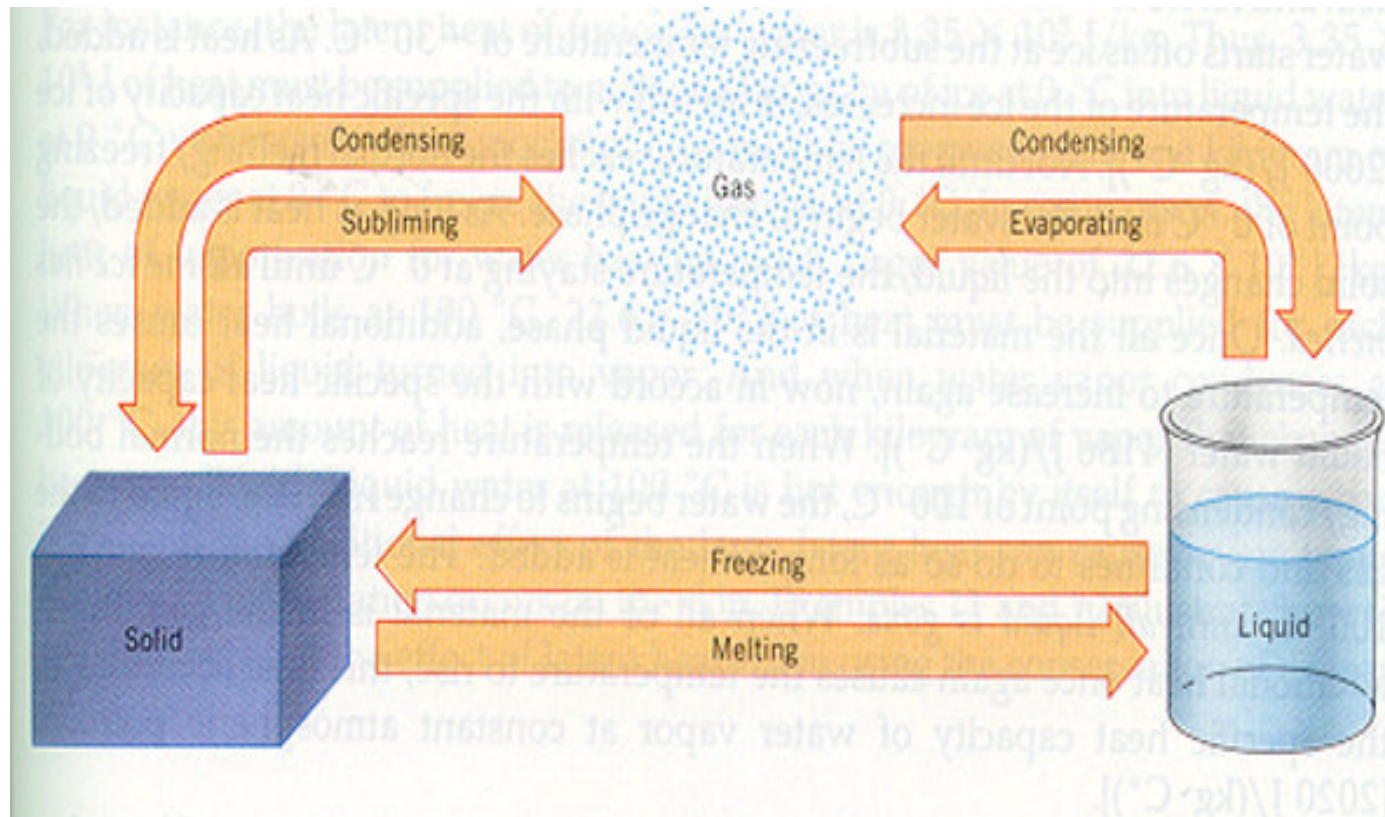


Trasformazioni dell'acqua

Trasformazioni

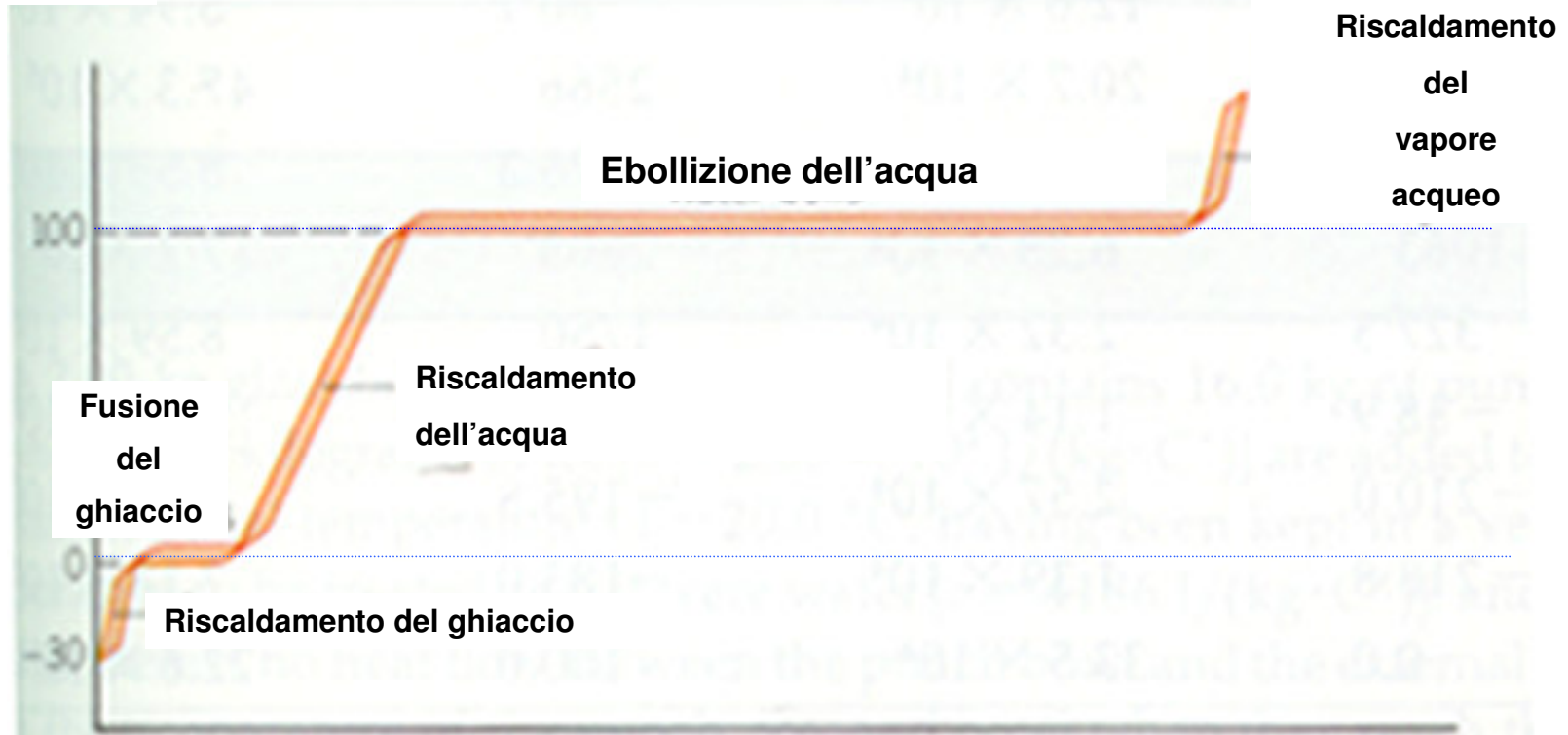
Trasformazioni della materia



Particolarmente importante: ACQUA

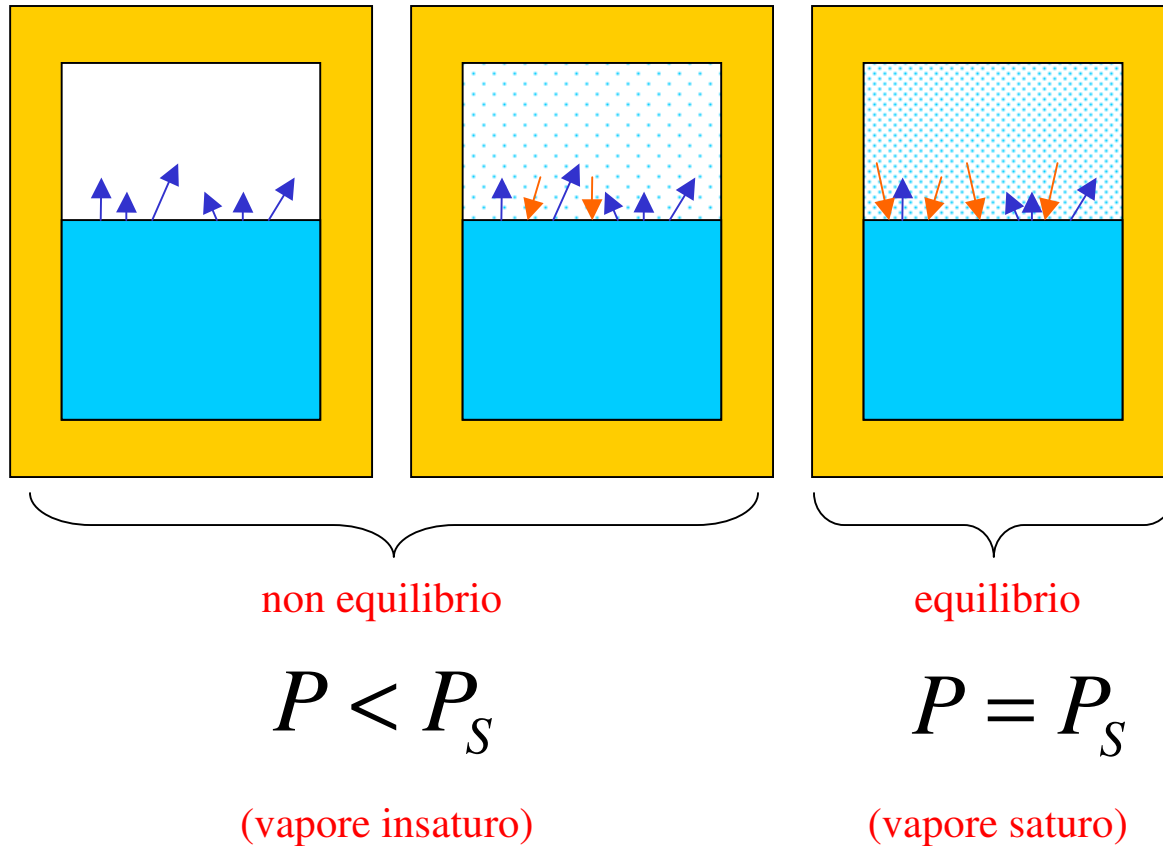
Trasformazioni dell'acqua

T (°C)



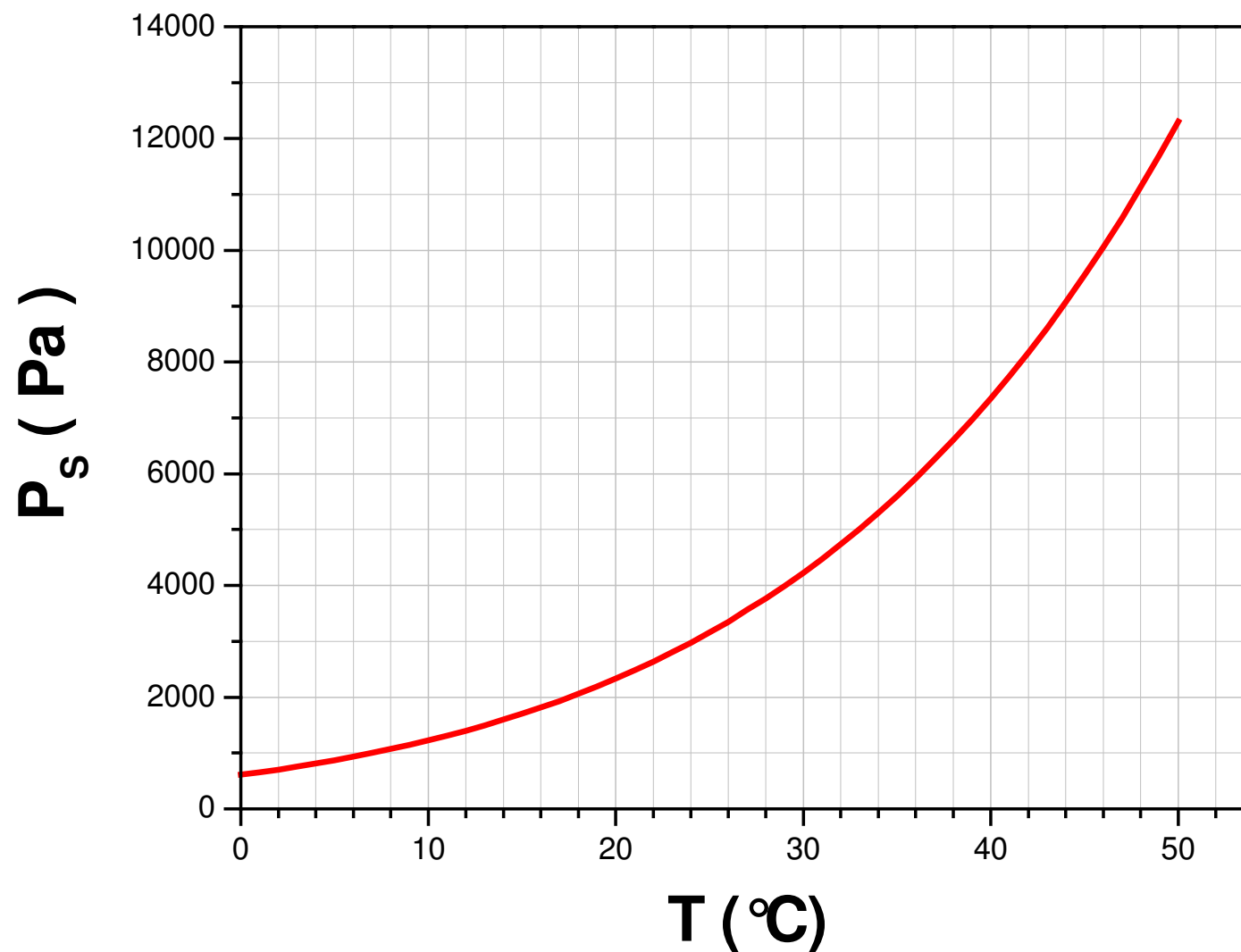
Calore fornito (u.a.)

Equilibrio (cinetico) liquido-vapore



$$P_s = P_s(T)$$

Curva della pressione di saturazione



Umidità Relativa UR

$$UR = \frac{P}{P_s(T)} \times 100$$

- Pressione parziale di vapore P

Contributo del vapor acqueo alla pressione

$[P] = \text{Pa}$

- Pressione di saturazione $P_s(T)$

Massimo valore della pressione di vapore ad una certa temperatura

$[P_s] = \text{Pa}$

UMIDITA'

- I. *Umidità e ambiente di conservazione* → *UR*
- II. *Umidità e materiali igroscopici* → *U_{CA}*

I. Umidità e ambiente di conservazione → UR

Umidità Relativa UR

$$UR = \frac{P}{P_s(T)} \times 100$$

- Pressione parziale di vapore P

Contributo del vapor acqueo alla pressione

$[P] = \text{Pa}$

- Pressione di saturazione $P_s(T)$

Massimo valore della pressione di vapore ad una certa temperatura

$[P_s] = \text{Pa}$

Dalla pressione alla densità d'acqua contenuta

- Umidità assoluta U

Massa d'acqua contenuta nell'unità di volume

$$[U] = \text{g/m}^3$$

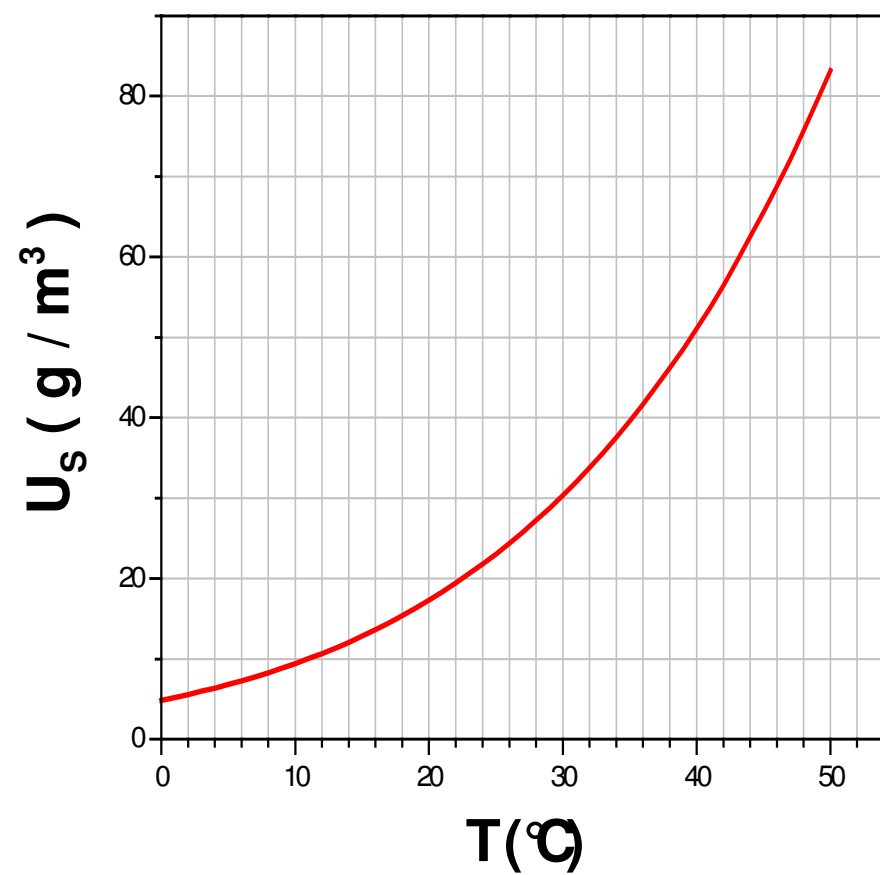
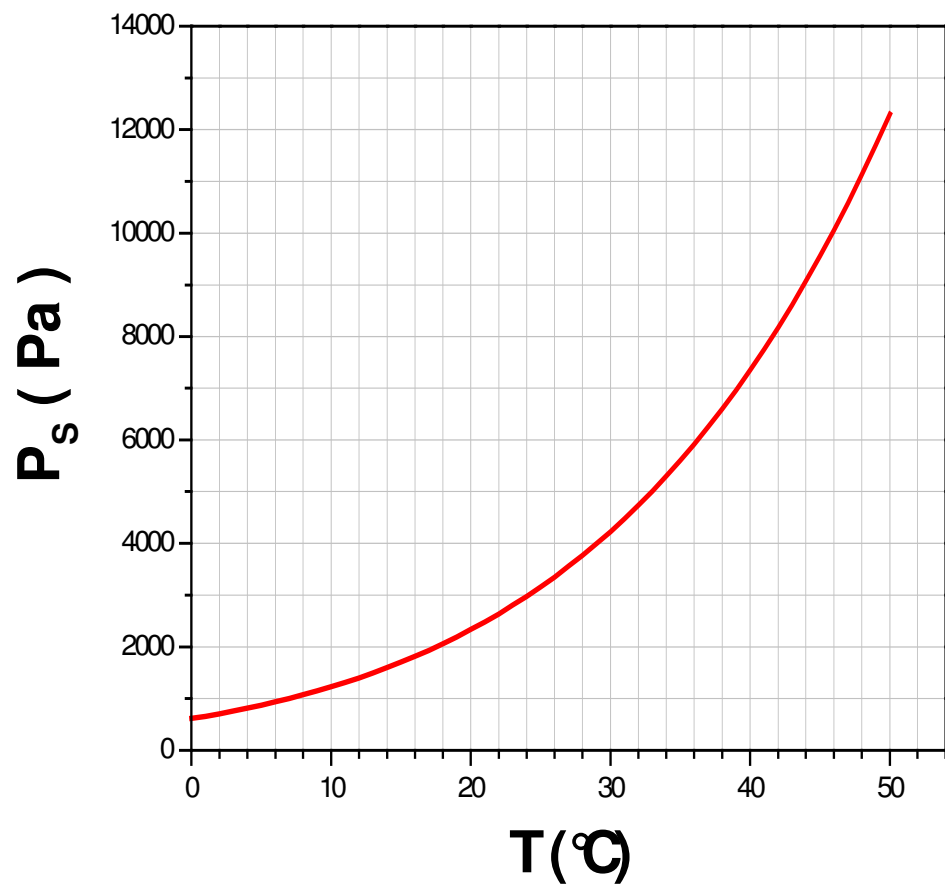
- Umidità di saturazione $U_s(T)$

Massima quantità d'acqua contenibile, ad una certa temperatura, nell'unità di volume

$$[U_s] = \text{g/m}^3$$

$$P \leftrightarrow U$$

$$P_s(T) \leftrightarrow U_s(T)$$



Umidità Relativa UR

$$UR = \frac{U}{U_s(T)} \times 100$$

- Umidità assoluta U

Massa d'acqua contenuta nell'unità di volume

$$[U] = \text{g/m}^3$$

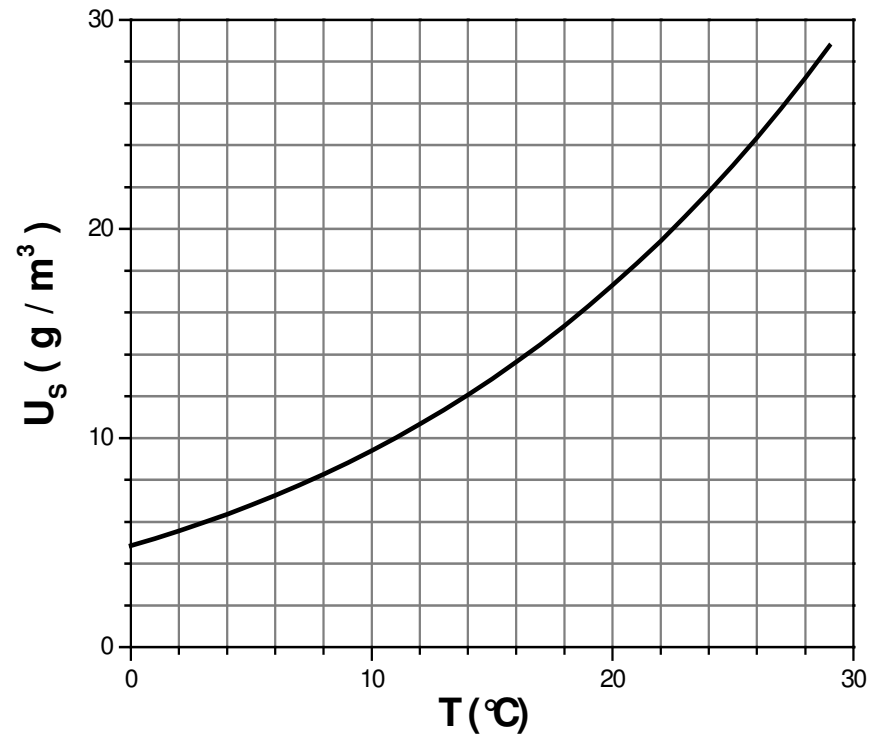
- Umidità di saturazione $U_s(T)$

Massima quantità d'acqua contenibile, ad una certa temperatura, nell'unità di volume

$$[U_s] = \text{g/m}^3$$

Curva dell'umidità di saturazione

- Per la $U_s(T)$ esiste una curva che descrive la sua dipendenza da T analoga a quella della pressione di saturazione $P_s(T)$



- Punto di rugiada T_R

Per una data umidità assoluta U , il punto di rugiada T_R è la temperatura alla quale il valore, sottoposto a raffreddamento, condensa

nota:

Dalla definizione di punto di rugiada segue che

$$U \equiv U_S(T_R)$$

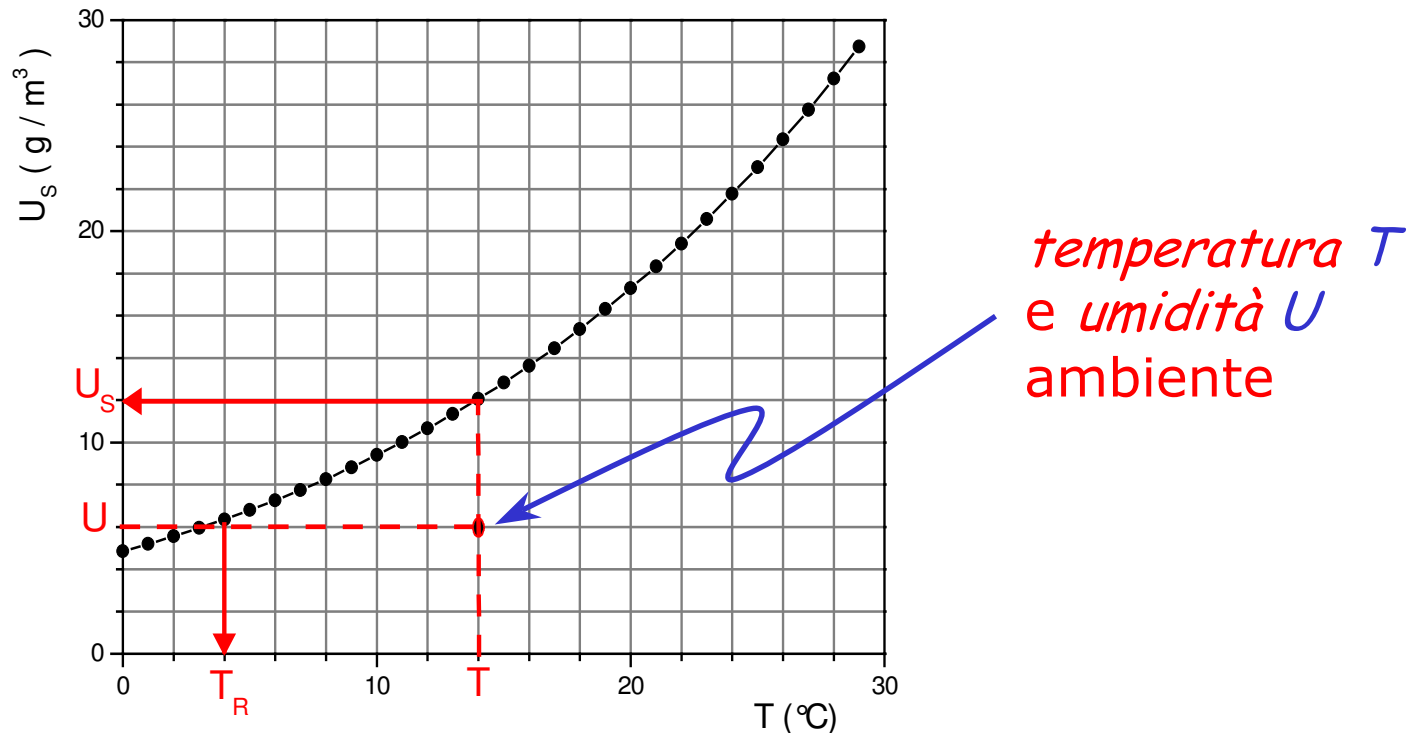
e l'espressione UR può anche essere riscritta come:

$$UR = \frac{U_S(T_R)}{U_S(T)} \times 100$$

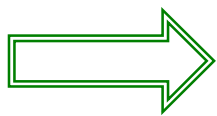
E' su questa forma della definizione di umidità relativa che si basa il funzionamento di un **igrometro a condensazione** (o a punto di rugiada)

Determinazione di UR dalla misura di T e T_R

1. Misuro T
2. Misuro T_R (raffreddando l'aria fino quando non la vedo condensare)

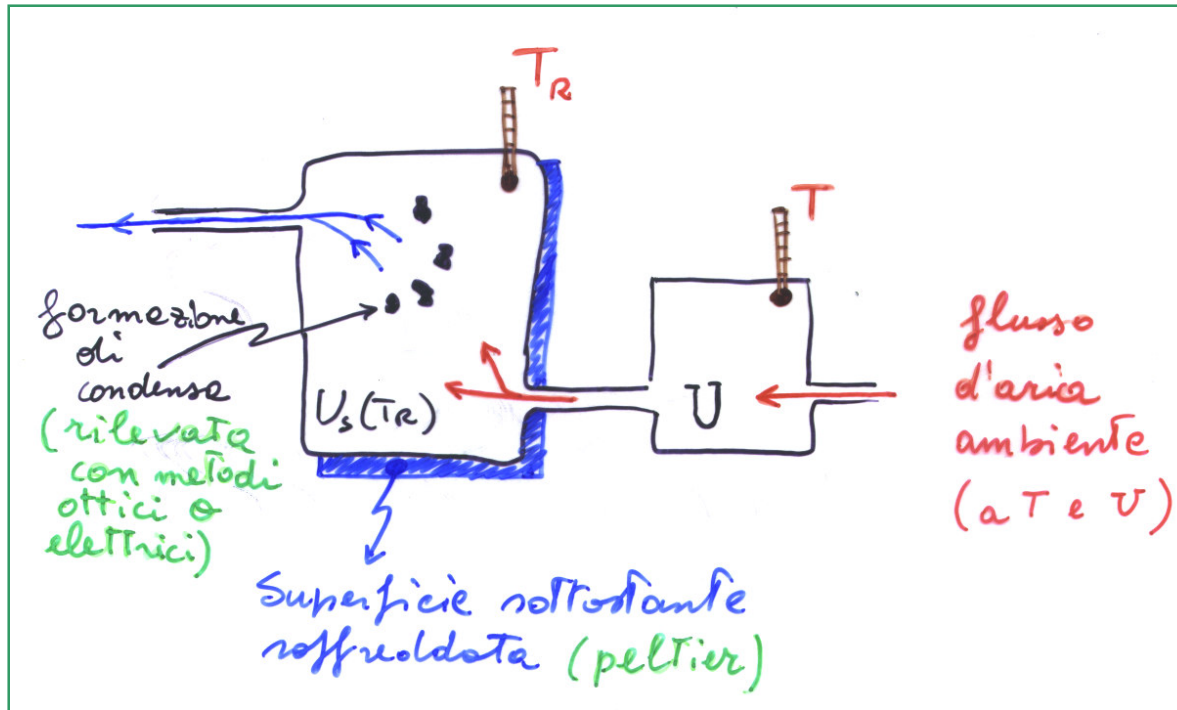


3. Dalla curva dell'umidità di saturazione ricavo $U_s(T)$ ed $U_s(T_R)$



$$UR = \frac{U}{U_s(T)} \times 100 \equiv \frac{U_s(T_R)}{U_s(T)} \times 100$$

Igrometro a condensazione (a punto di rugiada)



- noti T e T_R , dalla curva dell'umidità di saturazione ricavo $U_s(T)$

ed $U_s(T_R)$ $\Rightarrow$
$$UR = \frac{U_s(T_R)}{U_s(T)} \times 100$$

II. Umidità e materiali igroscopici → U_{CA}

Contenuto d'acqua U_{CA}

$$U_{CA} = \frac{m_{H_2O}}{m_{SEC}} \times 100$$

- m_{H_2O} massa d'acqua presente nel materiale
- m_{SEC} massa anidra del materiale

note:

1. Dal contenuto d'acqua U_{CA} di un materiale igroscopico dipendono fortemente le sue proprietà fisiche, geometriche e meccaniche
2. Il contenuto d'acqua è fortemente influenzato da UR (e non da U !)

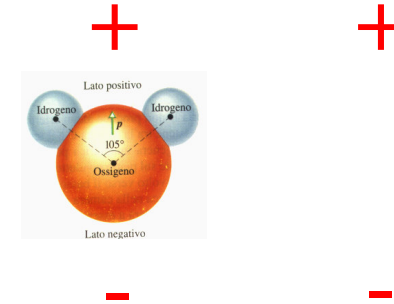


Il valore di UR e le sue variazioni (ΔUR) influenzano fortemente sia la qualità delle condizioni di conservazione che molti processi di degrado dei materiali igroscopici

Composti polari (o idrofili)

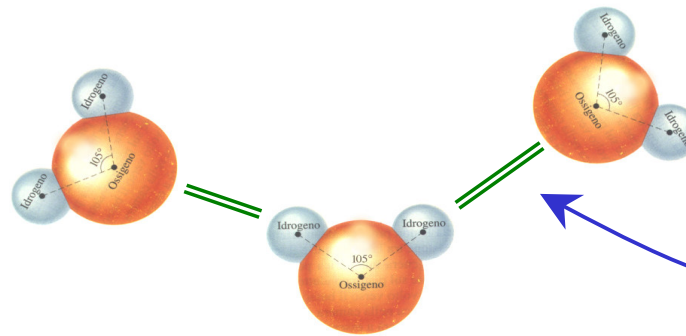
- Acqua: composto polare

Distribuzione non omogenea della carica



- Legame idrogeno: tra molecole d'acqua o tra molecole d'acqua e altre molecole polari

E' un legame "ponte" tra due gruppi polari, ad esempio quelli ossidrilici OH



- Es: Molecole di cellulosa

Si aggregano con legame idrogeno tra loro e con altre molecole polari

Le fasi dell'assorbimento di H_2O

1. Adsorbimento: legame chimico col materiale

$U_{CA} \rightarrow \sim 5\%$

2. Imbibizione: aggregati di H_2O tra le fibre

$U_{CA} \rightarrow \sim 30\%$

3. Assorbimento capillare: Riempimento capillare delle porosità per contatto con acqua liquida

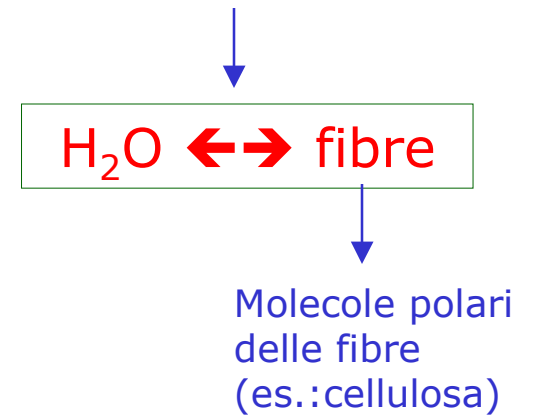
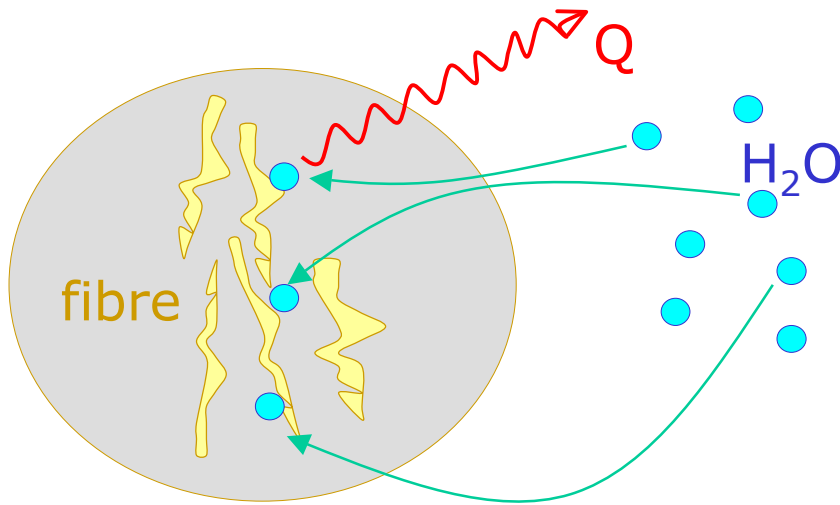
$U_{CA} \rightarrow 200\% \text{ o anche più}$

note:

1. Il processo (3) è quello da prevenire per libri o quadri in contatto con una parete fredda ($T < T_R \rightarrow$ condensazione $\rightarrow H_2O$ liquida)
2. I processi (1) e (2) diventano meno efficienti all'aumentare di T

Adsorbimento

Inizialmente (da stato anidro) preponderante → formazione di legami

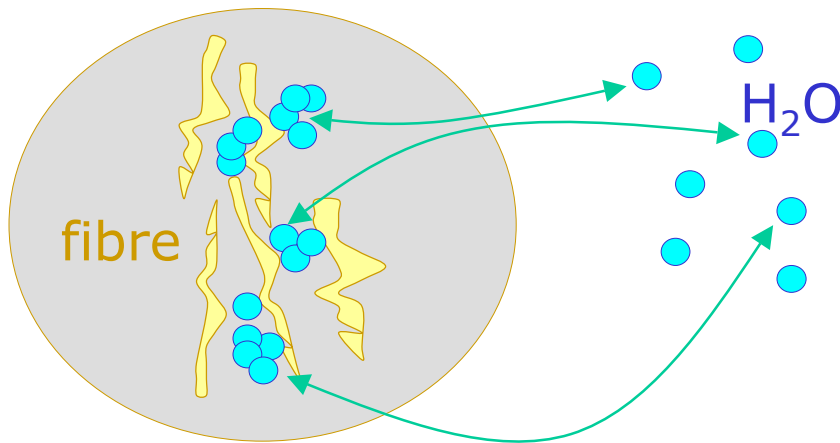


note:

1. E' un processo esotermico
2. Diminuisce rapidamente con l'idratazione (satura rapidamente)
3. Diminuisce sensibilmente all'aumentare di T

Imbibizione

- Questa fase è governata dalla formazione (rottura) di legami



- In questa fase il verso prevalente di migrazione è regolato dal confronto

$$P_{\text{tra le fibre}} \leftrightarrow P_{\text{nell'ambiente}}$$

- E' il processo che porta all'**equilibrio igrometrico** (*equilibrio dinamico*) quando

$$P_{\text{tra le fibre}} = P_{\text{nell'ambiente}}$$

note:

- Non è un processo esotermico
- Anche l'imbibizione diminuisce con l'idratazione e l'aumento di T
- Adsorbimento e imbibizione cessano con l'assorbimento capillare

Contenuto d'acqua e umidità relativa

- Legame tra UR e U_{CA}

Si osserva che variazioni di U_{CA} sono direttamente correlabili a quelle di UR (e non di U)

- Verso di migrazione dell' H_2O

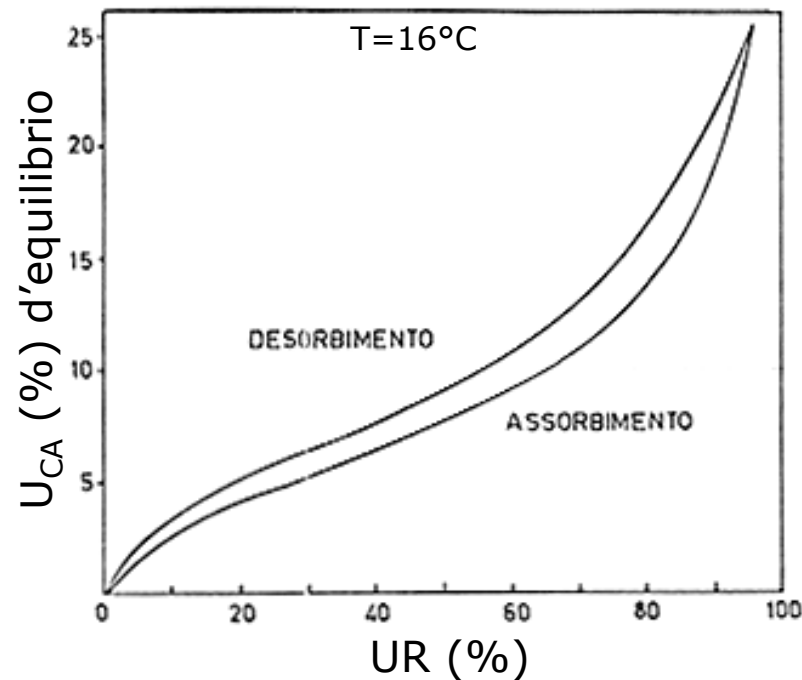
Per un dato valore di T, invece che confrontare $P_{tra\ le\ fibre}$ e $P_{nell'ambiente}$, si possono confrontare UR e U_{CA} per definire il verso di migrazione dell' H_2O

- Valore di equilibrio

Data una certa UR, il valore di U_{CA} tende ad un valore per il quale si ha l'equilibrio igrometrico (eq. dinamico)

Diagramma d'equilibrio igrometrico (EMC)

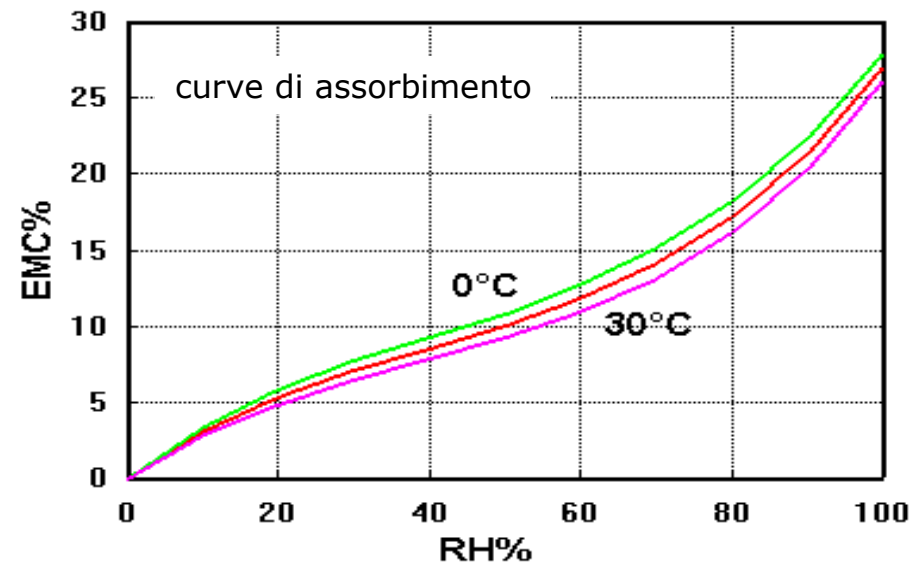
- Ad una data T , per ogni valore di UR , U_{CA} tende a un valore d'equilibrio (EMC) ricavabile dal



- Ogni materiale igroscopico ha il suo diagramma EMC
- Per ogni temperatura c'è un diagramma EMC specifico

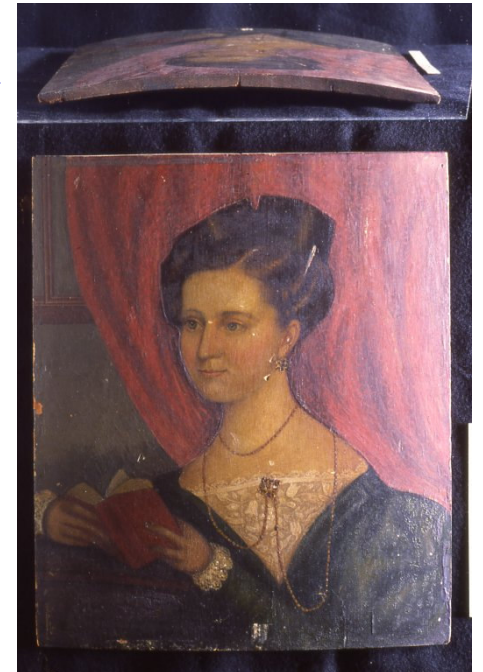
Note sul diagramma EMC

- Il nome completo è *diagramma isoterma d'isteresi igrometrica*. Infatti vale per una data temperatura e riporta le due curve che caratterizzano un ciclo completo di assorbimento-desorbimento
- Se non si conosce la storia igrometrica di un materiale, *l'isteresi introduce un'indeterminazione*. Per un dato valore di UR, dal diagramma si potrà ricavare un intervallo di valori $(U_{CA} \pm \delta U_{CA}) \%$
- Per un dato materiale, le curve EMC valide alle diverse temperature mostrano come il processo di assorbimento sia meno efficiente a **T** maggiore



Effetti legati al valore di U_{CA} e alle sue variazioni

- Disomogeneità di U_{CA} : da disomogeneità spaziali (gradienti) di T e UR nell'ambiente di conservazione, da condizioni di non-equilibrio igrometrico (variazioni occasionali o cicliche di T e UR)
 - **Deformazioni** (variazioni dimensionali) 
- Valori non idonei di U_{CA} : da valori non idonei di UR
 - **Degrado chimico**
 - **Biodeterioramento**
 - **Alterazione delle proprietà fisico-meccaniche**



Proprietà meccaniche e valori di UR

