

# **POLITECNICO DI TORINO**

## **ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI INGEGNERE**

**PROVA PRATICA - SEZIONE B  
CLASSE INGEGNERIA ELETTRICA**

**Esame di Stato per l'Abilitazione all'Esercizio della Professione di Ingegnere  
I sessione 2004**

**Inegnere Junior - 4 prova**

Nell'ambito di un processo per il trattamento di un refluo industriale, in cui si desidera recuperare i solventi presenti, si deve effettuare la separazione della corrente sotto descritta, mediante distillazione.

Portata totale di 200 kg/h, alla pressione di 1 bar ed alla temperatura di 20°C; la sua composizione (in termini di percentuali massicce) è la seguente:

65 % acetone

15 % acetato di etile

35 % acqua.

Si vuole recuperare almeno il 90% di acetone (in massa), con un contenuto di acqua inferiore allo 0.1 % (sempre in massa)..

Il candidato:

- quantifichi lo schema di flusso relativo a questa operazione, scegliendo le apparecchiature necessarie
- determini il numero di stadi di equilibrio teorici e reali della colonna di distillazione, il rapporto di riflusso minimo e quello effettivo;
- per la colonna di distillazione calcoli il carico termico al condensatore ed al ribollitore, le portate di acqua e di vapore da utilizzarsi rispettivamente nei condensatori e nei ribollitori e stimi le aree dei condensatori e dei ribollitori che sono necessari;
- indichi la logica di controllo da utilizzarsi.

Una apparecchiatura è costituita da un motore in corrente continua con eccitazione a magneti permanenti con albero solidale con un ventilatore; è dotata di un sistema di regolazione reostatica, a resistori fissi, per variazione discreta della portata d'aria, che realizza i seguenti stati di funzionamento:

- ventilatore fermo
- ventilatore 1<sup>a</sup> velocità: 750 rpm (resistore  $R_1$  in serie all'armatura)
- ventilatore 2<sup>a</sup> velocità: 1000 rpm (resistore  $R_2$  in serie all'armatura)
- ventilatore 3<sup>a</sup> velocità: 1500 rpm (resistore  $R_3$  in serie all'armatura)
- ventilatore 4<sup>a</sup> velocità: da calcolare, per funzionamento alla tensione nominale di alimentazione.

I parametri del motore sono:

- tensione nominale di armatura:  $V_{an} = 14 \text{ V D.C.}$
- velocità a vuoto (senza ventilatore accoppiato) a 14 V D.C.:  $\omega_0 = 280 \text{ rad/s}$
- resistenza di armatura:  $R_a = 0,1 \Omega$
- corrente nominale:  $I_{an} = 25 \text{ A}$

L'alimentazione del motore è prelevabile da un generatore con tensione costante di valore: 14 V D.C., assimilabile ad un generatore ideale di tensione.

Caratteristica meccanica del ventilatore:

$$C = 1,3 \cdot 10^{-5} \cdot \omega^2$$

con  $C$  coppia resistente [N·m] e  $\omega$  velocità dell'albero [rad/s]

1) Calcolare:

- le correnti di armatura nelle quattro condizioni di funzionamento;
- - il valore delle tre resistenze in serie all'armatura;
- la potenza dissipata dai resistori;

2) Disegnare:

- lo schema elettrico del complesso motore con regolatore

3) Riassumere 1 calcoli in una tabella organizzata in modo chiaro ed ordinato come si conviene per una relazione tecnica redatta da un ingegnere.

Esame di Stato Sezione A I sessione 2004  
Ingegneria Industriale - Prova pratica

Il tema proposto riguarda la progettazione di un albero di rinvio di una trasmissione a catene. Non è prevista la presenza di tendicatena. Gli ingombri generali sono indicati nello schema sottostante.

I dati sono i seguenti:

- Materiale per la costruzione dell'albero: 39NiCrMo3 ( $R_m = 920$  MPa,  $R_e = 760$  MPa)
- Forza agente in corrispondenza della ruota 1:  $F_1 = 860$  N
- Coppia entrante dalla ruota 1:  $C_1 = 21070$  Nmm
- Diametro ruota dentata 1:  $D_1 = 49$  mm
- Forza agente in corrispondenza della ruota 2:  $F_2 = 548$  N
- Coppia uscente dalla ruota 2:  $C_2 = 17820$  Nmm
- Diametro ruota dentata 2:  $D_2 = 65$  mm
- Forza agente in corrispondenza della ruota 3:  $F_3 = 100$  N
- Coppia uscente dalla ruota 3:  $C_3 = 3250$  Nmm
- Diametro ruota dentata 3:  $D_3 = 65$  mm
- Velocità albero:  $n = 75$  giri al minuto
- Durata prevista: 5 anni (si considerino 250 giorni lavorativi all'anno per 16 ore di funzionamento al giorno).

La direzione e il verso delle forze sono indicati in figura.

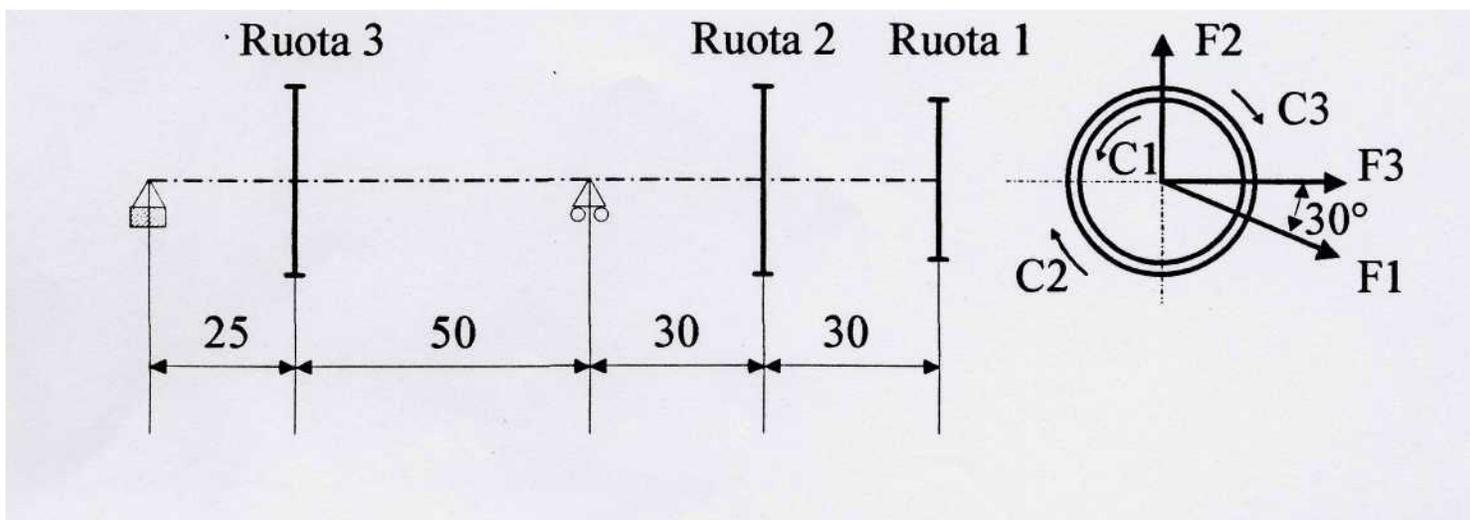
Le coppie e le forze indicate si riferiscono alle condizioni di funzionamento nominale.

Durante la fase di avvio, che dura pochi secondi (1 volta al giorno), sia le coppie sia le forze assumono un valore doppio rispetto a quelli indicati.

Le ruote dentate sono collegate agli alberi tramite calettatoli industriali che non prevedono l'utilizzo di chiavette, linguette o scanalati. L'ingombro assiale del calettatore è di 28 mm.

Il candidato:

- Dimensioni l'albero.  
Esegua un disegno costruttivo dell'albero.
- Verifichi l'albero sia staticamente sia a fatica  
Scelga i cuscinetti da applicare in corrispondenza dei supporti.



# POLITECNICO DI TORINO

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA  
PROFESSIONE DI INGEGNERE JUNIOR  
I SESSIONE - ANNO 2004  
4° prova scritta

---

## Ingegneria Industriale

---

Dal magazzino che fornisce le linee di produzione, nell'anno 2003, è stato prelevato il materiale così come risulta dalla tabella allegata.

Considerando che l'andamento del 2003 possa ritenersi rappresentativo anche per gli anni successivi, il candidato valuti, per ogni materiale, quale politica di riordino sarebbe più opportuno utilizzare.

### **Prodotto H**

Il candidato dovrà determinare i parametri necessari per implementazione della gestione delle scorte relative al **prodotto H** sapendo che:

- l'emissione dell'ordine comporta un onere di 190 Euro;
- il costo di gestione annuale della scorta può essere assunto pari al 33% del prezzo di acquisto;
- il prodotto viene venduto in confezioni da 8 pezzi;
- il costo di ogni singolo shortage (indipendente dalla durata dello shortage stesso) pari a 260 Euro;
- il tempo di approvvigionamento è pari a 15 giorni;
- considerare l'anno composto da 12 mesi da 30 giorni caduno.

Inoltre il candidato dovrà valutare l'opportunità di accettare l'offerta del nostro fornitore che propone di acquistare 1 pallet completo, che è formato da 60 confezioni, con uno sconto del 2,70%.

### **Prodotti P-Q-V**

Il candidato dovrà determinare i parametri necessari per l'implementazione della gestione delle scorte relative ai **prodotti P, Q e V** sapendo che:

- il tempo di approvvigionamento massimo medio è pari a 15 giorni, con possibili ritardi fino a 5 giorni.

Prodotto	Consumi anno 2003												Prezzo medio €	
	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic		Totale
A	1.072	1.048	1.047	1.055	1.021	1.101	1.089	1.094	1.025	1.098	1.033	1.030	12.713	7,70
B	521	520	540	516	516	542	510	515	542	537	520	528	6.307	3,50
C	906	855	897	868	872	872	873	890	914	875	890	880	10.592	0,45
D	10.361	10.281	10.364	10.279	10.344	10.342	10.220	10.288	10.285	10.419	10.295	10.201	123.679	0,02
E	52	54	57	57	56	56	57	52	52	57	57	56	663	420,00
F	7.027	7.129	7.321	7.746	7.910	7.463	7.607	7.146	7.085	7.519	7.724	7.474	89.151	0,11
G	365	345	331	357	338	333	365	351	331	343	351	331	4.141	57,20
H	114	113	119	125	131	120	119	125	118	125	119	112	1.440	156,70
I	681	690	693	671	697	707	700	673	678	700	710	707	8.307	1,57
L	1.516	1.564	1.548	1.545	1.625	1.628	1.579	1.581	1.582	1.572	1.621	1.569	18.930	1,13
M	236	214	212	231	224	217	226	212	205	207	210	219	2.613	30,70
N	2.148	1.796	2.094	2.283	2.293	1.769	2.082	1.817	1.761	1.752	2.058	1.977	23.830	0,98
O	13.035	13.258	13.642	13.656	13.635	13.567	13.105	13.251	13.232	13.351	13.073	13.679	160.484	0,10
P	12.161	12.777	12.850	14.393	12.855	12.080	13.955	13.829	12.911	12.950	12.746	12.360	155.867	0,14
Q	10.004	8.483	10.305	9.826	9.239	7.211	9.013	10.494	7.597	8.950	9.601	8.275	108.998	0,22
R	9.868	10.239	10.764	9.939	10.682	10.041	10.619	10.276	10.618	10.874	10.834	10.211	124.965	0,07
S	261	251	251	272	280	272	277	256	260	275	282	251	3.188	2,65
T	1.281	1.349	1.353	1.336	1.278	1.377	1.422	1.402	1.399	1.278	1.317	1.276	16.068	1,17
U	113	127	120	113	115	119	117	122	129	129	119	119	1.442	183,00
V	2.036	2.301	2.186	1.764	2.096	2.720	2.607	1.898	2.242	2.344	1.975	2.650	26.819	1,01

POLITECNICO DI TORINO

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI INGEGNERE

I SESSIONE ANNO 2004

SEZIONE B - SETTORE INDUSTRIALE - CLASSE INGEGNERIA ENERGETICA

PROVA PRATICA DEL 15/7/2004

E' richiesto il dimensionamento di massima del condensatore della centrale termica di un impianto di teleriscaldamento che utilizza, quale fluido termovettore, acqua nelle condizioni operative riportate nella tabella seguente:

Tabella 1 - Condizioni operative dell'acqua della rete di teleriscaldamento	
Pressione massima	14 bar
Temperatura di mandata all'uscita della centrale termica	130 °C
Temperatura di ritorno all'ingresso della centrale termica	60 °C

L'impianto è dotato di un generatore di vapore e di una turbina a contropressione, nella quale il vapore entra alla pressione di 97 bar e alla temperatura di 510 °C; dopo l'espansione il vapore viene scaricato nel condensatore, dove si ha la completa condensazione.

Il condensatore è del tipo a superficie. L'acqua della rete del teleriscaldamento defluisce all'interno dei tubi del fascio tubiero, entra alla temperatura di ritorno di 60°C ed esce alla temperatura di mandata di 130°C.

Con riferimento ai dati precedenti, è richiesto lo sviluppo dei punti seguenti:

1. assunzione di un opportuno valore della temperatura del vapore all'ingresso del condensatore
2. determinazione delle condizioni del vapore all'ingresso del condensatore
3. determinazione della portata di vapore a cui corrisponde una potenza termica scambiata nel condensatore di 84 MW
4. determinazione della corrispondente portata d'acqua che percorre la rete del teleriscaldamento
5. dimensionamento del condensatore

Per le proprietà fisiche dell'acqua e del vapore si può fare riferimento ai dati di tabella 3.

Nello svolgimento del punto 5 possono essere fatte le assunzioni indicate in tabella 2, determinando il numero di tubi, il coefficiente di scambio termico lato acqua e quello globale, la lunghezza dei tubi e l'ingombro complessivo del fascio tubiero.

Il Candidato commenti infine le assunzioni fatte e descriva gli aspetti del progetto del condensatore non trattati nell'ambito del dimensionamento di massima sviluppato.

Per il calcolo del coefficiente di scambio termico lato acqua può essere usata la formulazione di Dittus-Boelter, valida per  $Re = \frac{G d}{\mu} > 10000$ ,  $0.7 < Pr = \frac{c_p \mu}{k} < 100$  e per rapporti tra la lunghezza dei tubi e il diametro interno maggiori di 60:

$$\frac{h d}{k} = 0.023 \left( \frac{G d}{\mu} \right)^{0.8} \left( \frac{c_p \mu}{k} \right)^{0.4}, \text{ dove}$$

- $c_p$  calore specifico a pressione costante  
 $d$  diametro interno del tubo  
 $G$  portata specifica (rapporto tra la portata in massa e l'area della sezione retta del tubo)  
 $h$  coefficiente di scambio termico  
 $k$  conducibilità termica  
 $\mu$  viscosità dinamica

Tabella 2 – Assunzioni per il dimensionamento del condensatore

disposizione dei tubi	a quinconce
materiale dei tubi	acciaio AISI 316
conducibilità termica del materiale dei tubi	17 W/(m°C)
velocità dell'acqua nei tubi	1.5 m/s
diametro esterno dei tubi (5/8 o 3/4 di pollice)	15.875 o 19.05 mm
spessore dei tubi	1.25 mm
coefficiente di scambio termico lato vapore condensante	10000 W/(m <sup>2</sup> °C)

Tabella 3a – Proprietà fisiche del vapore all'ingresso in turbina

Temperatura [°C]	Pressione [bar]	Entalpia [kJ/kg]	Entropia [kJ/(kg °C)]
510	97	3403.3	6.6477

Tabella 3b – Proprietà fisiche dell'acqua e del vapore in saturazione

Temperatura [°C]	Pressione [bar]	Entalpia del liquido [kJ/kg]	Entalpia del vapore [kJ/kg]	Entropia del liquido [kJ/(kg °C)]	Entropia del vapore [kJ/(kg °C)]
130	2.700	546.4	2720.4	1.6346	7.0272
135	3.129	567.8	2727.2	1.6873	6.9780
140	3.612	589.2	2733.8	1.7394	6.9302
145	4.153	610.7	2740.2	1.7910	6.8836
150	4.757	632.3	2746.4	1.8421	6.8381

Tabella 3c – Proprietà fisiche dell'acqua della rete di teleriscaldamento

Temperatura [°C]	Pressione [bar]	Entalpia [kJ/kg]	Calore specifico a pressione costante [kJ/(kg°C)]	Densità [kg/m <sup>3</sup> ]	Viscosità dinamica [kg/(m s)]	Conducibilità termica [W/(m °C)]
60	14	252.31	4.1798	983.77	467.10 10 <sup>-6</sup>	0.65498
95	14	398.99	4.2075	962.53	298.27 10 <sup>-6</sup>	0.67807
130	14	547.17	4.2644	935.47	213.13 10 <sup>-6</sup>	0.68443