
ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI INGEGNERE

SECONDA SESSIONE 2019 – SEZIONE A

SETTORE INDUSTRIALE

PROVA PRATICA DI PROGETTAZIONE

TEMA N. 1: CHIMICA – OPERAZIONI UNITARIE

In un ciclo frigorifero devono essere condensati 12500 kg/h di propano, che viene alimentato al punto di ruggida ad un condensatore orizzontale a fascio tubiero.

1. Scegliere in modo opportuno la pressione operativa del condensatore e conseguentemente il fluido di servizio giustificando la scelta.
2. Calcolare la temperatura di condensazione ed il calore che deve essere scambiato nel condensatore
3. Dimensionare il condensatore e stimare le perdite di carico
4. Redigere il foglio specifica e disegnare lo sketch dell'apparecchiatura
5. Disegnare lo schema di montaggio dell'apparecchiatura indicando lo schema di controllo della pressione nel condensatore

Per i dati termodinamici e altre correlazioni utilizzate, il candidato faccia riferimento a repertori in suo possesso, indicando esplicitamente la fonte.

Ho M

Am

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI INGEGNERE
SECONDA SESSIONE 2019 – SEZIONE A
SETTORE INDUSTRIALE
PROVA PRATICA DI PROGETTAZIONE
TEMA N. 2: CHIMICA – PROCESSI

Una corrente gassosa avente la seguente composizione molare CO 38 %, CO₂ 2,4 %, H₂ 58,6 %, H₂O 1 % viene utilizzata per ottenere SNG (gas naturale sintetico).

Il processo si articola attraverso le seguenti fasi:

- a. parte della corrente gassosa iniziale entra in un umidificatore ed è successivamente inviata a un reattore catalitico in cui avviene la conversione del CO a CO₂. La conversione di CO per passaggio è pari al 94% e la corrente uscente è a 300 °C e 22 bar e in essa risulta $y_{H_2O} = 0,350$.
- b. La corrente uscente viene mescolata con la corrente che bypassa il reattore in modo da avere un rapporto molare tra idrogeno e ossido di carbonio pari a 3. La corrente risultante è raffreddata a 50 °C in un apparato funzionante a 21 bar e, successivamente, la corrente gassosa è inviata a una colonna per l'abbattimento della CO₂ funzionante a 20 bar. Nella colonna la CO₂ viene eliminata per il 99,6 % e la corrente gassosa di processo esce a 50 °C e satura.
- c. La corrente viene successivamente riscaldata a 250 °C e inviata a un secondo reattore catalitico in cui avviene solo la reazione CO + 3 H₂ = CH₄ + H₂O. La corrente uscente è all'equilibrio a 300 °C e a p = 18 bar.

Assumendo come base di bilancio 100 kmol/h di corrente gassosa iniziale, si calcolino:

1. le portate di tutti i componenti in tutte le correnti;
2. la potenza termica da scambiare nel secondo reattore.
3. Si verifichi che la conversione per passaggio del 94% di CO sia possibile.
4. Si individui quale tipo di reattore utilizzare per lo stadio di metanazione, motivando la scelta.

DATI

$$\Delta G^\circ_{CO} = - 26582 - 21,22 T$$

$$\Delta G^\circ_{H_2O,v} = - 58076 + 11,54 T$$

kcal/kmol, T in K

$$\Delta G^\circ_{CH_4} = - 18719 + 21,80 T$$

$$\Delta G^\circ_{CO_2} = - 94076 - 0,61 T$$

Per gli altri dati termodinamici si faccia riferimento a repertori in proprio possesso, indicando la fonte.



ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI INGEGNERE
SECONDA SESSIONE 2019 – SEZIONE A
SETTORE INDUSTRIALE
PROVA PRATICA DI PROGETTAZIONE
TEMA N. 3: ELETTRICA – MACCHINE

Un'azienda elettromeccanica deve progettare un nuovo motore asincrono trifase a gabbia di scoiattolo per la movimentazione del mandrino di un tornio. La macchina elettrica è controllata mediante un inverter trifase sul quale è implementato uno schema di controllo tensione/frequenza (V/f) costante. Il motore deve poter erogare la potenza nominale alla velocità nominale utilizzando al meglio la tensione disponibile del bus DC dell'inverter.

Nel seguente elenco sono riportati i dati di specifica della macchina elettrica e le caratteristiche elettriche dell'inverter trifase:

Potenza resa all'albero P_n	15 kW
Frequenza nominale f_n	150 Hz
Numero di poli del motore $2p$	4
Velocità nominale N_n	4450 rpm
Rendimento al 100% del carico e alla frequenza f_n	91.7 %
Rendimento al 50% del carico e alla frequenza f_n	90.3 %
Fattore di potenza nominale $\cos\phi_n$ e alla frequenza f_n	0.86
Momento di inerzia del rotore	$< 350 \cdot 10^{-4} \text{ kg m}^2$
Peso complessivo parti attive	30 kg
Temperatura ambiente	$-20^\circ\text{C} \div 40^\circ\text{C}$
Classe di isolamento	F
Classe di Servizio	S1
Tensione del bus DC dell'inverter V_{DC}	650 V
Corrente nominale dell'inverter I_n	50 A di picco

Precisando le ipotesi semplificative e le assunzioni adottate, il Candidato:

- 1) Esegua il dimensionamento di massima della macchina elettrica;
- 2) Determini i parametri del circuito elettrico equivalente della macchina;
- 3) Verifichi che le prestazioni del motore soddisfino i dati di specifica di interesse elettrico, giustifichi i risultati ottenuti, ed eventualmente indichi i provvedimenti da adottare e le scelte progettuali che è necessario variare per il soddisfacimento dei dati progettuali.
- 3) Calcoli il valore della coppia massima producibile dall'azionamento elettrico tenendo conto del limite di corrente dell'inverter.

Il Candidato integri con le proprie conoscenze i dati non forniti nel testo.



ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI INGEGNERE

SECONDA SESSIONE 2019 – SEZIONE A

SETTORE INDUSTRIALE

PROVA PRATICA DI PROGETTAZIONE

TEMA N. 4: ELETTRICA – IMPIANTI

Uno stabilimento è costituito da due edifici per i quali si richiede la progettazione di massima del relativo sistema elettrico di distribuzione. La fornitura elettrica del complesso avviene in media tensione attraverso un punto di connessione distante 450 m dal primo edificio e 350 m dal secondo. Le caratteristiche dell'alimentazione in media tensione sono le seguenti:

- tensione nominale 15 kV;
- corrente di cortocircuito trifase 12.5 kA;
- regime del neutro isolato;
- corrente di guasto a terra 150 A;
- tempo di eliminazione del guasto a terra 0.55 s.

Ciascun edificio è dotato di una cabina di trasformazione propria e di un gruppo elettrogeno necessario a garantire l'alimentazione delle utenze privilegiate.

Le caratteristiche dei carichi di ciascun edificio sono di seguito riportate.

Edificio n. 1:

- carichi non privilegiati: 450 kW a $\cos\varphi = 0.77$;
- carichi privilegiati: 200 kW a $\cos\varphi = 0.75$, tra cui il sistema di condizionamento di potenza nominale pari a 100 kW a $\cos\varphi = 0.88$;

Edificio n. 2:

- carichi non privilegiati: 315 kW a $\cos\varphi = 0.76$;
- carichi privilegiati: 230 kW a $\cos\varphi = 0.74$, tra cui il sistema di condizionamento di potenza nominale pari a 80 kW a $\cos\varphi = 0.87$.

Al candidato si richiede di:

1. dimensionare la distribuzione in media tensione e la potenza da installare nelle cabine di trasformazione;
2. dimensionare la distribuzione in bassa tensione sino ai quadri generali di bassa tensione;
3. dimensionare le linee in cavo che alimentano i quadri dei sistemi di condizionamento di ciascun edificio tenendo presente che questi sono posti in cima agli edifici ad una distanza di 110 m dalle cabine di trasformazione;
4. dimensionare i gruppi elettrogeni necessari ad alimentare i carichi privilegiati dei due edifici, con commutazione automatica delle alimentazioni al quadro generale di bassa tensione;
5. dimensionare i serbatoi di combustibile dei gruppi elettrogeni per una autonomia di 8 ore;
6. dimensionare gli impianti di rifasamento fissi dei trasformatori ed automatici dei carichi;
7. disegnare lo schema unifilare della parte di impianto dimensionata;
8. calcolare le correnti massime di cortocircuito trifase e fase neutro ai quadri degli impianti di condizionamento, sia nella alimentazione ordinaria che di emergenza;
9. dimensionare la parte disperdente degli impianti di terra delle cabine tenendo presente che la resistività del suolo è di 150 Ωm .

Il candidato potrà supplire con le proprie conoscenze ai dati non forniti nel testo giustificando le ipotesi fatte.



ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI INGEGNERE

SECONDA SESSIONE 2019 - SEZIONE A

SETTORE INDUSTRIALE

PROVA PRATICA DI PROGETTAZIONE

TEMA N. 5: ENERGETICA - NUCLEARE

Si consideri un reattore di tipo PWR che produce una potenza termica pari a 3411 MW. Il core del reattore è composto da assembly contenenti ciascuno 264 barrette di combustibile. Ogni barretta è costituita da un nucleo centrale di ossidi di uranio ed è rivestita da uno strato di Zircaloy. Nel seguito, si indicherà con *combustibile* il solo nucleo di ossidi di uranio, mentre con *barretta* si farà riferimento all'intera barra, ovvero al nucleo di combustibile ed allo strato di cladding. All'interno dell'assembly, le barrette sono disposte come nel reticolo rappresentato in Figura 1, dove la linea tratteggiata indica il canale di raffreddamento che si può considerare per ogni singola barretta. Le grandezze di riferimento per le barre sono riportate in Tabella 1.

Studio del reattore a potenza nominale

1. La potenza termica lineare q' , generata nelle barre di combustibile, ha un valore medio pari a $q' = 17.86 \text{ kW}_t/\text{m}$. Il Candidato calcoli il **numero di assembly** presenti nel reattore.
2. Il refrigerante utilizzato per raffreddare il reattore è mantenuto ad una pressione di 155 bar, entra nel reattore con una temperatura uniforme pari a 293.1°C ed esce dal reattore con una temperatura media di 326.8°C . Utilizzando i valori riportati in Tabella 1, il Candidato calcoli la **portata di fluido refrigerante**.
3. Si consideri il sottocanale relativo alla barra posta al centro del reattore. Il Candidato calcoli il **numero di Reynolds per il canale** e, utilizzando la correlazione di Dittus-Boelter per il calcolo

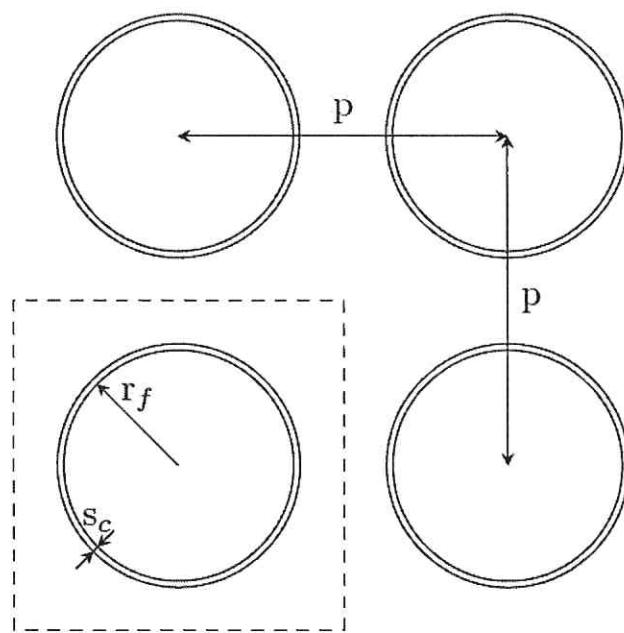


Figura 1: Rappresentazione schematica della disposizione delle barre di combustibile.

M. Mazzoni

Amico

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI INGEGNERE

SECONDA SESSIONE 2019 - SEZIONE A

SETTORE INDUSTRIALE

PROVA PRATICA DI PROGETTAZIONE

TEMA N. 5: ENERGETICA - NUCLEARE

Geometria	Passo reticolo Altezza barrette	p h_{bar}	0.0126 3.876	m m
Moderatore	Calore specifico	$c_{p,m}$	$5.742 \cdot 10^{-3}$	MJ/kgK
	Densità	ρ_m	705	kg/m ³
	Viscosità cinematica	ν_m	$1.199 \cdot 10^{-7}$	m ² /s
	Conducibilità termica	k_m	$5.416 \cdot 10^{-7}$	MW/mK
Combustibile	Calore specifico	$c_{p,f}$	$3.2 \cdot 10^{-4}$	MJ/kgK
	Densità	ρ_f	$1.09 \cdot 10^4$	kg/m ³
	Conducibilità termica	k_f	$2.163 \cdot 10^{-6}$	MW/mK
	Raggio	r_f	8.192	mm
Cladding	Conducibilità termica	k_c	$1.385 \cdot 10^{-5}$	MW/mK
	Spessore	s_c	0.572	mm

Tabella 1: Grandezze di riferimento per lo studio del reattore PWR.

del numero di Nusselt

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4},$$

calcoli il valore del **coefficiente** h di scambio termico fra la superficie esterna del cladding ed il fluido refrigerante.

4. Il Candidato calcoli le **perdite di carico** nell'attraversamento del sottocanale, ricordando che $f = 0.079 \cdot Re^{-0.25}$.

Studio della temperatura in una barretta

- Si consideri una barretta di combustibile cilindrica piena, come sulla sinistra di Figura 2. Il raggio esterno delle barrette è indicato con R_{fo} e la corrispondente temperatura con T_{fo} . Il calore viene asportato dalla barretta tramite la superficie esterna. Il candidato ricavi la **distribuzione radiale di temperatura** $T(r)$ nella barretta piena, indicando con $T(r = 0) = T_m$ la temperatura massima della barretta e assumendo la conducibilità termica costante. Si esprima infine $\Delta T = T_{fo} - T_m$ in funzione della potenza termica lineare $q' = Aq''$, con A sezione della barretta piena.
- Si consideri ora una barretta di combustibile cilindrica cava, come sulla destra di Figura 2. Il raggio interno delle barrette è indicato con R_V e la corrispondente temperatura con $T(R_V) = T_m$. Il calore viene asportato dalla barretta soltanto tramite la superficie esterna R_{fo} , si consideri infatti che la barretta cava non sia raffreddata internamente. Il candidato ricavi la **distribuzione radiale di temperatura** $T(r)$ nella barretta cava assumendo la conducibilità termica costante.

Pl MNL

Amici

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI INGEGNERE

SECONDA SESSIONE 2019 - SEZIONE A

SETTORE INDUSTRIALE

PROVA PRATICA DI PROGETTAZIONE

TEMA N. 5: ENERGETICA - NUCLEARE

Si esprima infine $\Delta T = T_{fo} - T_m$ in funzione di $\alpha = R_{fo}/R_v$ e della potenza termica lineare $q' = Aq'''$, con A sezione della barretta cava.

3. Il Candidato confronti le **temperature massime** ottenute nei due casi, considerando lo stesso q' e la stessa temperatura esterna $T(R_{fo}) = T_{fo}$.
4. Il Candidato infine calcoli la **temperatura media** T_{avg} nelle due configurazioni di barretta.

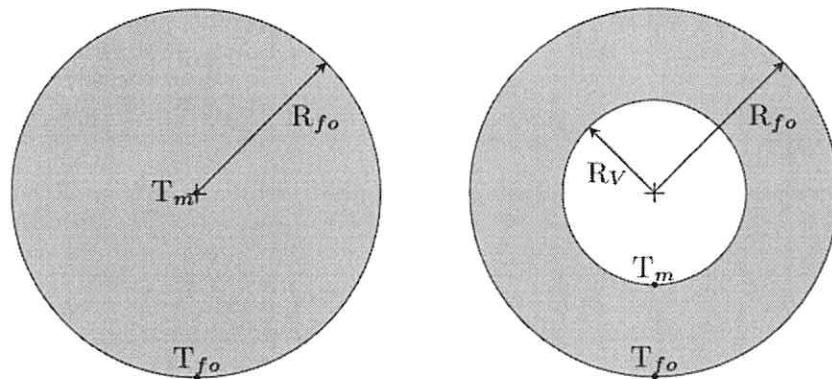


Figura 2: Sezione trasversale di una barretta di combustibile piena (sinistra) e cava (destra).

Deb. MMT

3 di 3

AMM

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI INGEGNERE
SECONDA SESSIONE 2019 – SEZIONE A
SETTORE INDUSTRIALE
PROVA PRATICA DI PROGETTAZIONE
TEMA N. 6: ENERGETICA – ENERGETICA

Una turbina a gas ($P_{TG,el} = 11250 \text{ kW}$, $\eta_{TG,el} = 31.4 \%$, $\dot{m}_{TG,fumi} = 47.5 \text{ kg/s}$, $T_{TG,fumi} = 482^\circ\text{C}$) ha come bottomer un impianto a vapore con caldaia a recupero ad un livello di pressione ($p = 80 \text{ bar}$). La portata di vapore surriscaldato \dot{m}_{vap} espande in una turbina a vapore ($\eta_{TV,iso} = 82 \%$) fino alla pressione del condensatore ad acqua ($T_{H2O,in} = 15^\circ\text{C}$, $\Delta T_{H2O,max} = 12^\circ\text{C}$ e differenza minima di temperatura fra i due fluidi pari a 10°C). Per quanto riguarda la caldaia a recupero, il corpo economizzatore non presenta sotto-raffreddamento, l'evaporatore è caratterizzato da un ΔT_{pinch} pari a 10°C ed il surriscaldatore ha un $\Delta T_{approach}$ pari a 40°C .

Inoltre, si assume che:

- il calore specifico dei fumi sia pari a 1.20 kJ/kgK ;
- il rendimento della pompa sia pari all'85 %;
- il rendimento meccanico della turbina a vapore sia pari al 99 %;
- il rendimento elettrico della turbina a vapore sia pari al 98 %.

Al candidato viene richiesto di:

1. rappresentare il layout dell'impianto descritto (impianto a vapore con caldaia a recupero ad un livello di pressione);
2. calcolare gli stati fisici (pressione, temperatura, entalpia, entropia e titolo) di tutti i punti dell'impianto e le portate in massa (ordinare i risultati all'interno di una tabella);
3. ricavare il lavoro specifico della pompa e della turbina a vapore ed il rendimento del ciclo combinato;
4. disegnare il diagramma quantitativo di scambio termico della caldaia a recupero (utilizzare la griglia fornita in allegato);
5. riportare gli stati fisici valutati al punto 2, sul diagramma logP-h fornito in allegato

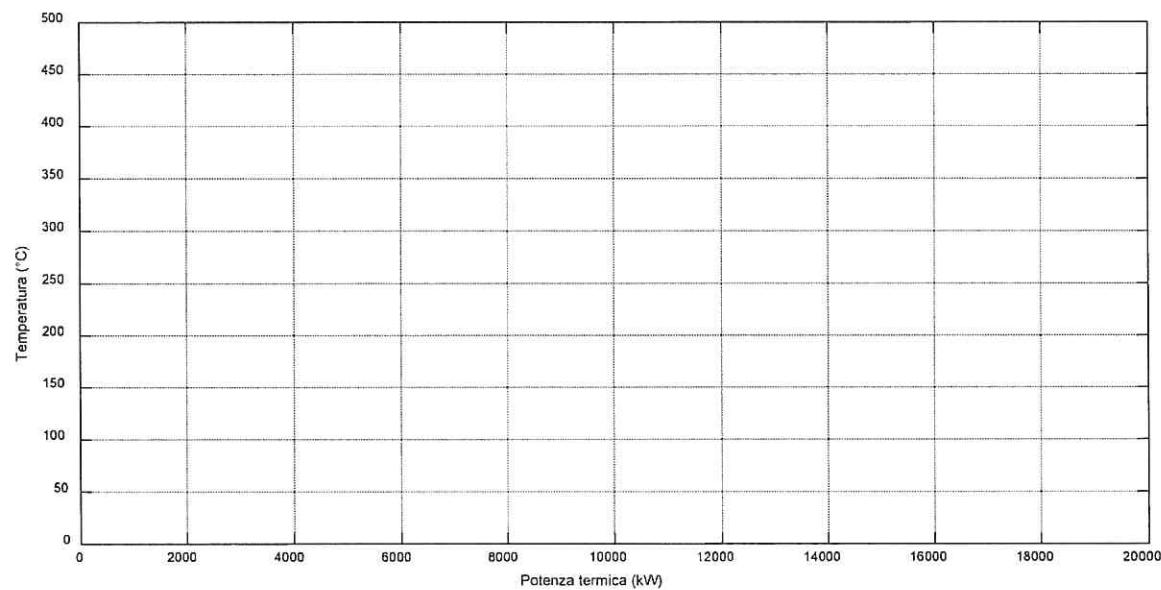
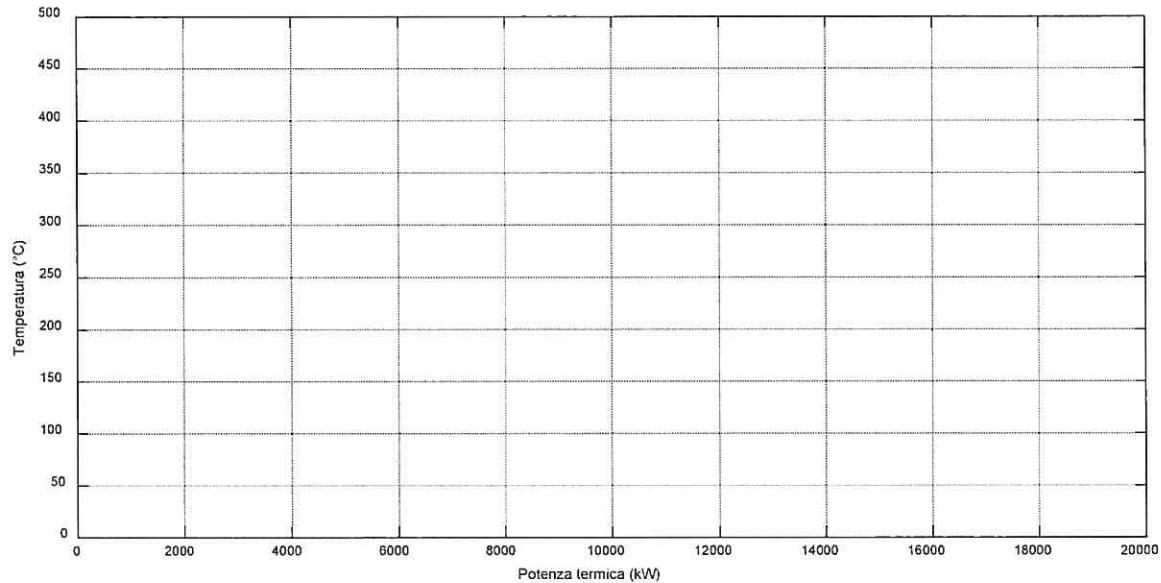
Tutti i parametri non esplicitamente indicati ma utili ai fini del calcolo vengano scelti in base a considerazioni di buon progetto.

Successivamente, si studino le prestazioni in condizioni di fuori progetto del ciclo sottoposto ad un livello di pressione. La turbina a gas sovrapposta, a causa del proprio sistema di regolazione, varia le condizioni dei fumi in ingresso alla caldaia ($\dot{m}_{TG,fumi} = 38.0 \text{ kg/s}$ rispetto alla portata di design $\dot{m}_{TG,fumi} = 47.5 \text{ kg/s}$, $T_{TG,fumi} = 440^\circ\text{C}$ rispetto alla temperatura di design $T_{TG,fumi} = 482^\circ\text{C}$). Si consideri che la pressione di vaporizzazione all'interno della caldaia a recupero rimanga invariata rispetto alla condizione di design. Si consideri, inoltre, che il prodotto UA dei singoli scambiatori rimanga costante in condizioni di fuori progetto.

Al candidato viene richiesto di:

6. calcolare la nuova portata di vapore in condizioni di fuori progetto (per tale calcolo si consideri un processo iterativo; si accetti un errore relativo massimo del 5 %, a convergenza);
7. calcolare i nuovi stati fisici all'interno della caldaia a recupero e ricavare il diagramma quantitativo di scambio termico in condizioni di fuori progetto;
8. confrontare i diagrammi di scambio termico in condizioni di progetto e di fuori progetto.

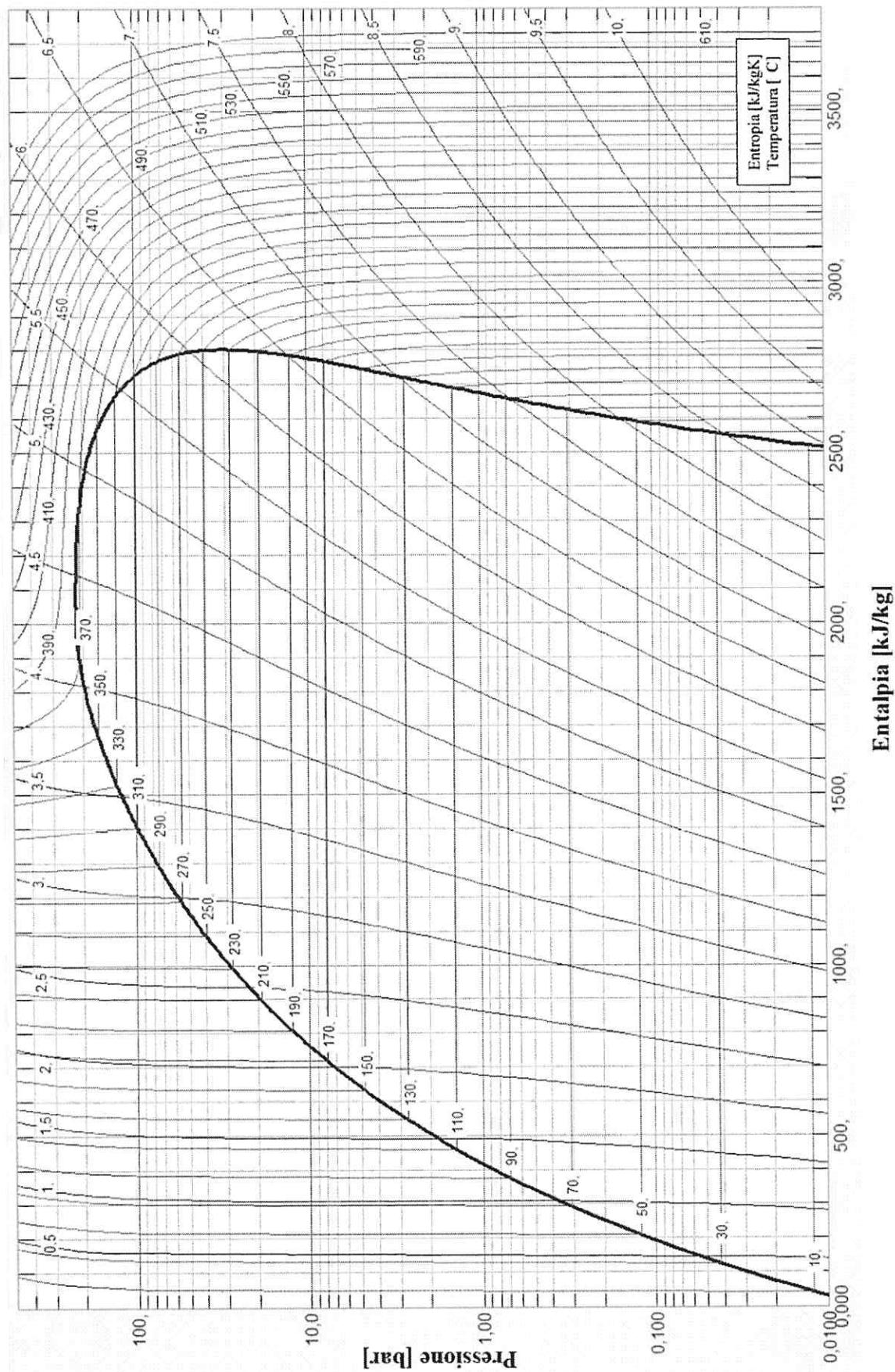
ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI INGEGNERE
SECONDA SESSIONE 2019 – SEZIONE A
SETTORE INDUSTRIALE
PROVA PRATICA DI PROGETTAZIONE
TEMA N. 6: ENERGETICA – ENERGETICA



Ma. M. M.

2 di 3

Ad/Av



ML MML

3 di 3

ANAL

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI INGEGNERE
SECONDA SESSIONE 2019 – SEZIONE A
SETTORE INDUSTRIALE
PROVA PRATICA DI PROGETTAZIONE
TEMA N. 7: ECONOMICO – GESTIONALE

Il candidato risolva il caso dell'impresa Esapack srl, azienda italiana di medie dimensioni che produce, assembla e impacchetta contenitori per materiali liquidi, solidi e gassosi. In vista della presentazione ai soci del nuovo piano industriale per il prossimo quinquennio, il management è interessato a valutare la convenienza economica di una serie di iniziative finalizzate al rafforzamento del posizionamento strategico dell'azienda. Ai fini di produrre un'analisi esaustiva, il management decide di avvalersi dei servizi di una società di consulenza.

PARTE PRIMA

Al 31/12/2019 la situazione contabile della Esapack srl si presenta come segue (valori in migliaia di euro):

	31/12/2019
Accantonamenti per rischi di gestione non industriali	80
Acquisti di materie prime	3.420
Acquisti di servizi amministrativi & generali	185
Acquisti di servizi industriali	780
Altri debiti finanziari (entro l'esercizio successivo)	530
Altri debiti finanziari (oltre l'esercizio successivo)	1.380
Altri ricavi e proventi caratteristici	140
Ammortamenti amministrativi & generali	130
Ammortamenti industriali	450
Attrezzature industriali	600
Capitale sociale	2.000
Concessioni, licenze e marchi	510
Costi anticipati	85
Costi di ricerca e sviluppo capitalizzati	250
Crediti commerciali v/clienti	2.450
Crediti finanziari a lungo periodo	250
Crediti commerciali v/imprese controllate	325
Debiti obbligazionari di lungo periodo	2.000
Debiti v/banche (c/corrente)	1.700
Debiti v/fornitori d'esercizio	1.380
Denaro e valori in cassa	90
Depositi bancari attivi	650
Effetti attivi	410
Fondo Rischio e Oneri	650

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI INGEGNERE
 SECONDA SESSIONE 2019 – SEZIONE A
 SETTORE INDUSTRIALE
 PROVA PRATICA DI PROGETTAZIONE
 TEMA N. 7: ECONOMICO – GESTIONALE

Fondo Trattamento di Fine Rapporto	600
Impianti e macchinari	3.400
Interessi passivi	520
Mutui	1.475
Oneri straordinari passivi	90
Partecipazioni strategiche in imprese controllate	500
Proventi da partecipazioni	15
Proventi finanziari e interessi attivi	115
Proventi operativi non caratteristici	70
Proventi straordinari attivi	20
Quota ammortamento brevetti & marchi	75
Quota TFR amministrativo & commerciale	65
Quota TFR industriale	215
Ratei e risconti passivi	140
Ricavi dalle vendite	9.040
Rimanenze finali di materie prime	1.200
Rimanenze finali di prodotti finiti & semilavorati	1.000
Rimanenze iniziali di materie prime	1.000
Rimanenze iniziali di prodotti finiti & semilavorati	1.500
Riserve di utili	2.250
Salari e oneri industriali	1.230
Salari e oneri amministrativi & commerciali	430
Terreni e fabbricati	2.400
Titoli in portafoglio non costituenti immobilizzazioni	1.000
Debiti tributari	715

Le voci di cui sopra sono fornite in ordine sparso e sono relative ai documenti di STATO PATRIMONIALE e CONTO ECONOMICO relativamente all'esercizio 2019. Si tenga conto che le voci delle immobilizzazioni sono già al netto del fondo di ammortamento e che l'utile del 2018 non è stato versato agli azionisti sotto forma di dividendi. Le imposte a pagare sono state pari al 50% del reddito ante-imposte del 2019.

Al candidato si richiede di:

1. riclassificare i documenti di stato patrimoniale secondo il criterio della liquidità/esigibilità crescente e di conto economico a costo del venduto.
2. calcolare l'utile d'esercizio per l'anno 2019.

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI INGEGNERE
SECONDA SESSIONE 2019 – SEZIONE A
SETTORE INDUSTRIALE
PROVA PRATICA DI PROGETTAZIONE
TEMA N. 7: ECONOMICO – GESTIONALE

3. commentare la performance reddituale e finanziaria dell'azienda, avvalendosi degli indici e margini ritenuti significativi, e suggerire eventuali azioni correttive da intraprendere nel breve termine.

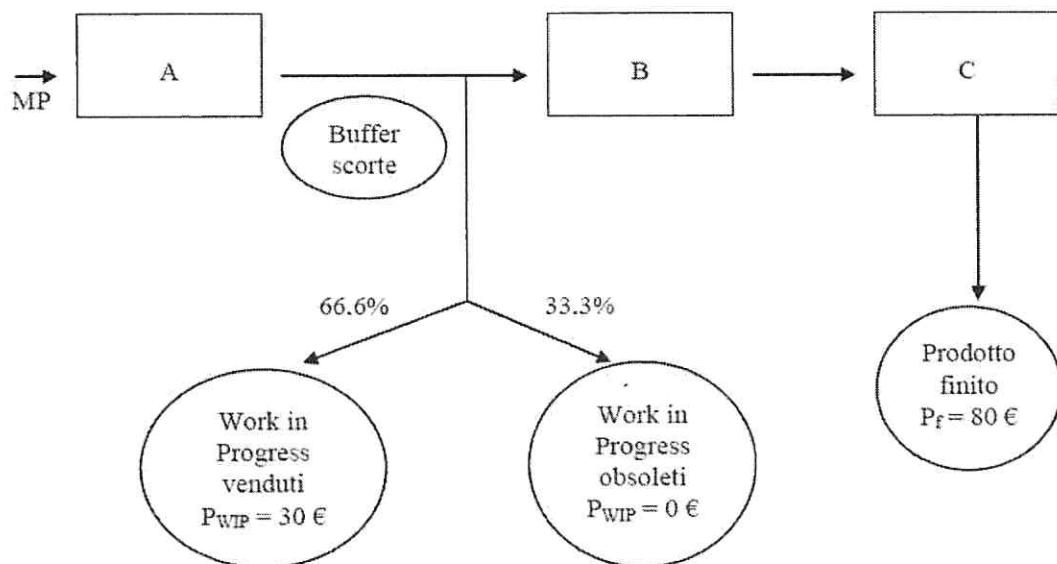
PARTE SECONDA

Il management sta valutando l'opportunità di inserire nel nuovo piano industriale alcuni interventi di carattere economico-gestionale per la linea produttiva 3. La linea è finalizzata alla realizzazione di contenitori destinati allo stoccaggio di rifiuti batteriologici altamente corrosivi e segue queste fasi di lavorazione.

La materia prima (dal costo di 15 €/pezzo) entra nella linea di produzione e subisce una prima lavorazione nella macchina A (caratterizzata da una produttività pari a 300 pezzi/ora). Il semilavorato così ottenuto subisce ora una seconda lavorazione nella macchina B (produttività pari a 150 pezzi/ora). La quota parte lavorata è alla fine impacchettata dalla macchina C (produttività pari a 450 pezzi/ora) e commercializzata ad un prezzo $P_f = 80$ €.

Nella figura 1 è riportata la sequenza delle macchine della linea di produzione e il flusso dei semilavorati.

Fig. 1 Linea ABC



ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI INGEGNERE
SECONDA SESSIONE 2019 – SEZIONE A
SETTORE INDUSTRIALE
PROVA PRATICA DI PROGETTAZIONE
TEMA N. 7: ECONOMICO – GESTIONALE

Dalla figura si evince che la minore produttività di B crea un collo di bottiglia e un buffer di work in progress (WIP) a valle della macchina A. Non potendo rallentare A per problemi di scala minima, l'azienda decide di contenere il danno economico, vendendo due terzi dei semilavorati del buffer di WIP ad un prezzo di vendita $P_{WIP} = 30 \text{ €}$, mentre il rimanente terzo, costituente l'invenduto, perde di valore e viene eliminato.

1. Sapendo che il mercato potenziale è di 600.000 unità/anno, che la linea lavora su un turno giornaliero da 8 ore per 245 giorni l'anno e che i costi imputabili a ciascuna macchina sono quelli riportati in tabella, si chiede di calcolare il profitto associato alla linea 3.

	A	B	C
Costo variabile di lavorazione (€ / pezzo)	20	15	10
Costi fissi diretti di manutenzione e set-up (€/anno)	700.000	450.000	0
Produttività (pezzi/ora)	300	150	450

2. Volendo risolvere il problema del collo di bottiglia, il management decide di contattare un'impresa specializzata nell'assemblaggio di contenitori per rifiuti tossici con l'intenzione di esternalizzare completamente la lavorazione svolta dalla macchina B per 32 euro/pezzo (questa operazione comporterebbe l'estinzione degli attuali costi fissi e variabili associati a B). Si valuti la convenienza economica del ricorso all'outsourcing rispetto ad una produzione completamente in house della linea 3.

PARTE TERZA

I sistemi informativi aziendali hanno rilevato per l'anno 2019 un fatturato pari a € 9.040.000 ottenuto mediante la sola vendita di contenitori per materiali liquidi, solidi e gassosi per lo smaltimento di sostanze batteriologiche. Si prevede che questo valore rimanga costante anche nei prossimi cinque anni.

Su suggerimento del responsabile commerciale, il management della Esapack srl sta prendendo in considerazione la possibilità di produrre e commercializzare contenitori realizzati in materiale



ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI INGEGNERE
SECONDA SESSIONE 2019 – SEZIONE A
SETTORE INDUSTRIALE
PROVA PRATICA DI PROGETTAZIONE
TEMA N. 7: ECONOMICO – GESTIONALE

biodegradabile. Lo studio realizzato da una società di consulenza, del costo di € 15.000 euro, ha previsto che, nei prossimi 5 anni la domanda annua di questi ultimi sarà così distribuita:

2020	2021	2022	2023	2024
40.000 unità	40.000 unità	40.000 unità	44.000 unità	44.000 unità

Si prevede che l'introduzione sul mercato dei nuovi contenitori comporterà una contrazione della domanda di contenitori tradizionali pari al 5% annuo. La contrazione si verificherebbe nel primo anno, assestandosi a tale valore per i successivi 4 anni.

L'impianto attualmente utilizzato, completamente ammortizzato, potrebbe essere utilizzato ancora per i prossimi 5 anni, al termine dei quali verrebbe rottamato. Nell'impresa operano 15 operai specializzati il cui costo annuo è pari a € 40.000 per ciascun operaio e 4 supervisori per ciascuno dei quali è previsto un costo annuo pari a € 55.000. Nel 2019 i costi per l'energia sono stati pari a € 30 per unità, mentre nello stesso anno si sono utilizzati materiali diretti pari a € 40 per unità. Qualora si decidesse di procedere all'acquisto di un nuovo impianto, la Esapack srl sosterrebbe un investimento di € 1.300.000 (ammortizzabile in 8 anni a quote costanti). Dal momento dell'inizio della produzione del nuovo impianto nel 2020, si renderebbe necessaria l'assunzione di tre nuovi operai specializzati e un nuovo supervisore, mentre i costi unitari per materiali diretti e consumo di energia rimarrebbero invariati.

Si verifichi la convenienza dell'investimento, sapendo che:

- se si effettuasse l'investimento nel nuovo impianto, quello vecchio verrebbe venduto all'inizio del 2020 ad un valore di mercato pari € 500.000;
- nel 2019 il prezzo di vendita di contenitore tradizionale è stato pari a € 120 e si prevede costante nei successivi 5 anni;
- il prezzo di vendita di un contenitore in materiale biodegradabile è pari a € 290 e si prevede rimarrà costante nei prossimi 5 anni;
- fornitori di materie prime concedono una dilazione di pagamento di due mesi e i crediti sono concessi a 1 mese (si assume che tutti i debiti e crediti saranno smobilizzati al termine del quinto anno);
- l'impresa opera con un costo opportunità del capitale del 10% e paga le imposte con aliquota fiscale del 40%;
- al termine del 2024 il nuovo impianto potrebbe essere venduto a € 300.000.



ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI INGEGNERE
SECONDA SESSIONE 2019 – SEZIONE A
SETTORE INDUSTRIALE
PROVA PRATICA DI PROGETTAZIONE
TEMA N. 8: GESTIONALE – IMPIANTI

PARTE A

Sempre in Moto s.r.l. è una piccola azienda del bolognese leader da anni nella fabbricazione di biciclette e motocicli. L'amministratore delegato è l'appassionato centauro Guido La Vespa. Negli ultimi tempi l'azienda sta valutando l'opportunità di investire nei nuovi monopattini elettrici, sempre più utilizzati dai cittadini come mezzo di spostamento casa-lavoro e già commercializzati da qualche anno da altre aziende concorrenti. Diversi sono i parametri indipendenti che incidono su tale scelta, come ad esempio i giorni medi di sole al mese, il trend medio mensile delle piogge e la percentuale di persone disposte ad investire in tali mezzi. In tabella Guido ha raccolto alcuni dati utili. Sulla base dei dati a disposizione, si supporti il reparto Produzione e l'Ufficio Acquisti nella fase di studio di fattibilità del nuovo monopattino.

Periodo	Giorni medi sole al mese [gg/mese]	Piogge mensili [mm/mese]	Percentuale persone interessate [%]	Quantità di monopattini venduti [pezzi/anno]	Quantità di vendite attese [pezzi/anno]
2003-04	12	454	2	250	
2004-05	18	600	2.8	278	
2005-06	22	630	3.3	270	
2006-07	21	727	3.5	345	
2007-08	24	450	3.2	450	
2008-09	25	499	4.1	502	
2009-10	26	520	4.5	536	
2010-11	25	500	4.65	564	
2011-12	21	610	5.6	580	
2012-13	19	632	6.7	600	
2013-14	19	500	7.8	610	
2014-15	22	530	7.43	625	
2015-16	23	654	8.5	650	
2016-17	25	670	10.5	690	
2017-18	?	?	?		
2018-19	?	?	?		
2019-20	?	?	?		

In particolare, si chiede di:

1. Prevedere per le tre categorie di parametri correlanti (giorni medi di sole al mese, piogge medie mensili e percentuale di persone interessate) i valori per le stagioni 2017, 2018 e 2019

Per ogni dato mancante si faccia riferimento alle norme di buon progetto

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI INGEGNERE
SECONDA SESSIONE 2019 – SEZIONE A
SETTORE INDUSTRIALE
PROVA PRATICA DI PROGETTAZIONE
TEMA N. 8: GESTIONALE – IMPIANTI

utilizzando il metodo della media mobile pesata su 5 periodi, utilizzando come coefficienti ponderali (40 – 30 – 25 – 10 – 5).

2. Tramite il metodo di regressione lineare semplice, stabilire quale tra gli indicatori forniti dal reparto Produzione e dall'Ufficio Acquisti sia la miglior stima per le vendite di monopattini e spiegarne il motivo.
3. Utilizzando l'indicatore individuato al punto precedente, stimare le vendite attese di tutte le stagioni precedenti (compilare la colonna vuota di tabella sopra).
4. Utilizzando la retta di correlazione trovata al punto precedente stimare le vendite per i periodi 2017-18, 2018-19, 2019-20.

PARTE B

Una volta terminata la fase di previsione delle vendite della nuova variante di monopattino, Guido si chiede se conviene produrlo internamente all'azienda o se appoggiarsi ad un fornitore esterno. La produzione interna richiederebbe un costo per il set-up delle macchine pari a 68 €, un costo di produzione del singolo pezzo pari a 190 € e un lead-time di produzione pari a 4 giorni. La capacità produttiva ipotizzata sarebbe pari a 880 pezzi/anno mentre l'Ufficio Vendite ha stimato una domanda annua pari a 700 pezzi. Tuttavia, il principale concorrente già da qualche anno produce una variante di monopattino elettrico e, a seguito di una riunione tra i dirigenti delle due aziende, il concorrente si è offerto per la fornitura del prodotto, ad un costo di 245 €/pezzo. Il costo di emissione di un ordine è pari a 16 € e il lead-time di approvvigionamento è pari a 5 giorni. Considerando, inoltre, un costo di giacenza pari a 12 €/pezzi*anno, un costo di rottura di stock pari a 280 €/pezzo e che l'azienda lavora per 220 giorni/anno, al candidato Ingegnere si chiede di supportare l'azienda in questa importante decisione, determinando:

5. l'entità dei lotti economici di acquisto e di produzione;
6. la politica economicamente più conveniente;
7. il livello di riordino associato a tale politica.

PARTE C

Un'altra questione rilevante per l'azienda, che da tempo angustia il povero Guido, è lo sviluppo di un progetto di ingegnerizzazione del processo di assemblaggio manuale del monopattino elettrico. In questa fase, l'Ing. Bonacini, addetta allo sviluppo del progetto, sta analizzando i risultati delle misure sul campo delle diverse attività di assemblaggio per determinare il tempo complessivo di transito in linea del prodotto. L'Ing. Bonacini ha analizzato i dati di ognuna delle attività necessarie per la realizzazione del monopattino, ottenendo i seguenti risultati, espressi in minuti.

Per ogni dato mancante si faccia riferimento alle norme di buon progetto



ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI INGEGNERE
 SECONDA SESSIONE 2019 – SEZIONE A
 SETTORE INDUSTRIALE
 PROVA PRATICA DI PROGETTAZIONE
 TEMA N. 8: GESTIONALE – IMPIANTI

Attività	Durata ottimistica	Durata tipica	Durata pessimistica	Vincoli precedenza
A	3	4	7	-
B	6	6	6	-
C	6	9	12	-
D	2	3	4	-
E	1	1	1	A
F	3	5	9	A
G	6	10	16	B
H	8	12	20	B
I	7	8	8	C
J	4	6	8	D
K	2	3	7	E-F
L	2	2	2	G-H
M	3	4	10	I-J
N	3	5	8	K-L-M

Al candidato Ingegnere si chiede di:

8. costruire il diagramma delle precedenze tecnologiche delle attività di assemblaggio;
9. applicare il metodo Program Evaluation & Review Technique (PERT) per calcolare il tempo atteso di assemblaggio di ogni prodotto e la deviazione standard su tale valore;
10. evidenziare le attività a cui prestare maggiore attenzione per evitare ritardi nel completamento dell'operazione di assemblaggio determinando gli slittamenti liberi, concatenati e totali;
11. discutere l'impatto di un dimezzamento dei tempi di esecuzione dell'attività H sul tempo totale di assemblaggio di ogni prodotto;
12. commentare opportunamente e criticamente i risultati ottenuti.

PARTE D

Il reparto Manutenzione della *Sempre in Moto s.r.l.* da tempo si lamenta dei continui fermi della macchina addetta allo stampaggio del telaio del monopattino. In particolare, frequenti sono le rotture di tre suoi componenti non riparabili indicati con X, Y e Z. La rottura di uno di questi componenti provoca il fermo totale della macchina. La divisione Manutenzione ha monitorato e registrato gli intervalli tra una rottura e la successiva, per ognuno dei tre componenti (misure effettuate in ore di

Per ogni dato mancante si faccia riferimento alle norme di buon progetto

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI INGEGNERE
SECONDA SESSIONE 2019 – SEZIONE A
SETTORE INDUSTRIALE
PROVA PRATICA DI PROGETTAZIONE
TEMA N. 8: GESTIONALE – IMPIANTI

lavoro effettive), ipotizzando la completa affidabilità dei restanti. Si riportano nella tabella sottostante i dati relativi ai *time to failure* per i tre componenti in questione.

	Time to failure									
	X	120	356	405	158	297	366	120	430	620
Y	721	300	387	154	220	298	330	430	198	
Z	544	385	207	159	406	345	196	275	486	

Ipotizzando che la macchina e i componenti siano nel periodo di vita utile, al candidato Ingegnere si chiede di:

13. Calcolare e rappresentare le curve affidabilistiche dei tre componenti.
14. Calcolare e rappresentare la curva affidabilistica del macchinario.
15. Calcolare la probabilità di dover interrompere completamente la produzione prima di 378 ore di lavoro effettivo, sapendo che l'azienda ha in dotazione due macchinari equivalenti dal punto di vista affidabilistico.
16. Valutare l'opportunità di azioni manutentive atte a migliorare le prestazioni complessive e di suggerire tali possibili azioni.

PARTE E

Per quanto riguarda il telaio del monopattino, l'Ing. Piscitelli, neo-assunto, deve occuparsi di schedulare le attività per la sua realizzazione. In particolare, i *job* devono essere schedulati su 1 *singola macchina*. Si riportano in tabella i *jobs* con i rispettivi tempi di esecuzione e le rispettive date di consegna, espressi in minuti.

Jobj	tj	dj
1	3	7
2	8	19
3	9	14
4	7	11
5	11	16
6	3	8

Al candidato Ingegnere si chiede di supportare l'Ing. Piscitelli nel progetto di schedulazione della macchina adibita alla realizzazione del telaio. In particolare, si chiede di:

Per ogni dato mancante si faccia riferimento alle norme di buon progetto



ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI INGEGNERE

SECONDA SESSIONE 2019 – SEZIONE A

SETTORE INDUSTRIALE

PROVA PRATICA DI PROGETTAZIONE

TEMA N. 8: GESTIONALE – IMPIANTI

17. svolgere la schedulazione utilizzando le regole di carico EDD e LPT e l'algoritmo di Hodgson;
18. per ciascuna sequenza determinare il lateness totale (somma dei singoli lateness) e il numero di job in ritardo;
19. proporre la soluzione giudicata migliore;
20. proporre una possibile schedulazione nel caso in cui si abbiano a disposizione 2 macchine parallele ed identiche con tempi uguali a quelli della macchina singola.

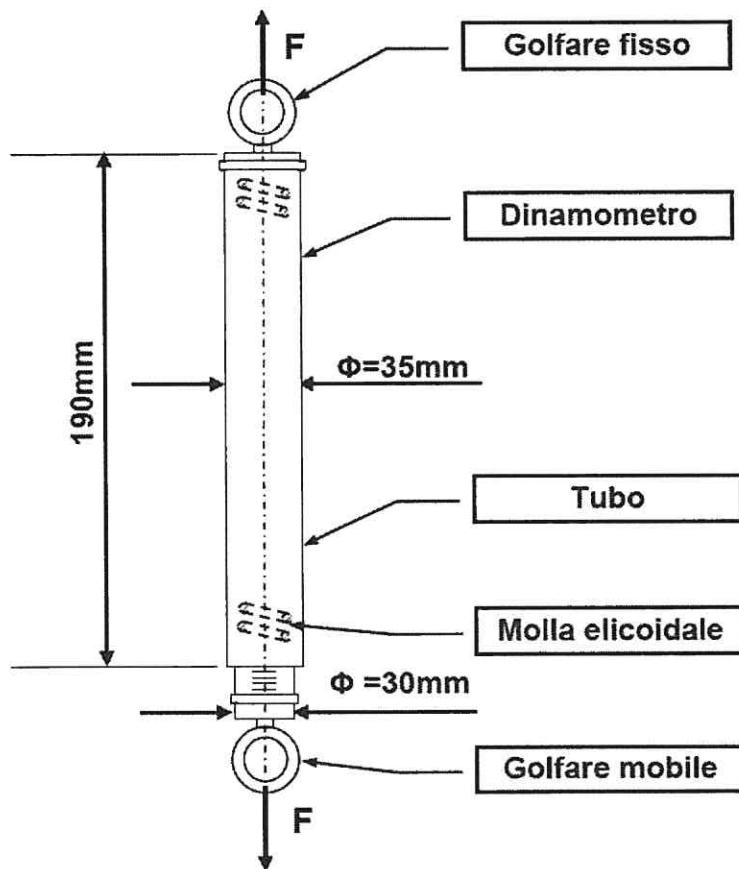
Per ogni dato mancante si faccia riferimento alle norme di buon progetto

Fl. Mazzoni

5 di 5

Argan

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI INGEGNERE
 SECONDA SESSIONE 2019 – SEZIONE A
 SETTORE INDUSTRIALE
 PROVA PRATICA DI PROGETTAZIONE
 TEMA N. 9: MECCANICA – COSTRUZIONE DI MACCHINE



Il dinamometro schematizzato in figura misura una forza massima $F_{max}=600N$ con una corsa massima nominale di $\Delta_{max}=60mm$. Conoscendo le grandezze geometriche di massima indicate in figura e sapendo che la **molla elicoidale di trazione** all'interno del tubo è costruita con filo in acciaio, eseguire: (i) il progetto della molla, scegliendone opportunamente le terminazioni, (ii) il disegno costruttivo della molla, (iii) la scelta dei golfari ed infine (iv) il disegno complessivo del gruppo, scegliendo la spaziatura delle tacche di misura, ipotizzando una risoluzione dello strumento pari a **10N**.

Eventuali dati mancanti a scelta del candidato.

Luca Mazzoni

Angelo

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI INGEGNERE
SECONDA SESSIONE 2019 – SEZIONE A
SETTORE INDUSTRIALE
PROVA PRATICA DI PROGETTAZIONE
TEMA N. 10: MECCANICA – IMPIANTI

Si consideri un impianto di produzione di cubetti di mela essiccati. Le fasi di produzione sono mostrate in figura 1, mentre in tabella 1 sono riportate le rese medie delle fasi di preparazione dei cubetti con pelatura meccanica. L'impianto lavora 6000 ton/anno di mele (materia prima in ingresso), in 330 giorni su 3 turni da 8 h ciascuno. Si consideri un fattore di utilizzazione pari a 0.85, che tiene conto di eventuali fermi impianto e manutenzioni sull'intera linea di produzione.

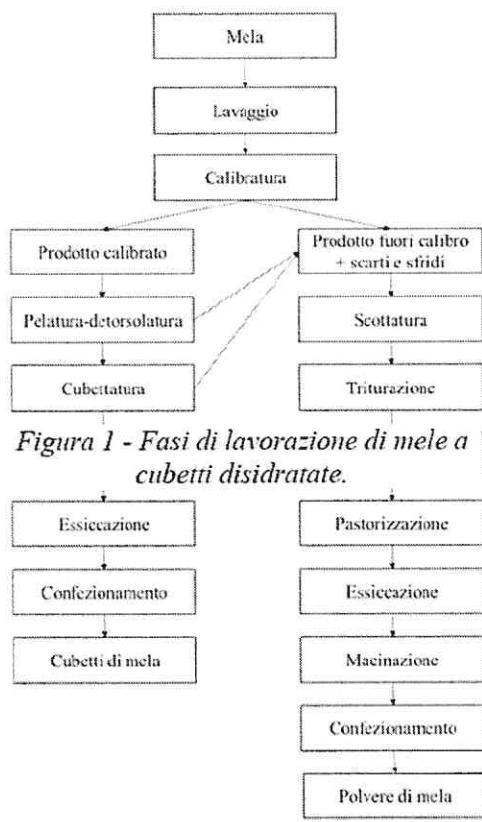


Figura 1 - Fasi di lavorazione di mele a cubetti disidratate.

Tabella 1 - Rese medie della fase di pelatura meccanica.

Fase di processo	Resa
Calibratura	98%
Pelatura-detorsolatura	74%
Cubettatura	98%

Tabella 2 - Caratteristiche dei cubetti di mela e dell'aria necessari per il dimensionamento della fase di essiccamiento.

Parametro	Valore
Dati prodotto	Temperatura dei cubetti in ingresso
	36 °C
	Umidità dei cubetti in uscita
	14 %
	Riduzione di umidità del filato
Dati aria	74 %
	Calore specifico del filato secco
	0.82 kcal/kg °C
	Temperatura dell'aria in ingresso
Dati aria	80 °C
	Umidità dell'aria in ingresso
	45 °C
	Umidità dell'aria in uscita

Si consideri ora la fase di essicazione dei cubetti di mela, derivanti dal prodotto che ha superato la fase di calibratura. Le caratteristiche del prodotto in ingresso e in uscita e quelle dell'aria che viene utilizzata per l'essicazione sono mostrate in Tabella 2.

Il candidato:

- definisca lo schema dell'impianto di essicamento e i suoi principali componenti;

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI INGEGNERE

SECONDA SESSIONE 2019 – SEZIONE A

SETTORE INDUSTRIALE

PROVA PRATICA DI PROGETTAZIONE

TEMA N. 10: MECCANICA – IMPIANTI

- individui la portata di acqua che deve essere sottratta al prodotto per garantirne le caratteristiche;
- definisca gli stati dell'aria all'ingresso dell'essiccatore, a valle del riscaldatore e all'uscita dell'essiccatore, in termini di temperatura, umidità, entalpia e titolo;
- determini la portata di aria necessaria per ottenere le caratteristiche finali del prodotto.
- Il processo riguarda cubetti di mela che in ingresso presentano uno spigolo pari a 1 cm. Il trasporto dei cubetti all'interno del tunnel avviene tramite un nastro trasportatore di larghezza utile pari a 1.5 m. Il carico specifico massimo in ingresso per il nastro, affinché il processo avvenga correttamente, è di 53 kg/m^2 . In queste condizioni il tempo di essiccazione è di 50 min. Determinare la lunghezza del tunnel e la velocità di traslazione dei cubetti all'interno del tunnel.
- Per garantire un corretto contatto con i cubetti, la velocità relativa tra il prodotto e l'aria (in controcorrente) deve essere pari a 4 m/s. Sapendo che l'essiccatore presenta una sezione rettangolare, determinare l'altezza della sezione di passaggio dell'aria nel tunnel. Determinare poi la potenza del motore del ventilatore, ipotizzando che la lunghezza totale del circuito che deve compiere l'aria sia pari a 20 m. Per le perdite concentrate si consideri una percentuale aggiuntiva rispetto alle perdite distribuite (3%). Considerare un rendimento totale del ventilatore pari a 0.82.
- Determinare la potenza termica richiesta al riscaldatore (in kW), ipotizzando che:
 - tutta la potenza del motore del ventilatore venga trasferita al fluido come potenza termica;
 - la potenza termica dissipata all'esterno equivalga ad una percentuale pari all'1.5% della potenza del riscaldatore;
 - la potenza termica sottratta all'essiccatore dal sistema di trasporto dei cubetti equivalga ad una percentuale pari al 7% della potenza del riscaldatore.Si ricorda la seguente relazione: $1 \text{ kcal} = 4,184 \text{ kJ}$.
- In ottica di un minore impatto ambientale, valutare come cambiano le condizioni dell'aria in uscita dall'essiccatore se si decide di aumentare la portata d'aria utilizzata del 50%. Valutare anche come variano la potenza del ventilatore e quella richiesta al riscaldatore (per quest'ultima considerare le stesse ipotesi sulla potenza dissipata e quella sottratta dal materiale di trasporto, mentre per la potenza del ventilatore mantenere il valore utilizzato nel punto precedente).
- In ottica di risparmio energetico, valutare come cambiano i principali stati dell'aria nell'essiccatore, se si ricircola una percentuale di aria pari al 30%. Valutare quindi come varia la potenza richiesta al riscaldatore.
- Infine il candidato valuti i costi operativi totali nei 3 casi analizzati in precedenza, in termini di costo del combustibile annuale per il riscaldatore e costo dell'energia elettrica annuale per il ventilatore. Per riscaldare l'aria si utilizza un generatore di aria calda, con rendimento 0.9, alimentato da un combustibile caratterizzato da un potere calorifico inferiore pari a 52 MJ/kg e un costo unitario pari a 1 €/kg. Per l'energia elettrica si consideri un costo unitario pari a 0.09 €/kWh.
- Calcolare il ricavo annuale derivante dalla linea che produce cubetti di mela disidratati e confezionati subito a valle dell'essiccazione, sapendo che il prodotto finale viene venduto in confezioni da 15 kg l'una e il prezzo di vendita è 75 €/confezione.

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI INGEGNERE
SECONDA SESSIONE 2019 – SEZIONE A
SETTORE INDUSTRIALE
PROVA PRATICA DI PROGETTAZIONE
TEMA N. 10: MECCANICA – IMPIANTI

Per le informazioni mancanti fare riferimento alle norme di buona tecnica.

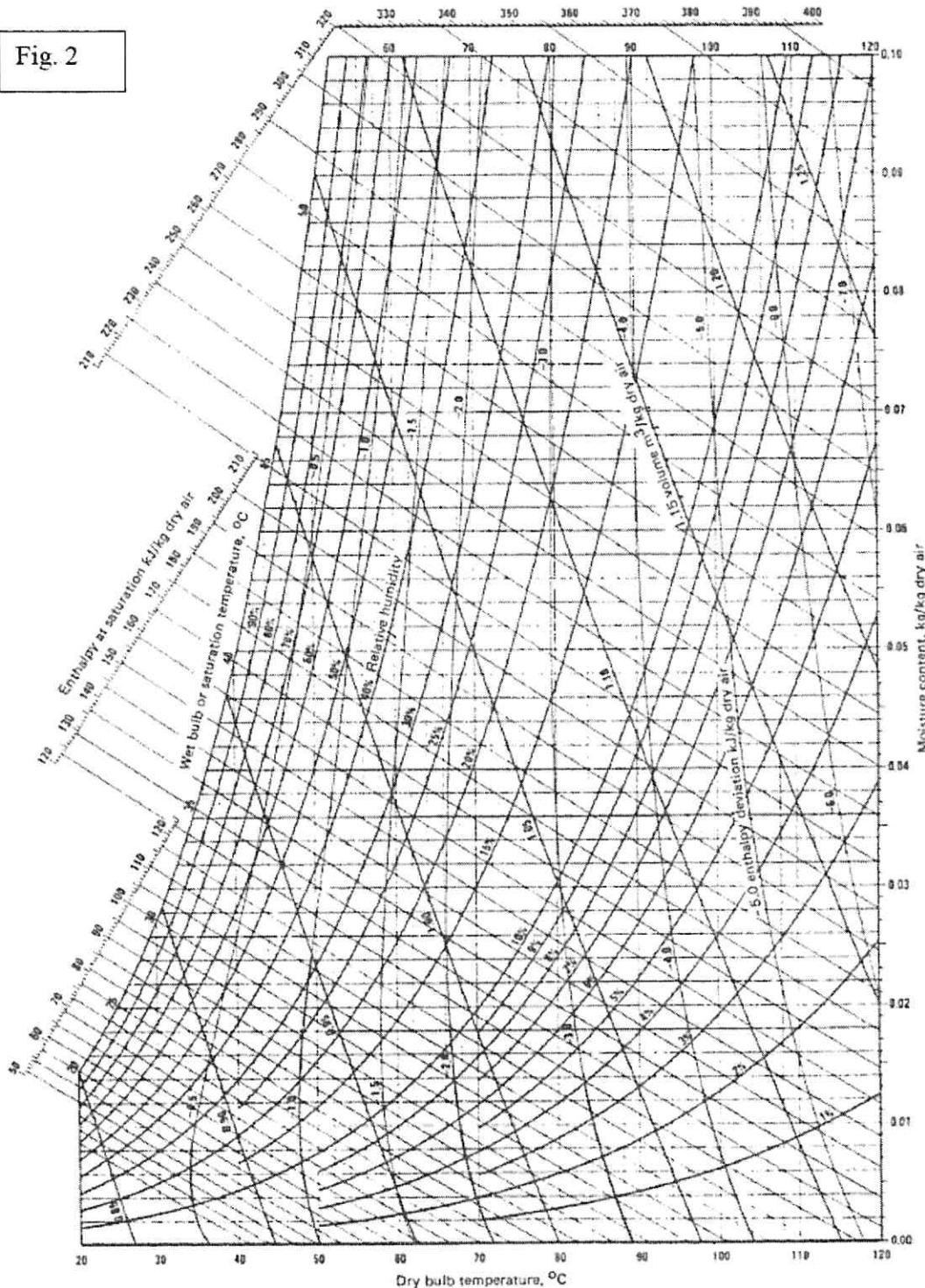
Di seguito si riportano:

- Fig. 2: diagramma psicometrico dell'aria ad alta temperatura.
- Fig. 3: perdite di carico relative alla circolazione dell'aria in tubazioni circolari.
- Fig. 4: diametro equivalente di un canale rettangolare con la stessa perdita di carico di una tubazione circolare.



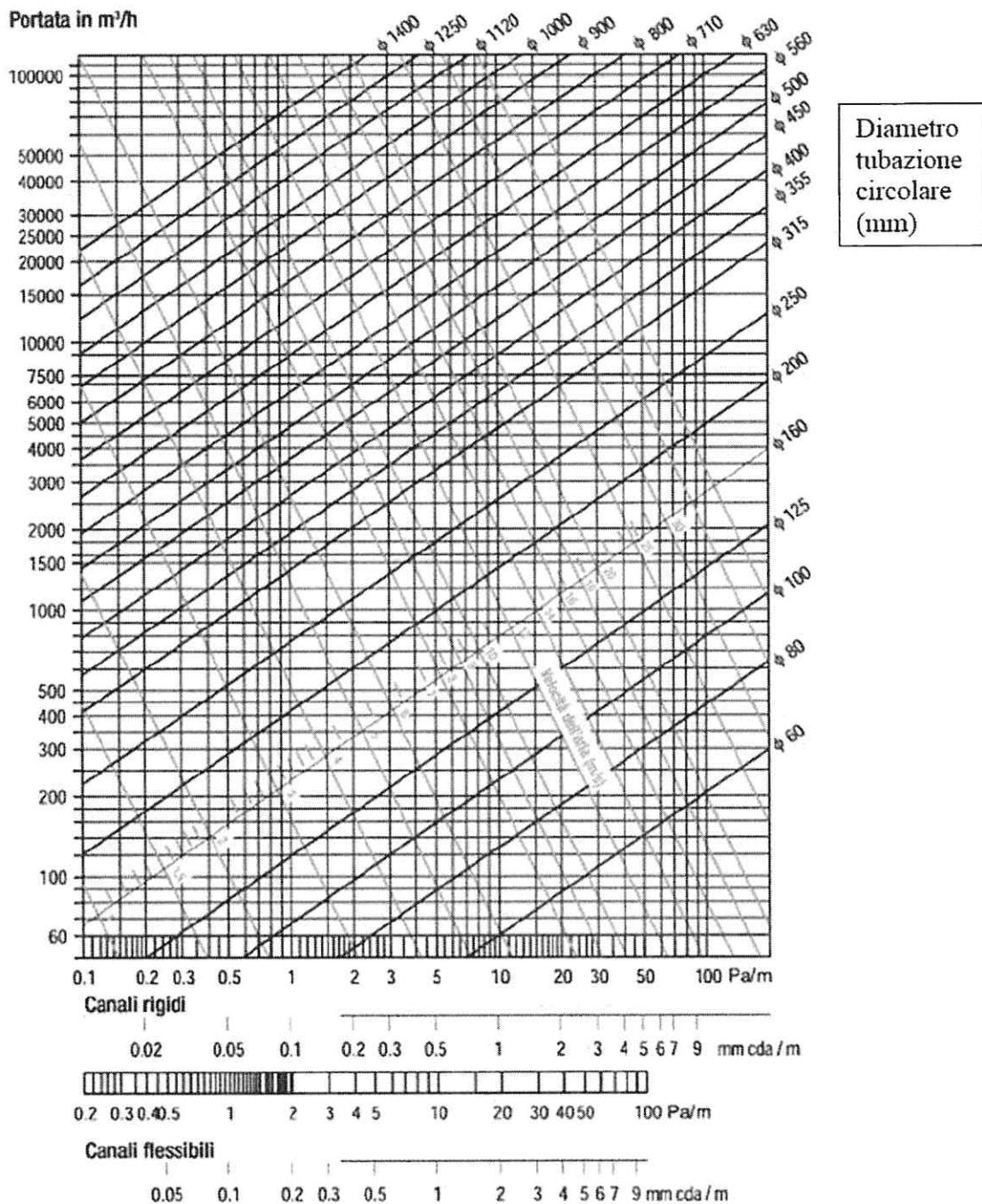
ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI INGEGNERE
 SECONDA SESSIONE 2019 – SEZIONE A
 SETTORE INDUSTRIALE
 PROVA PRATICA DI PROGETTAZIONE
 TEMA N. 10: MECCANICA – IMPIANTI

Fig. 2



ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI INGEGNERE
 SECONDA SESSIONE 2019 – SEZIONE A
 SETTORE INDUSTRIALE
 PROVA PRATICA DI PROGETTAZIONE
 TEMA N. 10: MECCANICA – IMPIANTI

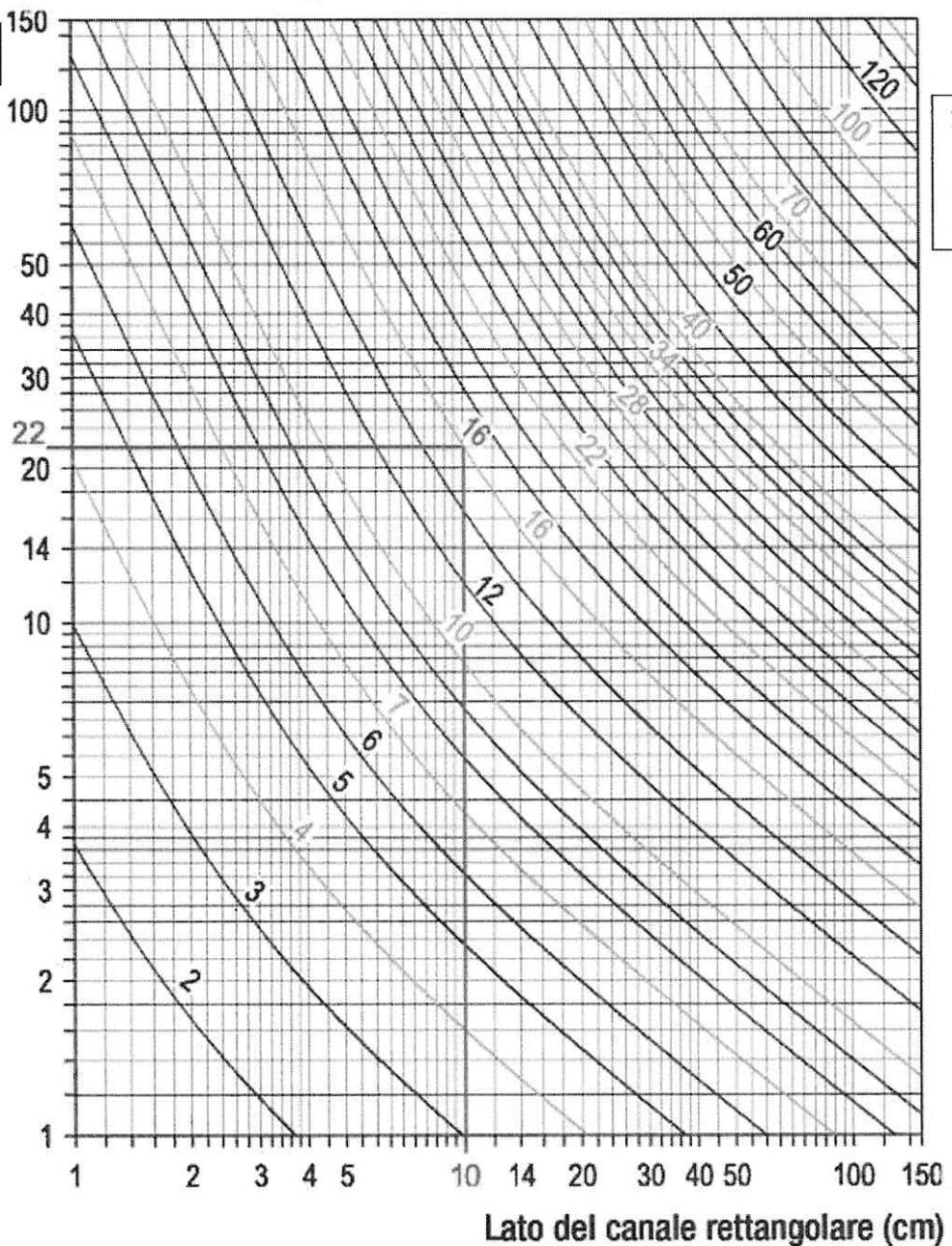
Fig. 3



ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI INGEGNERE
SECONDA SESSIONE 2019 – SEZIONE A
SETTORE INDUSTRIALE
PROVA PRATICA DI PROGETTAZIONE
TEMA N. 10: MECCANICA – IMPIANTI

Lato del canale rettangolare (cm)

Fig. 4



Diametro
tubazione
circolare
(cm)

Fl. M. M.

Adm

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI INGEGNERE

SECONDA SESSIONE 2019 – SEZIONE A

SETTORE INDUSTRIALE

PROVA PRATICA DI PROGETTAZIONE

TEMA N. 11: MECCANICA – MACCHINE

Il candidato consideri un motore a combustione interna a ciclo Diesel che ha un rapporto di compressione $r = 17$. La pressione e la temperatura di inizio compressione sono 1 bar e 300 K, rispettivamente. Il calore specifico fornito all'aria dalla sorgente calda è 1700 kJ/kg.

Si chiede di determinare:

- gli stati fisici (temperatura, pressione e volume specifico) in ogni punto del ciclo;
- l'efficienza del ciclo ideale η_{Diesel} , assumendo un rapporto di temperatura a pressione costante pari a $\tau' = 3.5$;
- il lavoro specifico prodotto durante il ciclo.

Si supponga che il ciclo Diesel così determinato coincida con il ciclo di indicatore all'interno dei cilindri di un motore Diesel di 4 cilindri e 2 litri di cilindrata totale. Questo motore gira a una velocità di 3500 rpm. Considerando un rendimento meccanico di 0.8 e un alesaggio dei cilindri di 86 mm, si chiede di determinare:

- la corsa;
- la velocità media dei pistoni;
- la potenza prodotta dal motore;
- la tonalità termica.



ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI INGEGNERE

SECONDA SESSIONE 2019 – SEZIONE A

SETTORE INDUSTRIALE

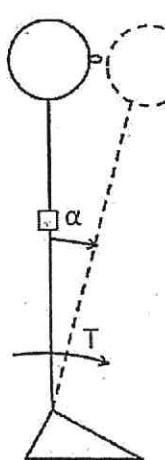
PROVA PRATICA DI PROGETTAZIONE

TEMA N. 12: BIOMEDICA

L'analisi del movimento umano è solitamente effettuata tramite strumenti di laboratorio quali pedane di forza e sistemi stereofotogrammetrici. Nonostante l'accuratezza e la precisione di questi strumenti l'utilizzo è limitato dal loro ingombro e costo. Per questo motivo, negli ultimi anni la ricerca relativa all'analisi del movimento ha visto fra i protagonisti i sensori indossabili, tra i quali accelerometri e giroscopi.

Parte I: Analisi tramite Sensori Inerziali

Si consideri un soggetto in postura eretta modellato come un pendolo che oscilla sul piano sagittale attorno all'asse di caviglia. Si vuole determinare l'angolo α del pendolo inverso rispetto alla verticale, usando uno o più sensori inerziali posizionati ad altezza d rispetto all'asse di caviglia.



- Si scelga il tipo di sensore/i da utilizzare e il loro orientamento. Si motivino le scelte progettuali e si scrivano le equazioni di uscita dal/i sensore/i.
- Supponendo di aver a disposizione unicamente l'uscita di un giroscopio con asse parallelo all'asse di caviglia in formato digitale, si descriva un algoritmo numerico per la stima dell'angolo α note le condizioni iniziali. Si discuta della sensibilità o della robustezza dell'algoritmo proposto rispetto a offset o derive del segnale.
- Per l'acquisizione del segnale di stima dell'inclinazione posturale si hanno a disposizione tre tipi di convertitori analogico/digitale a 8, 12 e 16 bit rispettivamente. Si chiede al candidato di determinare, motivando la risposta, quale sia il convertitore più adatto fra quelli proposti in modo da ottenere un errore di quantizzazione minore dello 0.2% del fondoscala.
- Utilizzando l'informazione dell'angolo α , descrivere il funzionamento di un ipotetico sistema di biofeedback per la stabilizzazione posturale in soggetti con deficit dei sistemi sensoriali preposti al controllo dell'equilibrio.

Parte II: Analisi e condizionamento EMG

Si immagini ora di misurare il segnale elettromiografico (EMG) tramite elettrodi cutanei posti sui muscoli antagonisti gastrocnemio e tibiale anteriore. Il segnale elettromiografico (EMG) viene rilevato mediante l'applicazione di una coppia di elettrodi sulla cute sovrastante il muscolo in esame. Gli elettrodi sono collegati all'ingresso di un blocco di condizionamento costituito da un preamplificatore, un secondo stadio di amplificazione e un filtro come indicato in **Fig. 1**.

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI INGEGNERE
 SECONDA SESSIONE 2019 – SEZIONE A
 SETTORE INDUSTRIALE
 PROVA PRATICA DI PROGETTAZIONE
 TEMA N. 12: BIOMEDICA

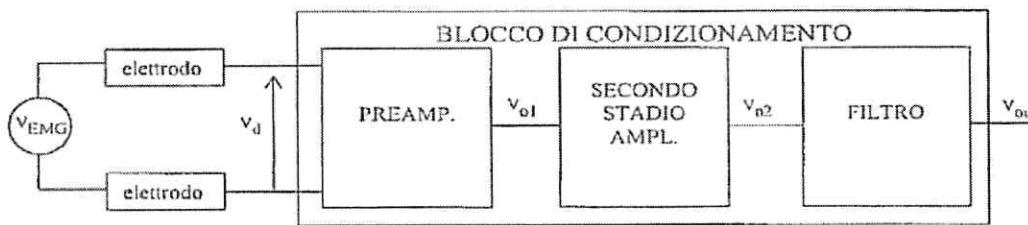


Fig. 1

a) Il candidato descriva gli istanti di attivazione dei muscoli gastrocnemio a tibiale anteriore durante l'oscillazione lungo il piano sagittale (task motorio **Parte I**). In riferimento al precedente punto 1-d., indicare come potrebbero essere utilizzati i segnali EMG dei due muscoli antagonisti.

1) Collegamento elettrodi-preamplificatore

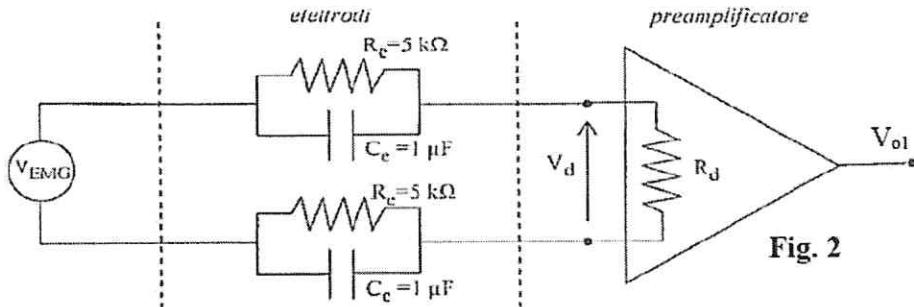


Fig. 2

Si faccia riferimento alla Fig. 2 che mostra il collegamento tra elettrodi e preamplificatore.

b) Scrivere l'espressione della funzione di trasferimento $G(s) = \frac{V_d(s)}{V_{EMG}(s)}$ mettendo in evidenza poli e zeri.
 c) Determinare il minimo valore della resistenza di ingresso differenziale R_d del preamplificatore affinché anche nel caso peggiore l'errore di interconnessione sia inferiore al 1%.

Trascurando ora l'errore di interconnessione, si assuma che il segnale EMG abbia un'ampiezza pari a 2 mV. Ad esso è sovrapposto un disturbo di modo comune V_{cm} pari a 0.2 V.

d) Determinare il valore del rapporto segnale/disturbo in ingresso S_i / D_i .
 e) Determinare il valore (in dB) del CMRR del preamplificatore al fine di avere in uscita un rapporto segnale disturbo S_u / D_u pari a 100:1.
 f) Sapendo che l'ampiezza del segnale in uscita S_u ($= V_{o1}$) è pari a 0.4 V, determinare il valore del guadagno differenziale A_d e il valore del guadagno di modo comune A_{cm} del preamplificatore.

Al Mw

Amav

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI INGEGNERE
 SECONDA SESSIONE 2019 – SEZIONE A
 SETTORE INDUSTRIALE
 PROVA PRATICA DI PROGETTAZIONE
 TEMA N. 12: BIOMEDICA

2) Preamplificatore per strumentazione

Il preamplificatore per strumentazione è realizzato secondo il classico schema a tre operazionali (Fig. 3). In uscita, si consideri solo il segnale utile $S_u = V_{o1}$ e si trascuri il disturbo.

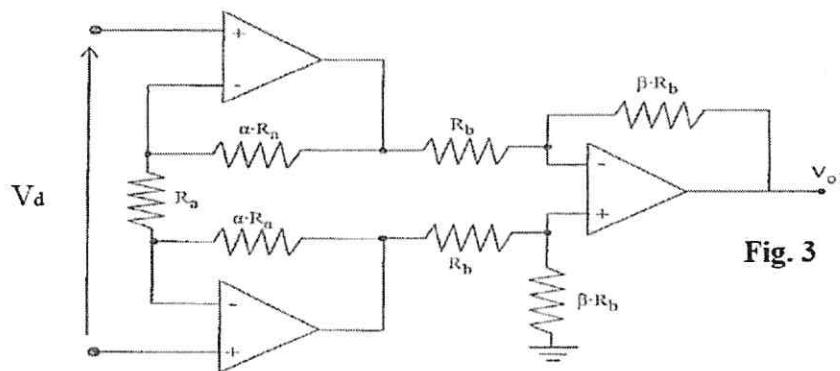


Fig. 3

- g) Scrivere l'espressione del guadagno differenziale A_d del preamplificatore di Fig. 3.
- h) Determinare i valori di α e β affinché il guadagno differenziale del preamplificatore abbia valore (in modulo) pari a quello calcolato al punto f). Imporre un guadagno dello stadio di separazione pari al 50% di quello dello stadio differenziale.

3) Secondo stadio di amplificazione

All'uscita del preamplificatore viene collegato un secondo stadio di amplificazione, realizzato mediante il circuito indicato in Fig. 4.

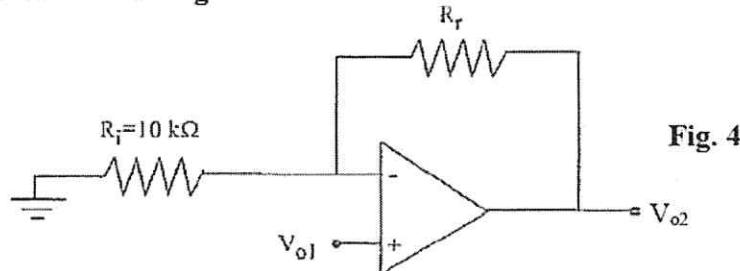


Fig. 4

- h) Scrivere l'espressione del guadagno $G = \frac{V_{o2}}{V_{o1}}$ del circuito di Fig. 4.
- i) Determinare il valore della resistenza R_f affinché il guadagno complessivo del preamplificatore e del secondo stadio di amplificazione sia pari (in valore assoluto) a 1000.

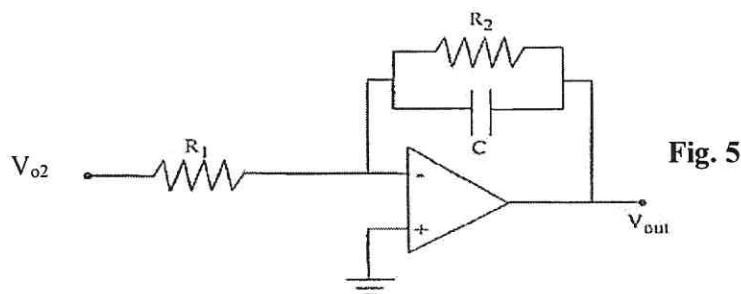
Le Myhr

Ab/AN

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI INGEGNERE
SECONDA SESSIONE 2019 – SEZIONE A
SETTORE INDUSTRIALE
PROVA PRATICA DI PROGETTAZIONE
TEMA N. 12: BIOMEDICA

4) Filtro

Per attenuare i disturbi a frequenza superiore a quella del segnale, viene utilizzato il circuito riportato in **Fig. 5**.



- l) Determinare la funzione di trasferimento $G_f(s) = \frac{V_{out}}{V_{o2}}$ del circuito di **Fig. 5**
- m) Nel circuito di **Fig. 5**, si assuma $R_1 = 16 \text{ k}\Omega$. Dimensionare la resistenza R_2 e la capacità C al fine di avere una frequenza di taglio pari a 1 kHz e guadagno unitario in banda passante.
- n) Considerando puramente statici gli stadi di amplificazione, il candidato determini il guadagno totale $G_{tot}(s) = \frac{V_{out}}{V_d}$.

[Handwritten signature]

[Handwritten signature]

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI INGEGNERE

SECONDA SESSIONE 2019 – SEZIONE A

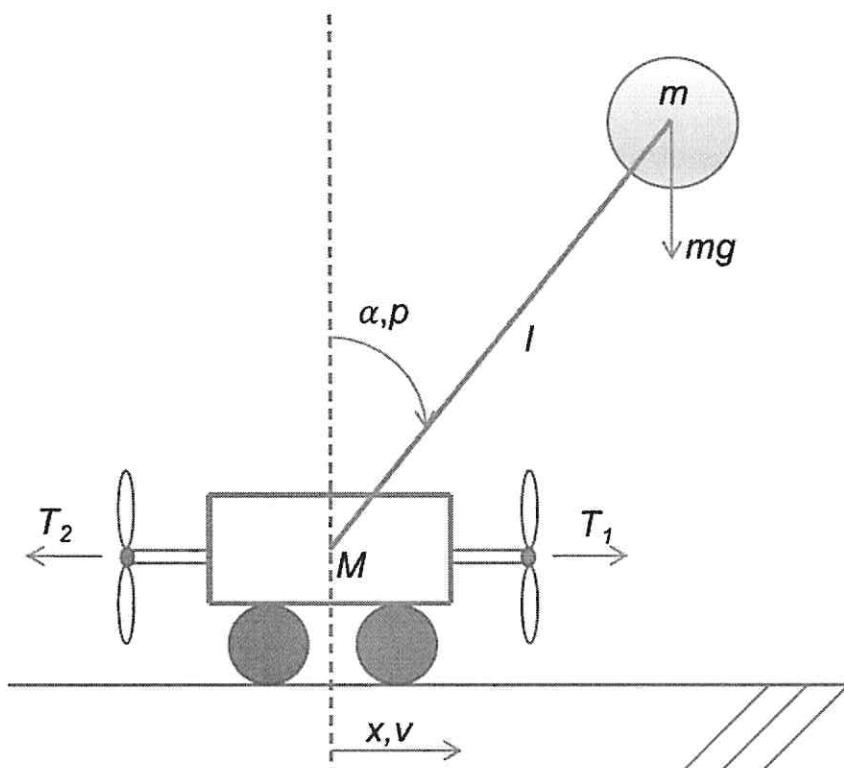
SETTORE INDUSTRIALE

PROVA PRATICA DI PROGETTAZIONE

TEMA N. 13: AUTOMAZIONE

Esercizio 1

Si consideri il sistema rappresentato nella figura sottostante, costituito da un pendolo inverso fissato su un carrello, attuato per mezzo di due eliche con motori in corrente continua.



Si descriva il sistema in esame tramite rappresentazione nello spazio degli stati, considerando in particolare la seguente notazione: configurazione angolare del pendolo α , velocità angolare del pendolo p , thrust (forze di spinta) T_1, T_2 , velocità angolare dei due motori ω_1, ω_2 , massa del carrello M , massa del punto materiale all'estremità del pendolo m , lunghezza dell'asta del pendolo l e accelerazione gravitazionale g .

Per la corretta generazione del thrust delle eliche, si richiede che le velocità angolari ω_1, ω_2 siano positive durante il funzionamento del sistema. Inoltre, si assume per semplicità che i motori siano opportunamente controllati in velocità (dunque si considerano in questo esercizio le velocità come azioni di controllo).

Siano infine le forze di spinta delle eliche date da $T_1 = \delta \omega_1^2, T_2 = \delta \omega_2^2$, con δ una costante positiva. Si suggerisce di derivare il modello tramite la lagrangiana $L = K - U$, dove K è l'energia cinetica totale, mentre U è l'energia potenziale totale.

N. M. M.

A. M.

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI INGEGNERE
SECONDA SESSIONE 2019 – SEZIONE A
SETTORE INDUSTRIALE
PROVA PRATICA DI PROGETTAZIONE
TEMA N. 13: AUTOMAZIONE

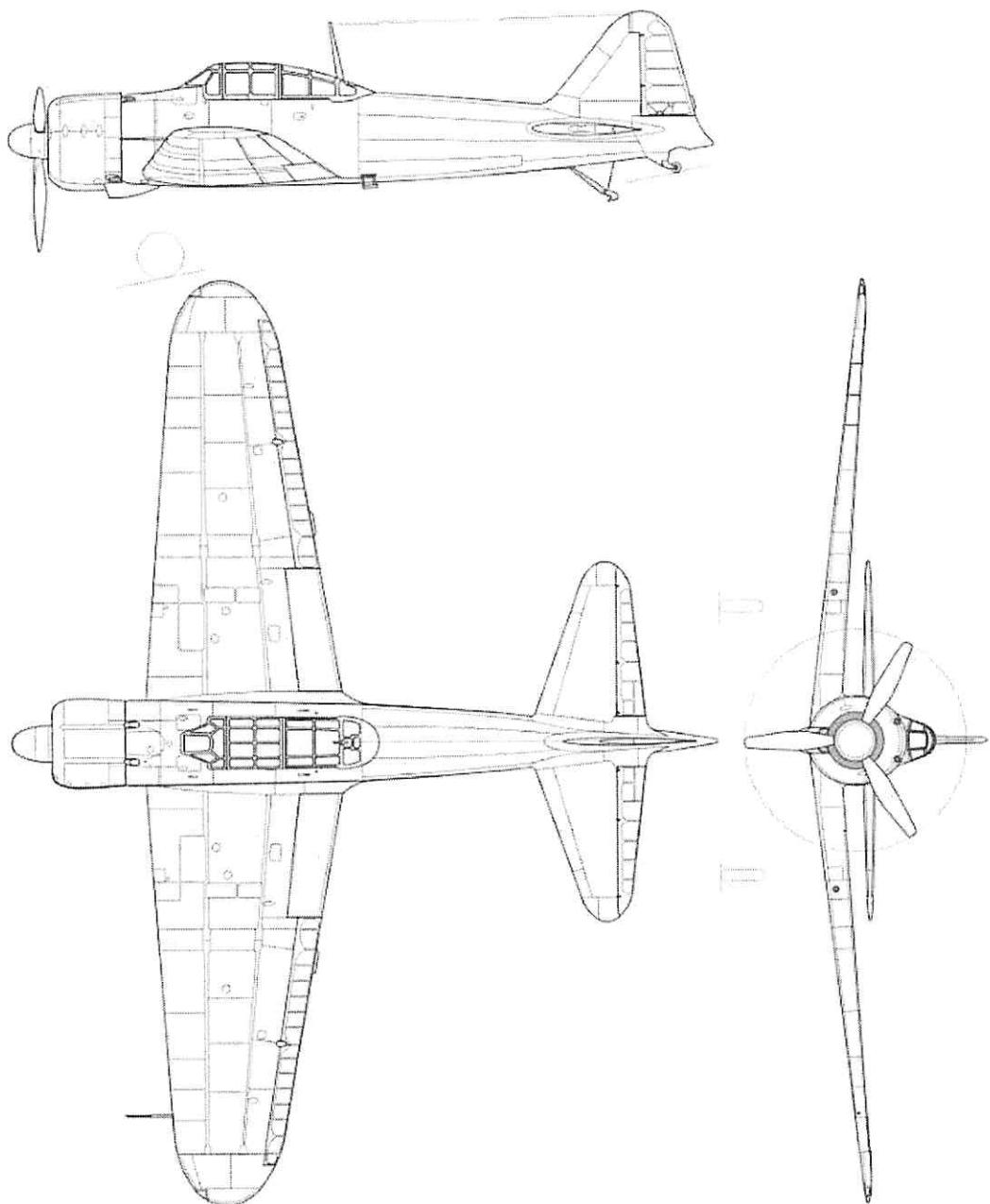
Con riferimento al modello così ricavato, il candidato presenti, argomentando opportunamente, le risposte ai seguenti quesiti, considerando come valori numerici delle costanti di interesse $l = 1 \text{ m}$, $m = 1/10 \text{ kg}$, $M = 5/10 \text{ kg}$, $g = 10 \text{ m/s}^2$, $\delta = 5/20 \text{ Ns}^2/\text{rad}^2$.

1. Si ricavino il punto di equilibrio $(x^*, v^*, \alpha^*, p^*)$ e le azioni forzanti (ω_1^*, ω_2^*) corrispondenti al punto di lavoro $\alpha^* = 0$.
2. Da questo punto in avanti, si consideri $\omega_2 = 1 \text{ rad/s}$ come input esogeno sul quale non si ha controllo. Si ricavi il sistema linearizzato nel punto di equilibrio di cui sopra. Per il sistema linearizzato si usi la notazione $z = (\tilde{x}, \tilde{v}, \tilde{\alpha}, \tilde{p})$, con input $\tilde{\omega}_1$. Si valutino inoltre le proprietà di stabilità del punto di equilibrio.
3. Si compia lo studio di raggiungibilità del sistema linearizzato e, se possibile, si progetti un controllore state-feedback con guadagno K tale che il sistema linearizzato in anello chiuso abbia autovalori in $-1, -2, -3, -4$.
4. Supponendo ora che solo x sia misurabile, si compia lo studio di osservabilità del sistema linearizzato considerando come uscita $Cz = \tilde{x}$ e, se possibile, si progetti un osservatore di Luenberger con guadagno L tale che il sistema “errore di stima” abbia gli autovalori in $-1, -2, -3, -4$.
5. Si rappresenti lo schema a blocchi complessivo del sistema nonlineare con controllore e osservatore opportunamente indicati. Si commenti inoltre sotto quali assunzioni il sistema di controllo complessivo progettato funzioni correttamente. Si propongano infine scelte di design alternative per migliorare le performance.



ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI INGEGNERE
SECONDA SESSIONE 2019 – SEZIONE A
SETTORE INDUSTRIALE
PROVA PRATICA DI PROGETTAZIONE
TEMA N. 14: AEROSPAZIALE

Si consideri l'aeromobile Mitsubishi A6M2 Zero, caccia leggero da guerra in dotazione presso il servizio aeronautico della Marina imperiale giapponese, dal 1940 al 1945 e progettato da Jirō Horikoshi.



U. Mazzoni

1 di 4

A. Mazzoni

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI INGEGNERE
SECONDA SESSIONE 2019 – SEZIONE A
SETTORE INDUSTRIALE
PROVA PRATICA DI PROGETTAZIONE
TEMA N. 14: AEROSPAZIALE

L'aeromobile illustrato venne realizzato in molte sue parti con una lega di alluminio innovativa per l'epoca, che permise al Mitsubishi A6M2 Zero di essere, per il primo periodo della Seconda guerra mondiale, il miglior caccia in stanza su una portaerei. Tale lega, chiamata Duralluminio o Dural (oggi individuabile nel gruppo AA2024), aveva le seguenti caratteristiche meccaniche:

- Resistenza ultima a trazione 469 MPa
- Snervamento a trazione 324 MPa
- Modulo di elasticità 73.1 GPa
- Modulo di Poisson 0.33

Le caratteristiche principali di tale velivolo sono:

- Ala trapezia
- Lunghezza 9.06 m
- Apertura alare 12 m
- Altezza 2.92 m
- Superficie alare 22.44 m²
- Carico alare 107.4 kg/m²
- Allungamento alare 6.4
- Rapporto di rastremazione 0.5
- Peso a vuoto 1680 kg
- Peso a pieno carico 2410 kg
- Motore: radiale Nakajima Sakae 21
- Potenza 940 CV
- Velocità massima 533 km/h
- Velocità di crociera 400 km/h
- Autonomia con serbatoi sganciabili 3110 km
- Quota massima 10300 m
- Armamento: 2 mitragliatrici Type 97 calibro 7.7, 2 cannoni Type 99 calibro 20, 2 bombe da 60kg
- Coefficiente di portanza massimo positivo del velivolo completo: $C_{L\max}^+ = 2.0$
- Coefficiente di portanza massimo negativo del velivolo completo: $C_{L\max}^- = -0.7$
- Fattore di carico massimo positivo: $n_{\max}^+ = 4.1$
- Fattore di carico massimo negativo: $n_{\max}^- = -1.8$

Il candidato risponda/risolva i seguenti quesiti argomentando dove opportuno le scelte fatte:

1. Si disegni il diagramma di manovra.
2. Si ipotizzi che la seguente figura mostri la sezione alare in corrispondenza dell'attacco degli alettoni del velivolo suddetto. Lo schema cinematico dell'alettone è costituito da un sistema

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI INGEGNERE
 SECONDA SESSIONE 2019 – SEZIONE A
 SETTORE INDUSTRIALE
 PROVA PRATICA DI PROGETTAZIONE
 TEMA N. 14: AEROSPAZIALE

Utilizzando le condizioni di carico descritte e le caratteristiche relative alla sezione ridotta a semiguscio, indicate nelle tabelle 1 e 2, si calcolino, inoltre, i flussi di taglio nei pannelli del cassone resistente. Si consideri il sistema di riferimento con assi paralleli agli assi X e Y e origine nel baricentro della struttura, come sistema principale d'inerzia.

Tabella 1. Caratteristiche correnti

Corrente	Area [mm ²]	X [mm]	Y [mm]
1	350	1170	240
2	340	585	340
3	670	0	320
4	670	0	0
5	340	585	0
6	350	1170	0

Tabella 2. Caratteristiche pannelli

Pannello	Lunghezza [mm]	Spessore [mm]	Area sottesa dal pannello i-esimo rispetto al punto 4 Ω_{i4} [mm ²]
1-2	585	0.8	99.45×10^3
2-3	585	0.8	87.75×10^3
3-4	320	1.2	0
3-4 _{curvo}	810	0.8	149.33×10^3
4-5	585	0.8	0
5-6	585	0.8	0
6-1	240	1.2	140.40×10^3

3. Si supponga che il velivolo compia un atterraggio seguendo una traiettoria inclinata di 5° rispetto al piano orizzontale e con una velocità di avvicinamento pari a 1.4 volte quella di stallo. Si calcoli la componente di tale velocità che concorre allo schiacciamento degli pneumatici.

Supponendo inoltre un fattore di carico massimo all'atterraggio $n_{\max \text{ att}}=3$ e che la portanza nel momento dell'atterraggio sia pari al 70% del peso massimo, si calcoli la reazione massima del suolo utilizzando lo schema di carrello semplificato (carrello schematizzato con una molla) in funzione della rigidezza k .