

## TERMODINAMICA DELL'ARIA UMIDA

Misura del vapore acqueo: grandezze igrometriche

1) Mixing ratio: rapporto tra la massa di vapore acqueo  $m_v$  e la massa di aria secca  $m_d$  contenute in un certo volume

$$w = m_v / m_d \quad [w] = \text{g/kg} \quad \text{ma negli esercizi } [w] = \text{kg/kg}$$

Varia da pochi g/kg alle medie latitudini sino a 20 g/kg ai tropici

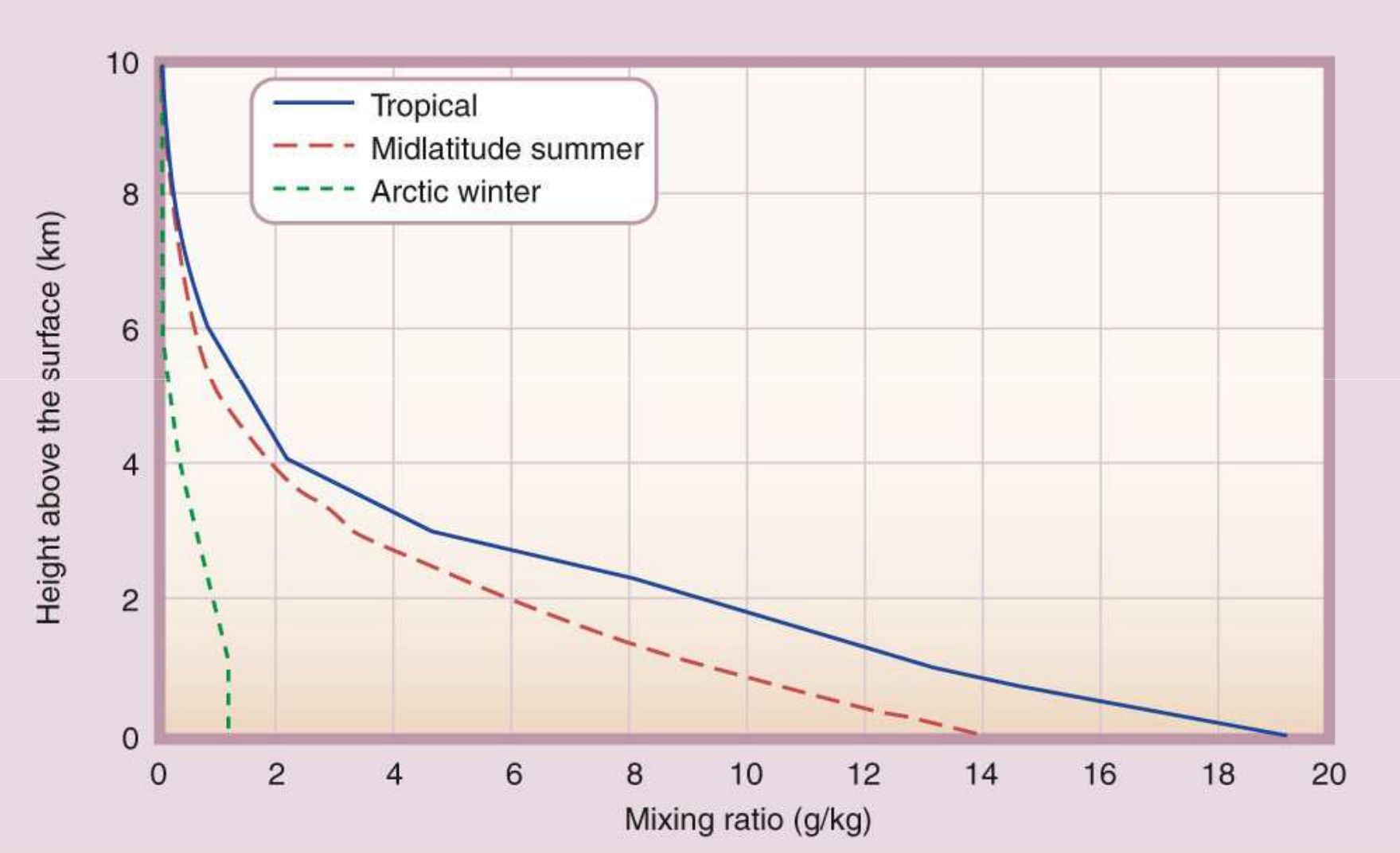
Resta costante in assenza di condensazione o evaporazione

2) Umidità specifica: rapporto fra la massa di vapore acqueo  $m_v$  e la massa totale di aria

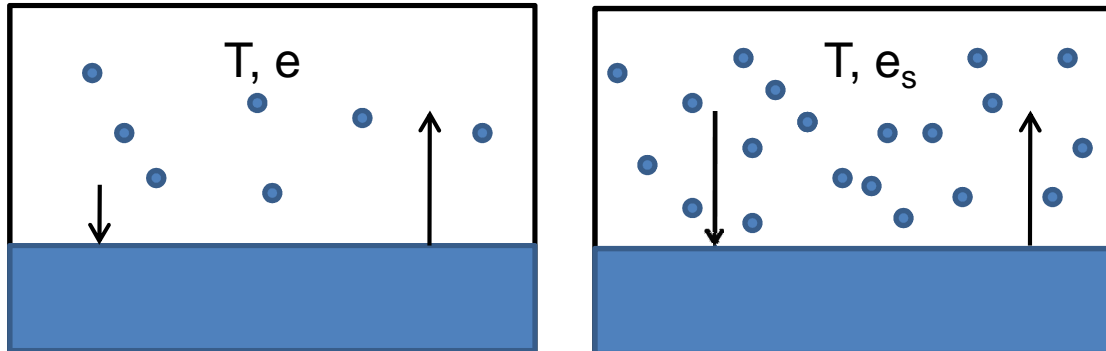
$$q = m_v / (m_v + m_d) = w / (1 + w)$$

Siccome  $w$  è dell'ordine di pochi centesimi alle nostre latitudini, in pratica  $q$  e  $w$  sono numericamente uguali

# Distribuzione di umidità in funzione della latitudine e della quota



### 3) Pressione di vapore saturo $e_s$



All'equilibrio tra evaporazione dell'acqua e condensazione del vapore:

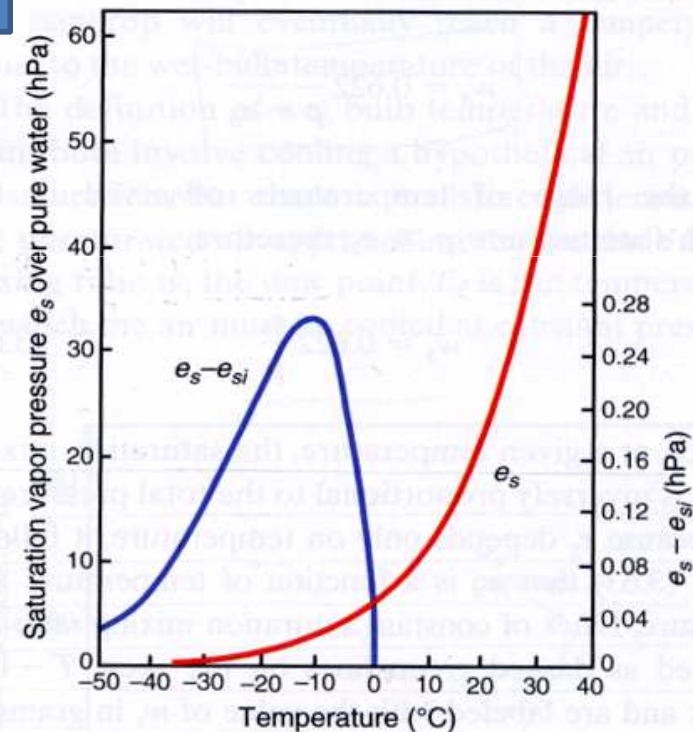
$e_s$  = pressione che il vapore esercita sull'acqua

Se al posto dell'acqua ho del ghiaccio  $\rightarrow e_{si}$   
 $e_{si} < e_s$

poiché l'evaporazione dal ghiaccio é inferiore di quella dall'acqua

Formazione della precipitazione nelle nubi fredde

$e_s$  raddoppia ogni 10°C di aumento di T



**Fig. 3.9** Variations with temperature of the saturation (i.e., equilibrium) vapor pressure  $e_s$  over a plane surface of pure water (red line, scale at left) and the difference between  $e_s$  and the saturation vapor pressure over a plane surface of ice  $e_{si}$  (blue line, scale at right).

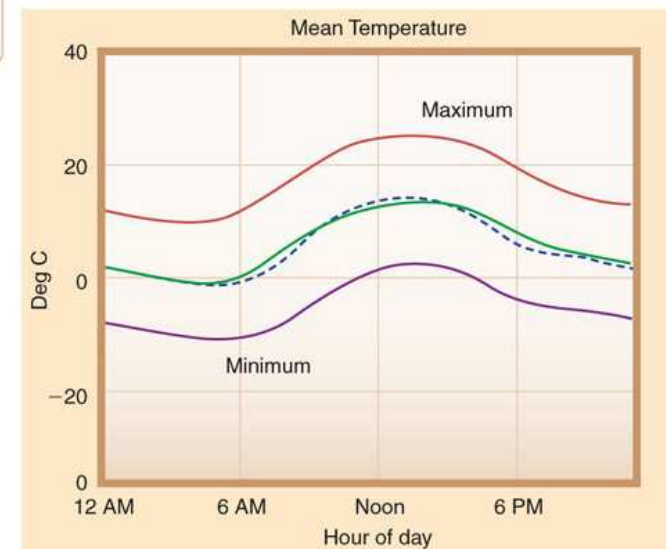
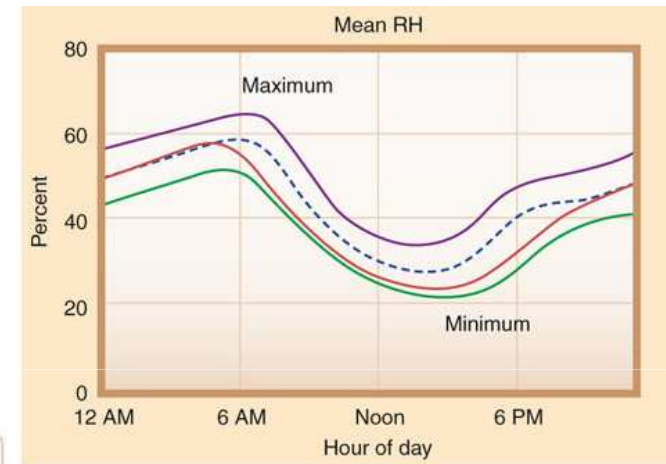
4) Saturation mixing ratio: rapporto tra la massa di vapore acqueo e la massa di aria secca in un volume di aria satura rispetto ad una superficie piana di acqua pura

$$w_s = m_{vs}/m_d \quad \dots \quad w_s \sim 0.622 e_s/p$$

5) Umidità relativa: rapporto fra il mixing ratio e il saturation mixing ratio, espresso in %

$$RH = 100 w/w_s \sim 100 e/e_s$$

RH è funzione della temperatura.  
 Data una quantità costante di umidità nel corso della giornata, RH oscilla (max all'alba, in corrispondenza della T minima, e min nel primo pomeriggio in corrispondenza della T massima)



6) Temperatura di dew point: è la T alla quale l'aria dovrebbe essere raffreddata a p costante per farla diventare satura. E' la T per cui  $w_s = w$

In pratica posso definire:

$$RH = 100 \frac{w_s (@ T_d, p)}{w_s (@ T, p)}$$

Dew point depression (T-T<sub>d</sub>)

7) Temperatura di bulbo bagnato T<sub>w</sub>

$$T_d \leq T_w \leq T$$

$$T_w = T - L \frac{w_s - w}{c_p}$$

Esercizi 3.6 e 3.7

## **LIFTING CONDENSATION LEVEL (LCL)**

E' il livello al quale una particella di aria umida non satura deve essere sollevata adiabaticamente per diventare satura.

Durante il sollevamento  $w$  resta costante poiché non c'è condensazione e quindi non cambia il contenuto di vapore acqueo. E' costante anche la  $\theta$  in quanto il processo è adiabatico secco. Varia invece il  $w_s$  che diminuisce fino ad eguagliare  $w$  in corrispondenza del LCL.

Il LCL corrisponde alla quota della base delle nubi

## **CALORE LATENTE**

Se il calore fornito al sistema produce un cambiamento di fase anziché una variazione di temperatura, l'incremento in energia interna è associato totalmente al cambiamento della configurazione molecolare e non all'incremento di energia cinetica delle molecole stesse. Si tratta di calore latente.

E' il calore da fornire all'unità di massa di sostanza per generare il cambiamento di fase.

A 1 atm e 0°C  $L_m (H_2O) = 3.34 \cdot 10^5$  J/kg calore latente di scioglimento (melting/freezing)

A 1 atm e 100 °C  $L_v (H_2O) = 2.25 \cdot 10^6$  J/kg calore latente di vaporizzazione (boiling)

Quando il calore fornito aumenta la temperatura della sostanza, allora si chiama calore sensibile

## LAPSE RATE ADIABATICO SATURO

Quando la particella raggiunge il LCL, un ulteriore sollevamento produce condensazione del vapore con rilascio di calore latente. Di conseguenza il lapse rate, ovvero il calo di T con la quota, rallenta rispetto a quello calcolato per aria non satura.

$$\Gamma_d = g/c_p = 9.8 \text{ }^\circ\text{K/km}$$

$\Gamma_s < \Gamma_d$   $\Gamma_s$  varia da 4  $^\circ\text{K/km}$  vicino al suolo per aria calda ed umida  
a 6-7  $^\circ\text{K/km}$  nella media troposfera

Espressione matematica (es. 3.50 pag. 106)

$$\Gamma_s = \frac{\Gamma_d}{1 + \frac{L_v}{c_p} \left( \frac{dw_s}{dT} \right)_p}$$

... e applicazione al föhn

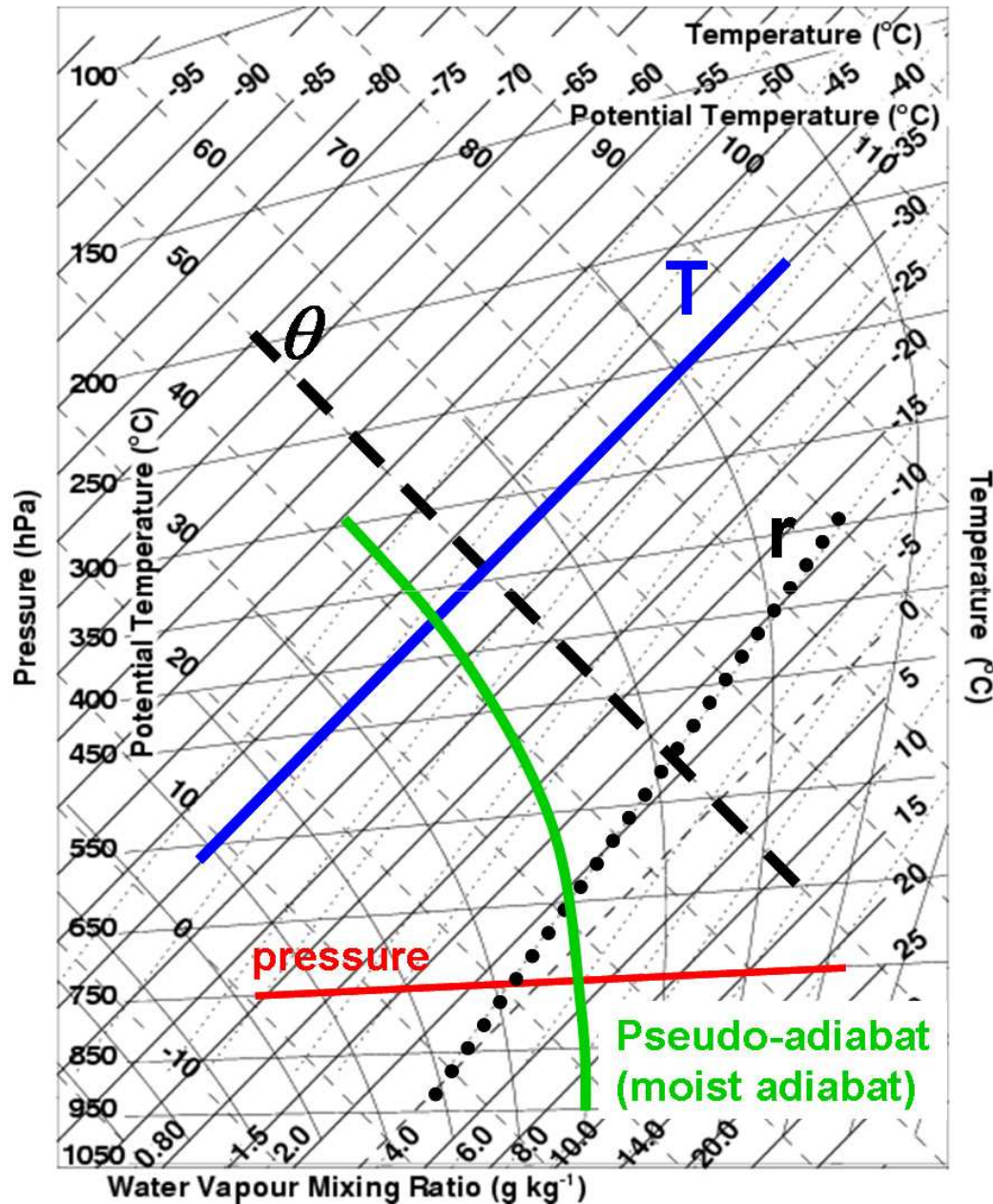
## TEMPERATURA POTENZIALE EQUIVALENTE

$$\theta_e \approx \theta e^{\frac{L_v w_s}{c_p T}}$$

E' il corrispondente della temperatura potenziale nel caso in cui vi sia condensazione

$$\theta_e > \theta$$

# DIAGRAMMI TERMODINAMICI



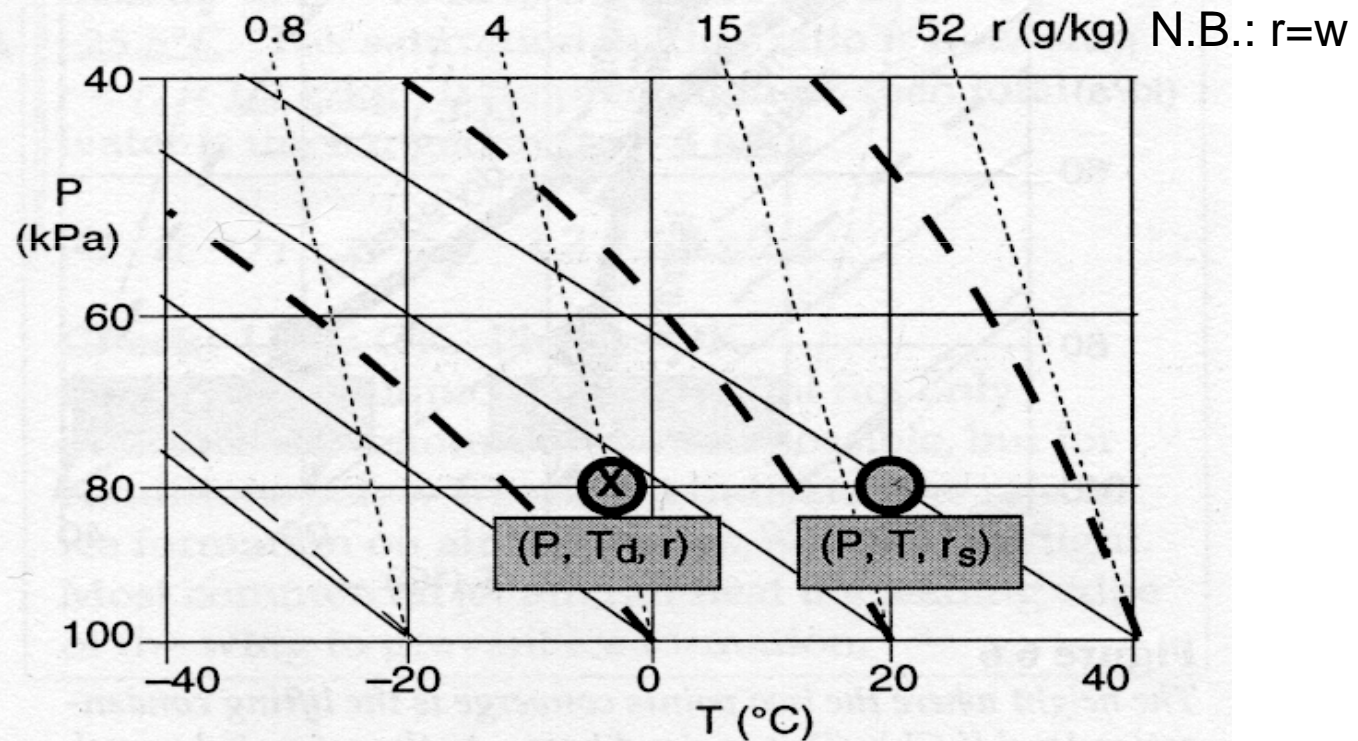
Nel diagramma termodinamico sono evidenziate:

- isobare (p costante)
- istoterme (T costante)
- isoplete (mixing ratio costante)
- curve di temperatura potenziale costante (adiabatiche secche)
- curve di temperatura potenziale equivalente costante (pseudoadiabatiche)



## State

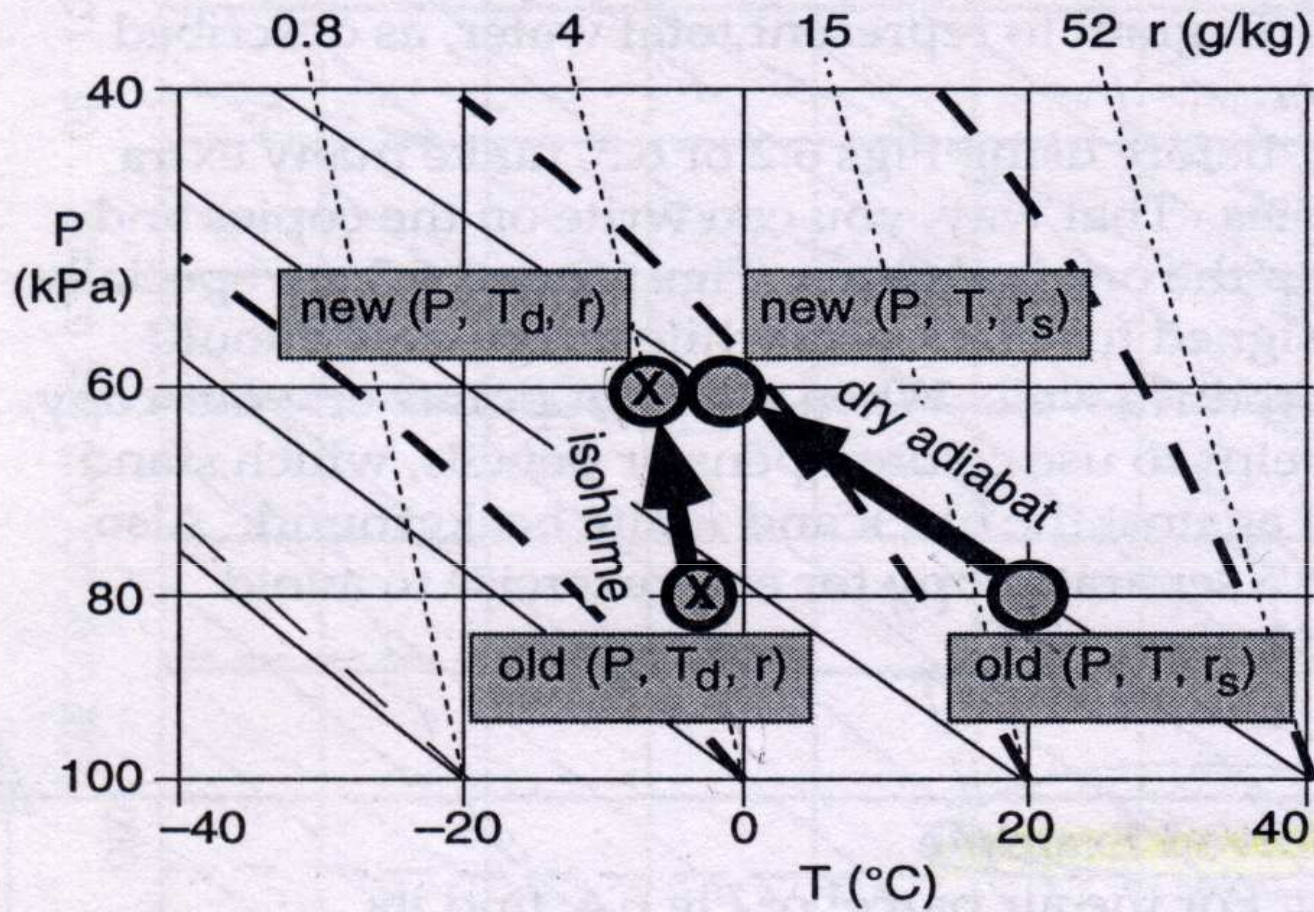
For any one air parcel that is unsaturated, two points are needed to describe its state on a thermo diagram. One describes the temperature and the other describes the humidity (see Fig 6.4).



**Figure 6.4**

Two points represent one air parcel: right indicates temperature, and left (marked with the X) indicates moisture.

## Processi umidi non saturi

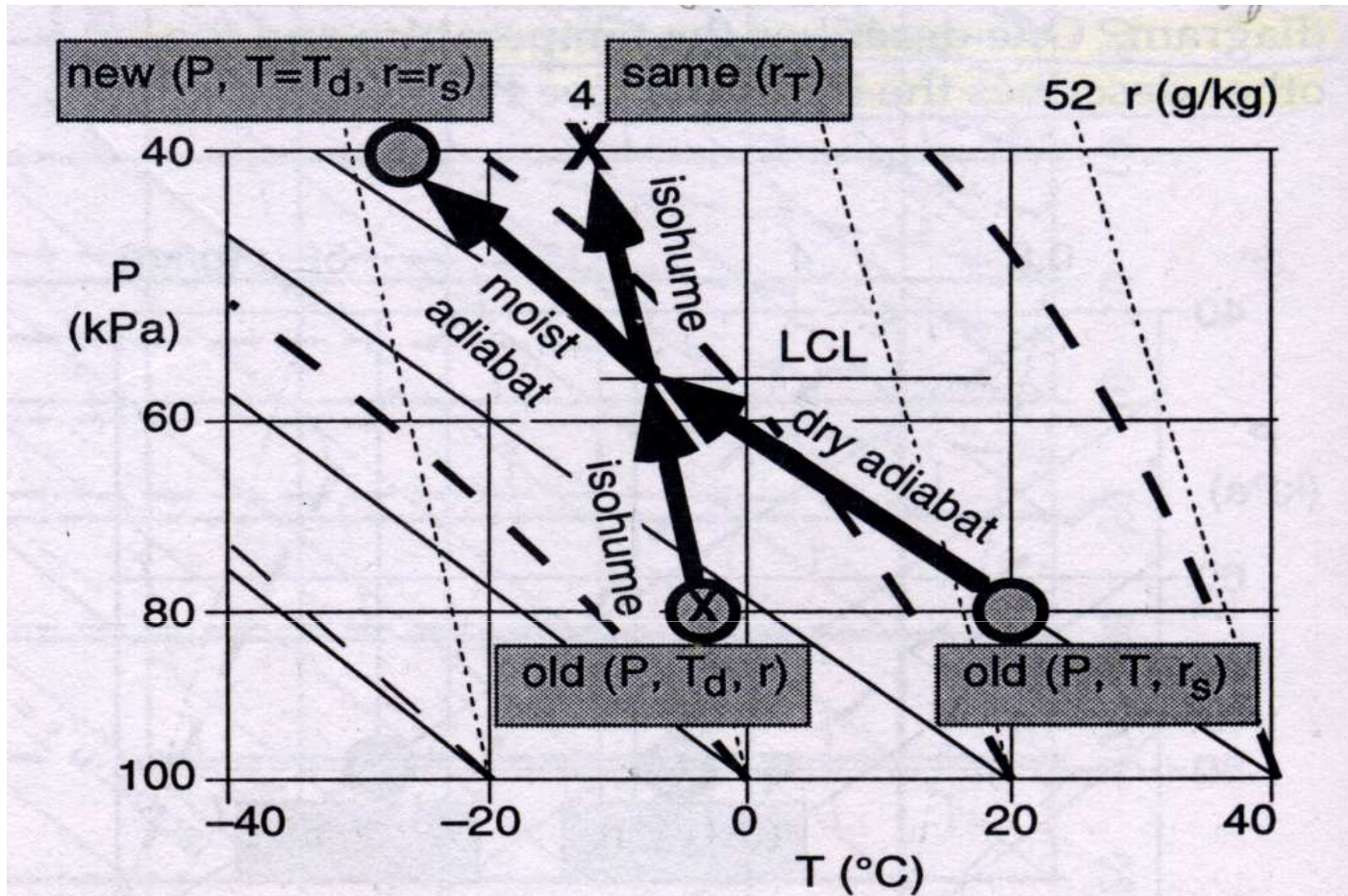


**Figure 6.5**

*Potential temperature and mixing ratio are constant for rising unsaturated air. The new points still represent the one parcel.*

*The new  $r$  equals the old  $r$ , although new  $r_s$  does not equal old  $r_s$ .*

## Processi umidi saturi



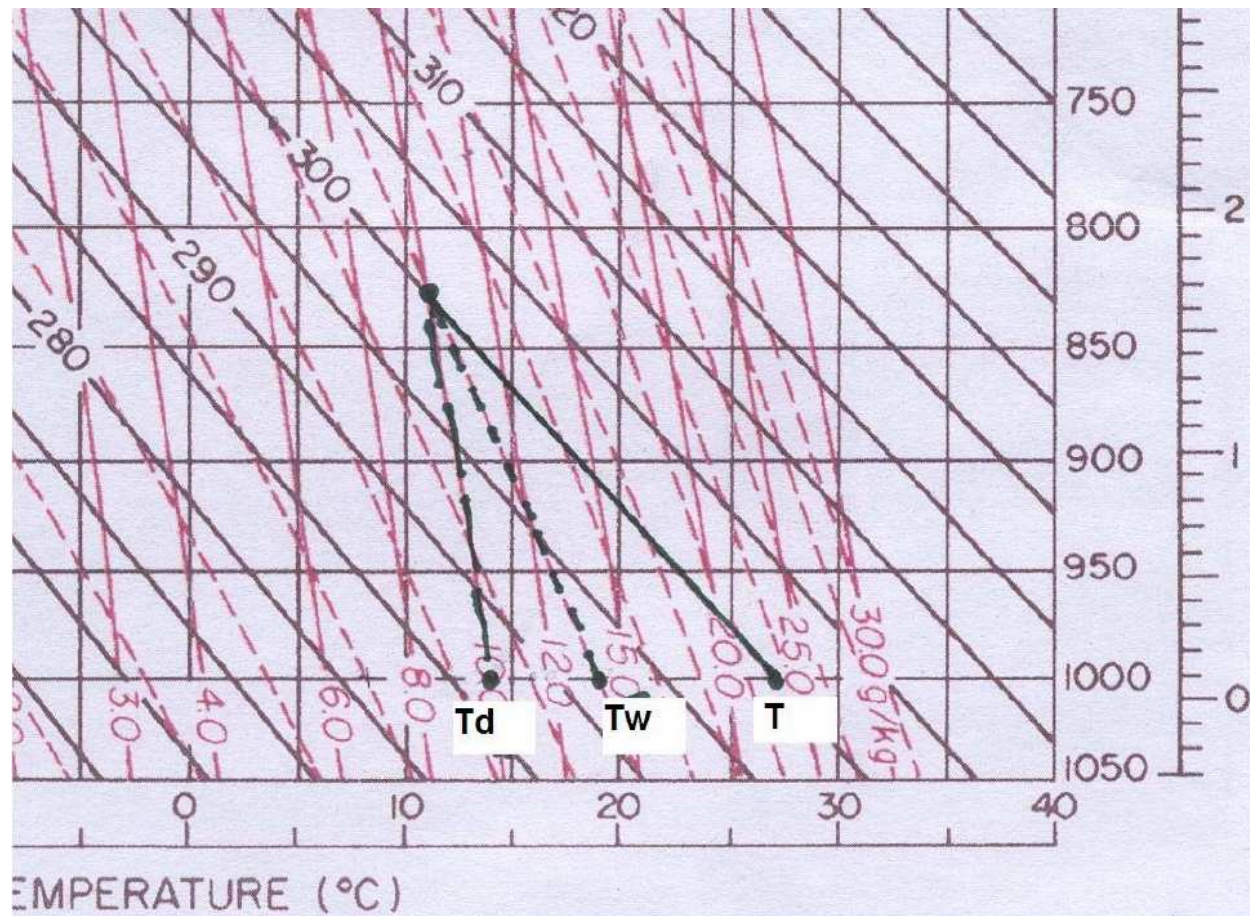
**Figure 6.6**

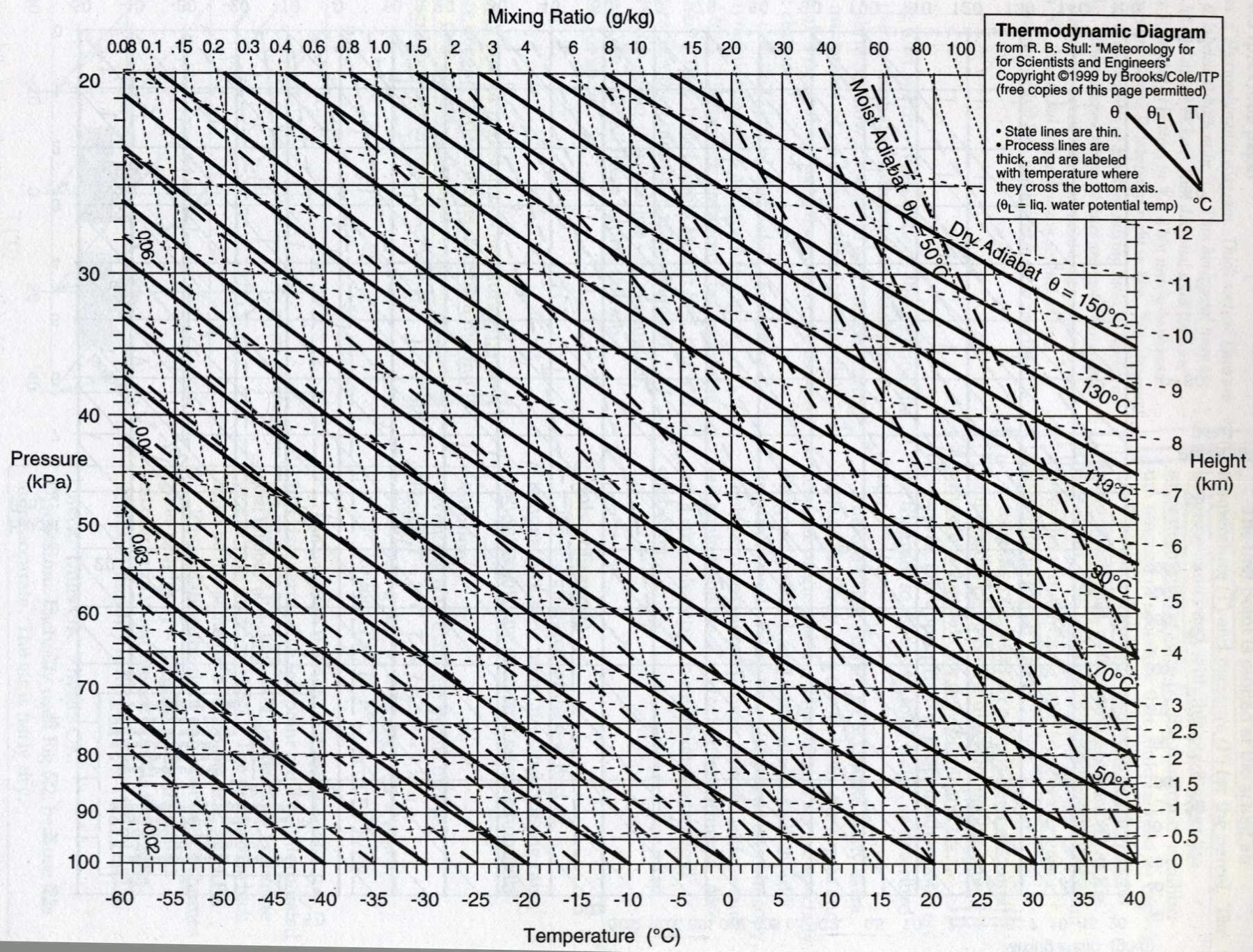
The height where the two points converge is the lifting condensation level (LCL). This is cloud base. As the saturated parcel continues to rise, the temperature point follows the moist adiabat. If no precipitation falls out of the parcel, then total water continues to follow the original isohume (indicated by X at same height as parcel).

## NORMAND'S RULE

Questa regola dice che il LCL di una particella d'aria può essere determinato su una carta pseudoadiabatica nel punto di intersezione fra:

- 1) l'adiabatica ( $\theta$  cost) che passa per il punto ( $p$ ,  $T$ )
- 2) la pseudoadiabatica ( $\theta_e$  cost) che passa per il punto ( $p$ ,  $T_w$ )
- 3) la linea di  $w_s$  costante che passa per il punto ( $p$ ,  $T_d$ )





# Tephigram

