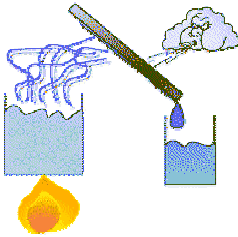


Distillazione

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 ?

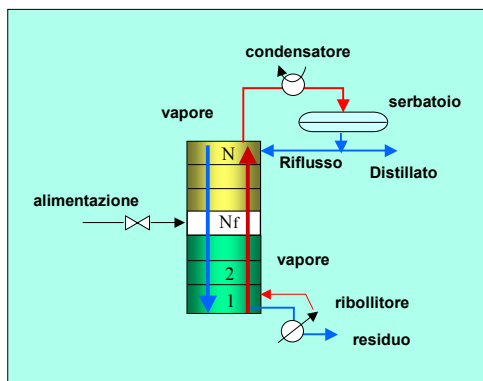
Il processo di distillazione sfrutta il fatto che le sostanze che formano la miscela hanno punti di ebollizione differenti.

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

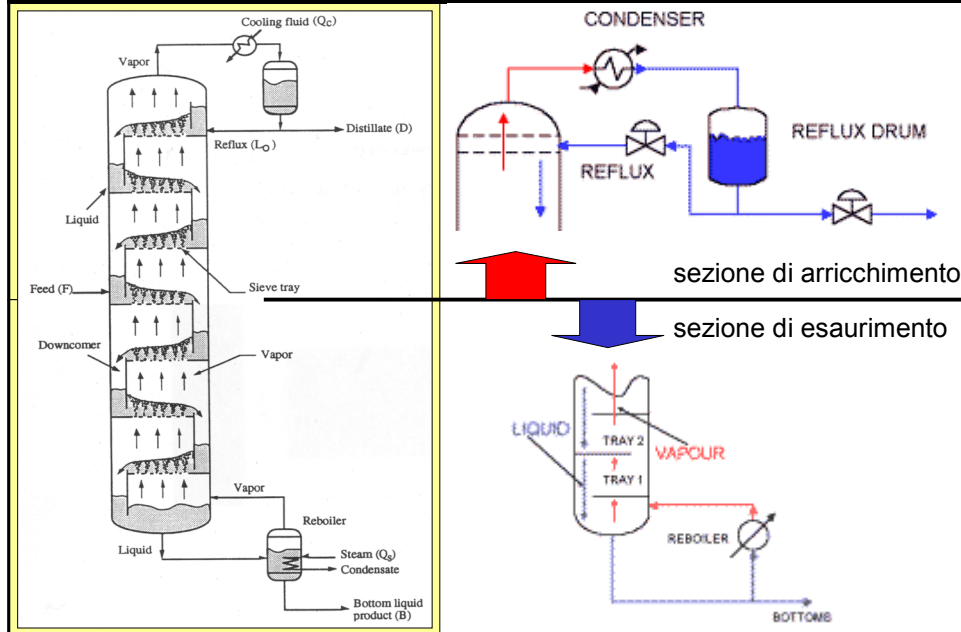
- batch
- continue

Fenomeni coinvolti

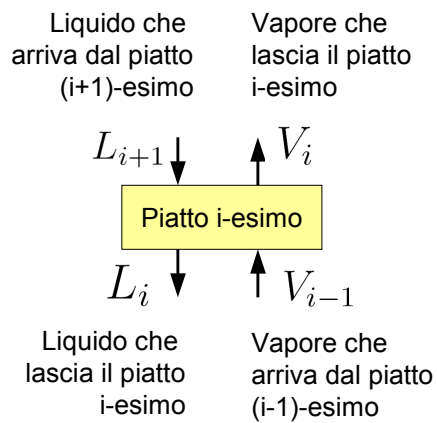
- fenomeni di trasporto
- bilanci di materia
- bilanci di energia
- equilibrio liquido-vapore

- 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];

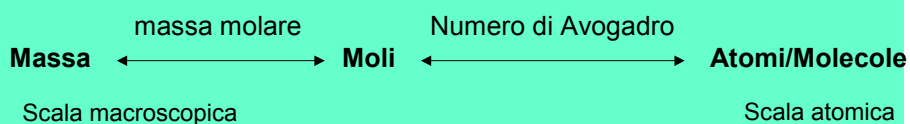
La mole 1/2

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}C .

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

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

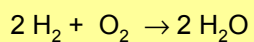
La mole come ponte tra la scala macroscopica e quella atomica



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

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)

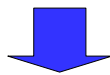
All'equilibrio:

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

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

Concentrazioni liquido e vapore

Assunzione 1: MISCELA BINARIA (A e B)

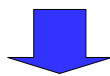


1. Se x_A è la frazione molare del componente più leggero (A) nella fase liquida, allora $x_B = 1 - x_A$ è la frazione molare del componente più pesante (B) nella fase liquida.

$$x_A := (\text{moli di A nel liquido}) / (\text{moli totali liquido})$$

2. se y_A è la frazione molare del componente più leggero (A) nella fase vapore, allora $y_B = 1 - y_A$ è la frazione molare del componente (B) più pesante nella fase vapore.

$$y_A = (\text{moli di A nel vapore}) / (\text{moli totali vapore})$$



Le frazioni molari cambiano da piatto a piatto

Miscela binaria ideale

vapore

$$P = P_A$$

$$P = P_A x_A + P_B x_B$$

$$P = P_B$$

liquido

$$x_A = 1, x_B = 0$$

$$x_A + x_B = 1$$

$$x_A = 0, x_B = 1$$

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. $p_A + p_B = P$

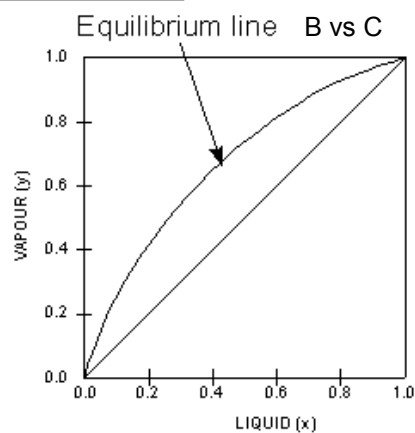
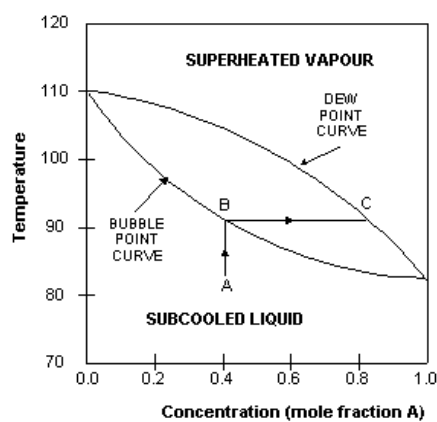
P_A (P_B) = pressione di vapore di A (B) puro. $P_A x_A + P_B x_B = P$

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

Equilibrio liquido-vapore

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

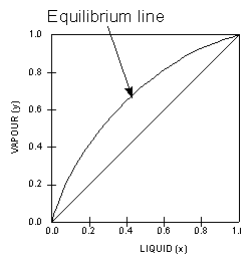
Hp. Pressione costante



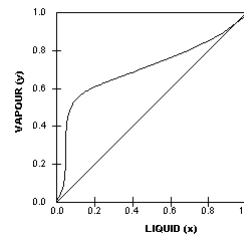
Osservazioni

Nel seguito ci limiteremo a considerare solo miscele ideali

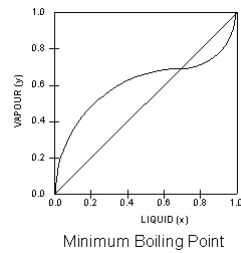
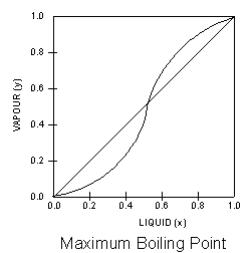
Miscela ideale



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

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

ribollitore

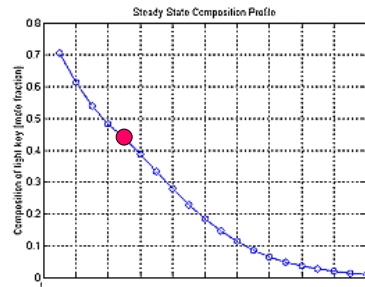
$$\frac{d(M_B x_B)}{dt} = L_1 x_1 - V_B y_B - B x_B$$

condensatore

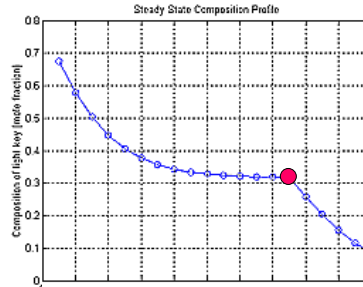
$$\frac{d(M_D x_D)}{dt} = V_N y_N - R x_D - D x_D$$

Effetto della posizione di F

Frazione molare del componente più volatile lungo la colonna



Piatto numero 15



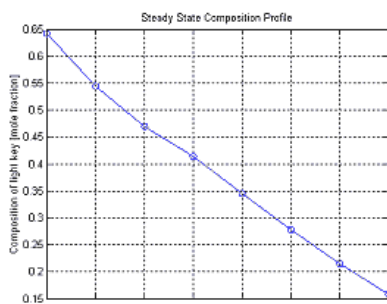
Piatto numero 5

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

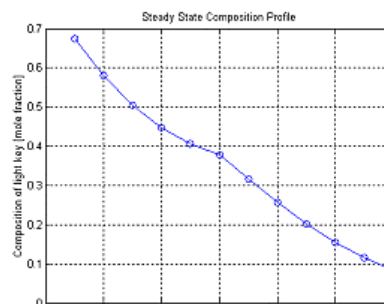
1. la composizione in testa diventa meno ricca del componente più volatile.
2. La composizione sul fondo diventa più ricca del componente più volatile.

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.

Titolo