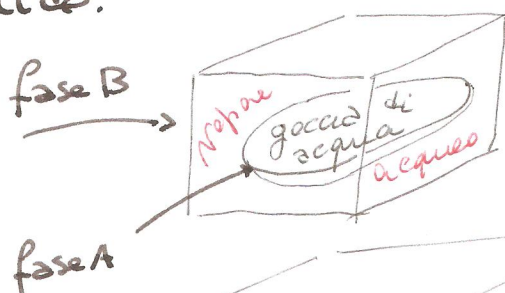
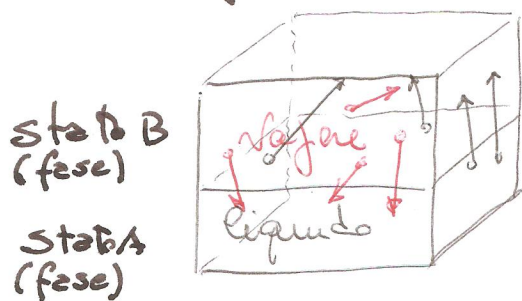


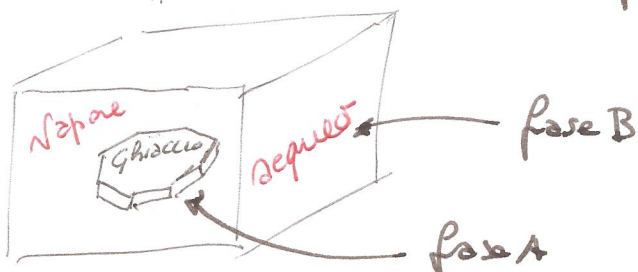
# Considerazioni generali sui passaggi di fase dell'acqua

La conoscenza della natura microscopica della materia ci permette di descrivere i passaggi di fase, dell'acqua, ma non solo, come un processo di scambio che coinvolge molecole, quindi masse.

Si consideri dell'acqua confinato in una regione dello spazio e presente in due fasi, per esempio vapore e liquido, ma potrebbe anche essere vapore e solido, o infine solido-liquido.



esempi  
tipici  
in atmosfera



- |       |                              |                |
|-------|------------------------------|----------------|
| $n_A$ | numero molecole nella fase A | } al tempo $t$ |
| $n_B$ | numero molecole nella fase B |                |
| $M_A$ | massa in fase A              | } al tempo $t$ |
| $M_B$ | massa in fase B              |                |
- $\longrightarrow M_A \propto n_A$   
 $\longrightarrow M_B \propto n_B$

Ogni intervallo di tempo  $dt$  ci sono delle molecole che passano dalle fase A alle fase B e viceversa

Sia  $n_{Ae}$  il numero di molecole che passa dalla fase A alla B (nell'unità di tempo)

Sia  $-n_{Be}$  il numero di molecole che passa dalla fase B alla A (nell'unità di tempo)

Sia  $E$  la massa che della fase A passa alla fase B nell'unità di tempo

Sia  $C$  la massa che della fase B passa alla fase A nell'unità di tempo

Siccome si hanno seguenti relazioni

$$E \propto n_{Ae} \quad e \quad C \propto n_{Bc}$$

La variazione di massa per unità di tempo in ciascuna fase sarà data dal passaggio di molecole da una fase all'altra

$$-\frac{dn_A}{dt} = n_{Ae} - n_{Bc} = \frac{dn_B}{dt}$$

in massa si ha

$$-\frac{dM_A}{dt} = E - C = \frac{dM_B}{dt}$$

### Osservazione

In condizioni di equilibrio tra flussi di massa (o di molecole), da una fase all'altra,  $M_A$  e  $M_B$  sono costanti

Da cui  $-\frac{dM_A}{dt} = \frac{dM_B}{dt} = 0 \Rightarrow E = C$

Queste condizioni di equilibrio è detta di saturnazione.

Quindi la saturazione, nel caso del vapore acqueo rispetto alla fase liquido, è la condizione in cui il numero di molecole che passano dalla fase liquido a quella vapore, nell'unità di tempo, è esattamente uguale a quello delle molecole che passano dalla fase vapore a quella liquida.

Ovvero, quando l'evaporazione (E) equilibra compensa la condensazione (C)

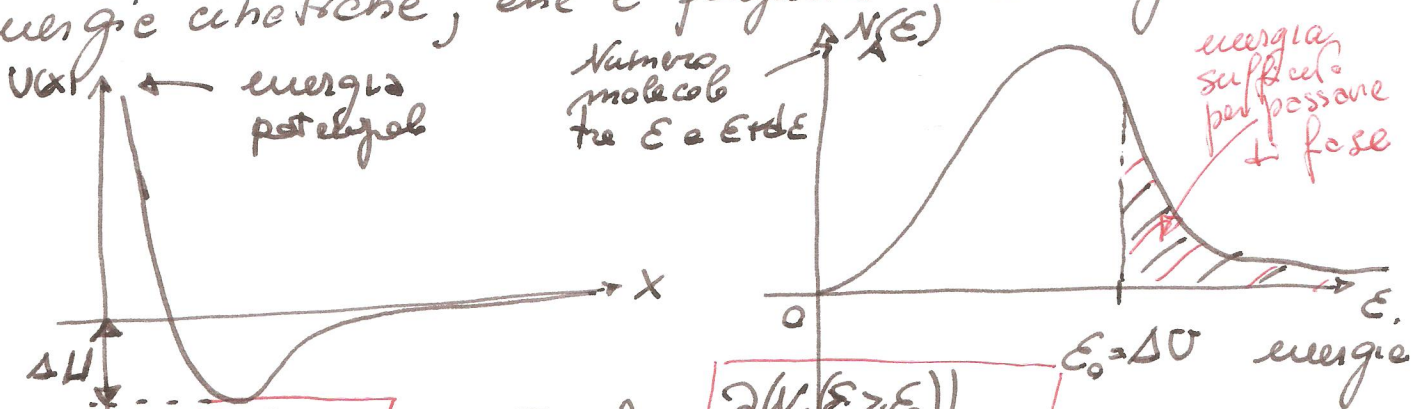
### Osservazione

La massa (numero di molecole) che passa dalla fase A alla fase B dipende prevalentemente dalla temperatura se la massa in fase A è molto maggiore di quella nella fase B.



Esempio: goccia di acqua e vapore. Il numero di molecole di acqua nella goccia è molto maggiore del numero delle molecole di vapore che circondano la goccia. Ciò deriva dalla distanza medio tipica nelle due fasi.

Quindi  $E(T)$  in quanto  $n_{Ae}(T)$ . Infatti l'energia necessaria ad una molecola per uscire dalla buca di potenziale generata dalle altre molecole che la circondano deve superare una soglia, cioè l'energia potenziale della buca in cui è confinata. Inoltre l'energia di una molecola sarà data dalla distribuzione tipica delle energie cinetiche, che è funzione della temperatura.



In fine  $\frac{\partial E}{\partial T} > 0$  visto che

$$\frac{\partial (N_A(E > E_0))}{\partial T} > 0$$

### Osservazione

La massa (numero di molecole) che passa dalla fase B alla fase A dipende prevalentemente dalla massa presente nella fase B, se molto minore rispetto a quella della fase A.

Inoltre tale massa è una funzione monotona crescente della massa in fase B.

$$\frac{\partial C}{\partial M_B} > 0$$



Queste due osservazioni sono sicuramente valide anche in condizioni di saturazione cioè quelle in cui

$$E_s(T) = C_s(M_B)$$

si è indicato esplicitamente che siamo in condizioni di SATURAZIONE

## Conseguenza

La massa, in fase B, presente in condizioni di saturazione è funzione monotona crescente della Temperatura.

Inoltre derivando ambo i membri dell'identità in condizione di saturazione, rispetto alla Temperatura si ha:

$$\frac{\partial E_s(T)}{\partial T} = \frac{\partial C_s(M_{B_s})}{\partial T}$$

Ma assumendo necessariamente la dipendenza di  $M_{B_s}$  da  $T$

$$\frac{\partial E_s(T)}{\partial T} = \frac{\partial C_s}{\partial M_{B_s}} \cdot \frac{\partial M_{B_s}}{\partial T} \Rightarrow > 0$$

$> 0 \qquad > 0$

Quindi aumentando la temperatura la saturazione si raggiunge con maggior massa in fase B

Per questo motivo, maggiore è la temperatura dell'aria  
maggiore è la quantità di vapore acqueo presente nell'aria  
e la saturazione si raggiunge ad un rapporto di miscelazione  
maggiore e con tensioni di vapore maggiori rispetto  
a temperature inferiori.

Ricordiamo che  $e = p_w R_w T$  anche in saturazione ( $e_s$ )

molto  $p_w$  (saturazione) =  $\frac{M_{B_s}}{\text{Volume}}$  con volume fissato

$$\text{Quindi } \frac{\partial e_s}{\partial T} = \frac{\partial M_{B_s}}{\partial T} \frac{R_w}{\text{Volume}} T + p_w R_w > 0$$

$> 0 \qquad > 0 \qquad > 0$

Inoltre  $x_s = \frac{p_{w_s}}{p_d} = \frac{M_{B_s}}{M_d}$  = rapporto di miscelazione saturo  
← massa vapore  
← massa aria secca



$$\frac{\partial \pi_s}{\partial T} = \frac{\partial M_{Bs}}{\partial T} \frac{1}{M_d} > 0 \quad \text{quindi il rapporto di mescolanza saturata è una funzione monotona crescente della temperatura}$$

Ne consegue che fissato la massa di vapore presente in un volume d'aria, se la temperatura ambiente ci si allontana dal punto di condensazione (saturazione)

Consideriamo l'umidità relativa  $rh = \frac{e}{e_s}$

se  $M_{Bs}$  è fissata si ha:

$$\frac{\partial rh}{\partial T} = \frac{\partial}{\partial T} \left( \frac{e}{e_s} \right) = \frac{1}{e_s} \frac{\partial e}{\partial T} - \frac{e}{e_s^2} \frac{\partial e_s}{\partial T} = \frac{e}{e_s} \left( \frac{1}{e} \frac{\partial e}{\partial T} - \frac{1}{e_s} \frac{\partial e_s}{\partial T} \right)$$

Notiamo che  $\frac{1}{e} \frac{\partial e}{\partial T} = \frac{1}{\rho_w R_w T} \frac{\partial}{\partial T} \left( \frac{M_B R_w T}{Vol} \right) = \frac{\rho_w R_w}{\rho_w R_w T} \frac{1}{T} = \frac{1}{T}$

Inoltre  $\frac{1}{e_s} \frac{\partial e_s}{\partial T} = \frac{1}{\rho_{w_s} R_w T} \left( \frac{\partial M_{Bs}}{\partial T} \frac{R_w}{Vol} T + \rho_{w_s} R_{w_s} \right)$

$$= \frac{1}{\rho_{w_s}} \frac{1}{Vol} \frac{\partial M_{Bs}}{\partial T} + \frac{1}{T} = \frac{1}{M_{Bs}} \frac{\partial M_{Bs}}{\partial T} + \frac{1}{T}$$

Conseguentemente

$$\frac{\partial rh}{\partial T} = rh \left( \frac{1}{e} \frac{\partial e}{\partial T} - \frac{1}{e_s} \frac{\partial e_s}{\partial T} \right) = rh \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{M_{Bs}} \frac{\partial M_{Bs}}{\partial T} - \frac{1}{T} \right) =$$

$$= -rh \frac{1}{M_{Bs}} \frac{\partial M_{Bs}}{\partial T} < 0$$

Quindi l'umidità relativa diminuisce

Conseguenze: la temperatura di rugiada (dew point temperature)

Dato un volume d'aria avente un contenuto di vapore acqueo definito tramite umidità specifica ( $q$ ) o rapporto di mescolanza ( $r$ ) che non sia in condizioni di saturazione, diminuendo la temperatura l'umidità relativa ( $r_h$ ) aumenta e può ridurre a sufficiente la temperatura si può raggiungere la condizione di saturazione.

La temperatura a cui avviene la condizione di equilibrio (saturazione) tra vapore e liquido si definisce temperatura di rugiada detta anche dew point temperature. Si indica con  $T_d$

Diminuendo la temperatura ulteriormente al di sotto co  $T_d$  la condensazione è maggiore della evaporazione, quindi si ha la formazione di goccioline di acqua.  
 $E < C$  con  $T < T_d$

Se ci si trova in condizioni in cui la condensazione è maggiore dell'evaporazione, aumentando la temperatura si potrà raggiungere l'equilibrio tra evaporazione e condensazione, quindi la saturazione.

Aumentando ulteriormente la temperatura l'evaporazione sarà maggiore della condensazione ed eventuali formazioni liquido (goccioline) evaporeranno

$E > C$  con  $T > T_d$