

# DIAGRAMMI TERMODINAMICI

Dispensa a cura di Silvio Davolio (2012)

## STATO DI UNA PARTICELLA D'ARIA

Per una particella d'aria non satura, lo stato termodinamico può essere descritto su un diagramma termodinamico attraverso due punti. Un punto fornisce informazioni sulla temperatura, l'altro sull'umidità (Fig. 1).

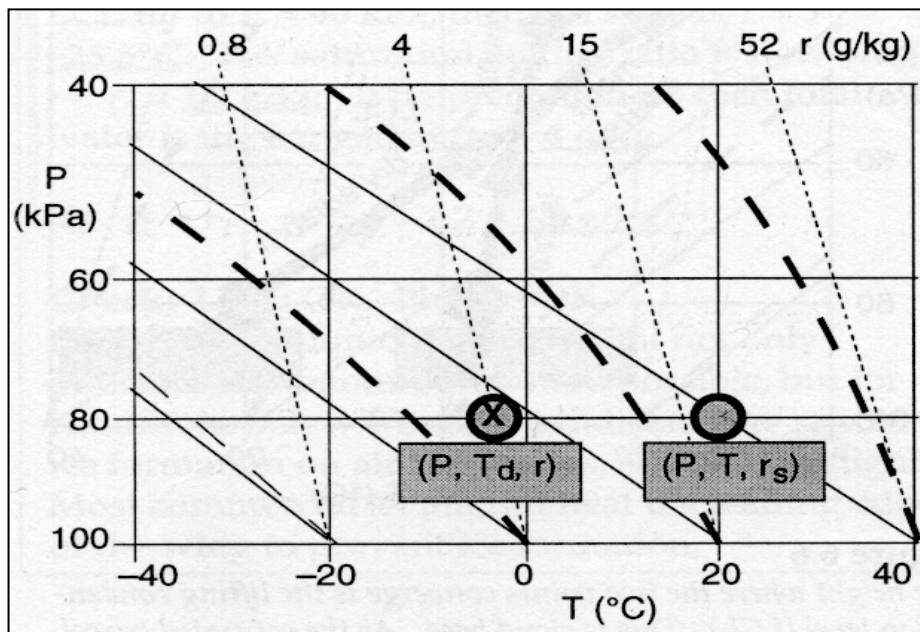


Figure 1: I due punti rappresentano lo stato della particella d'aria.

Il punto a destra fornisce temperatura ( $T$ ), pressione ( $p$ ) e saturation mixing ratio ( $w_s$ ). Quest'ultimo si ottiene come valore associato alla linea di mixing ratio costante (linee con tratteggio fitto) del diagramma termodinamico passante per il punto ( $T, p$ ) e rappresenta la massima quantità di vapore che può essere contenuta alla data  $T$  e  $p$ . Il punto a sinistra è collocato alla stessa pressione  $p$  e fornisce la temperatura di dew point ( $T_d$ ). La curva di mixing ratio costante passante per ( $T_d, p$ ) fornisce il valore di mixing ratio ( $w$ ) della particella d'aria considerata ( $w < w_s$ ). Con questi due punti ho quindi tutte le informazioni sullo stato della particella.

Una particella di aria satura (es: nubi) necessita solo di un punto sul diagramma termodinamico in quanto  $T = T_d$  e  $w = w_s$ .

Nel diagramma termodinamico sono mostrate anche le curve adiabetiche secche (linee continue oblique) e le adiabetiche sature (linee tratteggiate in grassetto). Le linee orizzontali identificano il livello di pressione la cui scala si legge sull'asse delle  $y$ . Le linee verticali identificano la temperatura, il cui valore è rappresentato sull'asse delle  $x$ .

Attraverso il diagramma termodinamico posso analizzare come avvengono gli spostamenti verticali in atmosfera. Siccome l'aria ha scarse doti termiche, posso considerare gli spostamenti come adiabatici e studiarli per mezzo di una "particella d'aria" che si muove seguendo il gradiente adiabatico secco o saturo, in funzione del contenuto di vapore. Confrontando poi la temperatura della particella d'aria con quella dell'ambiente in cui viene a trovarsi, posso determinare le caratteristiche di stabilità dell'atmosfera.

## PROCESSI NON SATURI (SECCHI)

Quando una particella d'aria non satura si solleva, la sua temperatura cala, a causa del calo di pressione con la quota, seguendo il gradiente adiabatico secco  $\Gamma_d$ , mentre la temperatura potenziale ( $\theta$ ) ed il mixing ratio ( $w$ ) restano costanti, in quanto il processo è adiabatico e non avviene condensazione/evaporazione (Fig. 2). Di conseguenza, ci si muove sul diagramma termodinamico lungo l'adiabatica secca passante per il punto  $(T, p)$  di partenza e contemporaneamente lungo la curva di mixing ratio costante passante per  $(T_d, p)$ . Nel sollevamento resta costante  $w$  (non avviene né condensazione, né evaporazione), mentre il mixing ratio di saturazione ( $w_s$ ) cala al calare di  $T$ .

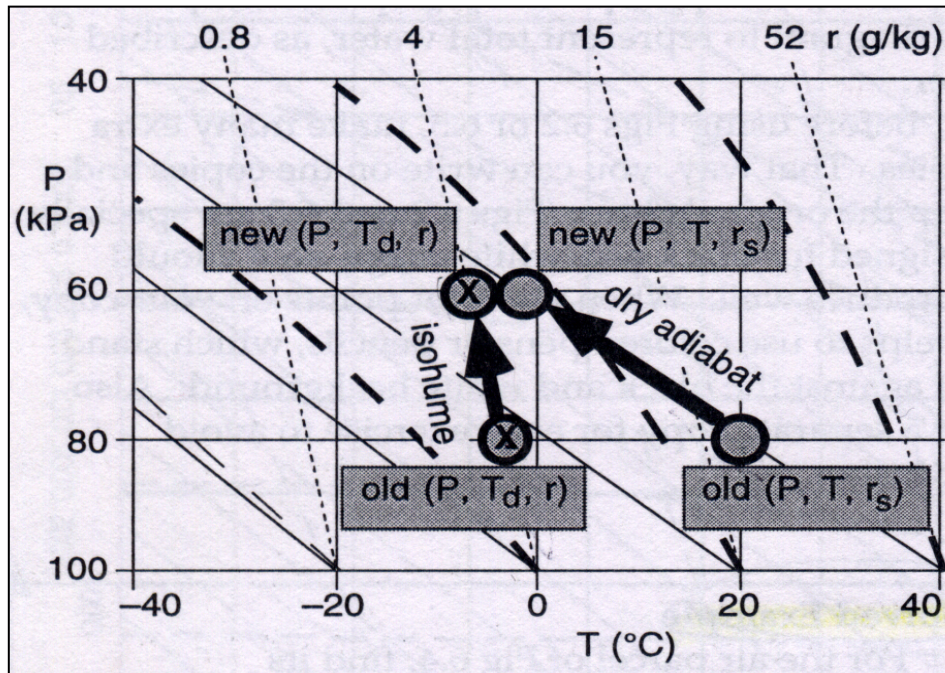


Figure 2: Sollevamento di una particella d'aria non satura.

## PROCESSI UMIDI SATURI

L'adiabatica secca e la curva a mixing ratio costante convergeranno al crescere della quota della particella (Fig. 2). Ci sarà quindi una quota alla quale i due punti di partenza, uno che indicava la temperatura, l'altro che indicava l'umidità, coincidono. Il livello a cui le due curve si incontrano è detto LIFTING CONDENSATION LEVEL (LCL). In corrispondenza del LCL la particella di aria risulta essere satura, quindi  $w=w_s$  e  $T=T_d$  e il punto che identifica la particella sul diagramma termodinamico sarà  $(p, T_d, w) = (p, T, w_s)$ . Il LCL corrisponde alla quota della base delle nubi.

Se la particella d'aria continua a salire al di sopra del LCL,  $T$  e  $T_d$  si raffreddano assieme seguendo l'adiabatica umida (Fig. 3). Siccome  $T=T_d$  basta un solo punto per definire lo stato della particella.

Ad ogni modo dobbiamo tenere traccia del contenuto di acqua. Supponendo che l'acqua condensata non precipiti fuori dalla particella, il mixing ratio totale ( $w_T$ , indicato dalla X in Fig. 3) resta costante ed è sempre individuato dalla curva di  $w$  costante passante per il punto iniziale  $(p, T_d, w)$ . Per conoscere la quantità di acqua liquida che si è formata ( $w_L$ ) basta sottrarre al valore di mixing ratio totale ( $w_T$ ) il mixing ratio della particella d'aria (particella che sarà parte della nube) che, dal LCL in su, è sempre pari al valore di saturazione ( $w=w_s$ ):

$$w_L = w_T - w_s$$

Sul grafico in Fig. 3 questo valore è la distanza tra il punto 4 (indicato con una X) e lo stato finale della particella.

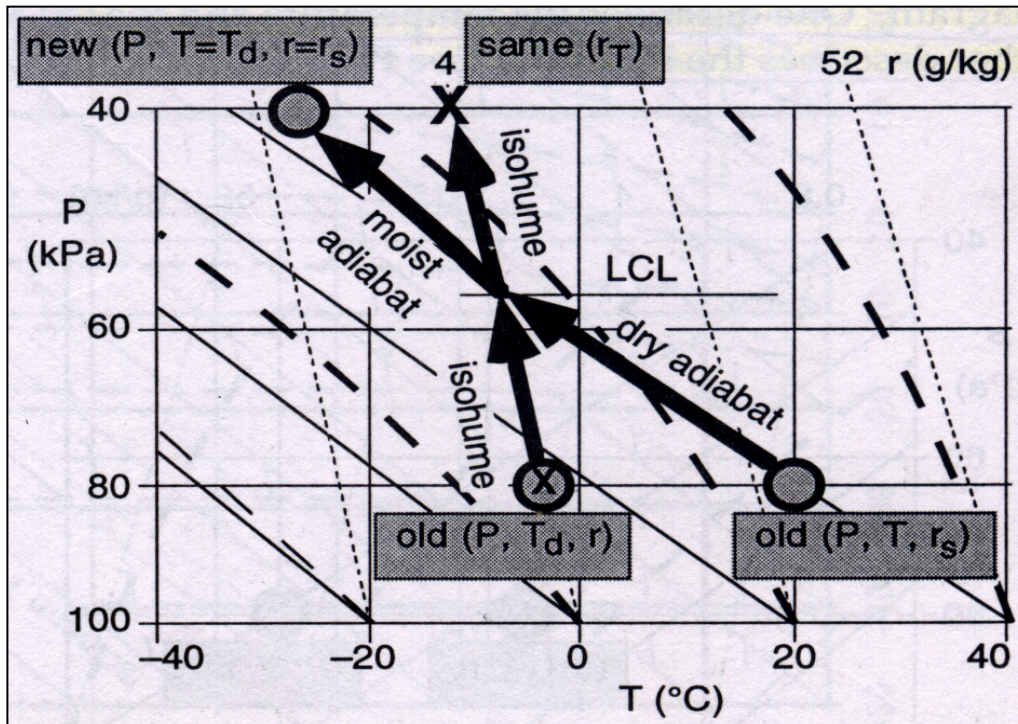


Figure 3: Sollevamento di una particella d'aria saturata, quindi al di sopra del Lifting Condensation Level

Se al contrario si ha precipitazione, ovvero l'acqua condensata abbandona la particella d'aria, allora il punto che identifica il mixing ratio totale ( $w_T$ , la X in Fig. 3) si sposta orizzontalmente verso sinistra fino a raggiungere al massimo il punto che identifica lo stato della particella. A questo punto, tutta l'acqua condensata è precipitata.



## REGOLA DI NORMAND

E' una semplice regola che permette di determinare il LCL su un diagramma termodinamico.

Afferma che il LCL per una particella d'aria è posto all'intersezione di tre curve:

- 1) adiabatica (temperatura potenziale costante) passante per il punto iniziale  $(p, T)$ ;
- 2) pseudo-adiabatica (temperatura potenziale equivalente costante) passante per il punto  $(p, T_w)$ , dove  $T_w$  è la temperatura di bulbo bagnato;
- 3) la curva di mixing ratio costante passante per  $(p, T_d)$ .

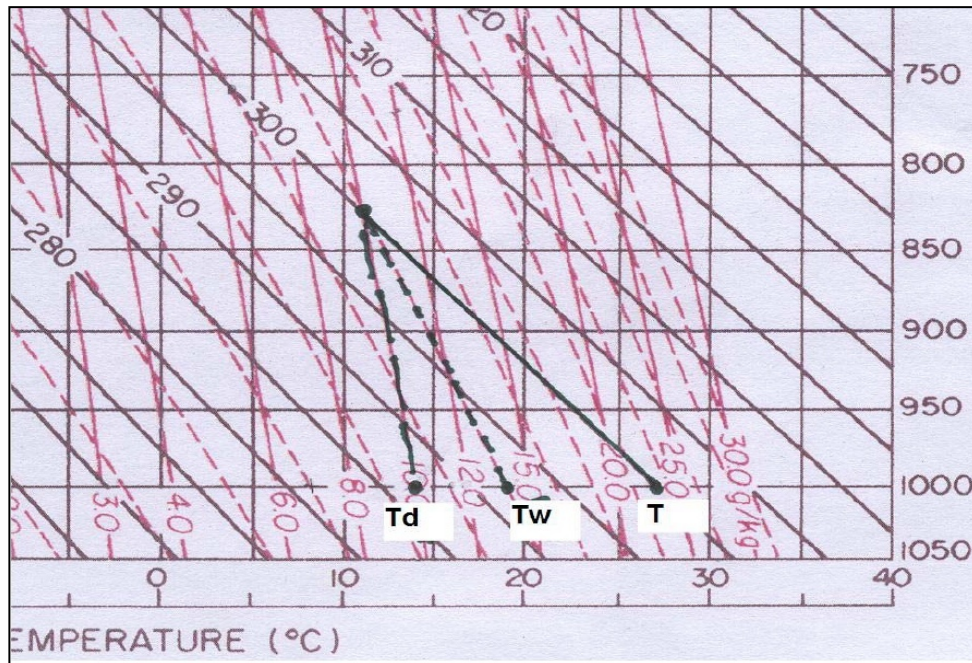


Figure 4: Illustrazione della regola di Normand

Bibliografia:

R. B. Stull: Meteorology for Scientists and Engineers, ed. Brooks/Cole. Capitolo 6