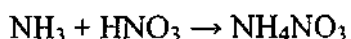


Esame di stato -I sessione anno 2005 - Ramo chimico - Tema n°2

Il nitrato d'ammonio è il costituente principale di molti fertilizzanti e si ottiene dalla reazione dell'ammoniaca con una soluzione acquosa di acido nitrico:



La figura 1 riporta uno schema di processo dove sono indicate tutte le apparecchiature coinvolte, i componenti presenti in ciascuna corrente e le principali condizioni operative di temperatura e pressione.

Una portata (corrente A) pari a 10970 kg/h di una soluzione acquosa di acido nitrico al 59.5% in peso di acido viene alimentata al serbatoio. Il serbatoio viene alimentato anche da due portate di ricircolo provenienti da altre parti dell'impianto. La prima (G) è costituita dalle particelle "fini" di NH_4NO_3 scartate nella sezione di macinazione, la seconda (corrente L) è una soluzione acquosa di NH_4NO_3 proveniente dal condensatore parziale, contenente anche una piccola portata di ammoniaca (1 kg/h). La portata di acqua presente nella corrente L è pari a 2000 kg/h come indicato in figura.

Il liquido uscente dal serbatoio (corrente B) viene riscaldato dallo scambiatore H1 da 24°C a 140°C ed alimenta il reattore insieme ad una corrente di vapori di ammoniaca a 108°C e 5.5 bar (corrente C). La quantità totale di ammoniaca contenuta nelle due correnti che alimentano il reattore è in eccesso del 5% rispetto al quantitativo necessario alla completa conversione dell'acido nitrico alimentato. Alle condizioni operative a cui lavora il reattore la reazione avviene fino alla completa conversione dell'acido nitrico e l' NH_4NO_3 si forma sotto forma di goccioline liquide. La corrente in uscita dal reattore (D) è una miscela bifasica gas-liquido a 238 °C dove gran parte dell'acqua è allo stato vapore.

Ai fini del recupero dell' NH_4NO_3 la corrente in uscita dal reattore (D) è inviata ad un ciclone dove il flusso tangenziale genera una forza centrifuga che permette il recupero delle goccioline sospese. Le goccioline aderiscono alla parete del ciclone dove coalescono e si raccolgono alla base dell'apparecchiatura. Qui, un flusso di aria calda provvede a vaporizzare l'acqua residua e una piccola quantità di NH_4NO_3 . Il NH_4NO_3 esce dal ciclone allo stato fuso ad una temperatura di circa 199 °C (corrente E). L'aria alimentata al ciclone (corrente I) è preventivamente riscaldata da 24 °C a 205 °C in un preriscaldatore (H2) e la sua portata massica è in rapporto 0.045:1 rispetto a quella uscente dal reattore (D).

Il NH_4NO_3 fuso uscente dal ciclone (corrente E) viene raccolto su un nastro dove viene raffreddato ad aria fino alla sua temperatura di solidificazione. Il NH_4NO_3 solido viene macinato e setacciato ed inviato all'imballaggio. Il 16.4% del solido alimentato alla sezione di macinazione costituisce le cosiddette particelle "fini" che vengono scartate dalle successive lavorazioni e riciclate al serbatoio (corrente G).

Il flusso di vapore uscente dal ciclone (corrente H) contiene aria calda, l'ammoniaca in eccesso, il vapore acqueo e una piccola quantità di vapori di NH_4NO_3 pari al 3% di quello presente nella corrente di uscita dal reattore. Il flusso lascia il ciclone a 233 °C, passa attraverso il preriscaldatore H2 ed entra nel condensatore parziale dove tutto il NH_4NO_3 , parte dell'acqua e una piccola quantità di ammoniaca vengono condensati e reinviati al serbatoio (corrente L).

La corrente gassosa (M) uscente dal condensatore parziale viene inviata ad un condensatore totale che provvede a rimuovere l'acqua e l'ammoniaca residue permettendo di scaricare all'atmosfera aria pressochè pura.

1. Dai dati forniti nella descrizione del processo e mediante gli opportuni bilanci di materia, calcolare per ciascuna corrente (A-O) indicata in figura 1 la portata massica (espressa in kg/h) di ciascun componente.
2. Calcolare le condizioni operative di temperatura e pressione del condensatore parziale, assumendo che le correnti in uscita, L ed M, siano in equilibrio termodinamico. Le tensioni di vapore di acqua ed ammoniaca variano con la temperatura secondo la legge di Antoine:

$$\log_{10} P^0 = A - \frac{B}{C + T} \quad \text{dove } [P^0] = \text{mmHg} \text{ e } [T] = ^\circ\text{C}$$

	A	B	C
H_2O	7.96681	1668.21	228.0
NH_3	7.55466	1002.711	247.885

3. Calcolare il calore che occorre fornire al reattore per fare avvenire la reazione. Nel calcolo si assuma trascurabile il contributo entalpico dell'ammoniaca nella corrente B e l'effetto della pressione sul calcolo delle entalpie. Sono disponibili i seguenti dati:

Entalpie di formazione standard

HNO ₃ (l)	-173.23 kJ/mol
NH ₃ (g)	-46.19 kJ/mol
NH ₄ NO ₃ (s)	-365.14 kJ/mol

Calori specifici medi

HNO ₃ (l)	1.74 kJ/(kg·°C)
NH ₃ (g)	2.09 kJ/(kg·°C)
NH ₄ NO ₃ (s)	1.67 kJ/(kg·°C)
NH ₄ NO ₃ (l)	1.67 kJ/(kg·°C)

Entalpie dell'acqua

Corrente B (T=140°C)	588.5 kJ/kg
Corrente D	2855 kJ/kg

Entalpia e temperatura di fusione dell'NH₄NO₃

ΔH_f	5.4 kJ/mol
T_f	169.6 °C

4. Calcolare la temperatura T_a della corrente H all'uscita del preriscaldatore H2. Sono disponibili i seguenti dati, relativi alle proprietà medie dei gas della corrente H e della corrente I:

Proprietà fisiche medie corrente H

densità	1.97 kg/m ³
viscosità	0.0187 cP
calore specifico	1.91 kJ/(kg·°C)
conducibilità termica	0.03720 W/(m·°C)

Proprietà fisiche medie corrente I

densità	3.91 kg/m ³
viscosità	0.023 cP
calore specifico	1.02 kJ/(kg·°C)
conducibilità termica	0.0337 W/(m·°C)

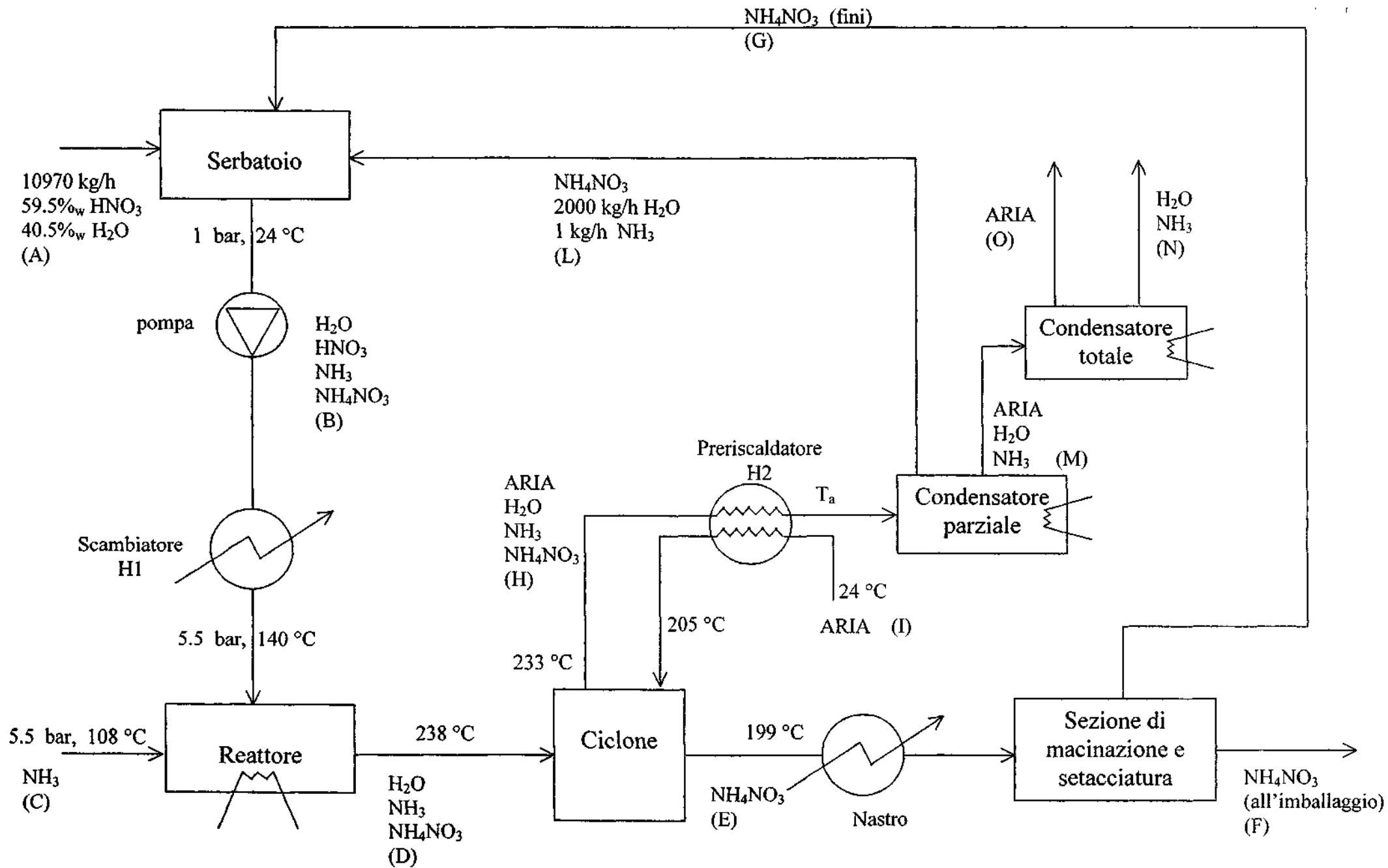
5. Calcolare il calore che lo scambiatore H1 deve fornire alla corrente B per riscaldare la portata di soluzione acida da 24°C a 140 °C. Il candidato proponga anche tipo, portata e profilo termico del fluido riscaldante. Sono disponibili i seguenti dati, relativi alle proprietà medie del liquido della corrente B:

Proprietà fisiche medie corrente B

densità	1240 kg/m ³
viscosità	0.9 cP
calore specifico	2.75 kJ/(kg·°C)
conducibilità termica	0.493 W/(m·°C)

6. Il candidato stimi l'area di scambio (ipotizzando un coefficiente di scambio) e proponga il tipo di scambiatore di calore più adatto a realizzare ciascuna delle operazioni descritte ai punti 4 e 5, motivandone la scelta. Proceda quindi a dimensionare nel dettaglio uno degli scambiatori H1 o H2 a sua scelta (definendo geometria, dimensioni e calcolando il coefficiente di scambio effettivo).
7. Calcolare la potenza meccanica da fornire alla pompa per comprimere la corrente B dalla pressione atmosferica alla pressione di funzionamento del reattore (5.5 bar).

Il candidato indichi chiaramente tutte le ipotesi e le tecniche di calcolo adottate e riporti i risultati in unità di misura del Sistema Internazionale. Siano altresì indicate tutte le correlazioni e le grandezze fisiche impiegate nonché le fonti bibliografiche da cui sono state tratte.



Handwritten signature