

**M417 - ESAME DI STATO DI ISTITUTO TECNICO INDUSTRIALE**

## CORSO DI ORDINAMENTO

**Indirizzo: CHIMICO****Tema di: TECNOLOGIE CHIMICHE INDUSTRIALI, PRINCIPI DI AUTOMAZIONE E DI ORGANIZZAZIONE INDUSTRIALE**

**(testo valevole per i corsi di ordinamento e per i corsi sperimentali del Progetto “SIRIO-CHIMICO”)**

Il candidato realizzi il disegno dello schema descritto nel primo quesito e, a sua scelta, risponda a due degli altri tre proposti.

- 1) In un “reattore discontinuo ben agitato” (well stirred tank reactor) un liquido reagisce con un gas grazie ad un catalizzatore allo stato solido, finemente suddiviso, disperso nella massa liquida.

Il liquido, già miscelato con il catalizzatore, viene introdotto nel reattore durante la preparazione della reazione. Successivamente il reattore viene portato alla temperatura di reazione con un circuito di riscaldamento alimentato da vapor d’acqua.

Infine il gas gorgoglia nel liquido durante tutto il tempo di svolgimento della reazione stessa.

Un agitatore rotante mantiene in sospensione il catalizzatore oltre a favorire la dispersione delle bolle di gas nel liquido.

La reazione, esotermica, viene condotta a pressione superiore a quella atmosferica ed è mantenuta a temperatura costante con un circuito di refrigerazione alimentato con acqua.

Il prodotto che si forma rimane liquido alla temperatura di esercizio della reazione.

Al termine di essa il contenuto del reattore viene inviato alla filtrazione (filtro pressa) per separare e recuperare il catalizzatore. Il prodotto liquido procede verso altre lavorazioni senza essere refrigerato.

Il candidato, tenendo presente le caratteristiche dell’operazione proposta, disegni lo schema dell’impianto, completo delle apparecchiature accessorie (pompe, valvole; serbatoi ecc.), e delle regolazioni automatiche principali, seguendo per quanto possibile la normativa Unichim.

- 2) Il prodotto organico uscente dal fondo di una colonna di rettifica continua viene refrigerato prima di essere inviato allo stoccaggio.

I dati sono i seguenti:

- La portata di liquido  $L = 0,45 \text{ kg/s}$
- Il suo calore specifico  $C_{p_s} = 2,3 \text{ kJ/(kg } ^\circ\text{C)}$
- La sua temperatura iniziale  $T_i = 115 \text{ } ^\circ\text{C}$
- La sua temperatura finale  $T_f = 35 \text{ } ^\circ\text{C}$
- La temperatura iniziale dell’acqua di raffreddamento  $T_{a_i} = 21 \text{ } ^\circ\text{C}$
- La temperatura finale dell’acqua  $T_{a_f} = 85 \text{ } ^\circ\text{C}$
- Il calore specifico dell’acqua  $C_{P_a} = 4,18 \text{ kJ/(kg } ^\circ\text{C)}$
- Il coefficiente globale di scambio termico  $U_{tot} = 1,5 \text{ kW/(m}^2 \text{ } ^\circ\text{C)}$

## **M417 - ESAME DI STATO DI ISTITUTO TECNICO INDUSTRIALE**

CORSO DI ORDINAMENTO

**Indirizzo:** CHIMICO

**Tema di:** TECNOLOGIE CHIMICHE INDUSTRIALI, PRINCIPI DI AUTOMAZIONE E DI ORGANIZZAZIONE INDUSTRIALE

**(testo valevole per i corsi di ordinamento e per i corsi sperimentali del Progetto "SIRIO-CHIMICO")**

Con questi dati il candidato calcoli l'area dello scambiatore di calore idoneo allo scopo e la portata di acqua refrigerante. Il candidato può, se lo ritiene opportuno, ipotizzare un utilizzo del calore recuperato modificando, a suo giudizio, alcuni dei dati del problema proposto.

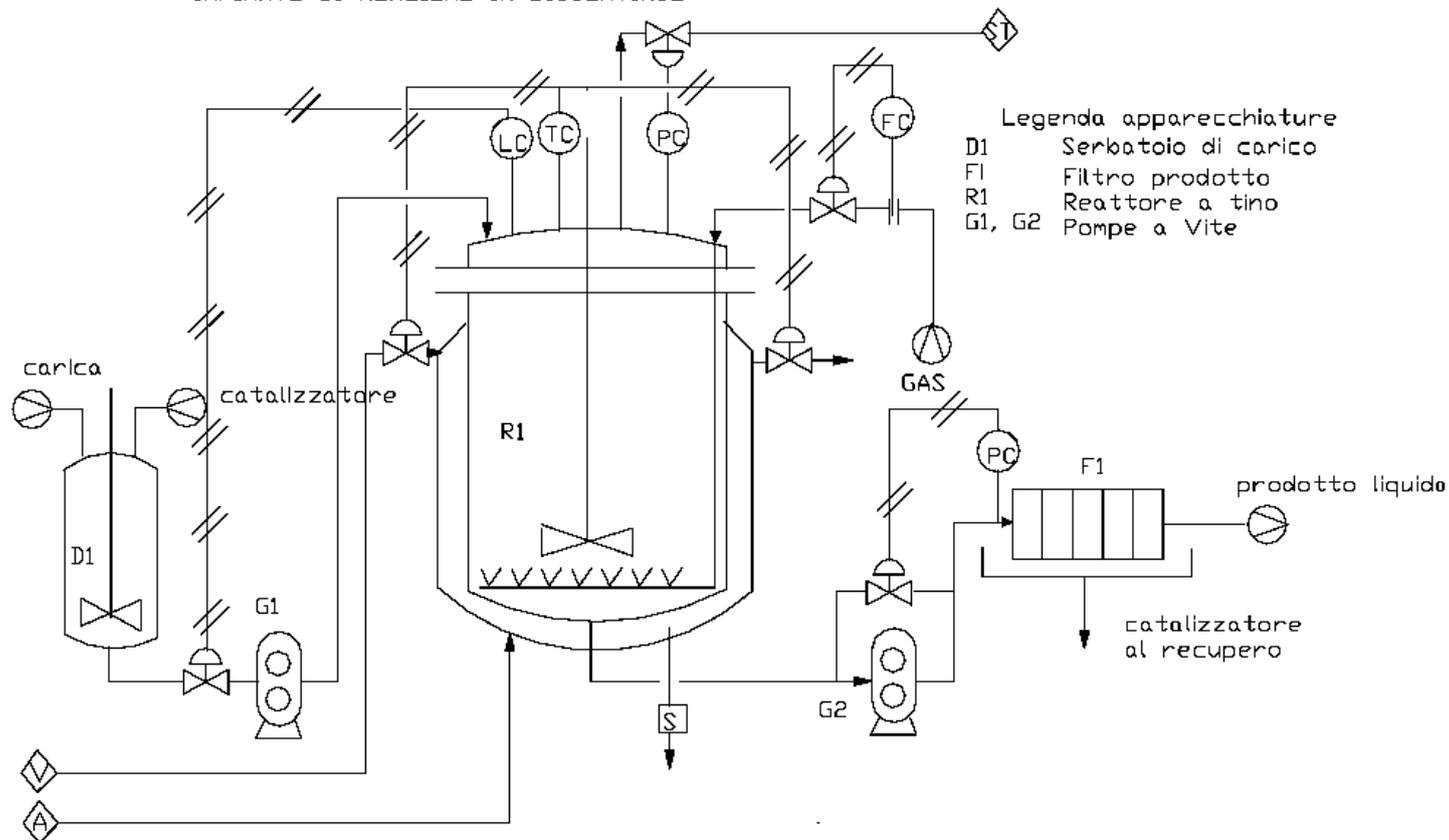
3) Il candidato descriva, a sua libera scelta, gli aspetti biochimici di un processo fermentativo a lui noto evidenziando gli aspetti impiantistici di tale processo ed i problemi relativi allo smaltimento dei suoi sottoprodotti.

4) L'idrogeno come fonte di energia in un imminente futuro.

Il candidato, in base alle conoscenze acquisite nel corso degli studi, illustri i metodi attualmente impiegabili per la produzione di tale elemento, con particolare riguardo al problema delle emissioni dei "gas serra".

Quesito 1

IMPIANTO DI REAZIONE IN DISCONTINUO



Quesito 2

dati

L, kg/s	0,45
Cps, kJ/(kg°C)	2,3
Ti, °C	115
Tf, °C	35
Tai, °C	21
Taf, °C	85
Cpa, kJ/(kg°C)	4,18
Utot, kW/(m <sup>2</sup> °C)	1,5

Dal bilancio termico

$$L \cdot Cps \cdot (Ti - Tf) = Fa \cdot Cpa (Taf - Tai) = Q$$

si ricava il calore scambiato (Q)

$$Q = L \cdot Cps \cdot (Ti - Tf) = 82,8kW$$

Dal calore scambiato si ricava la portata dell'acqua (Fa)

$$Fa = \frac{Q}{Cpa \cdot (Taf - Tai)} = 0,310 \text{ kg/s}$$

Per ricavare la superficie di scambio bisogna prima calcolare il  $\Delta T$  medio logaritmico. Ipotizzando lo scambio in controcorrente, si ha:

prodotto	115	→	35
acqua	85	←	21
$\Delta T$	30		14

$$\Delta T_{ml} = \frac{30 - 14}{\ln \frac{30}{14}} = 21,0^\circ C$$

Possiamo, infine, calcolare la superficie di scambio (As)

$$As = \frac{Q}{U_{tot} \cdot \Delta T_{ml}} = 2,63 \text{ m}^2$$

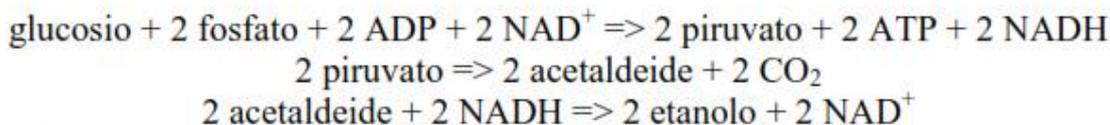
Ipotesi di recupero termico

Trattandosi del prodotto di coda di una colonna di distillazione, un tipico recupero termico potrebbe, senza dubbio, utilizzarlo come fluido di preriscaldamento dell'alimentazione della stessa colonna di distillazione.

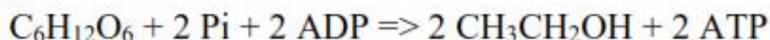
### Quesito 3

Un processo fermentativo di largo impiego è la produzione di etanolo, detto, in questo caso, anche *bioalcol* per differenziarlo da quello sintetico ottenibile per idratazione dell'etilene. Tipicamente si utilizzano materie prime zuccherine e lieviti del genere *Saccharomyces*.

Il biochimismo della fermentazione alcolica è centrato sulla glicolisi, con cui ha inizio il catabolismo del glucosio e si conclude con l'ossidazione a piruvato. I lieviti, in condizioni anaerobiche, per riossidare i nucleotidi ridotti, utilizzano il piruvato che, previa decarbossilazione ad acetaldeide, passa ad etanolo, secondo il seguente schema:



Complessivamente si ha:



La resa con i *Saccharomyces* è particolarmente elevata ed è circa il 90% del teorico. Dal punto di vista impiantistico, la fermentazione può essere condotta in continuo o in discontinuo. In continuo si ha una maggiore produttività ma è maggiore il rischio di infezioni e bisogna tener conto dell'invecchiamento del microrganismo. Le operazioni in discontinuo sono più semplici. Inoltre, poiché i lieviti operano a un pH sufficientemente acido (circa 4,5) da inibire la crescita dei batteri, la sterilizzazione del brodo di coltura non è un fattore critico. In ogni caso bisogna tener presente che l'etanolo prodotto è un metabolita tossico per gli stessi lieviti, per cui non conviene superare una concentrazione dell' 8 – 10%, in quanto, per raggiungere concentrazioni più elevate sono necessari lunghi tempi di fermentazione. Così, tenendo conto della resa del processo, si aggiusta la concentrazione degli zuccheri fermentabili in modo da non avere zuccheri residui alla fine della fermentazione, che di solito non supera le 72 ore.

Inoltre la fermentazione è un processo esotermico, anche tenendo conto dei processi endoergonici legati alla formazione di ATP e alla crescita cellulare, per cui è necessario provvedere il fermentatore di un sistema di scambio termico.

Al termine della fermentazione, si separa la biomassa, p.e. per centrifugazione, e si invia il brodo alla distillazione.

La distillazione riveste particolare importanza, soprattutto per il dispendio energetico richiesto. La chiave del successo della produzione di bioalcol passa attraverso un esteso recupero energetico in questa fase, tale da renderne competitiva la produzione nei confronti dell'etanolo di sintesi.

Le miscele acqua etanolo formano un azeotropo di minimo (al 95,6 % in massa a 760 torr di pressione) per cui per semplice distillazione non si ottiene l'alcol anidro. Lo si può invece ottenere per distillazione con un componente aggiuntivo, di solido un idrocarburo (benzene, ma anche il meno tossico cicloesano) con cui si forma un azeotropo ternario, acqua – alcol – idrocarburo, che lascia in colonna l'alcol assoluto.

Oltre all'etanolo, come sottoprodotti si hanno composti leggeri (metanolo, aldeidi) e pesanti (alcoli a lunga catena, fuseloli), che devono essere allontanati dall'alcol per uso alimentare

La produzione di bioalcol non è un'industria particolarmente inquinante, anzi può essere utilizzata per smaltire reflui inquinanti, come le acque solfitiche delle cartiere che contengono circa il 2% di sostanze fermentabili e che richiedono comunque di essere trattate, permettendo di mitigarne il costo economico. In pratica si può considerare come un processo di degradazione anaerobica della sostanza organica, con l'ottenimento di un prodotto commerciabile come l'etanolo. Poiché le materie prime sono di origine vegetale, la produzione di etanolo permette in definitiva di sfruttare una fonte energetica rinnovabile.

Per quanto riguarda l'impatto ambientale del processo, bisogna considerare che i principali residui sono costituiti dalla biomassa esausta che comunque può essere utilizzata nell'alimentazione animale e da reflui contenenti sostanze organiche biodegradabili, trattabili quindi con gli usuali processi biologici.

#### Quesito 4

L'idrogeno ( $H_2$ ) non è presente sulla Terra, se non in quantità del tutto trascurabili, quindi non può essere una fonte energetica. Riveste attualmente particolare interesse, invece, come vettore energetico, in quanto per combustione produce soltanto acqua. Al contrario, i combustibili fossili producono sostanze inquinanti, come ossidi d'azoto e biossido di zolfo, ed anidride carbonica (biossido di carbonio), tipico gas serra.

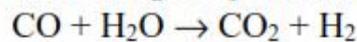
L'idrogeno può essere utilizzato in motori a combustione, sottostando alle tipiche limitazioni della trasformazione del calore in lavoro (2° principio della termodinamica), oppure nelle "fuel cell", le celle a combustibile, in cui l'energia chimica viene trasformata in energia elettrica. In condizioni di reversibilità, il "lavoro utile" della cella è dato dalla variazione di energia libera di Gibbs della reazione:  $Lu = -\Delta G$ .

Il problema è la produzione dell'idrogeno. Può essere facilmente ottenuto da fonti fossili, come frazioni petrolifere e carbone, o anche per elettrolisi dell'acqua, spostando così il problema sulla produzione di energia elettrica.

Partendo da metano (gas naturale), possibili reazioni sono:

- steam reforming  $CH_4 + H_2O \rightarrow CO + 3H_2$
- ossidazione parziale  $CH_4 + 1/2O_2 \rightarrow CO + 2H_2$

Dal monossido di carbonio poi si ottiene altro idrogeno per reazione del gas d'acqua:



Per questa via si ottiene solo lo spostamento delle problematiche ambientali da utilizzi diffusi, le auto, p.e., a siti produttivi in cui potrebbe essere più agevole controllare le emissioni. Resta, notevole, il problema del trasporto e della distribuzione dell'idrogeno, gas difficilmente liquefacibile (p. eb. a 1 atm 20,3 K, -253 °C), molto infiammabile (Zeppelin docet) e a bassa massa molare.

Per ottenerlo da fonti rinnovabili, si può utilizzare l'energia elettrica ottenuta per via idroelettrica, eolica, ecc., ma la conversione energia elettrica  $\rightarrow$  idrogeno  $\rightarrow$  fuel cell  $\rightarrow$  energia elettrica non è certo a rendimento unitario, pur restando il vantaggio della mobilità. Oppure si possono utilizzare processi biologici che in definitiva utilizzano l'energia solare, sia per produrre direttamente idrogeno in processi anaerobici, sia per produrre sostanze come l'etanolo che possono essere utilizzate direttamente nelle fuel cell. In quest'ultimo caso, la  $CO_2$  prodotta non contribuisce all'incremento dei gas serra in quanto il carbonio in essa contenuto deriva da fotosintesi.