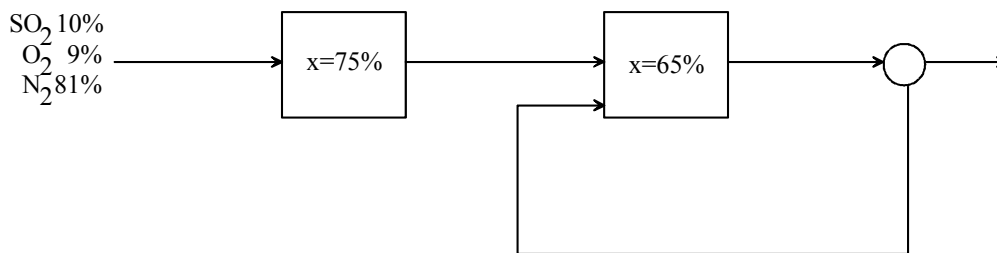


## Elementi introduttivi di ingegneria chimica

28 giugno 2002

### Problema 1.

La figura mostra schematicamente un impianto in cui l'anidride solforosa ( $\text{SO}_2$ ) è ossidata ad anidride solforica ( $\text{SO}_3$ ). La composizione molare della corrente di alimentazione all'impianto è:  $\text{SO}_2$  10%,  $\text{O}_2$  9%,  $\text{N}_2$  81%. L'impianto è costituito da due reattori, nel primo dei quali la conversione di  $\text{SO}_2$  è pari al 75%, mentre nel secondo la conversione è del 65%. Per migliorare la conversione complessiva dell'impianto, una parte della corrente in uscita dal secondo reattore viene riciclata nel secondo reattore stesso. Sapendo che la composizione molare di  $\text{N}_2$  in uscita dall'impianto è pari all'85%, si risolva il bilancio di materia, ovvero si caratterizzino tutte le correnti. In particolare, si calcoli la conversione complessiva dell' $\text{SO}_2$ , e la portata molare della corrente di riciclo per ogni 100 moli di corrente di alimentazione all'impianto.

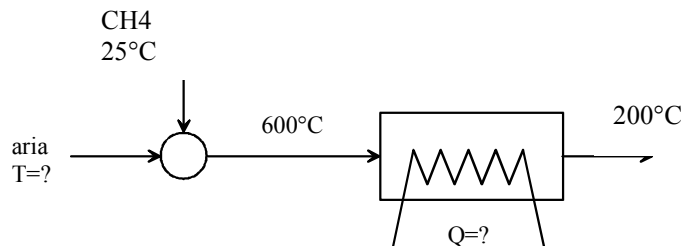


### Problema 2.

In un reattore si brucia metano secondo la reazione:  $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$

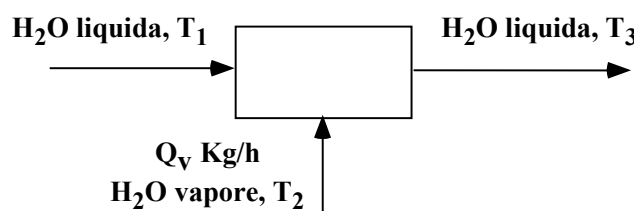
La miscela gassosa metano-aria deve essere alimentata al reattore alla temperatura di  $600^\circ\text{C}$  ed in proporzioni stechiometriche. Per raggiungere tale temperatura l'aria è preriscaldata al di sopra dei  $600^\circ\text{C}$  prima di essere miscelata con il metano, che viene alimentato alla temperatura di  $25^\circ\text{C}$ .

- Si determini la temperatura alla quale l'aria deve essere preriscaldata
- Si calcoli il calore scambiato nel reattore per ogni kg di metano bruciato, nell'ipotesi che la reazione sia completa e che la temperatura dei gas in uscita sia pari  $200^\circ\text{C}$ .



### Problema 3.

Una corrente di 5 ton/h di acqua inizialmente a  $20^\circ\text{C}$  viene riscaldata insufflando vapore d'acqua surriscaldato a  $200^\circ\text{C}$ . L'impianto (vedi figura) funziona a pressione atmosferica ed è trascurabile lo scambio di calore con l'esterno. Si vuole che la temperatura dell'acqua in uscita sia di  $50^\circ\text{C}$ . Calcolare la portata  $Q_v$  di vapore necessaria per effettuare l'operazione richiesta.



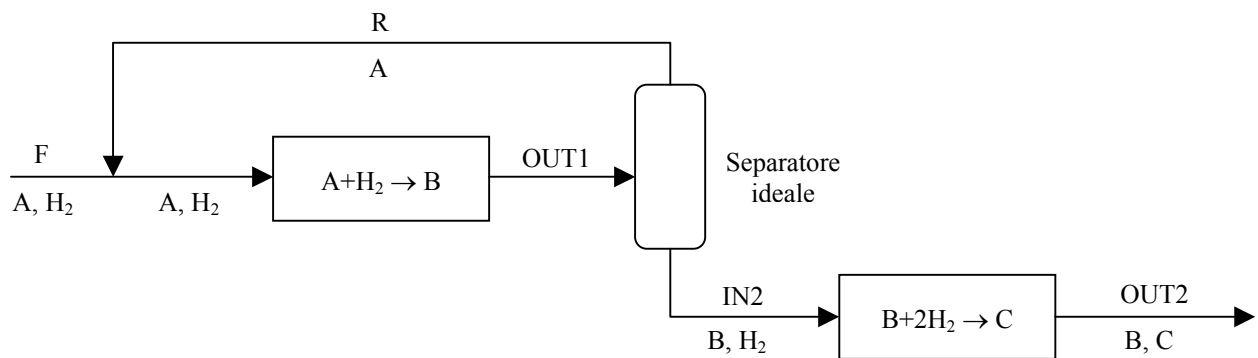
## Elementi introduttivi di ingegneria chimica

10 luglio 2002

### Problema 1.

L'idrogenazione multipla del composto A viene realizzata in due reattori posti in serie, come indicato in figura. Nel primo reattore avviene la reazione  $A+H_2 \rightarrow B$  con una conversione di A del 30%. A valle del primo reattore vi è un separatore ideale in cui il composto A non reagito viene interamente separato da B e da  $H_2$  per essere riciclato in testa al primo reattore. Nel secondo reattore avviene la reazione  $B+2H_2 \rightarrow C$  con conversione unitaria. Sapendo che nella corrente in uscita dall'impianto non è presente  $H_2$  e che il rapporto molare tra B e C è pari a 2, calcolare:

- La composizione dell'alimentazione all'impianto.
- La portata molare della corrente di riciclo se l'alimentazione è di 100 mol/h.



### Soluzione

Base di calcolo: 1 mole di A in alimentazione

- a)  
Volume di controllo: intero impianto

Si noti che  $B=AH_2$ ,  $C=AH_6$

$$\begin{array}{l} \text{Bilancio su A)} \\ \text{Bilancio su H}_2) \\ \text{Dato)} \end{array} \left\{ \begin{array}{l} 1 = B_{(OUT2)} + C_{(OUT2)} \\ H_{2(F)} = B_{(OUT2)} + 3C_{(OUT2)} \\ B_{(OUT2)} = 2C_{(OUT2)} \end{array} \right. \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} B_{(OUT2)} = 2/3 \text{ mol} \\ C_{(OUT2)} = 1/3 \text{ mol} \\ H_{2(F)} = 5/3 \text{ mol} \end{array} \right.$$

Composizione alimentazione :  $x_{A(F)}=0.375$ ,  $x_{H_2(F)}=0.625$

- b)  
Si noti che l'insieme del primo reattore e del separatore garantisce conversione totale di A, da cui  $B_{(IN2)}=B_{(OUT1)}=A_{(F)}=1 \text{ mol}$

Il bilancio su B sul primo reattore diviene:  $(1+A_{(R)}) \cdot 0.3 = 1$ , da cui  $A_{(R)} = 2.33 \text{ mol}$

$$\text{Fattore di scala} = \frac{100 \text{ mol/h}}{\left(1 + \frac{5}{3}\right) \text{ mol}} = 37.5 \text{ h}^{-1}$$

da cui la portata molare della corrente di riciclo è 87.4 mol/h.

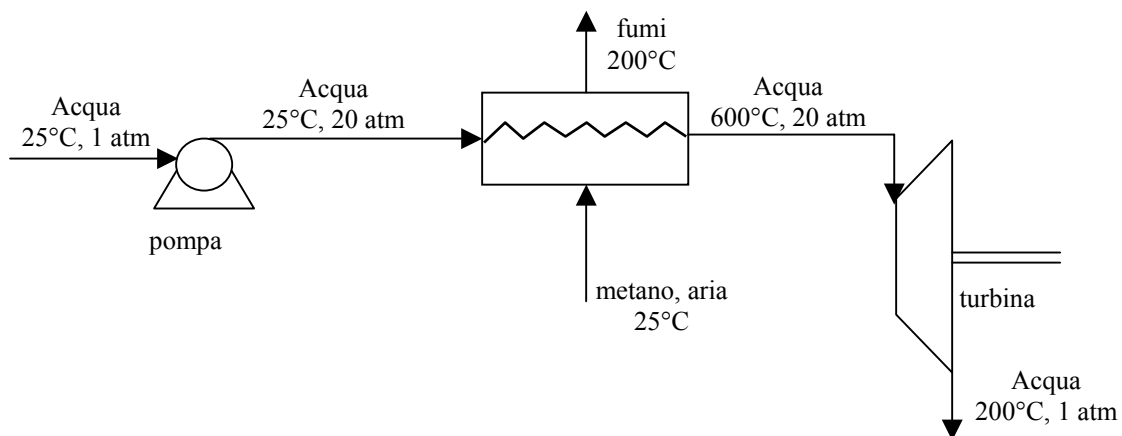
### Problema 2

In figura si riporta lo schema di un impianto per la produzione di energia elettrica utilizzando come fluido di servizio l'acqua. L'impianto si compone di una pompa, un forno ed una turbina. La pompa comprime l'acqua da 1 atm a 20 atm. Il forno, nel quale viene bruciato metano, serve a portare l'acqua da 25°C a 600°C, mentre nella turbina avviene l'espansione fino a pressione atmosferica. Sapendo che:

- la temperatura di uscita dell'acqua dalla turbina è pari a 200°C
- il metano e l'aria di combustione vengono alimentati in proporzioni stechiometriche e a 25°C
- i fumi della combustione escono a 200°C

si calcoli:

- a) La portata d'acqua necessaria, in kg/h, per garantire una produzione di 100 kW.
- b) La portata di metano da bruciare nel forno, in moli/h.
- c) La potenza della pompa, in kW.



### Soluzione

- a) Bilancio di energia sull'acqua in turbina:

$$\Delta \dot{H} = -\dot{L} = -100 \text{ kW} = \frac{100}{4.18} \text{ kcal/s} = \dot{n} c_p \Big|_{200^\circ\text{C}}^{600^\circ\text{C}} (600 - 200)$$

$$\dot{n} = \frac{100}{4.18 \cdot 8.9 \cdot 400} = 6.7 \text{ mol/s}$$

$$\dot{m} = 6.7 \cdot 18 \cdot 3600 = 434 \text{ kg/h}$$

- b) Bilancio di energia sul forno:

$$\Delta \dot{H} = 0$$

$$\dot{n}_{acqua} \cdot \left[ c_l (100 - 25) + \lambda_{100^\circ c} + cp_v \Big|_{100^\circ C}^{600^\circ C} \cdot (600 - 100) \right] +$$

$$+ \dot{n}_{CH_4} \cdot \left[ \Delta H_c^{25^\circ C} + (cp_{CO_2} \Big|_{25}^{200} + 2cp_{H_2O} \Big|_{25}^{200} + 8cp_{N_2} \Big|_{25}^{200}) \cdot (200 - 25) \right] = 0$$

$$6.7 \cdot \left[ 18 \cdot (100 - 25) + 9.72 \cdot 10^3 + 8.7 \cdot (600 - 100) \right] +$$

$$+ \dot{n}_{CH_4} \cdot \left[ -1.92 \cdot 10^5 + (9.7 + 2 \cdot 8.2 + 8.0 \cdot 7) \cdot (200 - 25) \right] = 0$$

$$\dot{n}_{CH_4} = \frac{1.03 \cdot 10^5}{1.77 \cdot 10^5} \text{ mol / s} = 0.58 \text{ mol / s} = 33 \text{ kg / h}$$

c) Bilancio di energia sull'acqua nella pompa

$$\Delta \dot{H} = -\dot{L} = \dot{v} \Delta p = \frac{\dot{m}}{\rho} \Delta p = 0.23 \text{ kW}$$

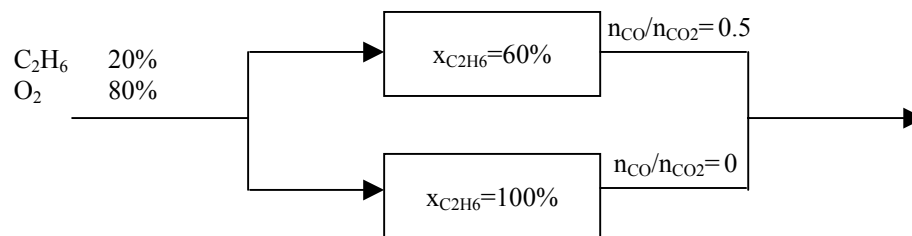
## Elementi introduttivi di ingegneria chimica

25 luglio 2002

### Problema 1.

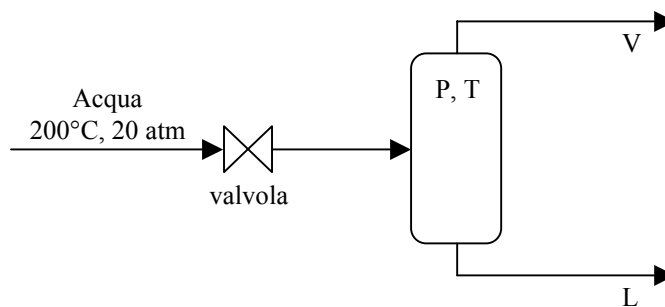
In figura è schematizzato un impianto per la combustione dell'etano con ossigeno puro. L'impianto è costituito da due camere di combustione. In una di queste, la combustione è completa (conversione del 100% dell'etano), mentre nell'altra la conversione dell'etano è del 60% e si forma anche CO in quantità tali che il rapporto molare CO/CO<sub>2</sub> in uscita dal reattore è pari a 0.5.

Sapendo che la corrente di alimentazione all'impianto è costituita dal 20% in peso di etano e dall'80% in peso di ossigeno, e che solo l'85% dell'etano alimentato all'impianto viene complessivamente bruciato, calcolare la composizione di tutte le correnti.



### Problema 2.

L'impianto schematizzato in figura si compone di una valvola e di un separatore liquido-vapore. Entrambe le apparecchiature sono adiabatiche. All'impianto viene alimentata acqua a 200°C e 20 atm. Sapendo che il rapporto tra vapore e liquido in uscita dal separatore è pari a 0.15, calcolare la pressione e la temperatura di esercizio del separatore.



## Elementi introduttivi di ingegneria chimica

24 settembre 2002

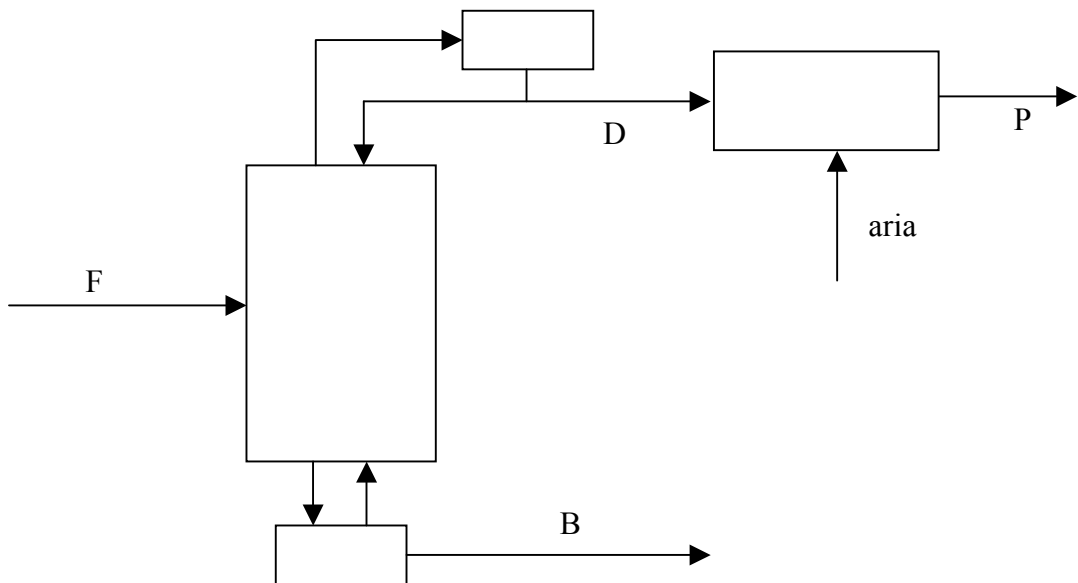
### Problema 1

In figura è schematizzato un impianto per la raffinazione di una miscela di idrocarburi. Semplificando la situazione reale, si può assumere che la miscela di alimentazione (denotata con F in figura) sia costituita solo da n-eptano e n-ottano, con una frazione molare di n-eptano pari a 0.4. La colonna di distillazione è in grado di recuperare nella corrente di testa (D in figura) il 95% del n-eptano alimentato, con una composizione molare di n-eptano in D pari al 98%.

- a) Si calcolino la portata della corrente D e la portata e composizione della corrente di fondo (B in figura) sapendo che la portata della corrente F è pari a 150 mol/min.

La corrente D viene poi inviata in un combustore nel quale gli idrocarburi bruciano con aria stechiometrica con una conversione del 80% di n-eptano e del 90% di n-ottano.

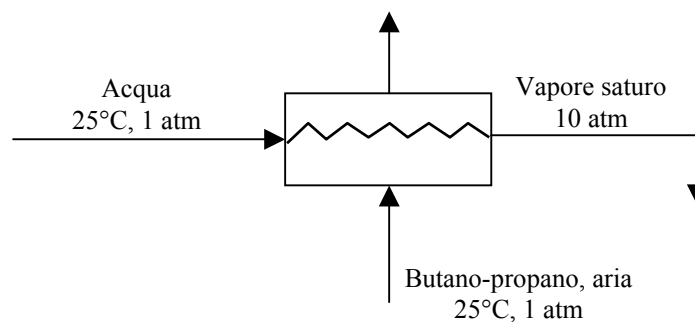
- b) Si determini la composizione della corrente in uscita dal combustore (P in figura).



### Problema 2

Nella caldaia schematizzata in figura viene prodotto vapore saturo a 10 atm attraverso la combustione completa di una miscela gassosa butano-propano al 50% molare. La combustione avviene con aria in eccesso al 30%. Sia l'acqua sia i gas sono alimentati in caldaia a 25°C e ad 1 atm.

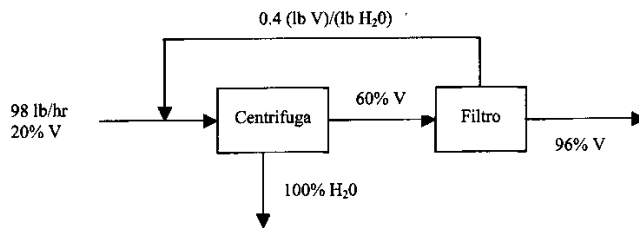
Si calcoli la portata molare di combustibile (miscela butano-propano) necessaria, sapendo che i fumi escono alla temperatura di 200°C (e ad 1 atm) e che il 10% del calore generato dalle reazioni di combustione (calcolato a 25°C con acqua vapore) è perso verso l'esterno (non trasferito all'acqua).



**Elementi introduttivi di ingegneria chimica**  
28 gennaio 2003

**Problema 1**

I processi di produzione di prodotti farmaceutici spesso richiedono la separazione del farmaco dal liquido in cui il farmaco è sospeso. L'impianto che realizza tale separazione è di fatto costituito da una centrifuga e da un filtro, e può essere schematizzato come in figura. In tale schema il prodotto pregiato è una vitamina (V), mentre il liquido sospendente è acqua. Sapendo che l'alimentazione all'impianto contiene il 20% in peso di vitamina ed ha una portata massica pari a 98 lb/hr, e avendo a disposizione tutte le informazioni riportate sullo schema, si caratterizzino tutte le correnti nell'impianto, calcolando in particolare la portata della corrente di riciclo.



**Problema 2**

In figura viene schematizzato un impianto di idrogenazione dell'etilene ( $C_2H_4$ ) ad etano ( $C_2H_6$ ). Si calcoli la temperatura  $T$  di uscita dei prodotti sapendo che:

- l'alimentazione è costituita da 1 kmol/s di  $C_2H_4$  a  $25^\circ C$  e 2 kmol/s di  $H_2$  a  $50^\circ C$ .
- il grado di conversione della reazione di idrogenazione è 0.7.
- il reattore scambia energia con l'esterno esclusivamente attraverso una serpentina, che sottrae una quantità di calore pari a  $K(T-25)$ , con  $K=60 \text{ kcal}/(^\circ C \cdot s \cdot \text{kmol di } C_2H_4 \text{ in ingresso})$  e  $T =$  temperatura dei prodotti.

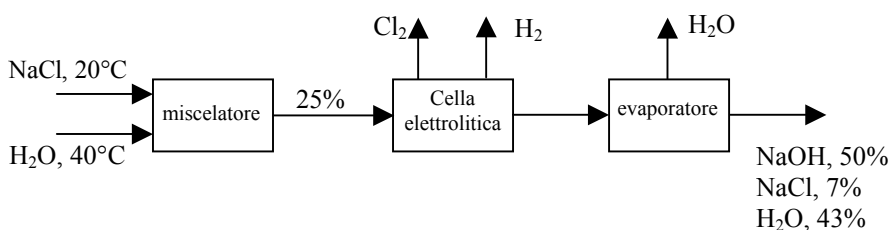


## Elementi introduttivi di Ingegneria Chimica

27 Febbraio 2003

1. Idrossido di sodio (NaOH) è di solito prodotto per elettrolisi di sale comune (NaCl) in impianti come quello schematizzato in figura. In particolare il sale viene prima disciolto in acqua per ottenere una soluzione salina al 25% in peso. Tale soluzione viene quindi convogliata in un reattore elettrolitico dal quale esce una corrente liquida contenente acqua, sale ed idrossido di sodio e due correnti gassose contenenti idrogeno e cloro, rispettivamente. La corrente liquida viene infine concentrata in un evaporatore, vaporizzando parte dell'acqua. Sfruttando le informazioni riportate in figura (dove le percentuali sono tutte in peso), si determini:

- la conversione percentuale di sale in NaOH.
- la quantità di cloro prodotta in  $\text{Nm}^3$  per kg di sale alimentato.
- la massa di vapor d'acqua per kg di sale alimentato.



2. Per ottenere  $\text{CO}_2$  a  $20^\circ\text{C}$  e pressione atmosferica a partire da  $\text{CO}_2$  a 50 atmosfere e  $20^\circ\text{C}$  si effettua prima una laminazione da 50 a 1 atmosfera e poi un riscaldamento con acqua, disponibile liquida a  $25^\circ\text{C}$ . Per un corretto funzionamento dell'impianto, l'acqua non deve congelare. Si determini la minima quantità di acqua necessaria per  $1 \text{ Nm}^3$  di  $\text{CO}_2$ . Si consiglia di utilizzare il diagramma di stato della  $\text{CO}_2$  allegato.

## Elementi introduttivi di ingegneria chimica

4 luglio 2003

In figura viene schematizzato un impianto di produzione di vapore d'acqua a partire da acqua di fiume a  $20^{\circ}\text{C}$  contenente il 2% in peso di sali. L'impianto opera a pressione atmosferica ed è composto da una caldaia e da un separatore liquido-vapore (adiabatico) dal quale esce una corrente di vapore d'acqua priva di sali e una corrente liquida. Quest'ultima viene parzialmente riciclata in testa alla caldaia per preriscaldare l'acqua di fiume. Per un corretto funzionamento dell'impianto è necessario che la concentrazione di sali in ingresso alla caldaia non superi il 4%.

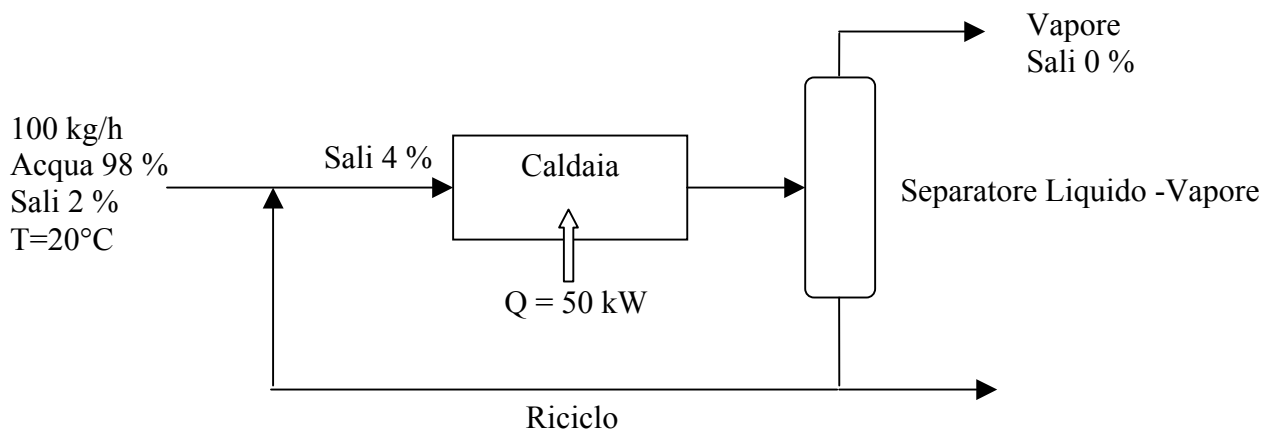
Sapendo che in caldaia si riesce a fornire una potenza termica  $Q$  pari a 50 kW e che la portata di acqua di fiume in ingresso all'impianto è pari a 100 kg/h, calcolare:

1. la portata di vapore prodotto
2. portata e composizione della corrente di riciclo
3. la temperatura della corrente in ingresso alla caldaia

(Si assuma che l'acqua salata abbia lo stesso calore specifico e la stessa temperatura di ebollizione dell'acqua pura.)

In realtà, la potenza termica  $Q$  viene fornita bruciando n-ottano con aria in eccesso al 20%. Sapendo che il n-ottano e l'aria sono alimentati a  $25^{\circ}\text{C}$ , che la combustione è completa e che i prodotti di combustione escono a  $200^{\circ}\text{C}$ , si calcoli:

4. la portata di n-ottano necessaria.



**COGNOME:**

**NOME:**

**MATR.:**

**Elementi introduttivi di ingegneria chimica**

*25 luglio 2003*

**Problema 1**

Una soluzione acquosa contenente glicerina al 10% in peso e cloruro di sodio al 3% in peso viene inviata in testa ad una torre di estrazione sul cui fondo viene alimentato alcool butilico ( $C_4H_{10}O$ ) contenente acqua all' 8% molare.

La corrente di raffinato uscente dal fondo della torre di estrazione contiene tutto il sale originario, e solo l'1% della glicerina e l'1% dell'alcool alimentati alla torre. Il resto di tale corrente è acqua.

L'estratto uscente dalla testa della torre viene inviato ad una colonna di distillazione. La corrente di distillato uscente dalla testa della colonna di distillazione contiene alcool ed acqua, con una percentuale in peso di acqua pari al 5%. La corrente uscente dal fondo della colonna di distillazione è una soluzione acqua-glicerina al 25% in peso di glicerina.

- Si disegni uno schema dell'impianto.
- Sapendo che le portate delle due correnti in ingresso alla torre di estrazione sono entrambe pari a 1000 lb/h, si effettui il bilancio materiale caratterizzando tutte le correnti dell'impianto.

**Problema 2**

Una miscela di idrocarburi con la seguente composizione molare 40%  $C_5H_{12}$ , 30%  $C_6H_{14}$ , 10%  $C_7H_{16}$ , 20%  $C_8H_{18}$ , è alimentata ad un reattore dove viene bruciata con aria stechiometrica. La composizione molare dei fumi in uscita è: 0.12%  $C_6H_{14}$ , 0.06%  $C_7H_{16}$ , 0.12%  $C_8H_{18}$ , 3.1%  $O_2$ , 74.63%  $N_2$ , 9.15%  $CO_2$ , 0.98%  $CO$ , 11.84%  $H_2O$ . Sapendo che la miscela di idrocarburi e l'aria sono alimentati a 25°C e che i fumi escono a 150°C, calcolare il calore scambiato dal reattore per ogni 100 moli di miscela di idrocarburi in ingresso.

## Elementi introduttivi di ingegneria chimica

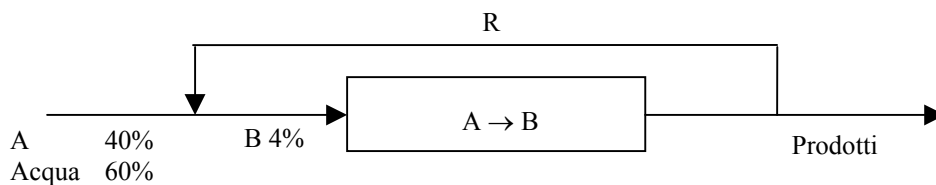
24 settembre 2003

### Problema 1

In figura è schematizzato un impianto di isomerizzazione nel quale il composto A si converte nel composto B. La reazione avviene in soluzione acquosa. Sapendo che:

- in ingresso all'impianto viene alimentata una corrente contenente il 40% di A ed il 60% di acqua (in peso),
- la concentrazione di B in ingresso al reattore è pari al 4% in peso,
- il rapporto tra corrente di prodotti e corrente riciclata vale 4,

si effettui il bilancio di materia sull'impianto, calcolando in particolare il grado di conversione del reattore.



### Problema 2

Un sistema cilindro-pistone adiabatico contiene inizialmente 1 kg di acqua liquida in equilibrio con 0.1 kg di vapore d'acqua ad 1 atm. In tale sistema viene inserito un cubetto di ghiaccio di 100 g alla temperatura di  $-20^{\circ}\text{C}$ .

Nell'ipotesi che la trasformazione avvenga a pressione costante (pari ad 1 atm), si determini:

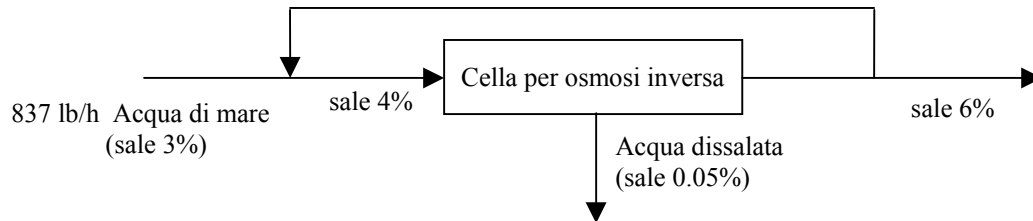
- lo stato finale del sistema;
- la variazione di entalpia;
- la variazione di energia interna.

## Elementi introduttivi di ingegneria chimica

10 febbraio 2004

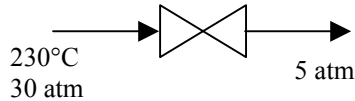
### Problema 1

La figura mostra lo schema di un impianto in cui acqua di mare viene dissalata attraverso un processo di osmosi inversa. Usando i dati indicati in figura (tutte le composizioni sono in peso), si effettui un bilancio di materia determinando portata e composizione di tutte le correnti.



### Problema 2

Benzene puro a 230°C e 30 atm viene laminato in una valvola fino alla pressione di 5 atm. Si determinino le condizioni di uscita dalla valvola.



### Problema 3

Un reattore contiene inizialmente una miscela equimolare di azoto e idrogeno. Nel reattore avviene la reazione  $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \rightarrow 2\text{NH}_3$ , con una conversione di idrogeno del 25%. Si determini la composizione del gas dopo la reazione.

## Elementi introduttivi di ingegneria chimica

27 febbraio 2004

### Problema 1

Un recipiente a volume costante contiene inizialmente 100 moli di una miscela equimolare di azoto e idrogeno a 500°C e 100 atm. Nel recipiente avviene la reazione  $N_2 + 3H_2 \rightarrow 2NH_3$ , con una conversione di idrogeno del 25%. Sapendo che il reattore è isoterma, si determini:

1. la composizione del gas dopo la reazione
2. la pressione all'interno del recipiente dopo la reazione
3. la variazione di entalpia del sistema
4. la variazione di energia interna del sistema
5. il calore da scambiare per mantenere condizioni isoterme

### Problema 2

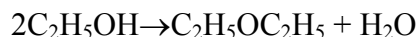
Si desidera preparare 100 kg di una soluzione acquosa contenente il 5% in peso di alginato di sodio ed il 13% di caseinato di sodio. L'alginato ed il caseinato sono disponibili in polvere. Ciascuna polvere, tuttavia, contiene anche una certa quantità di acqua, presente sotto forma di umidità. In particolare, il contenuto di acqua nella polvere di alginato è pari al 11% del peso della polvere, mentre il contenuto di acqua nella polvere di caseinato è pari al 5%. Si determinino la massa di acqua che occorre aggiungere alle due polveri per preparare la soluzione richiesta, nonché la massa di ciascuna polvere.

## Elementi introduttivi di ingegneria chimica

5 luglio 2004

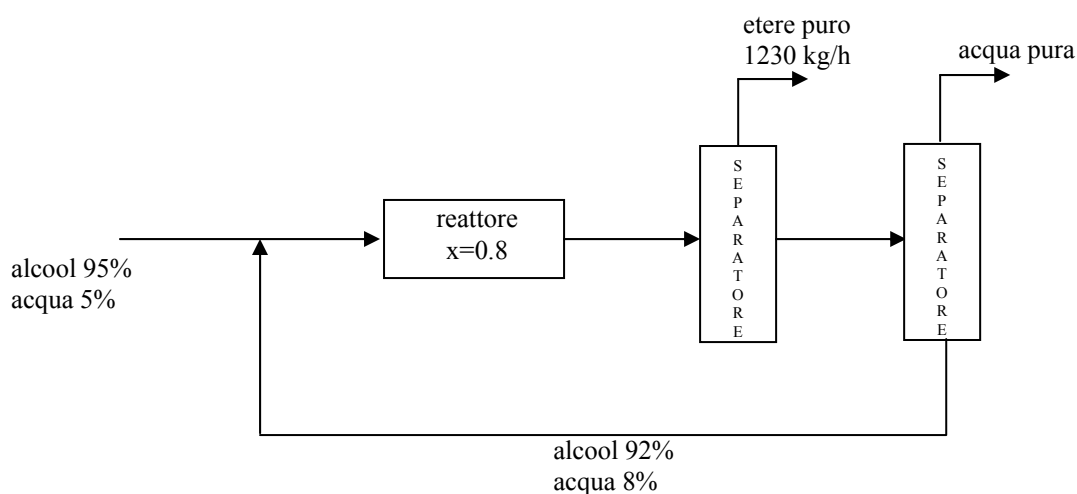
### Problema 1

L'etere etilico può essere prodotto attraverso la seguente reazione di disidratazione dell'alcool etilico



nell'impianto schematizzato in figura. Usando i dati riportati (le composizioni sono in peso, e  $x$  è il grado di conversione), si calcoli:

- la portata (in kg/h) della corrente di alimentazione all'impianto;
- la portata (in kg/h) della corrente di riciclo.



### Problema 2

Si intende condizionare una stanza vuota di  $80 \text{ m}^3$ . L'aria si trova inizialmente alla temperatura di  $30^\circ\text{C}$  e l'umidità è tale che la frazione molare di acqua presente nell'aria è pari a

$$y_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{0.7 * P_{\text{H}_2\text{O}}^0(30^\circ\text{C})}{P}$$

dove  $P_{\text{H}_2\text{O}}^0$  è la tensione di vapore dell'acqua a  $30^\circ\text{C}$  e  $P$  è la pressione atmosferica. Supponendo che la stanza sia perfettamente isolata, si calcoli la portata termica che il condizionatore deve sottrarre per far sì che dopo 10 minuti le condizioni della stanza diventino le seguenti:

$$T=23^\circ\text{C}; y_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{0.3 * P_{\text{H}_2\text{O}}^0(23^\circ\text{C})}{P}$$

### Problema 3

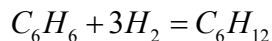
In un impianto di potenza viene bruciato gas naturale (10%  $\text{CH}_4$  20%  $\text{C}_2\text{H}_6$ ) con un eccesso di aria del 85%. Calcolare la temperatura di uscita dei fumi, sapendo che la combustione è completa, che il gas naturale e l'aria sono alimentati a  $25^\circ\text{C}$  e che l'impianto è adiabatico.

## Elementi introduttivi di ingegneria chimica

23 luglio 2004

### Problema 1

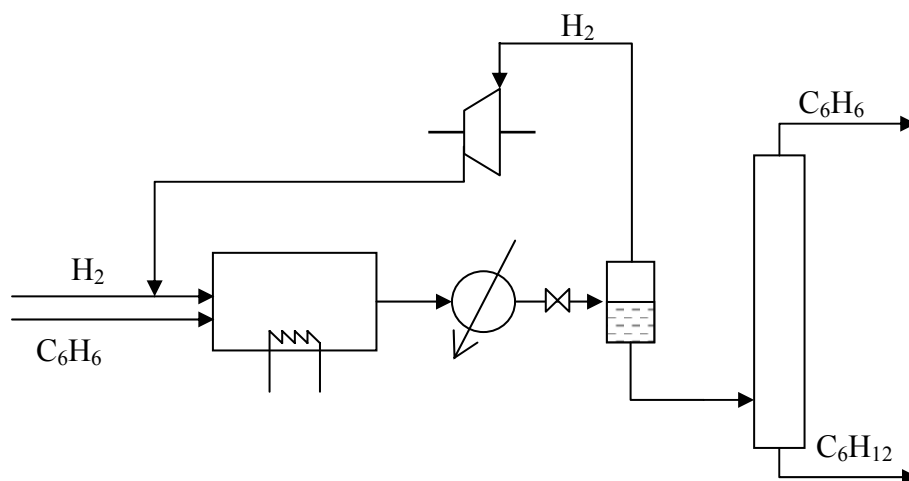
In figura viene mostrato lo schema di un impianto per la produzione di cicloesano dal benzene secondo la reazione:



La reazione avviene in fase gassosa alla pressione di 10 atm e raggiunge una conversione del 85%. All'ingresso del reattore, il rapporto molare idrogeno/benzene è pari a 4. Dopo il reattore, la miscela gassosa viene raffreddata, laminata fino a pressione atmosferica, ed inviata ad un separatore gas-liquido. La fase gassosa, costituita praticamente dal solo idrogeno, viene ricompressa e riciclata. La fase liquida è inviata ad una raffinazione per separare il cicloesano prodotto dal benzene non convertito.

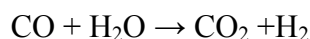
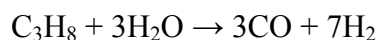
Con riferimento al processo descritto e per una produzione di cicloesano pari a 8 kmol/h, si effettui il bilancio materiale completo, indicando in particolare:

- la portata molare di benzene in ingresso e quella in uscita dall'impianto,
- la portata di idrogeno in ingresso all'impianto e quella di riciclo.



### Problema 2

Nel reattore schematizzato in figura avvengono le seguenti reazioni (tutti i composti sono in fase gas):



Il reattore è dotato di una serpentina per lo scambio termico, nella quale circola un gas di servizio dal calore specifico di 9.5 cal/mol °C. Calcolare la composizione molare dei prodotti in uscita dal reattore, sapendo che:

- il vapor d'acqua ed il propano vengono alimentati al reattore alla temperatura di 125°C ed in rapporto molare di 6:1.
- la conversione di propano è totale.
- i prodotti escono alla temperatura di 800°C.
- il gas di servizio entra nella serpentina alla temperatura di 1400°C ed alla pressione atmosferica e ne esce alla temperatura di 900°C.
- la portata molare del gas di servizio, misurata all'ingresso della serpentina, è pari a 4.94 m<sup>3</sup> per ogni mole di propano alimentata.

## Elementi introduttivi di ingegneria chimica

22 settembre 2004

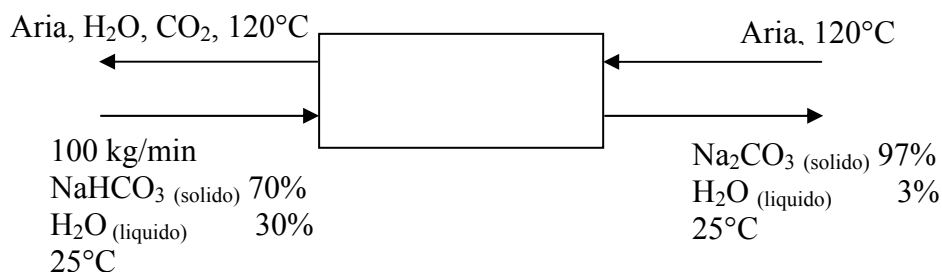
### Problema 1

Bicarbonato di sodio umido viene alimentato in una apparecchiatura dove il bicarbonato viene essiccato e calcinato allo stesso tempo. La reazione di calcinazione è la seguente:



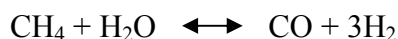
Sfruttando i dati riportati in figura (dove le percentuali sono in peso), e sapendo che la conversione del bicarbonato è completa, si determini:

- la quantità di carbonato prodotta e la quantità di acqua uscente con il carbonato;
- la quantità di acqua rimossa dalla fase solida e trasferita in fase gas;
- la quantità di calore da scambiare.



### Problema 2

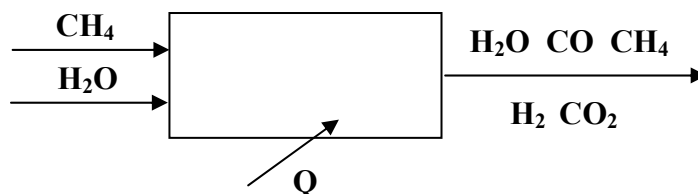
Il reattore schematizzato in figura è stato progettato per la produzione di gas di sintesi ( $\text{CO}$  e  $\text{H}_2$ ) a partire da metano e vapor d'acqua. Nel reattore avvengono le seguenti reazioni:



Metano ed acqua vengono alimentati al reattore in rapporto molare  $\text{H}_2\text{O}/\text{CH}_4 = 2$  ed alla temperatura di  $500^\circ\text{C}$ . I prodotti escono alla temperatura di  $850^\circ\text{C}$ .

Sapendo che la composizione su base secca del gas prodotto (misurata eliminando l'acqua dalla corrente dei prodotti) è pari a 5% di  $\text{CH}_4$ , 16% di  $\text{CO}$ , 6% di  $\text{CO}_2$ , determinare:

- il grado di conversione del metano;
- il numero di moli di  $\text{H}_2\text{O}$  in uscita dal reattore;
- il flusso termico  $Q$  da fornire al reattore.



## Elementi introduttivi di ingegneria chimica

4 febbraio 2005

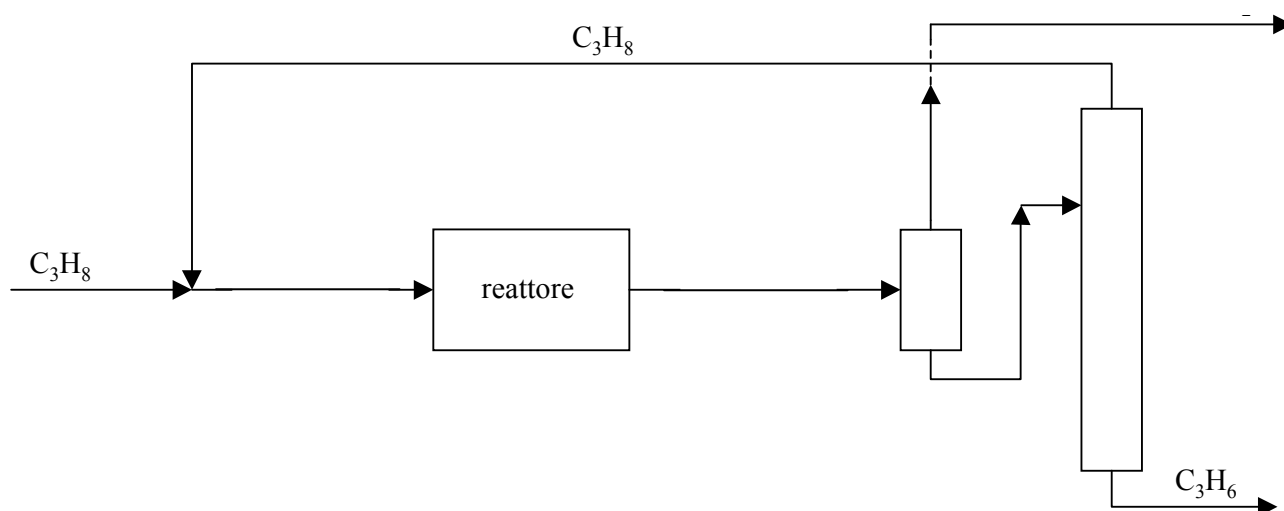
### Problema 1

In un reattore viene alimentato propano puro. Dal reattore (nel quale avvengono diverse reazioni) escono propano, propilene, idrogeno (25.4% molare), etilene (0.3%), etano (5.3%) e metano (3.2%).

- a) Si determinino le due percentuali molari incognite (propano e propilene) nella corrente in uscita dal reattore.

Il reattore di cui sopra viene inserito nell'impianto schematizzato in figura. La corrente in uscita dal reattore viene inviata ad un primo separatore ideale che la libera completamente da idrogeno, etilene, etano e metano. Il propilene ed il propano vengono quindi inviati ad una colonna di distillazione che separa completamente il propilene dal propano. Il propano così ottenuto viene riciclato.

- b) Sapendo che l'alimentazione all'impianto (non quella al reattore) è pari a 385 kmoli/h, si effettui un bilancio di materia al fine di determinare la portata di propilene in uscita dall'impianto e la portata di propano da riciclare.
- c) Sapendo che il reattore opera in condizioni isoterme e che la temperatura dei prodotti e dei reagenti è di 550°C, si calcoli la quantità di calore che il reattore deve scambiare con l'esterno (si specifichi se bisogna fornire o sottrarre calore al reattore).



### **Problema 2:**

Si calcoli la variazione di energia interna e di entalpia di un kg di acqua nel passaggio dallo stato liquido a 25 °C a quello di vapore a 200°C. La trasformazione avviene alla pressione di 2 atmosfere.

# Elementi introduttivi di ingegneria chimica

21 febbraio 2005

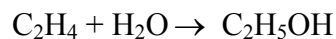
## **Problema 1**

Un gas contiene anidride carbonica con una frazione molare del 10%. Al fine di ridurre la frazione molare di anidride carbonica nel gas al 2%, tale gas viene messo a contatto con una soluzione acquosa contenente idrossido di sodio alla concentrazione di 0.1 moli/litro. L'anidride carbonica viene assorbita in fase acquosa e in parte reagisce con l'idrossido di sodio secondo la reazione  $\text{NaOH} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{NaHCO}_3$ .

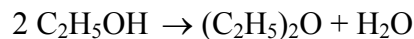
Sapendo che la conversione di idrossido di sodio è del 90% e che la frazione molare residua di anidride carbonica nella soluzione acquosa è pari a 0.1%, si calcoli la quantità di acqua necessaria per trattare 475 moli di gas. Si confronti tale risultato con quello che si sarebbe ottenuto in assenza di idrossido di sodio nell'acqua, supponendo che la frazione molare di anidride carbonica disciolta in fase liquida sia sempre pari a 0.1%.

## **Problema 2**

In un reattore viene prodotto etanolo tramite idratazione dell'etilene, secondo la reazione



Nello stesso reattore parte dell'etanolo prodotto viene convertito in dietiletere, secondo la reazione indesiderata



Sapendo che:

- l'alimentazione al reattore è composta da 53.7 % di  $\text{C}_2\text{H}_4$ , 36,7 % di  $\text{H}_2\text{O}$ , 9.6 % di inerti (le composizioni sono molari).
- il reattore è isoterma ed opera alla temperatura di 310°C.
- la conversione di etilene è del 5% ed il rapporto tra moli di etanolo prodotte e moli di etilene consumate è pari a 0.9.

Calcolare la quantità di energia da fornire o sottrarre al reattore per ogni 100 moli di alimentazione.

Per il dietiletere si usino i seguenti dati:

$\Delta H_f^\circ = -272.8 \text{ kJ/mol}$ , liquido

$\lambda = 26.05 \text{ kJ/mol}$ , indipendente dalla temperatura

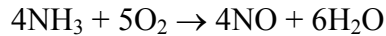
$c_p = 89.45 + 0.4033T - 2.244 \cdot 10^{-4}T^2$ ; (J/mol·°C); T in °C.

## Elementi introduttivi di ingegneria chimica

28 giugno 2005

### Problema 1.

Nel tentativo di trovare un modo economico di generare NO, ammoniaca gassosa viene bruciata con l'ossigeno dell'aria secondo la reazione:

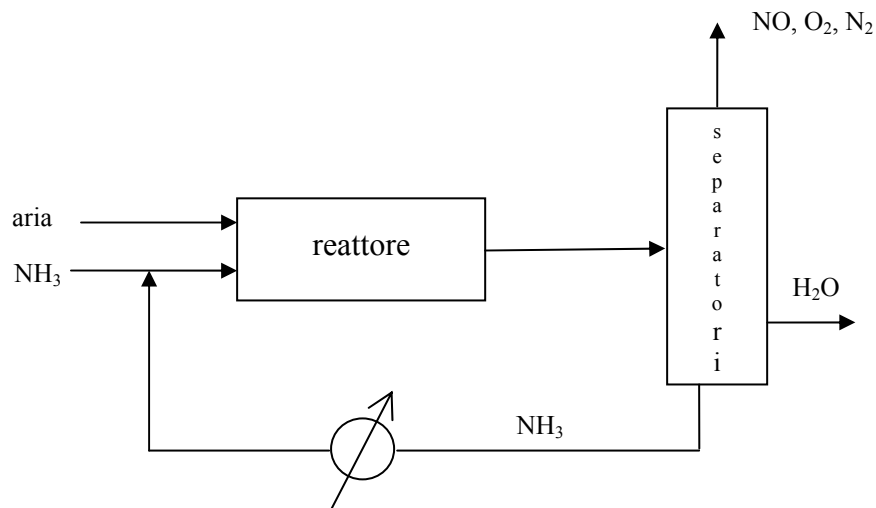


Nel reattore la conversione di ammoniaca è del 70%. Per migliorare la conversione si può pensare di separare l'ammoniaca non reagita e di riciclarla in testa al reattore, come mostrato in figura.

Sapendo che

- l'aria viene alimentata con un eccesso del 20% (rispetto all'ammoniaca in ingresso al reattore);
- occorre produrre 657 lb/h di NO,

si caratterizzino tutte le correnti dell'impianto, calcolando in particolare la portata di ammoniaca e di ossigeno da alimentare all'impianto, e la portata di ammoniaca riciclata.



### Problema 2.

Uno strato di carbon coke (15% di ceneri) del peso di 4000 kg si trova inizialmente ad una temperatura di 1400°C. Attraverso tale strato vengono insufflati 360 kg di vapore d'acqua, ottenendo 448 kg di CO, 40 kg di H<sub>2</sub> ed una certa quantità di CO<sub>2</sub>. Si calcoli la composizione del gas di uscita e la temperatura finale del coke sapendo che:

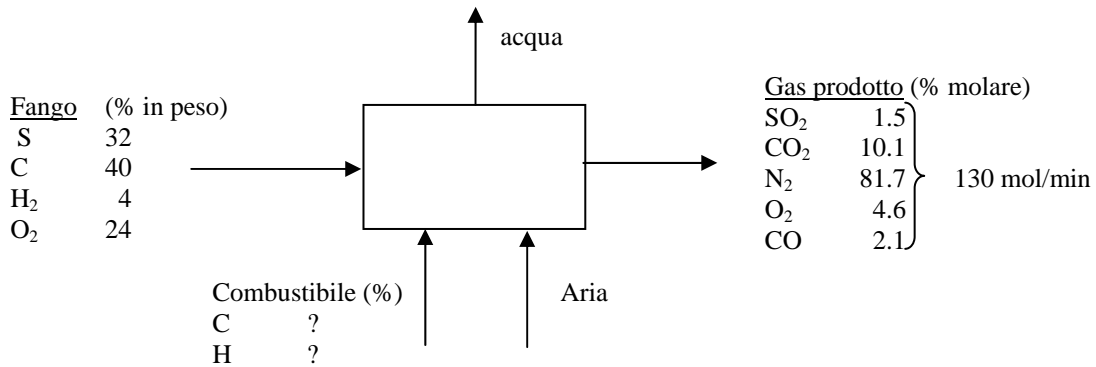
- la temperatura media del gas ottenuto è pari a 1000°C;
- il vapore viene alimentato a 120°C saturo;
- la perdita di energia per irraggiamento è pari a 10<sup>5</sup> kcal.

## Elementi introduttivi di ingegneria chimica

18 luglio 2005

### Problema 1.

Un fango industriale viene bruciato nella fornace schematizzata in figura. Utilizzando i dati indicati, si determinino tutte le portate incognite nonché la composizione del combustibile.



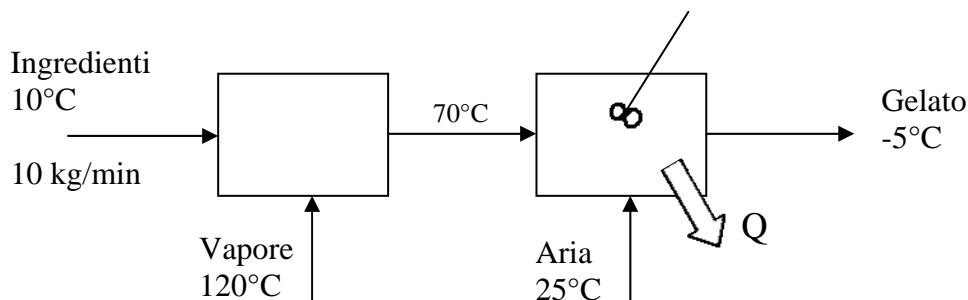
### Problema 2.

L'impianto schematizzato in figura viene utilizzato per produrre gelati in continuo. Gli ingredienti vengono prima pastorizzati e poi mescolati con aria e congelati. La pastorizzazione viene realizzata riscaldando gli ingredienti dalla temperatura di ingresso, pari a 10°C, fino alla temperatura di 70°C. Tale riscaldamento avviene mescolando gli ingredienti con vapore d'acqua a 120°C (e pressione atmosferica). Ipotizzando che gli ingredienti siano assimilabili ad acqua, si calcoli:

- la portata di vapore d'acqua necessaria a pastorizzare 10 kg/min di ingredienti.

La corrente in uscita dal pastorizzatore viene poi mescolata con aria a 25°C (a pressione atmosferica) e, attraverso opportuno raffreddamento, congelata fino alla temperatura di -5°C. Per favorire l'intrappolamento dell'aria nel gelato, il sistema viene vigorosamente agitato. Sapendo che il prodotto finito (gelato a -5°C) deve contenere aria con una frazione volumetrica pari al 50%, e che il lavoro (per unità di tempo) compiuto dall'agitatore sul gelato è pari a 30 kW, si calcolino:

- la portata di aria
- la potenza termica da sottrarre.



### Problema 3.

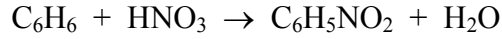
Si determini il calore da scambiare per garantire il funzionamento isoterma di un reattore in cui bruciano completamente 100 moli di metano e 30 moli di monossido di carbonio con aria stechiometrica. La temperatura è per tutte le correnti pari a 500°C.

## Elementi introduttivi di ingegneria chimica

23 settembre 2005

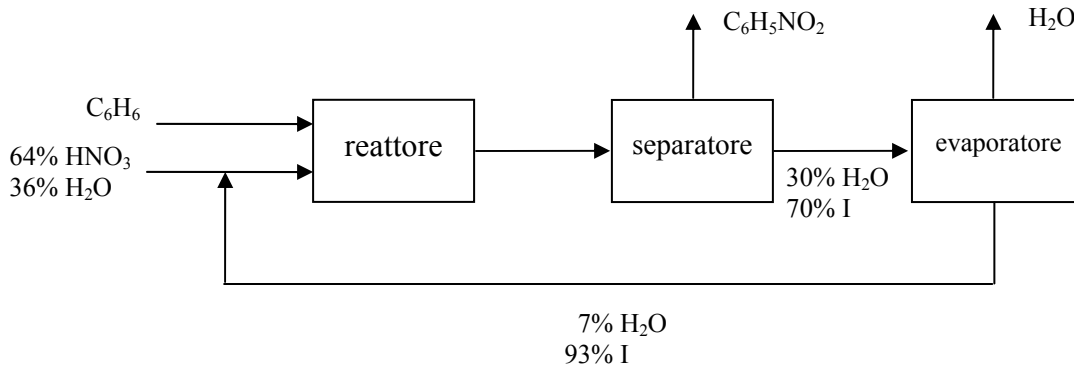
### Problema 1

Il processo di produzione di nitrobenzene è mostrato schematicamente in figura (dove le percentuali sono tutte in peso). Nel reattore avviene la reazione:



Si noti che (i) benzene e acido nitrico sono alimentati in proporzioni stechiometriche, (ii) nell'impianto circola un inerte (indicato con I in figura) che è stato inserito preliminarmente nell'impianto stesso, ed a regime non entra e non esce dall'impianto.

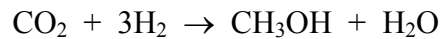
Si calcolino le portate di tutte le correnti sapendo che occorre produrre 1 ton/giorno di nitrobenzene.



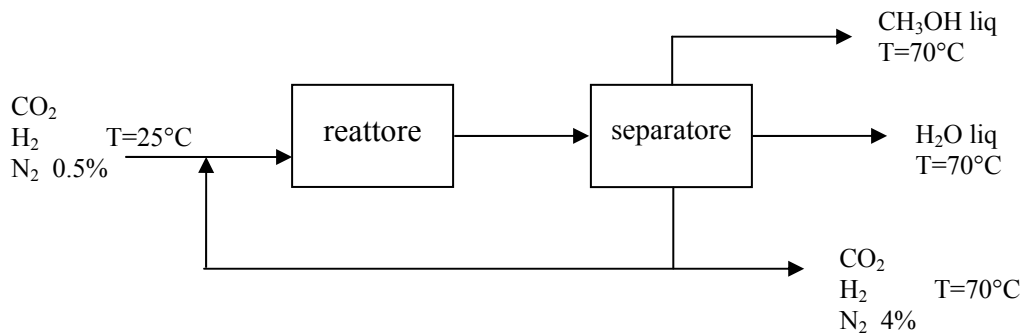
Infine, si determini il calore da fornire nell'evaporatore sapendo che (i) la soluzione acquosa al 70% in peso di inerte entra nell'evaporatore a 30°C, (ii) il vapor d'acqua e la soluzione acquosa al 93% di inerte escono dall'evaporatore a 80°C, (iii) il calore specifico dell'inerte in fase liquida è costante con la temperatura e pari a 0.5 cal/(g°C), (iv) la pressione è atmosferica.

### Problema 2

In figura viene schematizzato un impianto di produzione di etanolo che opera secondo la reazione:



La corrente di ingresso all'impianto contiene i reagenti in proporzioni stechiometriche ed una piccola quantità di azoto (0.5% molare). Utilizzando i dati riportati in figura si calcoli il calore che occorre scambiare nell'impianto per produrre una tonnellata di etanolo al giorno.



## Elementi introduttivi di ingegneria chimica

18 gennaio 2006

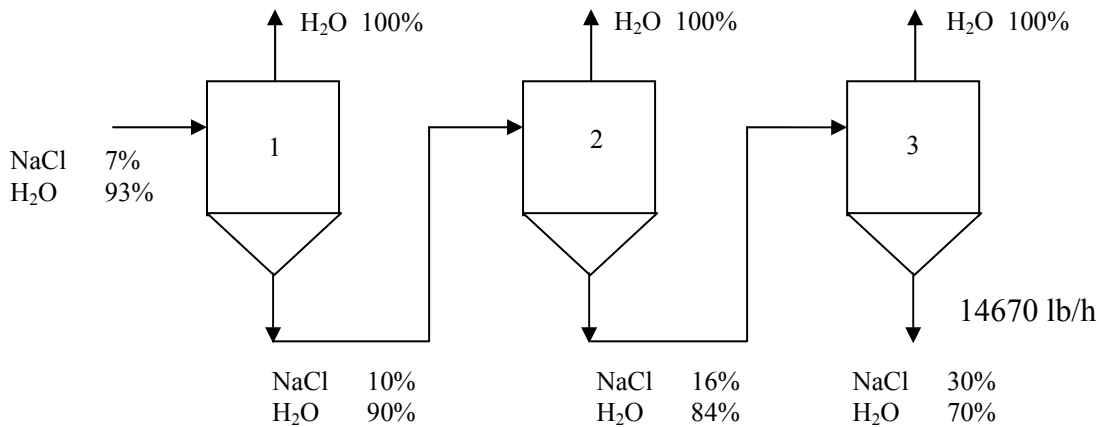
### Problema 1

Occorre progettare un evaporatore a triplo effetto per ridurre il contenuto di acqua di una soluzione salina. La soluzione in ingresso all'impianto contiene cloruro di sodio al 7% in peso e acqua al 93%, mentre la soluzione in uscita dall'impianto contiene cloruro di sodio al 30% in peso. Utilizzando i dati riportati nella figura (dove tutte le composizioni sono in peso), si determini:

- la portata di soluzione salina in ingresso all'impianto;
- la portata di acqua rimossa in ciascun evaporatore.

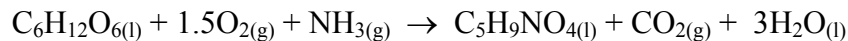
Inoltre sapendo che i) le pressioni dei tre evaporatori sono  $p_1=1$  atm,  $p_2=0.5$  atm e  $p_3=0.25$  atm, ii) l'acqua rimossa da ciascun evaporatore è in condizioni di vapore saturo, iii) la temperatura della soluzione salina al 7% è 20°C, mentre quella della soluzione al 30% è 65°C, si determini:

- la temperatura di ciascuna corrente di vapore d'acqua;
- la portata termica che complessivamente bisogna scambiare con l'impianto.



### Problema 2

Per migliorare il sapore, l'aspetto e la conservazione delle uova disidratate è possibile (utilizzando opportuni enzimi) rimuovere parte del glucosio presente nelle uova attraverso la seguente reazione



in cui viene prodotto acido glutammico. Sapendo che i) nel reattore entra una soluzione acquosa di glucosio al 4% in peso di glucosio (il resto è acqua) con una portata di 2000 kg/h alla temperatura di 15°C; ii) la corrente gassosa in ingresso ha la seguente composizione molare: 10% NH<sub>3</sub>, 18.9% O<sub>2</sub>, 71.1% N<sub>2</sub>, ed entra nel reattore alla temperatura di 15°C con una portata di 250 Nm<sup>3</sup>/h; iii) la conversione (del reagente limitante) è completa, si determini:

- il reagente limitante;
- la composizione della corrente liquida e della corrente gassosa in uscita dal reattore;
- il calore da scambiare con il reattore per garantire il funzionamento in condizioni isoterme (15°C).

DATI TERMODINAMICI:

C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>(l): calore specifico=0.3 cal/(g°C); calore standard di combustione=-2805 kJ/mol;

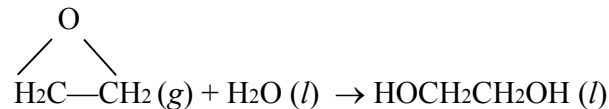
C<sub>5</sub>H<sub>9</sub>NO<sub>4</sub>(l): calore specifico=0.34 cal/(g°C); calore standard di combustione=-2241.1 kJ/mol;

## Elementi introduttivi di ingegneria chimica

15 febbraio 2006

### Problema 1

Glicol-etilenico (HOCH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>OH) può essere preparato attraverso idrolisi dell'ossido di etilene (CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>O ciclico) secondo la seguente reazione:



Si consideri un reattore in cui l'ossido di etilene (E per brevità) è combinato con acqua (W) per generare il glicol-etilenico (G). Il rapporto molare W/E in ingresso al reattore è 2, ed il grado di conversione è pari al 90%. I reagenti (E gassoso ed W liquida) entrano al reattore ad 80°C. I prodotti in uscita dal reattore sono separati in una seconda apparecchiatura dalla cui testa esce una corrente ricca di W (che contiene anche un po' di E, ma non contiene G), e dal cui fondo esce una corrente ricca di G (che contiene anche un po' di W, ma non contiene E). Un'analisi della corrente di fondo mostra che in questa il rapporto molare G/W è pari a 10.

- Si determinino le portate delle due correnti in uscita dall'impianto nel caso in cui al reattore siano alimentate 900 mol/min di E.

Supponendo che i reagenti siano disponibili alla temperatura di 25°C e che debbano essere riscaldati a 80°C prima di essere alimentati al reattore, e che le correnti di uscita dall'impianto sono entrambe a 50°C, si determini:

- La quantità di calore che deve essere complessivamente scambiata nell'impianto per mole di E alimentata.

Poiché la corrente liquida in uscita dalla testa dell'apparecchiatura di separazione non può essere dispersa nell'ambiente in quanto E è cancerogeno, si decide di riciclare tale corrente in testa al reattore.

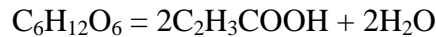
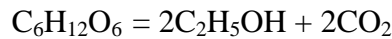
- Si determinino portata e composizione della corrente in uscita dall'impianto in questo ultimo caso sapendo che all'impianto sono alimentate sempre 900 mol/min di E gassoso e 1800 mol/min di W. (N.B. La corrente in uscita dall'impianto contiene G e W ma il rapporto G/W non è più 10).
- Sapendo inoltre che il grado di conversione del reattore è sempre pari al 90%, e che viene riciclato il 40% dell'acqua in uscita dal reattore, si calcolino portata e composizione della corrente di riciclo.

## Elementi introduttivi di ingegneria chimica

21 giugno 2006

### Problema 1.

Nella fermentazione anaerobica del grano, microrganismi digeriscono glucosio per formare etanolo ed acido propenoico attraverso le seguenti reazioni:



In un processo batch il reattore è caricato con 4000 kg di una soluzione acquosa al 12% in peso di glucosio. Dopo la fermentazione restano 90 kg di glucosio non reagito ed il rapporto tra le moli di etanolo e le moli di acido propenoico è pari a 3.

Si determinino le quantità di etanolo ed acido propenoico prodotte, nonché la composizione in peso della soluzione a valle della fermentazione, sapendo che la  $\text{CO}_2$  prodotta è in fase gassosa.

Sapendo inoltre che la soluzione è caricata nel reattore alla temperatura di  $20^\circ\text{C}$ , si determini il colore da scambiare per mantenere condizioni isoterme.

*Dati:*

$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6(\text{l})$ : calore specifico=0.30 cal/(g·°C); calore standard di combustione = -2805 kJ/mol

$\text{C}_2\text{H}_3\text{COOH}(\text{l})$ : calore specifico=0.34 cal/(g·°C); calore standard di combustione = -1500 kJ/mol

### Problema 2.

Si vuole essiccare del riso sfruttando il calore sensibile di un gas caldo, costituito da una miscela equimolare di acqua e  $\text{CO}_2$  disponibile alla temperatura di  $600^\circ\text{C}$ . Il contenuto di acqua nel riso in ingresso è pari al 25% in peso e deve essere ridotto al 5%. Sapendo che:

- i) la portata di gas in ingresso è pari a 10 kmoli/h,
- ii) il gas in uscita, inclusivo dell'acqua rimossa dal riso, è a  $200^\circ\text{C}$ ,
- iii) il riso da essiccare entra alla temperatura di  $25^\circ\text{C}$  ed esce essiccato alla temperatura di  $60^\circ\text{C}$ ,
- iv) il calore specifico del riso secco è pari a 0.5 cal/(g·°C),

si calcoli la portata di riso umido in ingresso all'essiccatore.

Si ripeta lo stesso calcolo per una portata di gas caldo in ingresso pari a  $3 \text{ Nm}^3/\text{h}$ .

## Elementi introduttivi di ingegneria chimica

14 luglio 2006

*NB: per superare l'esame occorre svolgere correttamente il Problema 1.*

---

### Problema 1

100 moli/min di una corrente equimolare di benzene e toluene vengono inviate ad un combustore per bruciare con aria (21% O<sub>2</sub>, 79% N<sub>2</sub>). Sapendo che:

- i) la portata molare di aria in ingresso è pari a 3000 moli/min
- ii) i fumi non contengono ossigeno
- iii) il rapporto molare tra azoto e acqua nei fumi è pari a 8.8.

si calcoli portata e composizione dei fumi.

Inoltre sapendo che

- i) la corrente di combustibili entra nel reattore a 25 °C allo stato liquido
- ii) l'aria entra nel reattore a 10°C
- iii) i fumi escono a 200°C (tutti i componenti sono in fase gas)

si calcoli il calore da scambiare con il reattore.

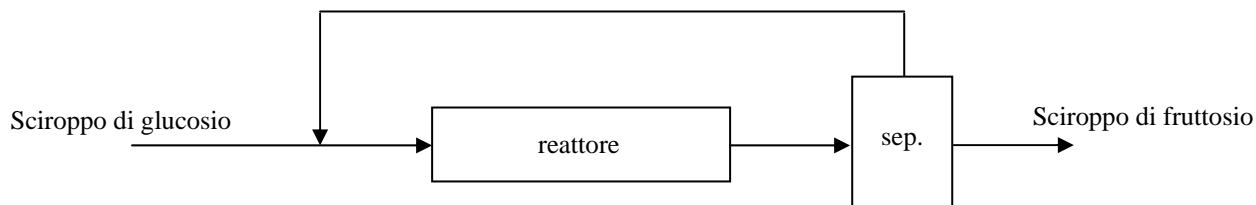
### Problema 2

Glucosio e fruttosio hanno la stessa formula chimica (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>), ma proprietà differenti. Entrambi sono utilizzati come dolcificanti, ma il fruttosio è meno facilmente assimilabile dall'uomo rispetto al glucosio, ed è quindi indicato nelle diete ipoglicemiche. Nell'industria alimentare vengono prodotti sciroppi (ovvero soluzioni acquose concentrate) di fruttosio attraverso isomerizzazione del glucosio (glucosio → fruttosio) che avviene in presenza di opportuni catalizzatori naturali (enzimi). Alla temperatura di 50°C si riesce a convertire non più del 50% del glucosio. Al fine di migliorare la conversione complessiva del glucosio, si può introdurre un separatore ed un riciclo, come schematizzato in figura.

In figura la corrente in ingresso all'impianto (di portata pari a 5 kmol/h) è uno sciroppo di glucosio, costituito da glucosio al 70% in peso e da acqua. La corrente in uscita dall'impianto è uno sciroppo di fruttosio, costituito da fruttosio al 65% in peso, da glucosio e da acqua. La corrente di riciclo è uno sciroppo costituito da glucosio al 50%, fruttosio al 12% ed il resto è acqua. Il grado di conversione nel reattore è pari al 40%.

Si calcoli:

- portata e composizione dello sciroppo di fruttosio in uscita dall'impianto;
- portata e composizione di tutte le altre correnti



## Elementi introduttivi di ingegneria chimica

21 settembre 2006

### Problema 1

In un essiccatore entra una corrente di solido con una umidità di 1.6 kg di acqua per kg di solido secco e ne esce con una umidità di 0.1 kg/(kg di solido secco). Per ogni kg di prodotto secco entra nell'essiccatore una corrente di aria umida costituita da 52 kg di aria ed una quantità di acqua (umidità) incognita. L'aria in uscita dall'essiccatore, che ha un contenuto d'acqua (umidità) pari a 0.050 kg/(kg di aria secca), viene in parte riciclata all'ingresso dell'essiccatore. Sapendo che l'aria introdotta nell'impianto (da non confondere con l'aria in ingresso all'essiccatore) ha un contenuto di acqua pari a 0.015 kg per kg di aria secca, si calcoli:

- la frazione di aria ricircolante e l'umidità dell'aria in ingresso all'essiccatore.

Inoltre, sapendo che (i) il solido entra nell'essiccatore a 20°C ed esce a 50°C, (ii) l'aria entra nell'impianto a 90°C ed esce 70°C, (iii) il calore specifico del solido secco è pari a 2.5 J/(g·°C), si calcoli

- la quantità di calore da scambiare con l'impianto di essiccazione.

### Problema 2

La sintesi di metanolo ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ) a partire a monossido di carbonio (CO) ed idrogeno ( $\text{H}_2$ ) viene condotta in un reattore alla pressione di 5 atm. L'alimentazione contiene CO e  $\text{H}_2$  in proporzioni stechiometriche ed entra nel reattore a 25°C e 5 atm con una portata di 17.1 m<sup>3</sup>/h. La corrente dei prodotti lascia il reattore a 127°C. Sapendo che il reattore perde calore con una velocità di 17.05kW, calcolare composizione e portata volumetrica dei prodotti.

Supponendo, che il calore perso dal reattore venga utilizzato per la produzione di vapore d'acqua saturo alla pressione di 2 bar, partendo da acqua liquida a 25°C, si calcoli la portata di vapore che può essere prodotta.

## Elementi introduttivi di ingegneria chimica

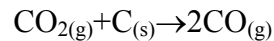
21 dicembre 2006

### Problema 1

Le fragole contengono circa il 15% in peso di solidi e l'85% di acqua. Per fare la marmellata di fragole, fragole (pestate) e zucchero sono mescolati nel rapporto in peso 45:55, e la miscela è riscaldata in modo da fare evaporare una quantità di acqua tale che la marmellata contenga un terzo di acqua in peso. Si calcolino quante libbre di fragole occorrono per fare una libbra di marmellata. Sapendo inoltre che (i) fragole e zucchero sono inizialmente a 20°C, (ii) la temperatura della marmellata prodotta e dell'acqua evaporata è di 50°C, (iii) il calore specifico delle fragole è assimilabile a quello dell'acqua liquida, mentre quello dello zucchero è circa 0.3 cal/(g·°C), si calcoli il calore che occorre scambiare.

### Problema 2

Il carbonio presente nel coke può essere convertito in CO tramite la reazione



Un coke costituito da carbonio al 85% (in peso) e 15% di ceneri viene alimentato ad un reattore con quantità stechiometrica di CO<sub>2</sub>. Il coke è alimentato alla temperatura di 75°F e la CO<sub>2</sub> alla temperatura di 400°F. Sapendo che:

- i) il reattore viene riscaldato scambiando 5859 Btu per ogni lb di coke alimentato,
- ii) la corrente gassosa, la cenere ed il carbonio non reagito lasciano il reattore alla temperatura di 1830°F,

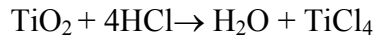
calcolare la percentuale di carbonio reagito.

## Elementi introduttivi di ingegneria chimica

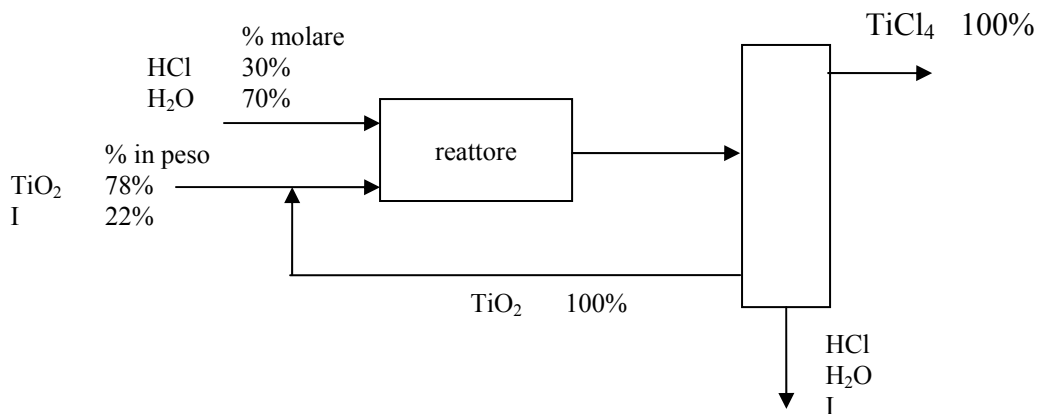
18 gennaio 2007

### Problema 1

Il tetracloruro di titanio ( $\text{TiCl}_4$ ) viene usato come catalizzatore per la produzione di polipropilene e polietilene nell'industria della plastica. Per produrre  $\text{TiCl}_4$  si può pensare di utilizzare la reazione

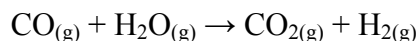
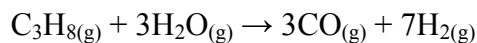


nell'impianto schematizzato in figura. Il diossido di titanio ( $\text{TiO}_2$ ) è disponibile in un minerale che contiene il 78% in peso di  $\text{TiO}_2$  (il resto sono inerti). L'acido cloridrico è invece in soluzione acquosa al 30% molare (il resto è acqua). Nel reattore la conversione di  $\text{TiO}_2$  è pari al 75%. Il diossido di titanio non reagito viene recuperato attraverso il separatore e riciclato in testa all'impianto. Utilizzando le ulteriori informazioni riportate in figura, si calcoli la massa di minerale di  $\text{TiO}_2$  da alimentare all'impianto per produrre 1 kg di  $\text{TiCl}_4$ , e la quantità di inerti in uscita dall'impianto. Si calcoli inoltre la quantità di soluzione acquosa in ingresso all'impianto nonché la quantità di  $\text{TiO}_2$  da riciclare.



### Problema 2

In un impianto di reforming viene prodotto idrogeno a partire da propano, secondo le reazioni



La reazione avviene in un reattore tubolare catalitico inserito in uno scambiatore di calore. L'alimentazione al reattore contiene vapore d'acqua e propano in rapporto molare di 6:1 alla temperatura di  $125^\circ\text{C}$  ed i prodotti lasciano il reattore alla temperatura di  $800^\circ\text{C}$ . L'eccesso di vapore d'acqua garantisce conversione completa del propano. Il calore necessario per l'avanzamento delle reazioni viene fornito da un gas caldo che si raffredda da  $1400^\circ\text{C}$  a  $900^\circ\text{C}$ .

Sapendo che la portata di gas caldo è pari a  $4.94 \text{ m}^3$  (a  $1400^\circ\text{C}$  ed 1 atm) per mole di propano, che il suo calore specifico è pari a  $0.040 \text{ kJ/mol}^\circ\text{C}$  e che tutto il calore perso dal gas viene trasferito alla miscela reagente, si calcoli la composizione molare dei prodotti di reazione.

COGNOME:

NOME:

MATRICOLA:

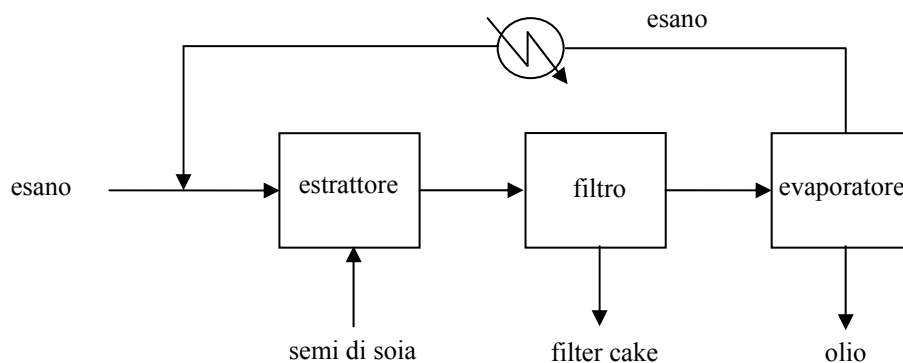
### Elementi introduttivi di ingegneria chimica

9 febbraio 2007

#### Problema 1

Nella produzione di olio di soia, semi di soia contenenti il 10% in peso di olio ed il 90% di solidi vengono alimentati in un recipiente agitato (estrattore) dove sono sospesi in esano liquido. In tale apparecchiatura quasi tutto l'olio viene estratto dai semi e trasferito nell'esano liquido. I semi impoveriti di olio vengono separati dalla fase liquida utilizzando un filtro. Dal filtro escono due correnti. La prima, il cosiddetto *filter cake*, è costituita da solidi al 75% in peso, esano al 24% ed olio all'1%. La seconda corrente rappresenta il liquido filtrato e contiene solo esano ed olio. Il liquido filtrato viene quindi inviato ad un evaporatore in cui tutto l'esano viene vaporizzato e separato dall'olio. L'esano vapore è poi condensato, e riciclato in testa all'impianto.

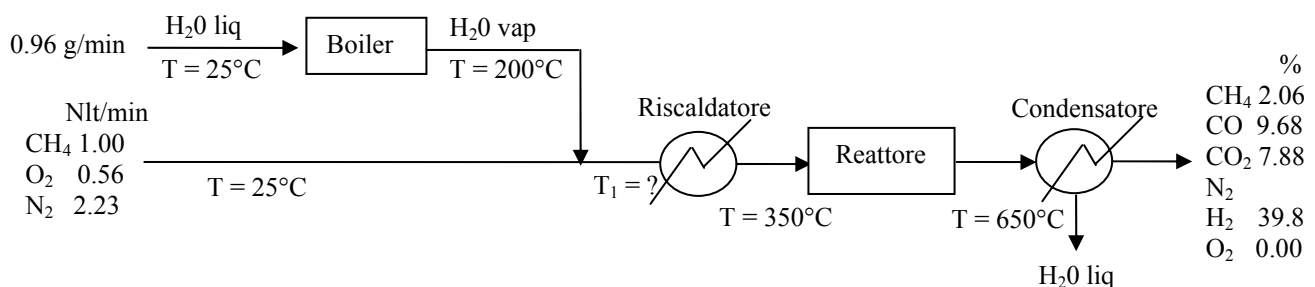
- Si calcoli la quantità di olio prodotto per ogni chilo di semi di soia in ingresso all'impianto. Si calcoli altresì la corrispondente quantità di esano da immettere nell'impianto.
- Supponendo inoltre che il rapporto tra la massa di esano e la massa di olio in uscita dall'estrattore sia lo stesso del *filter cake* (ovvero pari a 24), si calcoli la quantità di esano che viene riciclata.
- Si calcoli infine la quantità di calore da scambiare al condensatore sapendo che l'esano in uscita dall'evaporatore è vapore saturo a 0.5 atm, mentre lascia il condensatore (tutto liquido) a 25°C.



#### Problema 2

In figura viene schematizzato un reattore per il reforming del metano. Sulla base dei dati riportati in figura, calcolare:

- la potenza del boiler per la vaporizzazione dell'acqua
- la temperatura  $T_1$  della miscela reagente immediatamente prima del riscaldatore
- la potenza del riscaldatore
- la portata di idrogeno prodotta in Nlt/min
- la portata di acqua condensata dal condensatore
- il calore dissipato dal reattore



COGNOME:

NOME:

MATRICOLA:

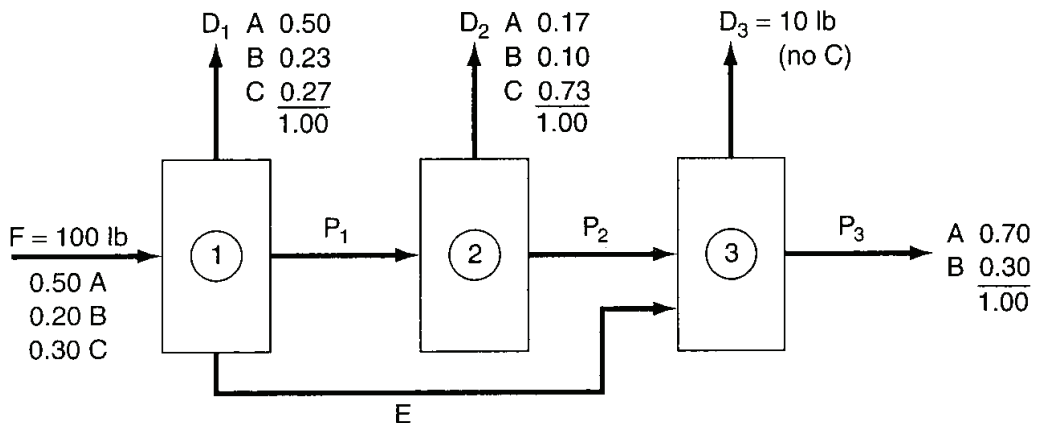
**Elementi Introduttivi di Ingegneria Chimica**

29 giugno 2007

**Problema 1**

In figura è mostrato lo schema di un processo di separazione costituito da tre stadi (o apparecchiature). Utilizzando i dati riportati in figura (dove tutte le composizioni sono in peso) e sapendo che il rapporto  $P_3/D_3$  è pari a 3 (inteso come rapporto tra l'ammontare della corrente  $P_3$  e quello della corrente  $D_3$ ), si calcoli la composizione della corrente  $D_3$  e l'ammontare delle correnti  $D_1$  e  $D_2$ .

Inoltre sapendo che (i) il rapporto tra le quantità di A e B nella corrente  $P_2$  è pari a 1, (ii) il rapporto  $P_2/D_2$  è pari ad 1, si calcoli quantità e composizione della corrente E.



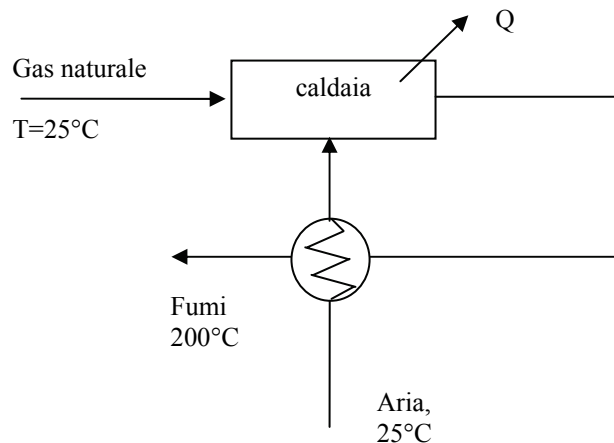
**Problema 2**

La caldaia di una cartiera è alimentata con una portata pari a 55 mol/min di un gas naturale, avente la seguente composizione molare:

$CH_4$  (90%);  $C_2H_6$  (1%);  $C_3H_8$  (2%);  $C_4H_{10}$  (1.5%);  $CO_2$  (0.5%);  $N_2$  (5%)

Sapendo che (i) il gas e l'aria si trovano alla temperatura di 25°C, (ii) l'eccesso d'aria è del 20%, (iii) la combustione è completa, (iv) la temperatura di uscita dei fumi dalla caldaia è pari a 400°C, si calcoli la quantità di calore scambiato con l'esterno.

Per migliorare l'efficienza energetica dell'impianto, viene inserita una apparecchiatura di preriscaldamento dell'aria, a spese del calore sensibile dei fumi (come indicato in figura), in grado di garantire una temperatura di uscita dei fumi di 200°C. Si calcoli la nuova portata di gas naturale da alimentare in caldaia, supponendo che la caldaia scambi con l'esterno la quantità di calore Q calcolata prima e che la combustione (completa) avvenga sempre con un eccesso d'aria del 20%.



**Problema 1**

Butano ( $C_4H_{10}$ ) gassoso puro a  $25^\circ C$  viene alimentato in un reattore nel quale avvengono una serie di reazioni che comportano la de-idrogenazione del butano. A valle del reattore vi è una apparecchiatura di separazione dalla quale escono quattro correnti: 1) una corrente gassosa a  $-20^\circ C$  contenente  $H_2$  al 70% molare,  $CH_4$  al 5%,  $C_2H_4$  (etilene) al 10% e  $C_2H_6$  (etano) al 15%; 2) una corrente gassosa a  $25^\circ C$  contenente 1-butene ( $C_4H_8$ ) puro; 3) coke (C puro) allo stato solido a  $25^\circ C$ ; 4) butano gassoso (non reagito) a  $25^\circ C$ .

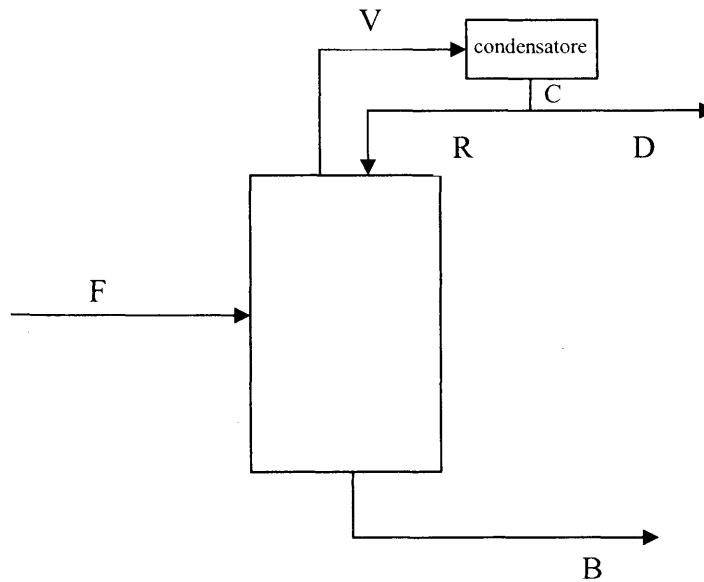
Sapendo che (i) la portata di butano in ingresso al reattore è pari a 100 kg/h, (ii) complessivamente reagisce solo il 10% del butano alimentato, (iii) il 5% del butano alimentato si trasforma in 1-butene, si calcoli:

- la portata di corrente gassosa a  $-20^\circ C$ , e la portata di coke;
- la quantità di calore complessiva (reattore+separatore) che occorre scambiare.

**Problema 2**

Una miscela benzene-toluene al 50% in peso è alimentata con una portata pari a  $10^4$  kg/h ad una colonna di distillazione. Sapendo che (i) la portata di vapore in ingresso al condensatore (corrente V) è pari a 8000 kg/h e contiene benzene al 95% in peso, (ii) la corrente di fondo (B) contiene toluene al 96% in peso, si calcoli:

- portata e composizione di tutte le correnti;
- il calore da scambiare al condensatore sapendo che il vapore V è alla temperatura di  $100^\circ C$ , e la corrente C è liquida alla temperatura di  $90^\circ C$ , e sapendo inoltre che il calore latente di vaporizzazione del toluene a  $25^\circ C$  è 230 kcal/mol



COGNOME:

NOME:

MATRICOLA:

## Elementi Introduttivi di Ingegneria Chimica

*13 settembre 2007*

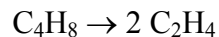
### Problema 1

Una piccola industria di concentrato di pomodoro tratta 10 tonnellate/giorno di pomodori freschi. Dopo i trattamenti preliminari la polpa di pomodoro viene concentrata per ebollizione a pressione atmosferica e quindi, praticamente, a 100°C. La percentuale in peso di acqua nel concentrato è del 40%, mentre nel pomodoro fresco tale percentuale è pari al 75%.

- Calcolare la produzione giornaliera di concentrato.
- Assumendo che il calore specifico del pomodoro coincida con quello dell'acqua, che i pomodori entrino a 25°C, e che le correnti in uscita dall'apparecchiatura si trovino a 100°C, calcolare il consumo giornaliero di energia.

### Problema 2

Un reattore catalitico genera etilene a partire da butene attraverso la reazione:



Il reattore è isoterma ed opera alla temperatura di 550°C ed i prodotti in uscita dal reattore contengono etilene al 20% molare.

- Si determinino le moli di etilene prodotte per mole di butene in ingresso al reattore;
- Si calcoli il calore da scambiare con il reattore per mole di etilene prodotta.
- Infine, se a valle del reattore l'etilene viene separato per distillazione dal butene, ed il butene non reagito viene riciclato in testa al reattore, si calcolino la quantità di etilene prodotto per mole di butene in ingresso all'impianto e la portata di riciclo.

## Elementi Introduttivi di Ingegneria Chimica

21 dicembre 2007

### Problema 1

Un impianto per la concentrazione di succhi di frutta è schematizzato in figura. L'alimentazione di succo fresco ha una portata pari a 100 kg/h ed una concentrazione di solidi del 15%. Una prima operazione di sedimentazione conduce a due correnti, delle quali la più abbondante, avente una portata pari a 80 kg/h, è quella più diluita in solidi. Questa viene concentrata in un evaporatore sotto vuoto fino ad una concentrazione in solidi del 58%. Si effettua infine una miscelazione con la corrente di bypass non trattata nell'evaporatore (e che quindi conserva gli aromi) per ottenere il prodotto finale alla concentrazione in solidi del 40%.

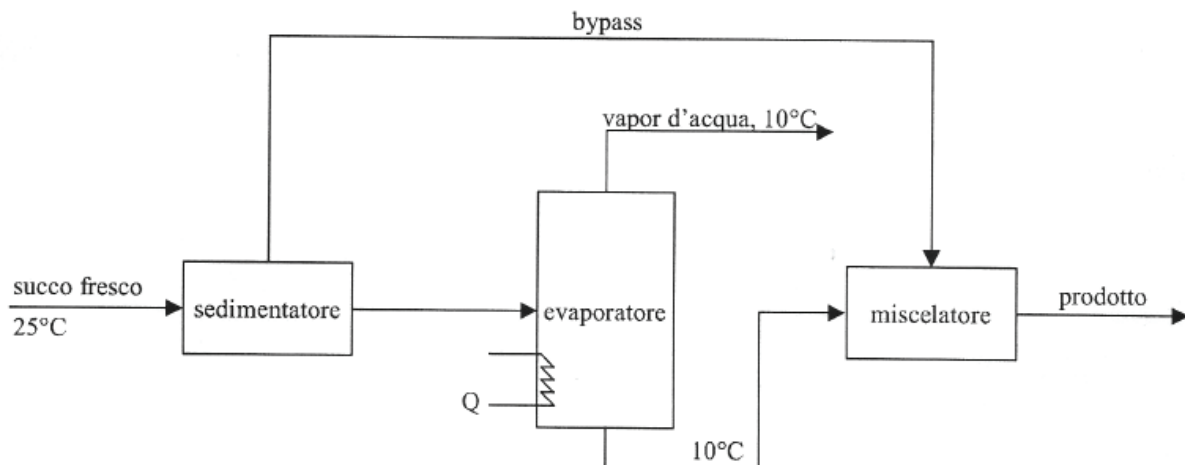
Si calcoli:

1. La quantità di prodotto finale e quella di acqua da far evaporare.
2. La concentrazione della corrente di alimentazione all'evaporatore e la concentrazione della corrente di bypass.

Sapendo inoltre che la correnti in ingresso e in uscita dal sedimentatore sono a 25°C, mentre le due correnti in uscita dall'evaporatore sono a 10°C, calcolare:

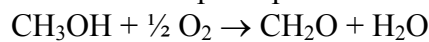
3. La quantità di calore da fornire all'evaporatore.
4. La temperatura del prodotto finale.

(Tutti i calori specifici delle soluzioni liquide possono essere assunti uguali a quello dell'acqua).

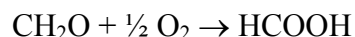


### Problema 2

La formaldeide (CH<sub>2</sub>O) viene prodotta attraverso ossidazione in fase vapore di metanolo con aria in presenza di catalizzatori di argento. La reazione principale è:



Tuttavia può esserci anche la seguente reazione secondaria con formazione di acido formico:



La miscela di alimentazione, contenente ossigeno nell'ammontare teoricamente richiesto (ovvero in proporzioni stechiometriche rispetto al metanolo), entra nel reattore alla temperatura di 75°C. Un'analisi del gas in uscita dal reattore indica che il 60% del metanolo viene ossidato e che il rapporto tra le moli di H<sub>2</sub>O e le moli di CH<sub>2</sub>O è pari a 1.1. Sapendo che il gas lascia il reattore alla temperatura di 600°C, si stimi il calore che occorre scambiare con il reattore se l'alimentazione al reattore è costituita da 130 mol/min di metanolo.

(Per semplicità si usino i seguenti calori specifici medi:  $c_{\text{CH}_3\text{OH}}=0.45 \text{ cal}/(\text{g}^\circ\text{C})$ ,  $c_{\text{CH}_2\text{O}}=0.55 \text{ cal}/(\text{g}^\circ\text{C})$ ,  $c_{\text{HCOOH}}=0.65 \text{ cal}/(\text{g}^\circ\text{C})$ ,  $c_{\text{H}_2\text{O}}=0.45 \text{ cal}/(\text{g}^\circ\text{C})$ ,  $c_{\text{O}_2}=c_{\text{N}_2}=7 \text{ cal}/(\text{mol}^\circ\text{C})$ )

COGNOME:

NOME:

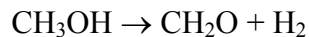
MATRICOLA:

## Elementi Introduttivi di Ingegneria Chimica

18 gennaio 2008

### Problema 1

Un reattore catalitico è usato per produrre formaldeide a partire da metanolo attraverso la reazione:



Sapendo che nel reattore si realizza una conversione del 70% e che la produzione di formaldeide deve essere di 600 kg/h, si calcoli la portata di metanolo (in mol/h) da alimentare all'impianto.

Si ripeta lo stesso calcolo (utilizzando gli stessi dati sopra riportati) nel caso in cui a valle del reattore ci sia una apparecchiatura di separazione che permette di recuperare il metanolo non reagito e di riciclarlo in testa all'impianto.

Infine si calcoli il calore da scambiare con il reattore per garantire condizioni isoterme alla temperatura di 200°C. Si consideri sia il caso senza riciclo sia il caso con riciclo.

### Problema 2

In una caldaia industriale, metano è bruciato (completamente) con aria per generare calore utile alla produzione di vapore surriscaldato. I gas di combustione caldi lasciano la fornace a 300°C e sono poi raffreddati a 150°C in uno scambiatore di calore. Il mezzo di raffreddamento nello scambiatore è la stessa aria che viene poi alimentata alla caldaia. L'aria entra nello scambiatore a 25°C. L'acqua entra in caldaia a 25°C e lascia l'impianto come vapore surriscaldato a 17 atm e 250°C. La portata di alimentazione di metano è pari a 450,000 mol/h a 25°C, ed aria è alimentata con un eccesso del 20%.

Si calcoli (i) la composizione del gas di combustione che lascia la fornace; (ii) la temperatura dell'aria che lascia il preriscaldatore; (iii) le moli di vapore surriscaldato prodotte ogni ora.

Si usino i seguenti calori specifici medi (J/mol°C):  $\text{CH}_4(\text{g}) = 43$ ,  $\text{CO}_2(\text{g}) = 42$ ,  $\text{H}_2\text{O}(\text{g}) = 34$ ,  $\text{O}_2(\text{g}) = 31$ ,  $\text{N}_2(\text{g}) = 30$ .

COGNOME:

NOME:

MATRICOLA:

## Elementi Introduttivi di Ingegneria Chimica

8 febbraio 2008

### Problema 1

Un combustibile composto da metano ( $\text{CH}_4$ ), etano ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ) ed azoto ( $\text{N}_2$ ) è bruciato con aria in eccesso del 20%. Dal reattore escono  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$  ed  $\text{H}_2\text{O}$ . Sapendo che la composizione molare dei fumi secchi ( $\text{H}_2\text{O}$  esclusa) è 8.4%  $\text{CO}_2$ , 1.2%  $\text{CO}$ , 4.2%  $\text{O}_2$ , 86.2%  $\text{N}_2$ , (i) impostare le equazioni di bilancio necessarie al calcolo della composizione del combustibile in ingresso, (ii) risolvere tali equazioni indicando i passaggi essenziali.

Risolvendo le equazioni di bilancio sopra menzionate si trova che la composizione molare del combustibile in ingresso è: 39.5%  $\text{CH}_4$ , 19.8%  $\text{C}_2\text{H}_6$ , 40.7%  $\text{N}_2$ . Si trova inoltre che il rapporto tra le moli di  $\text{H}_2\text{O}$  in uscita e le moli di combustibile in ingresso è pari a 1.38. Utilizzando tali risultati, e sapendo che la temperatura di ingresso del combustibile e dell'aria è  $25^\circ\text{C}$  e che la temperatura di uscita dei fumi (acqua inclusa) è  $200^\circ\text{C}$ , si calcoli il calore da scambiare con il reattore per ogni 100 moli di combustibile in ingresso.

### Problema 2

Un essiccatore viene utilizzato per ridurre l'umidità presente in una biomassa dal 20% al 5% in peso. Il calore necessario per il processo di essiccazione viene fornito da una corrente di servizio (che non si mescola con il resto) costituita da vapore d'acqua saturo a 2 atm.

Sapendo che:

- la biomassa umida entra nell'essiccatore con una portata pari a 100 kg/h, alla temperatura di  $25^\circ\text{C}$  ed esce essiccata alla temperatura di  $60^\circ\text{C}$ ;
- l'acqua rimossa dalla biomassa esce sotto forma di vapore alla temperatura di  $60^\circ\text{C}$ ;
- l'acqua di servizio esce a  $90^\circ\text{C}$  (sempre a 2 atm),

si determini la portata di vapore d'acqua di servizio in ingresso alla apparecchiatura.

COGNOME:

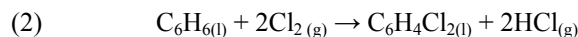
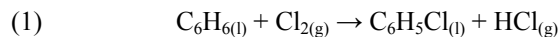
NOME:

MATRICOLA:

**Elementi Introduttivi di Ingegneria Chimica**  
*10 giugno 2008*

**Problema 1**

In un reattore decorre il seguente processo reattivo:



Calcolare la composizione dei prodotti ed il calore da scambiare con il reattore per kg di benzene convertito, sapendo che: i) l'alimentazione è composta da benzene e cloro a 25°C, con un eccesso di cloro del 15% (calcolato con riferimento alla reazione (1)); ii) i prodotti si trovano a 60°C; iii) la conversione complessiva del benzene è pari all'75%; iv) il rapporto tra le moli di C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>Cl e C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>Cl<sub>2</sub> nei prodotti è pari a 12.

*ALCUNI DATI TERMODINAMICI:*  $C_{p\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}(l)} = C_{p\text{C}_6\text{H}_4\text{Cl}_2(l)} = 1.67 \text{ J/g}^\circ\text{C}$ ; Calore standard di combustione con prodotti CO<sub>2(g)</sub>, H<sub>2</sub>O(l), HCl(g): C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>Cl(l) = -3140 kJ/mol; C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>Cl<sub>2</sub>(l) = -2812 kJ/mol.

**Problema 2 (prova intercorso)**

In un'apparecchiatura operante a 2 atmosfere vengono mescolati 90 kg/min di acqua a 10°C, 35 kg/min di ghiaccio a -20°C, e 20 kg/min di vapore d'acqua a 180°C.

Si determinino le condizioni di equilibrio termico della corrente in uscita da tale apparecchiatura di mescolamento ipotizzando che il processo sia adiabatico. Si calcoli inoltre la variazione di entalpia e di energia interna.

**Parte facoltativa**

Si ripeta lo stesso calcolo nel caso in cui vi sia uno scambio termico con l'ambiente circostante esprimibile nella forma  $h \cdot (T - T_{\text{ambiente}}) \cdot A$ , dove  $h$  è un coefficiente di trasporto di calore pari a 200 kcal/(m<sup>2</sup>·h·°C),  $T$  è la temperatura incognita della corrente in uscita,  $T_{\text{ambiente}}$  è la temperatura dell'ambiente circostante pari a 10°C, ed  $A$  è l'area della superficie esterna dell'apparecchiatura pari a 10 m<sup>2</sup>.

**Problema 2 (esame)**

Il lievito *Saccharomyces cerevisiae* viene prodotto in un fermentatore facendo reagire il saccarosio (C<sub>12</sub>H<sub>22</sub>O<sub>11</sub>) con ossigeno ed ammoniaca. La reazione avviene in soluzione acquosa. Sapendo che: (i) il lievito ha una composizione esprimibile attribuendogli la formula chimica "empirica" pari a CH<sub>1,83</sub>O<sub>0,55</sub>N<sub>0,17</sub>, (ii) la resa di lievito da saccarosio è pari a 0.5 grammi di lievito per ogni grammo di saccarosio consumato, (iii) saccarosio ed ammoniaca si consumano interamente, iv) lievito, CO<sub>2</sub> ed H<sub>2</sub>O sono i soli prodotti del processo di fermentazione, si calcolino le quantità di saccarosio e di ammoniaca necessarie a produrre 100 g di lievito. Si calcoli inoltre la quantità di anidride carbonica prodotta ed il consumo di ossigeno.

COGNOME:

NOME:

MATRICOLA:

## Elementi Introduttivi di Ingegneria Chimica

30 giugno 2008

### Problema 1

Un fango industriale proveniente da un impianto di depurazione contiene solidi al 50% in peso. Il restante 50% si può assimilare ad acqua. Il fango viene inviato ad un'apparecchiatura di filtrazione dalla quale escono due correnti, il filtrato contenente solidi (le particelle più fini) al 10% in peso ed il cosiddetto *filter cake* contenente solidi al 80% in peso. Il *filter cake* viene poi inviato ad un'apparecchiatura di essiccazione dalla quale esce una corrente di vapor d'acqua ed una corrente di solidi al 95% in peso.

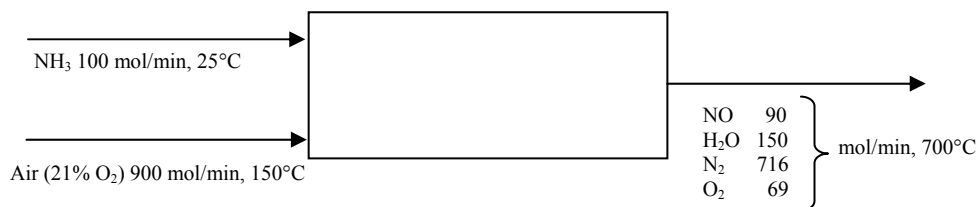
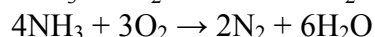
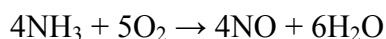
Sapendo che la portata di fango proveniente dall'impianto di depurazione è pari a 400 kg/min, si calcolino la portata di filtrato e di *filter cake*, nonché la portata di acqua rimossa nell'essiccatore.

Se la densità del solido è il doppio di quella dell'acqua, quale è la frazione volumetrica dei solidi nel fango proveniente dall'impianto di depurazione?

Infine, sapendo che la temperatura del *filter cake* è di 20°C mentre le correnti in uscita dall'essiccatore si trovano a 60°C, si calcoli la potenza termica da fornire all'essiccatore. Si assuma che il calore specifico dei solidi sia pari 0.6 cal/(g·°C).

### Problema 2

Nel reattore schematizzato in figura decorre il seguente processo reattivo, alla pressione di 8 atm:



Si calcoli il calore da scambiare con il reattore.

COGNOME:

NOME:

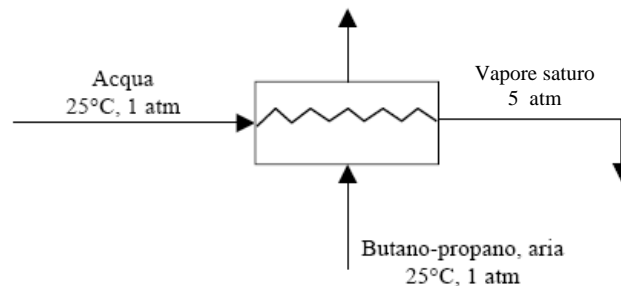
MATRICOLA:

## Elementi Introduttivi di Ingegneria Chimica

7 novembre 2008

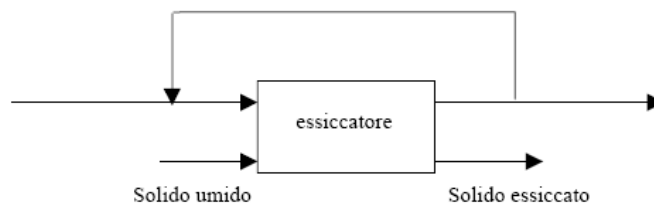
### Problema 1

Nella caldaia schematizzata in figura viene prodotto vapore saturo a 5 atm attraverso la combustione completa di una miscela gassosa butano-propano al 30% molare di butano. La combustione avviene con aria in eccesso al 50%. Sia l'acqua sia i gas sono alimentati in caldaia a 25°C e ad 1 atm. Si calcoli la portata molare di combustibile (miscela butano-propano) necessaria, sapendo che i fumi escono alla temperatura di 250°C (e ad 1 atm) e che il 15% del calore generato dalle reazioni di combustione (calcolato a 25°C con acqua vapore) è perso verso l'esterno (non trasferito all'acqua).



### Problema 2

Occorre essiccare un solido umido, riducendone il contenuto di acqua dal 25% in peso al 7% in peso. A tal fine il solido umido viene alimentato in continuo (con una portata pari a 1300 kg/h) ad un essiccatore dove l'acqua viene trasferita ad una corrente di aria. L'aria in ingresso all'impianto contiene già acqua (l'aria è umida) con una percentuale molare del 2%. Il processo di essiccazione del solido determina un aumento del contenuto di acqua nell'aria. Per motivi progettuali il contenuto di acqua nell'aria in uscita dall'impianto non deve superare il 10% molare. Per un corretto funzionamento dell'essiccatore, viene effettuato un riciclo di aria tale da garantire una concentrazione di acqua nell'aria in ingresso all'essiccatore pari al 4% molare. Si effettui il bilancio di materia sull'impianto, calcolando in particolare la portata di aria umida che occorre alimentare al sistema e la portata del riciclo.

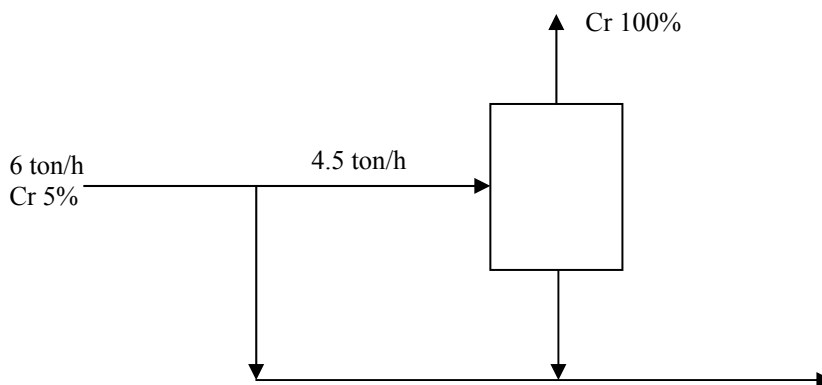


## Elementi Introduttivi di Ingegneria Chimica

22 dicembre 2008

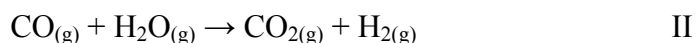
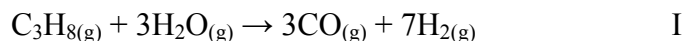
### Problema 1

Una soluzione acquosa con una portata di 6 ton/h contenente il 5% in peso di cromo proviene da un impianto di purificazione di metalli. Per recuperare il cromo contenuto in tale corrente si utilizza una unità di trattamento che è in grado di recuperare il 95% del cromo alimentato purché la portata da trattare non superi 4.5 ton/h. Per questo motivo 1.5 ton/h vengono “by-passate”, come schematizzato in figura, e mescolate con la corrente povera di cromo in uscita dalla unità di trattamento. Sapendo che la corrente uscente dalla testa dell’unità di trattamento non contiene acqua, si calcoli la portata di tale corrente nonché portata e composizione della corrente povera di cromo uscente dall’impianto.



### Problema 2

In un impianto di reforming viene prodotto idrogeno a partire da propano, secondo le reazioni



Il processo reattivo avviene in un reattore tubolare catalitico inserito in uno scambiatore di calore. L'alimentazione al reattore contiene vapore d'acqua e propano in rapporto molare di 7:1 alla temperatura di 125°C ed i prodotti lasciano il reattore alla temperatura di 800°C. Il calore necessario per l'avanzamento delle reazioni viene fornito da un gas caldo che si raffredda da 1400°C a 900°C.

Sapendo che la conversione di propano è totale e che il grado di conversione della reazione II è pari a 0.7, si calcoli:

i) la composizione dei prodotti

ii) la portata di gas caldo necessaria al decorso delle reazioni, in Nm<sup>3</sup> per mole di propano. Si assuma a tal fine che il calore specifico del gas caldo sia pari a 0.040 kJ/mol°C e che tutto il calore perso dal gas venga trasferito alla miscela reagente.

## Elementi introduttivi di ingegneria chimica

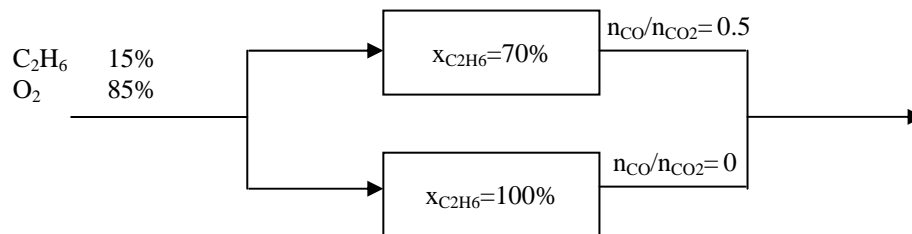
16 gennaio 2009

### Problema 1.

In figura è schematizzato un impianto per la combustione dell'etano con ossigeno puro. L'impianto è costituito da due camere di combustione. In una di queste, la combustione è completa (conversione del 100% dell'etano), mentre nell'altra la conversione dell'etano è del 70% e si forma anche CO in quantità tali che il rapporto molare CO/CO<sub>2</sub> in uscita dal reattore è pari a 0.5.

Sapendo che la corrente di alimentazione all'impianto è costituita dal 15% in peso di etano e dall'85% in peso di ossigeno, e che solo l'90% dell'etano alimentato all'impianto viene complessivamente bruciato, calcolare la composizione di tutte le correnti.

Inoltre, sapendo che etano ed ossigeno entrano alla temperatura di 100°C ed i prodotti escono alla temperatura di 200°C, si calcoli il calore che ciascuna camera di combustione scambia con l'esterno.



### Problema 2.

Una piccola industria di concentrato di pomodoro tratta 5 tonnellate/giorno di pomodori freschi. Dopo i trattamenti preliminari la polpa di pomodoro viene concentrata allontanando acqua sotto forma di vapore. La percentuale in peso di acqua nel concentrato in uscita dall'impianto è pari al 30%, mentre nel pomodoro fresco tale percentuale è pari al 70%. Calcolare la produzione giornaliera di concentrato.

Inoltre, assumendo che i) la polpa di pomodoro abbia proprietà termodinamiche assimilabili a quelle dell'acqua; ii) i pomodori entrino a 25°C; iii) il vapor d'acqua allontanato dalla polpa esca a 80°C ed il concentrato di pomodoro a 50°C, calcolare il consumo giornaliero di energia.

## Elementi introduttivi di ingegneria chimica

6 febbraio 2009

### Problema 1

Una miscela di idrocarburi con la seguente composizione molare 30%  $\text{CH}_4$ , 30%  $\text{C}_2\text{H}_6$ , 40%  $\text{C}_3\text{H}_8$ , è alimentata ad un reattore dove viene bruciata con aria. I fumi in uscita contengono  $\text{N}_2$  al 70%, e  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ , ed  $\text{H}_2\text{O}$  in percentuali incognite (N.B. I fumi non contengono ossigeno). Attraverso opportuni bilanci di materia si determinino la composizione incognita dei fumi e la quantità di aria alimentata per ogni 100 moli di miscela di idrocarburi.

Sapendo inoltre che la miscela di idrocarburi e l'aria sono alimentati a  $25^\circ\text{C}$  e che i fumi escono a  $300^\circ\text{C}$ , calcolare il calore scambiato dal reattore per ogni 100 moli di miscela di idrocarburi in ingresso.

### Problema 2

In figura è schematizzata una colonna di distillazione la cui alimentazione  $F$  è composta da 100 kg/h di una miscela di acqua ed acetone al 25% molare in acetone. La colonna produce un distillato  $D$  che contiene il 95% dell'acetone alimentato ed ha una composizione molare di acetone pari al 90%. Si calcoli composizione e portata delle correnti  $D$  e  $B$ .

Inoltre, calcolare il calore da sottrarre al condensatore, supponendo che  $V$  sia pari a  $2 \cdot D$  e che sia un vapore alla temperatura di  $100^\circ\text{C}$  e che  $L_0$  si trovi a  $60^\circ\text{C}$ .

