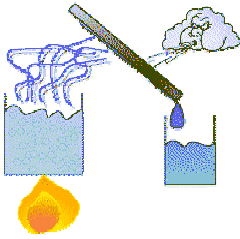


# Distillazione

Che cosa è ?

...è un processo nel quale una miscela liquida di due o più sostanze viene separata nelle sue componenti attraverso l'applicazione e la rimozione di calore.



Su che principio si basa ?

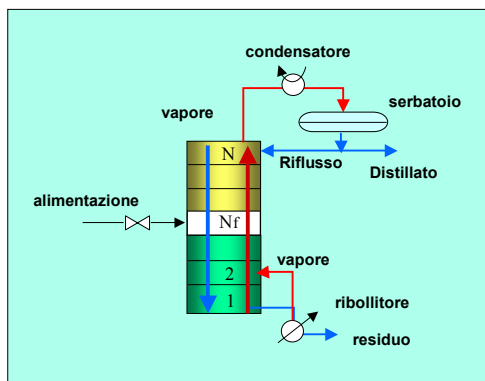
Il processo di distillazione sfrutta il fatto che le sostanze che formano la miscela hanno punti di ebollizione differenti.

A cosa serve ?

- ottenere sostanze pure a partire da miscele
- rimuovere sostanze indesiderate
- analisi delle componenti
- whisky, whiskey, grappa, etc...

## La colonna di distillazione

Le colonne di distillazione vengono progettate per rendere efficiente il processo di separazione



Tipi di colonne

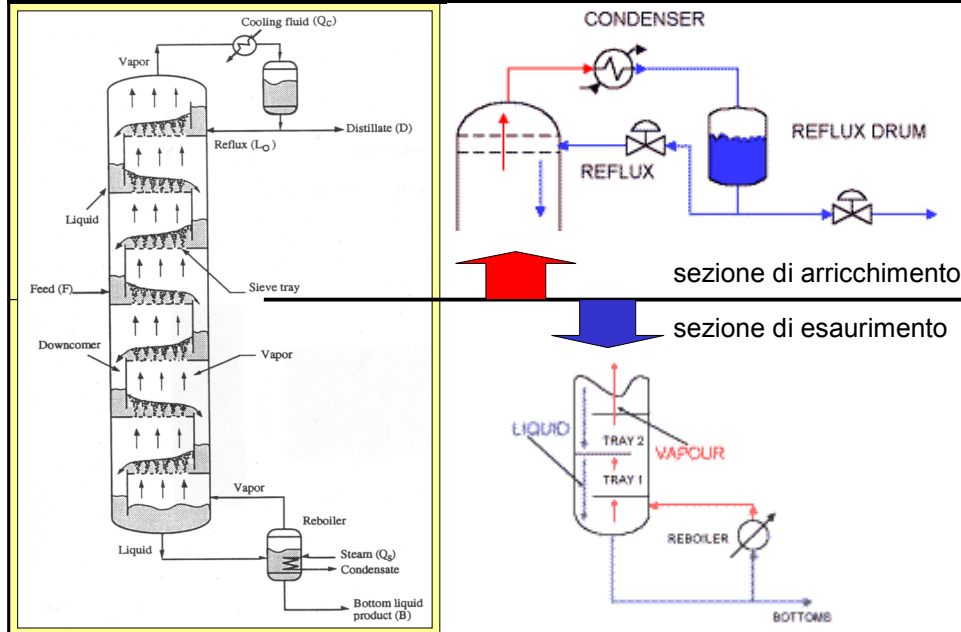
- batch
- continue

Fenomeni coinvolti

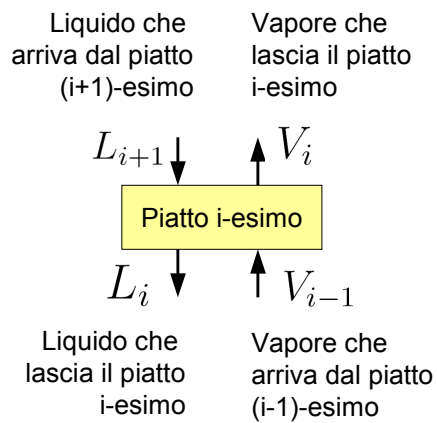
- fenomeni di trasporto
- bilanci di materia
- bilanci di energia
- equilibrio liquido-vapore

- reboiler (ribollitore): fornisce il vapore necessario dal fondo della colonna
- condensatore: raffredda e condensa il vapore alla testa della colonna
- piatti: luogo in cui liquido e vapore vengono a contatto

# Dentro la colonna



# I piatti



Bilancio di materia

accumulo = quello che entra – quello che esce

## Bilancio di materia 1a

$M_i$  := liquido contenuto nel piatto i-esimo

$$\frac{dM_i}{dt} = L_{i+1} + V_{i-1} - L_i - V_i$$

Nel piatto in cui si ha l'alimentazione si ha un termine aggiuntivo

$$\frac{dM_{N_f}}{dt} = L_{N_f+1} + V_{N_f-1} - L_{N_f} - V_{N_f} + F$$

## Bilancio di materia 1b

Ribollitore

$$\frac{dM_B}{dt} = L_1 - V_B - B$$

Condensatore

$$\frac{dM_D}{dt} = V_N - R - D$$

Unità di misura:  $M_i$  [mol];  $V_i$  [mol/s];  $L_i$  [mol/s];

# L'alimentazione

Le condizioni in cui entra il flusso di alimentazione determina il legame tra i flussi di vapore e i flussi di liquido tra i piatti adiacenti quello di alimentazione

$$q := \frac{\text{calore necessario a evaporare 1 mol di alimentazione}}{\text{calore latente molare di evaporazione dell'alimentazione}}$$

$q = 0$  l'alimentazione è vapore saturo

$q = 1$  l'alimentazione è liquido saturo

$0 < q < 1$  l'alimentazione è una miscela di liquido e vapore

$q > 1$  l'alimentazione è liquido sottoraffreddato (subcooled)

$q < 0$  l'alimentazione è vapore sopra-riscaldato (superheated)

All'equilibrio:

$$L_{N_f-1} = L_{N_f} + qF$$

$$V_{N_f+1} = V_{N_f} + (1 - q)F$$

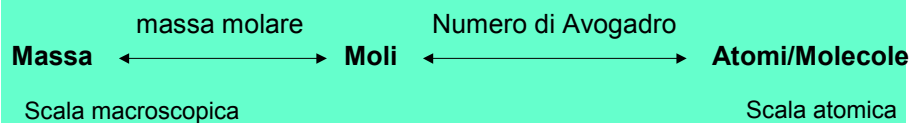
# La mole 1/2

La **mole** (simbolo *mol*) è l'unità di misura della grandezza fondamentale *quantità di sostanza* ed è definita come la quantità di sostanza che contiene  $6.0221367(36) \times 10^{23}$  unità chimiche (atomi, molecole, ioni). Questo valore, noto come **numero di Avogadro** corrisponde esattamente al numero di atomi di carbonio contenuti in 12,000 g di  $^{12}\text{C}$ .

La massa di 1 mol di sostanza viene detta **massa molare**.

$$\text{Quantità di sostanza, } n = \frac{\text{massa in grammi}}{\text{massa molare}} = \frac{m \text{ (g)}}{M \text{ (g mol}^{-1}\text{)}} = \text{mol}$$

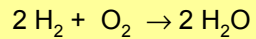
La mole come ponte tra la scala macroscopica e quella atomica



## La mole 2/2

Perché introdurre la mole ?

Le molecole si legano tra loro per dare i composti secondo rapporti ben precisi generalmente molto semplici.



2 moli di idrogeno e una mole di ossigeno reagiscono (sotto certe condizioni) per formare due moli di acqua

## Concentrazioni liquido e vapore

Assunzione 1: MISCELA BINARIA



1. Se  $x$  è la frazione molare del componente più leggero nella fase liquida, allora  $1-x$  è la frazione molare del componente più pesante nella fase liquida.
2. se  $y$  è la frazione molare del componente più leggero nella fase vapore, allora  $1-y$  è la frazione molare del componente più pesante nella fase vapore.



Le frazioni molari cambiano da piatto a piatto

# Miscela binaria ideale

$x_A$  ( $x_B$ ) = concentrazione di A (B) nella fase liquida.  $x_A + x_B = 1$   
 $y_A$  ( $y_B$ ) = concentrazione di A (B) nella fase vapore.  $y_A + y_B = 1$

Legge di Raoult:

$$p_A = P_A x_A$$

$$p_B = P_B x_B$$

dove

$p_A$  ( $p_B$ ) = pressione parziale di A (B) nella fase vapore.  $p_A + p_B = P$

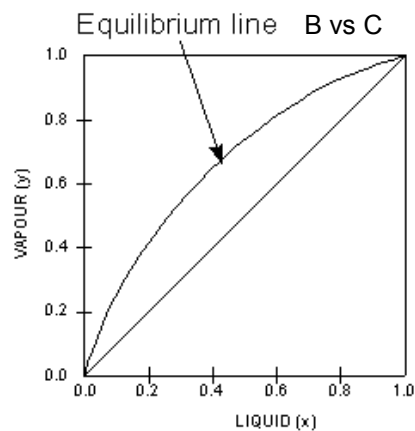
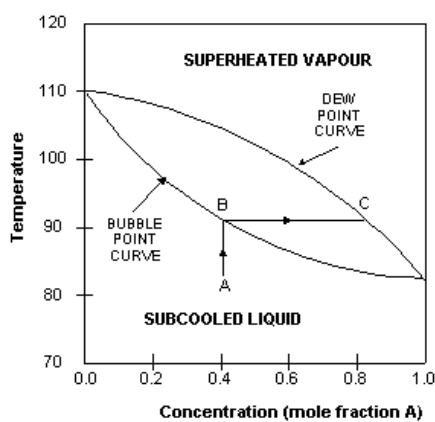
$P_A$  ( $P_B$ ) = pressione di vapore di A (B) puro.  $P_A x_A + P_B x_B = P$

$$y_A = \frac{p_A}{P} = \frac{P_A x_A}{P}$$

# Equilibrio liquido-vapore

Legame tra la concentrazione di un componente nel liquido e nel vapore

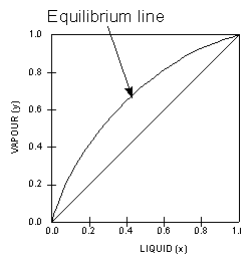
Hp. Pressione costante



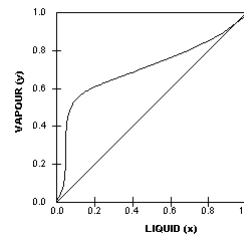
# Osservazioni

Nel seguito ci limiteremo a considerare solo miscele ideali

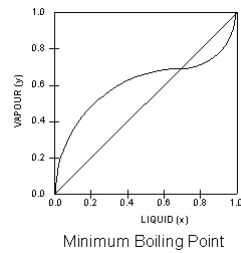
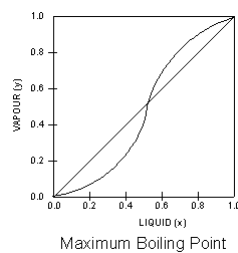
Miscela ideale



Miscela non ideale



Miscele azeotropiche



## Bilancio di materia 2

i-esimo piatto

$$\frac{d(M_i x_i)}{dt} = L_{i+1} x_{i+1} + V_{i-1} y_{i-1} - L_i x_i - V_i y_i$$

piatto con alimentazione

$$\frac{d(M_{N_f} x_{N_f})}{dt} = L_{N_f+1} x_{N_f+1} + V_{N_f-1} y_{N_f-1} - L_{N_f} x_{N_f} - V_{N_f} y_{N_f} + F z_{N_f}$$

reboiler

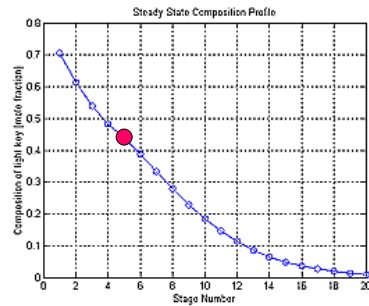
$$\frac{d(M_B x_B)}{dt} = L_1 x_1 - V_B y_B - B x_B$$

condensatore

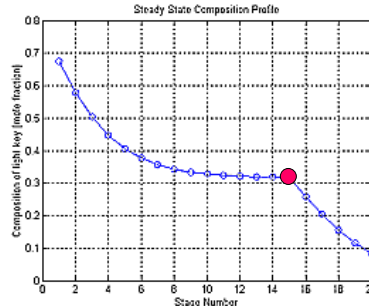
$$\frac{d(M_D x_D)}{dt} = V_N y_N - R x_D - D x_D$$

# Effetto della posizione di F

Frazione molare del componente più volatile lungo la colonna



Piatto numero 5



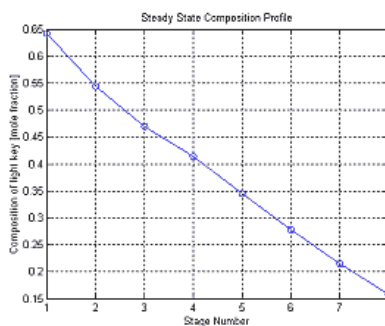
Piatto numero 15

Muovendo l'alimentazione verso il basso si hanno i seguenti effetti:

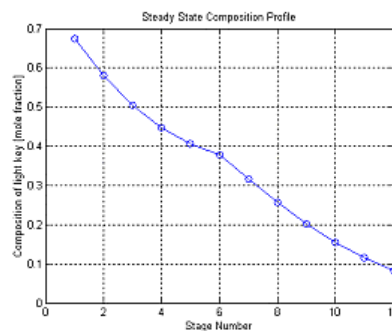
1. la composizione in testa diventa meno ricca del componente più volatile.
2. La composizione sul fondo diventa più ricca del componente più volatile.

# Effetto del numero di piatti

Frazione molare del componente più volatile lungo la colonna



8 piatti, alimentazione nel mezzo



12 piatti, alimentazione nel mezzo

Aumentando il numero di piatti migliora la separazione  
(e sale il costo per realizzare la colonna)



# Volatilità relativa

Siccome la differenza tra le composizioni nel liquido e nel vapore è alla base delle operazioni di distillazione, un importante parametro che misura la facilità o la difficoltà è la volatilità relativa

$$\alpha_{ij} := \frac{y_i/x_i}{y_j/x_j}$$

Con due soli componenti, se la volatilità relativa è prossima a uno, significa che i due componenti hanno caratteristiche molto simili e sarà difficile separarli.

Con miscele ideali la volatilità relativa è costante (rapporto tra  $P_i$  e  $P_j$ ) e se la miscela è binaria vale l'espressione

$$y = \frac{\alpha x}{1 + (\alpha - 1)x}$$

Questa formula descrive l'andamento dell'equilibrio liquido-vapore.