

# 1. Identificazione della fase di una sostanza pura

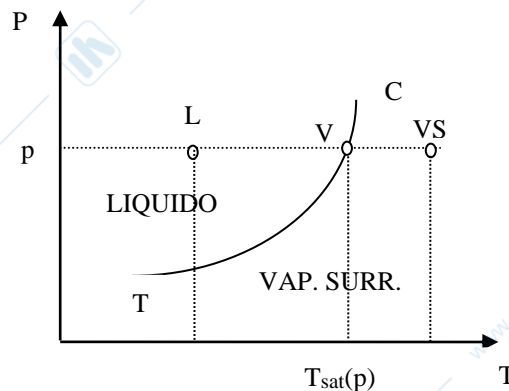
## 1.1 PROPRIETA' NOTE: p e T

- Se  $T > T_c$  Gas
- Se  $T < T_c$ :
  - 1) entro in Tabella\*/diagramma con la pressione p, leggo la corrispondente temperatura di saturazione  $T_{sat}(p)$ , e la confronto con la temperatura T:

1a) se  $T < T_{sat}(p) \rightarrow$  **Liquido sottoraffreddato** (punto L)

1b) se  $T = T_{sat}(p) \rightarrow$  **Vapore saturo** (punto V)

1c) se  $T > T_{sat}(p) \rightarrow$  **Vapore surriscaldato** (punto VS)



(Tabelle di riferimento\* dal libro Termodinamica per ingegneri-Applicazioni; di

R. Mastrullo; P. Mazzei; R. Vanoli:

- 1) sostanza acqua: Tab. A.2.7b pag. 287/288
- 2) sostanza R134a: Tab. A.2.8b pag. 291/292
- 3) sostanza R717: Tab. A.2.9b pag. 295/296)

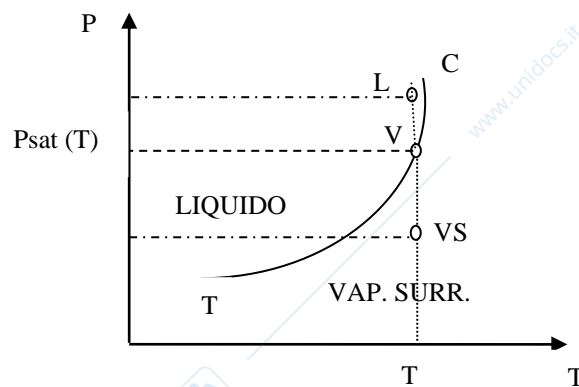
**Oppure:**

- 2) entro in Tabella\*/diagramma con la temperatura  $T$ , leggo la corrispondente pressione di saturazione  $p_{\text{sat}}(T)$ , e la confronto con la pressione  $p$ :

2a) se  $p < p_{\text{sat}}(T) \rightarrow$  **Vapore surriscaldato** (punto VS)

2b) se  $p = p_{\text{sat}}(T) \rightarrow$  **Vapore saturo** (punto V)

2c) se  $p > p_{\text{sat}}(T) \rightarrow$  **Liquido compresso** (punto L)



(Tabelle di riferimento\* dal libro Termodinamica per ingegneri-Applicazioni; di

R. Mastrullo; P. Mazzei; R. Vanoli:

- 1) sostanza acqua: Tab. A.2.7a pag. 285/286
- 2) sostanza R134a: Tab. A.2.8a pag. 289/290
- 3) sostanza R717: Tab. A.2.9a pag. 293/294)

## 1.2 PROPRIETA' NOTE: $\alpha$ e $\beta$ , con $\alpha \in \{p, T\}$ e $\beta \in \{h, s, u, v\}$

Con  $\alpha_T < \alpha < \alpha_c$ :

- 1) entro in Tabella\*/diagramma con la proprietà  $\alpha$ , leggo le corrispondenti proprietà del liquido saturo  $\beta_l(\alpha)$  e del vapore saturo secco  $\beta_{vs}(\alpha)$ , e le confronto con la proprietà  $\beta$ :

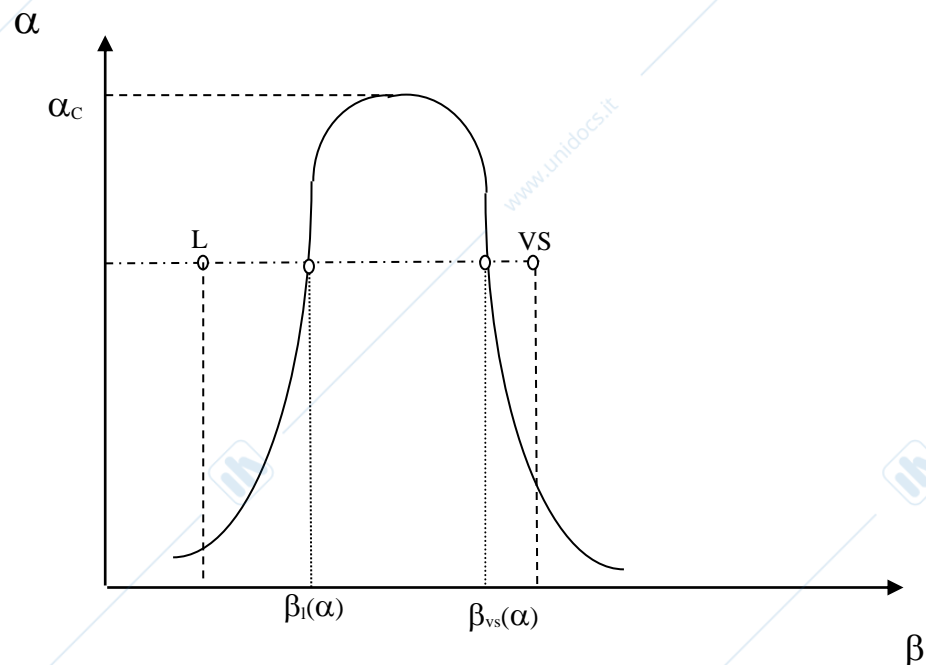
1a) se  $\beta < \beta_l(\alpha) \rightarrow$  **Liquido** (punto L)

1b) se  $\beta = \beta_l(\alpha) \rightarrow$  **Liquido saturo** (punto sulla curva limite inferiore con titolo  $x=0$ )

1c) se  $\beta_l(\alpha) < \beta < \beta_{vs}(\alpha)$  **Vapore saturo** (punto all'interno della curva a campana con titolo  $x = \frac{\beta - \beta_l}{\beta_{vs} - \beta_l}$ )

1d) se  $\beta = \beta_{vs}(\alpha) \rightarrow$  **Vapore saturo secco** (punto sulla curva limite superiore con titolo  $x=1$ )

1e) se  $\beta > \beta_{vs}(\alpha)$  **Vapore surriscaldato** (punto VS)



(Tabelle di riferimento\* dal libro Termodinamica per ingegneri-Applicazioni; di

R. Mastrullo; P. Mazzei; R. Vanoli:

- 1) sostanza acqua: Tab. A.2.7a pag. 285/286 o Tab.A.2.7b pag.287/288
- 2) sostanza R134a: Tab. A.2.8a pag. 289/290 o Tab. A.2.8b pag. 291/292
- 3) sostanza R717: Tab. A.2.9a pag. 293/294 o Tab. A.2.9b pag. 295/296 )

## 2. Calcolo delle proprietà

### 2.1 VAPORI SATURI

$$v = v_l + x (v_{vs} - v_l)$$

$$h = h_l + x (h_{vs} - h_l)$$

$$u = u_l + x (u_{vs} - u_l)$$

$$s = s_l + x (s_{vs} - s_l)$$

I valori delle proprietà dei vapori saturi si ottengono dalle tabelle del libro

Termodinamica per ingegneri-Applicazioni (R. Mastrullo; P. Mazzei; R. Vanoli):

- 1) sostanza acqua: Tab. A.2.7a pag. 285/286 o Tab. A.2.7b pag. 287/288
- 2) sostanza R134a: Tab. A.2.8a pag. 289/290 o Tab. A.2.8b pag. 291/292
- 3) sostanza R717: Tab. A.2.9a pag. 293/294 o Tab. A.2.9b pag. 295/296

## 2.2 LIQUIDI

- Sostanza acqua

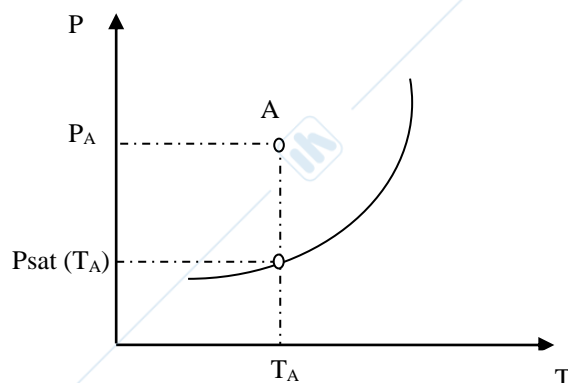
Tabella A.2.11 pag. 306/307 del libro Termodinamica per ingegneri-Applicazioni.

- Si assume l'ipotesi di comportamento incomprimibile:

$$v = \text{costante}; dv = 0$$

come valore del volume specifico del liquido si assume un opportuno valore medio del volume specifico del liquido saturo nel campo di pressione e temperatura di interesse.

Le proprietà di una sostanza in fase liquida si ottengono dalle tabelle di saturazione (sostanza acqua: Tab. A.2.7a pag. 285/286 o Tab.A.2.7b pag.287/288; sostanza R134a: Tab. A.2.8a pag. 289/290 o Tab. A.2.8b pag. 291/292; sostanza R717: Tab. A.2.9a pag. 293/294 o Tab. A.2.9b pag. 295/296 ) riferendosi alle proprietà del liquido saturo alla stessa temperatura:



Con riferimento al punto A del diagramma nella zona del liquido le proprietà si valuteranno come:

$$u_A = u_l (T_A)$$

$$s_A = s_l (T_A)$$

$h_A = h_l (T_A) + v_l (p_A - p_{\text{sat}} (T_A)) \cong h_l (T_A)$  (per stati non prossimi a quello critico e per  $\Delta p$  non eccessivi è possibile valutare l'entalpia del liquido compresso o sottoraffreddato come quella del liquido saturo alla stessa temperatura trascurando il termine  $v_l (p_A - p_{\text{sat}} (T_A))$ ).

- Per valutare le variazioni di entalpia, entropia ed energia interna tra due stati termodinamici in cui si è verificato che la sostanza sia sempre in FASE

LIQUIDA:

$C_p = C_v = C$  (essendo i calori specifici uguali si omette il pedice). I valori dei calori specifici si trovano nella tabella A.2.14 pag. 322 del libro Termodinamica per Ingegneri-Applicazioni.

$$(u_2 - u_1) = C (T_2 - T_1)$$

$$(s_2 - s_1) = C \ln(T_2/T_1)$$

$$(h_2 - h_1) = C (T_2 - T_1) + v_l (p_2 - p_1)$$

## **2.3 VAPORE SURRISCALDATO**

- Sostanza: Acqua
  - a) Tabella A.2.10 pag. 297/305 del libro Termodinamica per Ingegneri-Applicazioni
  - b) Diagramma di Mollier (h,s).
  
- Sostanza R134a
  - a) Tabella A.2.12 pag. 308/314 del libro Termodinamica per Ingegneri-Applicazioni
  - b) Diagramma p,h
  
- Sostanza R717
  - a) Tabella A.2.13 pag. 315/321 del libro Termodinamica per Ingegneri-Applicazioni
  - b) Diagramma p,h

## 2.4 GAS IDEALE

$$p v = R T$$

$$p V = m R T$$

[ Tab. A.2.1 del libro Termodinamica per Ingegneri- Applicazioni per ricavare R da utilizzare nell'equazione di stato]

[Attenzione: usare unità di misura congruenti.

Ad esempio:  $p v = R T$

con  $R$  [kJ/kg K] ;  $p$  [kPa];  $T$  [K];  $v$  [m<sup>3</sup>/kg ]

oppure:

$R$  [J/kg K] ;  $p$  [Pa];  $T$  [K];  $v$  [m<sup>3</sup>/kg ] ]

Per valutare le variazioni di entalpia, entropia ed energia interna:

$$(u_2 - u_1) = C_v (T_2 - T_1)$$

$$(h_2 - h_1) = C_p (T_2 - T_1)$$

$$(s_2 - s_1) = C_v \ln(T_2/T_1) + R \ln (v_2/v_1)$$

$$(s_2 - s_1) = C_p \ln(T_2/T_1) - R \ln (p_2/p_1)$$

$$(s_2 - s_1) = C_v \ln(p_2/p_1) + C_p \ln (v_2/v_1)$$

Per ricavare  $C_v$  e  $C_p$  da utilizzare nelle relazioni indicate:

- a) si trascura la dipendenza dei calori specifici dalla temperatura. Si utilizzano i valori dei calori specifici medi riportati nella tabella seguente:

Tabella – Calori specifici a pressione costante,  $C_p$ , ed a volume costante per alcune sostanze in fase gassosa per comportamento piuccheperfetto

Sostanza	Cp (kJ/kg K)	Cv (kJ/kg K)
Anidride carbonica	0,865	0,676
Aria secca	1,01	0,723
Azoto	1,04	0,743
Elio	5,19	3,11
Idrogeno	14,2	10,1
Ossido di carbonio	1,04	0,743
Ossigeno	0,917	0,656

b) Si considera una dipendenza lineare dei calori specifici dalla temperatura.

Si utilizza la Tab. A.2.3 pag. 272 del libro Termodinamica per Ingegneri-Applicazioni.

Si valuta la temperatura media aritmetica  $T_m = (T_1 + T_2)/2$  e si utilizza il calore specifico corrispondente a tale temperatura:  $C_p(T_m)$  e  $C_v(T_m)$ .

