASI + 2

EQUILIBRIO TERMODIN.

- sys invariante nel tempo
- sys APERTO NO EQUILIBRIO ma STATO STAZIONARIO quindi proprietà non variano

- MECCANICO** $P_{sys} = P_{amb.ext}$
- TERMICO** $T_{sys} = T_{amb.ext}$
- CHIMICO** NO REAZIONI
- EQ DI FASE** NO CAMB DI FASE

ACCUMULO = ENTRATA - USCITA + GENERAZ. ← ?

BILANCIO DI MATERIA

CALORE = forma di E in transito fra sys

FORZA ⇒ Newton = $F = m \cdot a$

PRESSIONE ⇒ forza esercitata ↓ su area

LAVORO → $F \cdot x$

$$dW = F dx = -PdV \Rightarrow W_{ec} = - \int_{V_1}^{V_2} PdV$$

se $W > 0$ sul sys, se $W < 0$ dal sys

ESPANSIONE COMPRESSIONE

$$\Rightarrow W_{SH} = \int_{V_1}^{V_2} PdV = \int_{P_1}^{P_2} VdP \text{ no variaz volume}$$

$$\Rightarrow W_{R.O.V} = (P_1)^{1/n} m^{1/n} - (P_2)^{1/n} m^{1/n} \text{ sys aperti, scambio materia}$$

SHAFT/MECCANICO

FLUSSO

- ENERGIA
- INTERNA + $U = f(T, P, \dots)$ funzione di stato, somma di E negli atomi
 - cinetica $E_c = \frac{1}{2} m v^2$
 - potenziale $E_p = m g z$

PRINCIPIO CONSERVAZIONE E → $\Delta E_k + \Delta E_p = 0$ solo IN TRANSITO

1° PRINCIPIO TERMODINAMICA → E UNIVERSO È COST ⇒ $\Delta(E_{sys}) + \Delta(E_{AMB.EXT.}) = 0$

BILANCIO ENERGIA SISTEMA CHIUSO/OMOGENEO
↳ no scambi materia, no scambi E interno

$$\Delta E_{sys} = -\Delta E_{AMB.EXT.} = dQ + dW$$

$$dW = dW_{SH} + dW_{ec}$$

$$m d[U + \frac{1}{2} v^2 + g z] = dQ + dW_{ec} + dW_{SH}$$

$$\frac{d}{dt} [U + \frac{1}{2} v^2 + g z] = \dot{Q} + \dot{W}_{ec} + \dot{W}_{SH}$$

$$d(nU) = dQ - PdV(nV)$$

$$\Delta U = Q + W_{ec}$$

$$V = \text{cost}$$

$$C_v = \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_v$$

$$dU = C_v dT$$

$$\Delta U = \int_{T_1}^{T_2} C_v dT$$

$$Q = n \Delta U = n \int_{T_1}^{T_2} C_v dT$$

$$W_{ec} = 0$$

$$P = \text{cost}$$

$$C_p = \left(\frac{\partial H}{\partial T} \right)_p \text{ SEMPRE}$$

$$dH = C_p dT$$

$$\Delta H = \int_{T_1}^{T_2} C_p dT$$

$$Q = n \Delta H = n \int_{T_1}^{T_2} C_p dT$$

$$W_{ec} = -P_n \Delta V$$

CALORE SPECIFICO = $\frac{dQ}{dT}$ = quantità di E nec per + di 1 T, 1 m

ENTALPIA ⇒ $H = U + PV \Rightarrow dH = dQ_{rev} + PdV$

ENTROPIA ⇒ $dS = dQ_{rev}/T$

ISOP ⇒ $dS = \int_{T_1}^{T_2} C_p \frac{dT}{T}$

ISOV ⇒ $dS = \int_{T_1}^{T_2} C_v \frac{dT}{T}$

ISOT ⇒ $dS = \pm \int_{P_1}^{P_2} R \frac{dP}{P}$

ADIAB ⇒ $dS = 0 \Rightarrow C_p \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{V_1}{V_2} = 0$
 $C_p \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{P_2}{P_1} = 0$

www.unidocs.it - Appunti e dispense per superare i tuoi esami universitari

www.unidocs.it - Appunti e dispense per superare i tuoi esami universitari

BILANCIO ENERGIA SYS APERTI \Rightarrow CE Flusso materia $\Rightarrow m, n, V, n$

$$\frac{d(mU)_{CV}}{dt} = -\Delta \left[m \left(U + \frac{1}{2} V^2 + gz \right) \right]_{CS} + \dot{Q} + \dot{W}$$

• quello che accumulo in CV
• allo stato stazion. $\frac{d(\dots)}{dt} = \phi$

quello che entra e quello che esce

$$\Delta H = \dot{Q} + \dot{W}_S$$

GAS IDEALE

- uniformi, no interazioni \rightarrow no P, no URT
- $PV = nRT$
- $C_p = C_v + R$
 - $C_v = \frac{dV}{dT}$
 - $C_p = \frac{dH}{dT}$
- Sys. chiuso + rev $\Rightarrow dQ = C_v dT + P dV$
 $dW_S = -P dV$

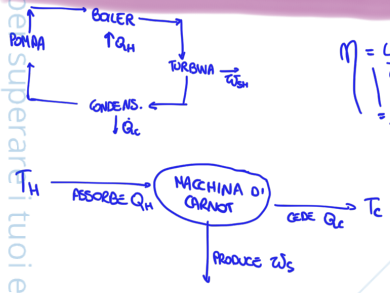
• Liquido $T_r = T_{ribolla} < 0.75$ Energia interna e vel. molecole non dipendono da $T_e P$
quindi $dH = \int_{T_1}^{T_2} C_p dT + V \Delta P$

TRASFORM.

- **ISOT** $Q = RT \ln \frac{V_2}{V_1} = RT \ln \frac{P_1}{P_2} = -RT \ln \frac{P_2}{P_1}$
 $W = RT \ln \frac{V_2}{V_1} = RT \ln \frac{P_1}{P_2}$
 - **ISOP** $Q = \Delta H = \int_{T_1}^{T_2} C_p dT$
 $W = -R \Delta T$
 - **ISOV** $Q = \Delta U = \int_{T_1}^{T_2} C_v dT$
 $W = \phi$
 - **ADIAB** $Q = \phi$
 $W = C_v \Delta T$
- $TV^{\gamma-1} = const$
 $TP^{\frac{\gamma}{1-\gamma}} = const$
 $PV^{\gamma} = const$

2° PRINCIPIO TERMODINAMICA \rightarrow È imposs. x 1 percorso ciclico convertire il calore assorbito dal sys in lavoro compiuto dal sys.

MACCHINE TERMICHE E CICLO CARNOT

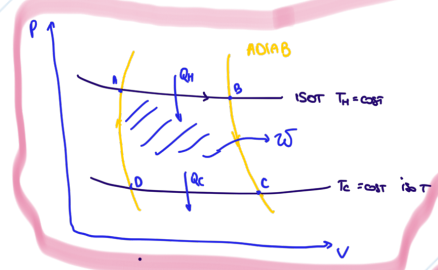


$$\eta = \frac{\text{LAVORO PRODOTTO}}{\text{CALORE ASSORBITO}} < 1$$

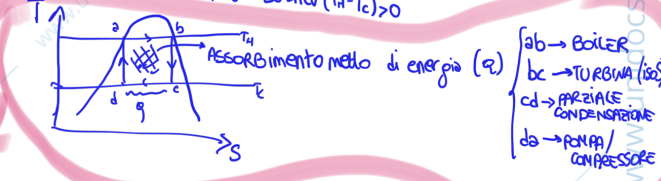
$$= 1 - \frac{|Q_C|}{|Q_H|} = 1 - \frac{T_C}{T_H}$$

$$\left. \begin{aligned} \eta &= 1 - \frac{T_C}{T_H} \\ \frac{Q_H}{T_H} + \frac{Q_C}{T_C} &= \phi \end{aligned} \right\}$$

CARNOT LIMITATO: opera a T_H + alte possibile o maggior tempo così calore scambiato in modo lento così reversibile.
MA NELLA REAL:
• difficile rimanere nella camera, H_2O può andare oltre T_c
• in turbina troppo liquido fa fatica a comprimere il vapore



AB = ESPANS. ISOT, ASSORBO $Q_H = nRT_H \ln \frac{V_b}{V_a} > 0$, $W = -Q_H < 0$
BC = " ADIAB, NO SCAMBIO DI Q, $Q = \phi$, $W = -\Delta U = nC_v(T_c - T_b) < 0$
CD = COMPRESIONE ISOT, Cedo $Q_C = nRT_c \ln \frac{V_c}{V_d} < 0$, $W = -Q_C > 0$
DA = " ADIAB, $Q = \phi$, $W = -\Delta U = nC_v(T_d - T_c) > 0$



- $|Q_H| > |Q_C|$
- $\Delta U = \phi$
- $W_{PROD} = \phi \rightarrow COP = \frac{T_C}{T_H - T_C}$
- $W_{EC} = \phi$

POMPA DI CALORE DI CARNOT O REFRIGERATORE DI CARNOT \rightarrow invertendo step. ciclo di Carnot

DIAGRAMMA DI FASE

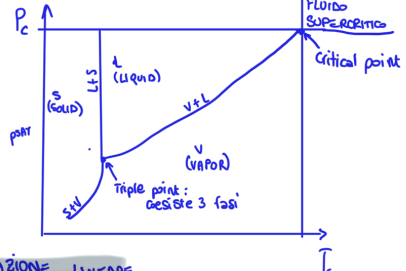
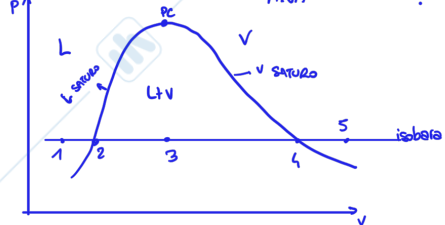


DIAGRAMMA A CAMPANA



- 1) liquido sottoraffreddato
 - 2) liquido saturo
 - 3) miscela L+V
 - 4) vapore saturo
 - 5) vapore surriscaldato
- ! SOTTO CAMPANA ISO P = ISOT!

INTERPOLAZIONE LINEARE

$$M = M_1 + \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} (M_2 - M_1)$$

x_1, x_2 = interp. tra V^{sat} e L^{sat}

TURBINA/COMPRESSORE A POMPA

converte ΔP in lavoro
 $W_{SH} = \Delta H = \int_{in}^{out} V dP$
 $DS = \phi \Rightarrow$ rev \Rightarrow isentropica
 $\eta = \frac{\Delta H_c}{\Delta H} = \frac{V_c}{V_s}$ ma $\frac{\Delta H_c}{\Delta H} < \frac{V_c}{V_s} \Rightarrow \eta = \frac{\Delta H_c}{\Delta H}$

VALVOLE DI LAMINAZIONE / THROTTLE

IN → → OUT
 ridurre pressione senza estrazione
 $\Delta H = 0$
 $\dot{S}_{gen} > 0$
 $\Delta S^{ig} = C_p \ln \frac{T}{T_0} - R \ln \frac{P}{P_0}$

riduzione P a H costante ⇒ abbassamento T
 ΔT notevole per real GAS e FLUIDI REALI, NO 16
 FENOMENO FRAU → un po' evaporazione porta T ↓ ⇒ ΔST, ΔT↑

UGELLI/NOZZE

IN → → OUT
 × minimizzare dissipazioni
 $\dot{\phi} = \dot{m}^{in} [H + \frac{1}{2} v^2 + g z] - \dot{m}^{out} [H + \frac{1}{2} v^2 + g z] + \dot{Q}_{sc} + \dot{W}_{sc}$
 $\Delta H = -\frac{1}{2} \Delta v^2$
 $tr \Rightarrow -\Delta H$

SCAMBiatori DI CALORE



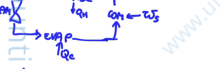
BOLLITORI/KONSERVATORI → il contrario del bollitore
 ↓
 A = fonte di calore, B = fluido che voglio far passare a nuova fase
 Bil. EN: $\dot{Q} = \dot{m} \Delta H$
 Bil. ENTROPIA: $dS = \frac{dQ_{rev}}{T} = \dot{q} \frac{dT}{T} \Rightarrow dQ_{rev} = dH$ e $\Delta H = \int q dT$

CICLO DI RANKINE



$\dot{Q} = \dot{m} \Delta H$
 $\dot{Q} = \dot{m} \Delta H$
 $\Delta H_{2,3} = \eta \Delta H_{2,3}^{(=)} (= W_s)$
 $\eta_{ciclo} = \frac{-\dot{W}_{NETTO}}{\dot{Q}_H} = \frac{-(\Delta H_{turb} + \dot{W}_{pompa})}{\Delta H_{BOILER}}$

REFRIGERAZIONE (calore preso da Tc e lasciato da Th)



COP = coeff. di prestazione = $\frac{Q_c}{\dot{W}_{NET}} = \frac{H_2 - H_1}{H_3 - H_2}$



DA RIVEDERE: 2 schemi/disegni

FLUIDI

PROPRIETÀ e EQ.

$dU = C_p dz + T ds - P dv$ ← 1° principio $dU = dq + dw$ dove $dq_{rev} = T ds$ e $dw_{rev} = -P dv$
 $H = U + Pv \Rightarrow dH = T ds + v dp$
 A = energia di Helmholtz = $U - TS \Rightarrow dA = -P dv - S dT$
 G = energia di Gibbs = $H - TS \Rightarrow dG = v dp - S dT$ → forma dimensionale $\Rightarrow d(\frac{G}{RT}) = \frac{v}{RT} dp - \frac{H}{RT^2} dT$

formule derivate con Gibbs
 $\frac{v}{RT} = \left[\frac{\partial (\frac{G}{RT})}{\partial P} \right]_T$
 $\frac{H}{RT} = -T \left[\frac{\partial (\frac{G}{RT})}{\partial T} \right]_P$
 $\frac{S}{R} = \frac{H}{RT} - \frac{G}{RT}$

DERIVATE PARZIALI

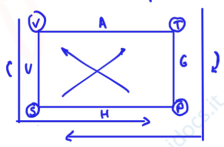
$\frac{df}{dx} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{f(x+\Delta x) - f(x)}{\Delta x}$
 $z = z(x,y), q = \text{cost}$
 $\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)_y = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta z}{\Delta x}\right)_y = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{z(x+\Delta x) - z(x)}{\Delta x} \Big|_y$
 $\left(\frac{\partial x}{\partial y}\right)_z = 0$ $\left(\frac{\partial x}{\partial y}\right)_q = \infty$ $\left(\frac{\partial x}{\partial x}\right)_y = 1$
 $F = F(x,y) \Rightarrow dF = \left(\frac{\partial F}{\partial x}\right)_y dx + \left(\frac{\partial F}{\partial y}\right)_x dy \Rightarrow q = \text{cost} \Rightarrow dF = 0$ TRIPLO PRODOTTO
 $\left(\frac{\partial x}{\partial y}\right)_F \left(\frac{\partial y}{\partial F}\right)_x \left(\frac{\partial F}{\partial x}\right)_y = -1$
 REGOLA DELLA CATENA
 MONCO!!! REGOLA DELL'ESPANSIONE

PROPRIETÀ TERMODINAMICHE

$dU = \left(\frac{\partial U}{\partial S}\right)_v ds + \left(\frac{\partial U}{\partial v}\right)_s dv \Rightarrow T = \left(\frac{\partial U}{\partial S}\right)_v ; P = -\left(\frac{\partial U}{\partial v}\right)_s$
 $dH = \left(\frac{\partial H}{\partial S}\right)_p ds + \left(\frac{\partial H}{\partial p}\right)_s dp \Rightarrow T = \left(\frac{\partial H}{\partial S}\right)_p ; v = \left(\frac{\partial H}{\partial p}\right)_s$
 $dA = \left(\frac{\partial A}{\partial T}\right)_v dT + \left(\frac{\partial A}{\partial v}\right)_T dv \Rightarrow S = -\left(\frac{\partial A}{\partial T}\right)_v ; P = -\left(\frac{\partial A}{\partial v}\right)_T$
 $dG = \left(\frac{\partial G}{\partial T}\right)_p dT + \left(\frac{\partial G}{\partial p}\right)_T dp \Rightarrow S = -\left(\frac{\partial G}{\partial T}\right)_p ; v = \left(\frac{\partial G}{\partial p}\right)_T$

SFRUTTA MO EULERO ORENGO

$\left(\frac{\partial v}{\partial S}\right)_p = \left(\frac{\partial T}{\partial p}\right)_s$
 $-\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_v = -\left(\frac{\partial S}{\partial v}\right)_T$
 $\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p = -\left(\frac{\partial S}{\partial p}\right)_T$



$$\begin{aligned} dU &= TdS - PdV & U(S,V) \\ dH &= TdS + VdP & H(S,P) \\ dA &= -PdV - SdT & A(V,T) \\ dG &= VdP - SdT & G(T,P) \end{aligned}$$

Altre correlazioni tra S e H con T, P

- $\left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_P = C_p$
- $\left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_P = \frac{1}{T} \left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_P = \frac{C_p}{T}$
- $\left(\frac{\partial S}{\partial P}\right)_T = -\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P = -T \left(\frac{\partial^2 S}{\partial T^2}\right)_P + V$
- $dH = C_p dT + [V - T \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P] dP = C_p dT + V(1 - \alpha P T) dP$
- $dS = \frac{C_p}{T} dT - \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P dP = C_p \frac{dT}{T} - \alpha P dV$

Generalizzazione $PV=RT$

$dV = \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P dT + \left(\frac{\partial V}{\partial P}\right)_T dP$

- coefficiente di compressibilità isoT → $\kappa_T \equiv -\frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial P}\right)_T = \frac{1}{\epsilon} \left(\frac{\partial \epsilon}{\partial P}\right)_T = [\text{Pressione}]^{-1}$
- " espansione termica isoP → $\alpha_P \equiv \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P = -\frac{1}{\epsilon} \left(\frac{\partial \epsilon}{\partial T}\right)_P = [K]^{-1}$
- " Joule-Thomson → $\mu_{JT} = \left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_H = -\frac{1}{C_p} \left(\frac{\partial H}{\partial P}\right)_T$

SEMPLIFICAZIONE DI MAXWELL

$$\left(\frac{\partial U}{\partial P}\right)_T = V(\kappa_T P - \alpha_P T) \Rightarrow \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V = \frac{dP}{\kappa_T}$$

PRINCIPIO DEGLI STATI CORRESPONDENTI

→ A 2 PARAMETRI: $f\left(\frac{T}{T_c}; \frac{P}{P_c}\right) = 0$ → Γ = Potenziale di Leonard-Jones energia potenziale a livello molecolare
 ϵ = Normalizzaz. energetica
 σ = " dimensionale

Fattore di comprimibilit  $Z = \frac{PV}{RT} = f(T_r, P_r)$

→ A 3 PARAMETRI: $f(T_r, P_r, V_r) = 0$

$Z = 1 + \sum^{REP} + \sum^{AT}$ ← deviaz. da eq. x interazioni attrattive

Fattore Acentrico ω (o di Pitzer) = $-1 - \log_{10} \left(\frac{P^{SAT}}{P_c}\right)_{T_r}$

≈ 0.7 ← deviaz. da eq. x interazioni repulsive

↳ tiene conto della polarit /polarizabilit /sfericit  perch  con specie diverse alle volte le isoT non seguono gli stessi andamenti
 ↳ $\omega \approx \phi$ per molecole sferiche (gas nobile, metano, ...)

CORRELAZIONI DI PIZTER

Lee-Kesler → $Z^0 = Z^0(T_r, P_r) + \omega Z^1(T_r, P_r)$, \forall fluido note T_r, P_r, ω

VdW

b = COLOMNE / AVAILABLE VOLUME → $P = \frac{RT}{(V-b)}$
 a = ENERGIA DI ATTRAZIONE
 dimensioni

$P = \frac{RT}{V-b} - \frac{a}{V^2}$

$PV^3 - (RT + Pb)V^2 + aV - ab = 0$

$P = \frac{P^*}{1 - bP^*} - aP^{*2}$ con $V = \frac{1}{P^*}$

ricavo Z da VdW → $Z = \frac{PV}{RT} = \frac{1}{1 - bP} - \frac{aP}{RT} = \frac{V}{V-b} - \frac{a}{RTV}$

Peng-Robins → modifica di VdW

$Z = \frac{PV}{RT} = \frac{1}{1 - bP} - \frac{aP}{bRT} \cdot \frac{bP}{1 + 2bP} = Z^{REP}(P-R) = Z^{REP}(VdW)!$

↳ cubico: $Z^3 - (1 - B_2)Z^2 + (A_2 - 3B_2^2 - 2B_2)Z - (A_2B_2 - B_2^3 - B_2^3) = 0$

Redlich-Kwong

$P = \frac{RT}{V-b} - \frac{a}{V(V+b)}$
 ↳ moltiplicando a dx e sx per $\frac{V-b}{P} \Rightarrow V_{vir} = b + \frac{RT}{P} - \frac{a(V-b)}{P V(V+b)}$

Viriale

- $PV = a(1 + B'P + C'P^2 + \dots)$
- $a = f(T) = RT$
- $B' = \frac{PV}{RT} - \frac{PV}{a} = 1 + B^1P + C^1P^2 + \dots = 1 + \frac{B}{V} + \frac{C}{V^2} + \dots$
- $Z = 1 + B^1P =$ equazione della tangente = buono approx per fluidi a P basse.

Limiti applicabilit 

- $Z = 1 + \frac{BP}{RT}$ se $T < T_c$ e $P < 15$ bar
- se $T > T_c$ e $P < 20/30$ bar
- $Z = 1 + \frac{B}{V} + \frac{C}{V^2}$ fino a $P \approx 50$ bar
- Per il principio degli stati corrispondenti → $Z = 1 + \frac{BP_c}{RT_c} = 1 + B^0 \frac{P_r}{T_r} + W B^1 \frac{P_r}{T_r} \Rightarrow \frac{BP_c}{RT_c} = B^0 + W B^1$
- $B^0 = 0.083 - \frac{0.422}{T_r^{1.6}}$
- $B^1 = 0.139 - \frac{0.172}{T_r^{4.2}}$
- $T_r > 0.626 + 0.139 \cdot P_r$
- $V_r > 2.0$

VIRIALE NON VA BENE PER I FLUIDI

Riassunto

	$\frac{a}{V^2}$	$Z_c = 0.290$ - real semplice
		$Z_c < 0.290$ - " complessa
Van-der-Waals	$\frac{a}{V^2}$	$Z_c = 0.375$
R-K	$\frac{a}{V} \cdot \frac{1}{V(V+b)}$	$Z_c = 0.333$
S-RK	$\frac{a \alpha(T)}{V(V+b)}$	$Z_c = 0.333$
P-R	$\frac{a \alpha(T)}{V(V+b) + b(V-b)}$	$Z_c = 0.307$

$$\frac{H_{T,P} - H_{T,P=0}}{RT_c} = T_c \int_0^P \left[-\frac{1}{P} \left(\frac{\partial B}{\partial T} \right)_P \right] dP$$

$$\text{PER } S \rightarrow \frac{S - S^*}{R} = \frac{\Delta S^{DEP}}{R} = - \int_0^P \left[(Z-1) + T \left(\frac{\partial B}{\partial T} \right)_P \right] \frac{dP}{P}$$

$$\text{PER } U \rightarrow \frac{U - U^*}{RT} = \frac{U - U^*}{RT} = \int_0^P \left[T \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_V - P \right] dV$$

$$\text{PER } H \rightarrow \frac{H - H^*}{RT} = \frac{H - H^*}{RT} = - \int_0^P \left[T \left(\frac{\partial B}{\partial T} \right)_P \frac{dP}{P} \right]$$

COEFFICIENTE DI JOULE-THOMSON $\mu_{J-T} = \frac{RT^2}{C_p P} \left(\frac{\partial B}{\partial T} \right)_P$

PSICOMETRIA ARIA UMIDA $\phi = \frac{p_{H_2O}}{p_{H_2O}^{SAT}}$ $\phi = \frac{m_{H_2O}}{m_{AS}} \frac{p_{H_2O}^{SAT}}{p_{AS}}$
 ϕ = "Max" det da PT
 p_{H_2O} = pressione parziale del vapore d'acqua in miscela aria umida
 $p_{H_2O}^{SAT}$ = pressione vapore saturo (PSAT)

UNITA' ASSOLUTA $\chi = \frac{M_{H_2O}}{M_{AS}} = \frac{P_{H_2O} V_{H_2O}}{P_{AS} V_{AS}} = \frac{P_{H_2O}}{P_{AS}} \frac{V_{H_2O}}{V_{AS}} = 0.622 \frac{p_{H_2O}}{p - p_{H_2O}}$ = ASSOLUTA
 UNITA' RELATIVA $\phi = \frac{p_{H_2O}}{p_{H_2O}^{SAT}}$ $\phi \leq 1$
 $\phi < 1$ = aria secca $\phi = 1$ = aria satura

ENTALPIA
 IDEAL MIX IDEAL $\Rightarrow H = H_{AS} + H_{VAP} = m_{AS} h_{AS} + M_{VAP} H_{VAP}$
 $\Rightarrow H = \frac{H}{M_{AS}} = h_{AS} + \frac{M_{VAP}}{M_{AS}} h_{VAP} = h_{AS} + \chi h_{VAP}$
 SPECIFICA $= H = \frac{H}{m_T} = m_T^{-1} H$

! Le isot in zona vapore surriscaldato sono isot $\Rightarrow H_{VAP}(P=base, -10 \leq T [^{\circ}C] \leq 50) \approx H_{VAP}(T)$

Temperatura di rugiada $\rightarrow T_d = T^{SAT}(p_{H_2O}) \rightarrow p_{H_2O} = p_{H_2O}^{SAT}(T_d)$ sopra T_d condensa

BOLLO \Rightarrow
 \rightarrow temperatura bulbo umido e temperatura bulbo secco
 sulla curva di bagnatura miste coincidono

EQUAZIONE DI CLAPEYRON $\Rightarrow \frac{dP^{SAT}}{dT} = \frac{\Delta H_{VAP}}{T(V_{VAP} - V_L)}$; $d \ln P^{SAT} = \frac{-\Delta H_{VAP}}{R [B^{\circ} - B^{\circ}]} d \left(\frac{1}{T} \right)$
 eq fase L-V puri

CLAUSIUS-CLAPEYRON - calore latente di evaporazione $\Rightarrow d \ln P^{SAT} = \frac{-\Delta H_{VAP}}{R} d \left(\frac{1}{T} \right)$

SHORTCUT VAPOR PRESSURE EQUATION $\Rightarrow \log_{10} P^{SAT} = \frac{A}{1+B/T} + C$ con $P > 0.5$ bar

EQ. DI ANTOINE $\Rightarrow \log_{10} P^{SAT} = A - \frac{B}{T-C}$

ENERGIA LIBERA DI GIBBS RESIDUA $\rightarrow \frac{d(G-G^*)}{RT} = \frac{dG}{RT} = (Z-1) \frac{dP}{P}$

DEF. DI LEWIS $\rightarrow \ln \phi = \ln \frac{f}{p} = \ln \phi = \frac{G^R}{RT}$
 $\frac{d(G-G^*)}{RT} = d \ln \left(\frac{f}{p} \right) = d \ln \phi = \frac{dG^R}{RT}$
 $\rightarrow \ln \phi = \frac{G^R}{RT} = \ln \phi = \frac{G^R}{RT}$

LEGGI DI FRAULT $\rightarrow y_i P = x_i P_i^{SAT}$
 FRAZIONI $\rightarrow \sum x_i = 1 ; \sum y_i = 1$
 FORMULA GENERALE $\rightarrow y_i = x_i \frac{P_i^{SAT}}{\sum x_i P_i^{SAT}}$

BOCCA	ANSIADA
NOTA E P	CALCOLARE x_i
T	$P^{SAT} = f(T)$
NOTA T	CALCOLARE x_i
P	$P^{SAT} = ?$

$P = P_1^{SAT} + (1-x_1) P_2^{SAT} \rightarrow$ eq. retta
 Hi servono 2 punti per disegnarla
 @ $x_1 = 0 \rightarrow P_2^{SAT}$
 @ $x_1 = 1 \rightarrow P_1^{SAT}$
 BOCCA $y_i = x_i K_i = x_i \frac{P_i^{SAT}}{P}$

$x_i = y_i \frac{P}{P_i^{SAT}} - \frac{y_i}{K_i}$
 $\sum x_i = 1 = \frac{y_1}{P_1^{SAT}} P + \frac{y_2}{P_2^{SAT}} P$
 $P = \frac{1}{\frac{y_1}{P_1^{SAT}} + \frac{y_2}{P_2^{SAT}}}$ \rightarrow come arguisce

FLASH ISOT \rightarrow In un flash, raddio P a T=cost, ottenendo una miscela L-V
 $x_i = \frac{z_i}{1 + \sqrt{K_i} (K_i - 1)}$
 $y_i = \frac{K_i z_i}{1 + \sqrt{K_i} (K_i - 1)}$