

## Esercizi sui Bilanci di Energia

1. Calcolare la quantità di calore ceduta da 1 m<sup>3</sup> di aria a TPS nel raffreddamento da 500°C a 0°C, alla pressione costante di 1 atm. Valutare inoltre il calore specifico medio e la variazione di energia interna.
2. Ad una massa di 250 g di acetone alla temperatura di 20°C ed alla pressione di 1 atm viene fornita una quantità di calore pari a 50 Kcal. Determinare la temperatura finale e lo stato del sistema.
3. 100 Kg/h di ossido di carbonio a 200°C ed 1 atm vengono bruciati con aria secca a 500°C, impiegando un eccesso di aria del 90% rispetto alla quantità stechiometrica. I prodotti di combustione lasciano la reazione a 1000°C. Calcolare la portata termica nella camera di combustione supponendo che la reazione sia completa.
4. Nell'impianto di riscaldamento a gas propano-butano (Fig. 1), l'aria di combustione viene preriscaldata da 5°C fino a 90°C mediante scambio termico con i gas combusti. Tali gas fuoriescono dalla caldaia a 200°C, mentre vanno al camino a 120°C. La miscela propano-butano (al 40% in volume di propano) si trova invece a 5°C. Nell'ipotesi di combustione completa e di comportamento da gas ideale, calcolare:
  - l'eccesso d'aria utilizzato nell'impianto;
  - la quantità di calore sviluppata in caldaia per Kg di miscela combustibile;
  - la quantità di calore in gioco nel preriscaldamento, sempre per Kg di miscela.
 Se lo scambiatore che preriscalda l'aria si guasta, venendo perciò escluso dall'impianto, calcolare la temperatura dei gas all'uscita dalla caldaia, supponendo che il calore sviluppato alla caldaia rimanga invariato. (Prova intercorso del 3/11/87)

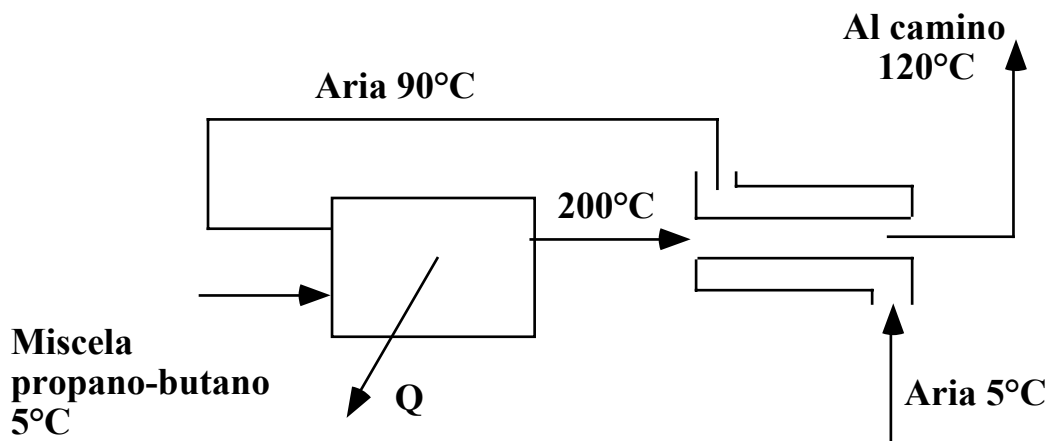
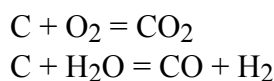


FIG. 1

5. In un reattore adiabatico avvengono le seguenti reazioni parallele:

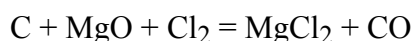


Supponendo che i reagenti entrino alla temperatura di 800°C ed alla pressione di 1 atm, e che entrambe le reazioni siano complete, calcolare quale rapporto tra le moli di ossigeno e le moli di acqua bisogna imporre all'alimentazione per far sì che i prodotti in uscita rimangano alla temperatura di 800°C. (Prova intercorso dell'11/11/86)

6. Una corrente di CH<sub>4</sub> puro viene inviata ad un bruciatore con aria, entrambi a 25°C ed 1 atm. Se la temperatura di fiamma è 1300°C e la combustione è completa, quale eccesso d'aria è stato adoperato?

7. Un gas combustibile con la seguente composizione volumetrica: CO 13%, CO<sub>2</sub> 9%, CH<sub>4</sub> 70%, O<sub>2</sub> 8%, inizialmente a 400°C, viene bruciato con aria teorica alla stessa temperatura. Se i prodotti escono a 600°C, calcolare la quantità di calore rimossa dal sistema per Nm<sup>3</sup> di gas alimentato.

8. Il cloruro di magnesio anidro viene prodotto dalla reazione



MgO viene alimentato a 100 lb/h e viene completamente convertito; il cloro entra al 20% in eccesso, il carbone (coke) contiene l'85% di C ed il 15% di silice e viene alimentato con il 25% di eccesso di carbonio. I reagenti sono alimentati a 65°F. I prodotti solidi sono scaricati a 400°C, mentre i gas uscenti sono a 600°C. Quanto calore si deve fornire al reattore, in Kcal/h?

9. Un impianto per la produzione di acido solforico (Fig. 2) si compone delle seguenti apparecchiature principali:

- un forno a pirite (FeS<sub>2</sub>) per la produzione di anidride solforosa;
- un convertitore per l'ulteriore ossidazione ad anidride solforica;
- un assorbitore della SO<sub>3</sub>.

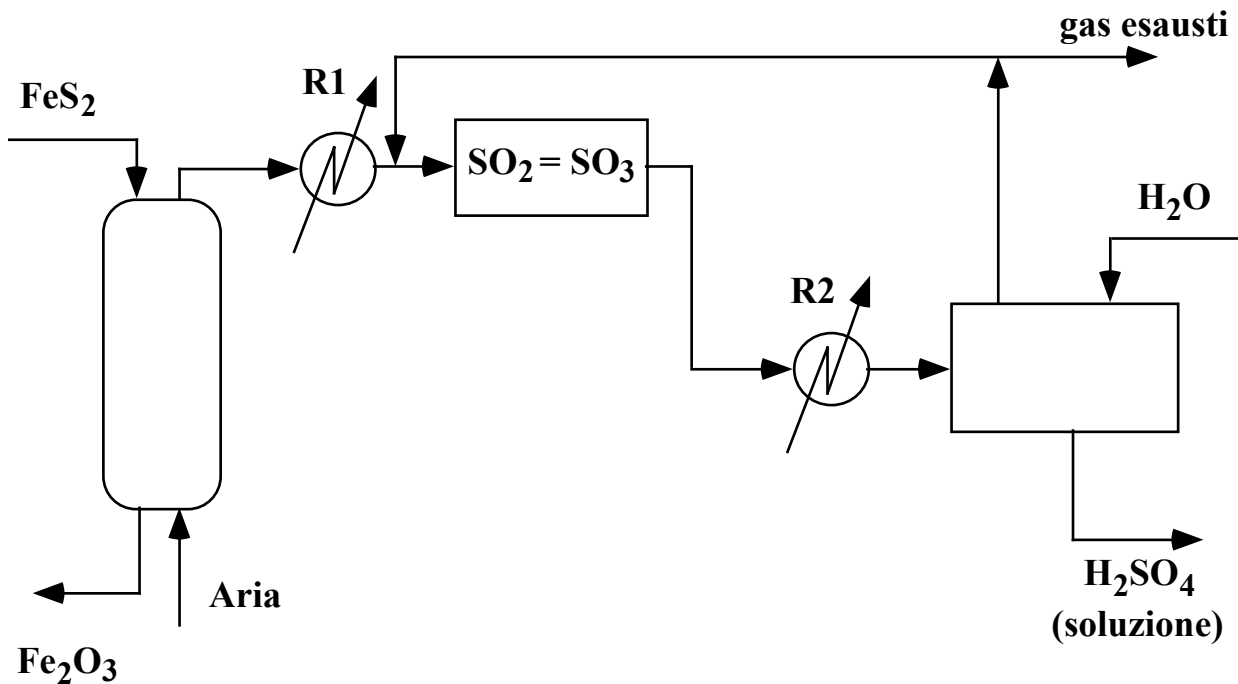
Poichè la conversione da SO<sub>2</sub> a SO<sub>3</sub> è parziale, per limitare la perdita di zolfo nel gas esausto viene effettuato un riciclo.

Si effettui un bilancio materiale completo (su tutte le correnti dell'impianto) basato sulle seguenti ipotesi:

- nel forno a pirite l'ossido di ferro prodotto è Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>;
- la conversione della pirite è completa;
- l'aria alimentata, tenuto conto anche della reazione da SO<sub>2</sub> a SO<sub>3</sub>, è stechiometrica;
- il grado di conversione da SO<sub>2</sub> a SO<sub>3</sub> è del 30%;
- la SO<sub>3</sub> prodotta è interamente assorbita (e convertita in H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>);
- il riciclo è di entità tale che la perdita di zolfo con il gas esausto è pari al 10% dello zolfo entrante nell'impianto;
- l'acido solforico prodotto esce dall'impianto come soluzione al 50% in peso.

Per quanto riguarda i bilanci di energia, rispondere alle seguenti domande:

- supponendo che l'aria e la pirite entrino a 25°C, che la temperatura del gas in uscita dallo scambiatore R1 sia di 500°C e che la Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sia scaricata a 200°C, calcolare il carico termico di R1 nell'ipotesi che altre dispersioni dal forno siano trascurabili;
- supponendo che il reattore di conversione sia adiabatico, e la temperatura di tutti i prodotti in uscita dall'impianto (gas esausti e soluzione di acido solforico al 50%) e dell'acqua in ingresso sia 25°C, calcolare il carico termico allo scambiatore R2. (Prova intercorso del 5/11/88)



**FIG. 2**

10. Lo schema di Fig. 3 rappresenta una caldaia a vapore in cui il combustibile è il cosiddetto gas d'acqua, cioè una miscela equimolare di CO e H<sub>2</sub>. La portata Q<sub>G</sub> di gas combustibile e la portata Q<sub>O<sub>2</sub></sub> di ossigeno in ingresso al forno sono assegnate sulla base del vostro numero di matricola. Precisamente Q<sub>O<sub>2</sub></sub> in Nm<sup>3</sup>/h è pari al vostro numero di matricola (Esempio: se la matricola è 46/253 Q<sub>O<sub>2</sub></sub> = 253 Nm<sup>3</sup>/h), mentre Q<sub>G</sub> è pari al vostro numero di matricola arrotondato per difetto e con una sola cifra significativa (Nello stesso esempio Q<sub>G</sub> = 200 Nm<sup>3</sup>/h).

In realtà il comburente non è ossigeno puro bensì aria e si ricordi che, nell'aria, il rapporto molare azoto/ossigeno è di 79/21. (Non confondete quindi la portata di aria con la portata Q<sub>O<sub>2</sub></sub> del solo ossigeno).

La combustione avviene completamente. Pertanto nei fumi è presente soltanto CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>.

Effettuare i seguenti calcoli:

1. Determinare la composizione molare dei fumi.
2. Sapendo che il gas combustibile e l'aria entrano a 25°C, che i fumi escono dal forno a 200°C, e che le pareti del forno non perdono calore verso l'esterno, calcolare la quantità di calore Q (in Kcal/h) assorbita dal fascio tubiero in cui si produce il vapore.
3. Sapendo che l'acqua alimentata in caldaia è a 15°C e che il vapore è prodotto ad 1 Atm., calcolare la portata di vapore Q<sub>V</sub> in Kg/h. (Prova intercorso del 29/10/1994)

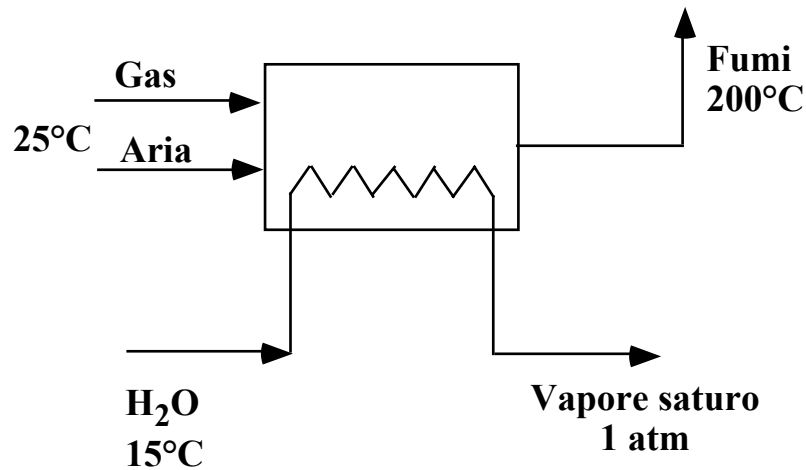


FIG. 3

11. Un reattore per la sintesi dell'etilbenzene (EB) da benzene (B) ed etilene (E) lavora alla temperatura di  $50^{\circ}\text{C}$  con una conversione del 50% sul benzene (vedi Fig. 4). Poichè l'etilene è gassoso, esso viene assorbito in fase liquida solo nella quantità richiesta dalla reazione. Pertanto la miscela liquida in uscita dal reattore è costituita esclusivamente da etilbenzene e dal benzene non reagito.

Tale miscela liquida viene inviata ad una colonna di distillazione, il cui prodotto di fondo è costituito da etilbenzene al 90% molare, che esce da questo impianto come prodotto finale. Il distillato di testa, costituito da benzene al 90% molare, viene riciclato al reattore.

Per una portata di 100 moli/h di benzene entrante all'impianto, calcolare:

- tutte le portate;
- il calore da sottrarre al reattore per mantenerlo isoterma.

Utilizzare i seguenti dati termodinamici:

calore di combustione dell'etilbenzene  $\Delta H_c^{25} = -1091 \text{ Kcal/mole}$

calore specifico del benzene =  $0.41 \text{ cal/g}^{\circ}\text{C}$

calore specifico dell'etilbenzene =  $0.38 \text{ cal/g}^{\circ}\text{C}$ .

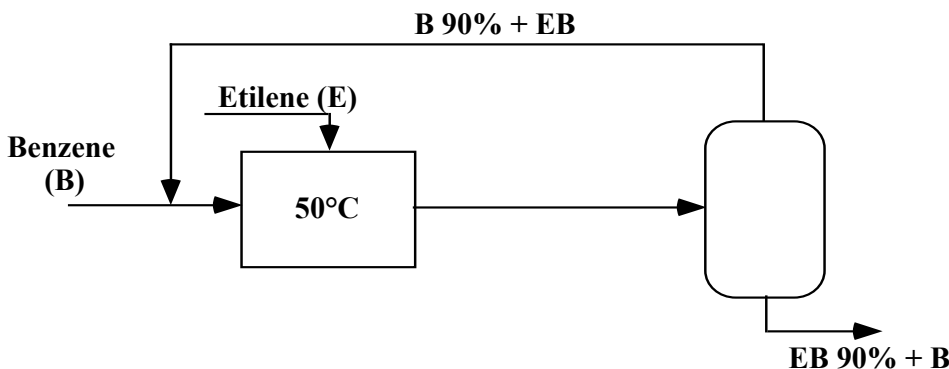
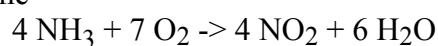
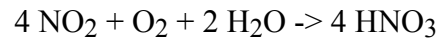


FIG. 4

12. L'impianto schematizzato in Fig. 5 produce acido nitrico per ossidazione dell'ammoniaca. Nel primo reattore ha luogo la reazione



che consuma tutta l'ammoniaca di alimentazione. I gas in uscita vengono raffreddati ed inviati ad una sequenza di due reattori-condensatori dove l'ossidazione si completa e si produce acido nitrico in fase liquida secondo la reazione



Dal primo di tali reattori esce una soluzione acquosa di acido al 65% in peso. Nel secondo, in cui è presente una corrente di riciclo, la concentrazione in peso dell'acido prodotto è del 99%. I gas in uscita contengono solo l'ossigeno residuo e l'azoto dell'aria.

Supponendo che i Kg/h di  $\text{NH}_3$  in ingresso all'impianto siano pari al vostro numero di matricola, effettuare i seguenti calcoli.

1. Calcolare le portate delle due correnti di acido in uscita in Kg/h.
2. Per un eccesso di aria in ingresso (rispetto alla stechiometria complessiva) pari al 30%, calcolare la portata in Kmoli/h del gas in uscita.
3. Sapendo che tutte le correnti entranti ed uscenti dall'impianto nel suo complesso sono a  $25^\circ\text{C}$ , calcolare il carico termico complessivo  $Q_1 + Q_2 + Q_3$  ai refrigeratori dell'impianto in Kcal/h. In tale calcolo si trascurino i calori di miscelazione dell'acido con l'acqua.

(Prova intercorso del 29/10/93)

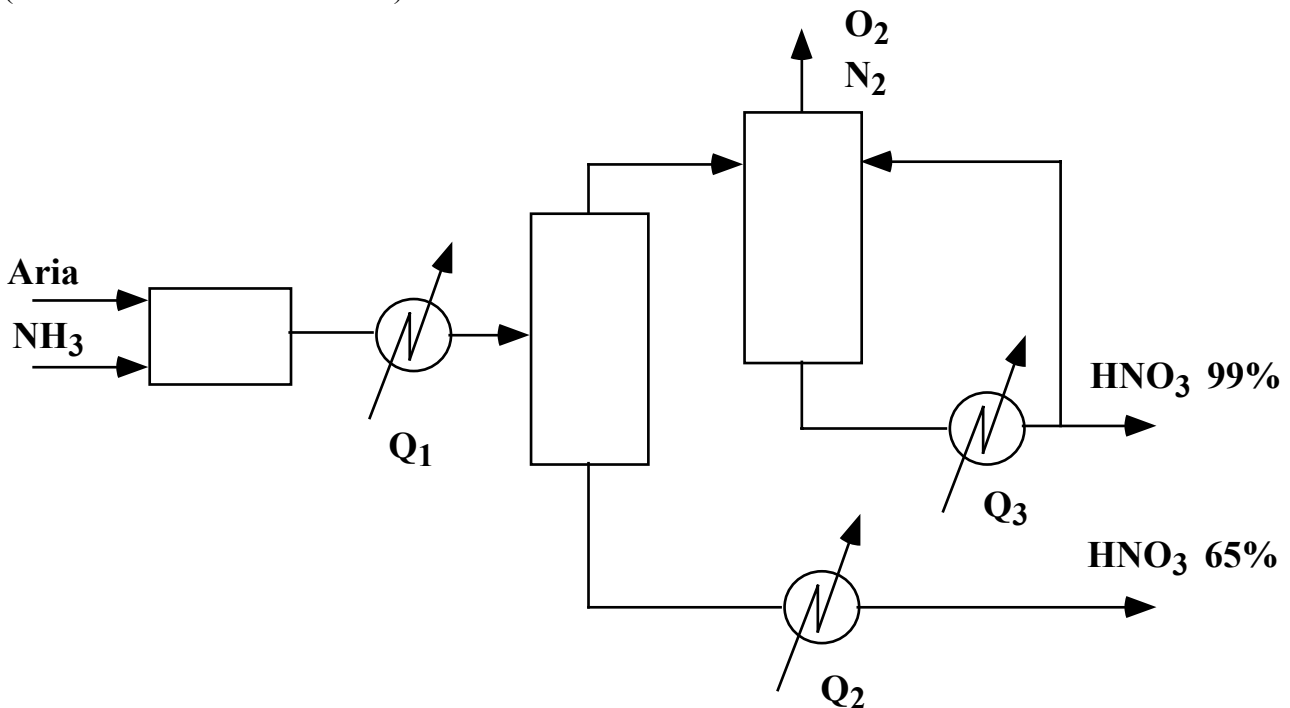


FIG. 5