



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BRESCIA

ESAME DI STATO DI ABILITAZIONE ALL'ESERCIZIO DELLA PROFESSIONE DI INGEGNERE
(Lauree Specialistiche D.M. 509/99 - Lauree Magistrali D.M. 270/04 - Lauree Vecchio Ordinamento)

SEZIONE A - Seconda sessione 2015

PRIMA PROVA SCRITTA DEL 18 NOVEMBRE 2015

SETTORE INDUSTRIALE

Tema n. 1:

Il candidato discuta il fenomeno della fatica nei materiali, evidenziando i principali fattori di influenza ed i trattamenti generalmente adottati per limitarne gli effetti. Si diano inoltre indicazioni su come considerare tale fenomeno nell'iter di dimensionamento/verifica di un elemento meccanico.

Tema n. 2:

Il candidato descriva i principali meccanismi di rafforzamento delle leghe metalliche e i processi industriali su di essi basati, spiegandone pregi e difetti ed eventualmente ricorrendo ad esempi pratici.

Tema n. 3:

Il candidato descriva nel dettaglio le diverse specifiche e i diversi componenti di uno schema di controllo per un processo industriale.

Tema n. 4:

Il candidato esponga una panoramica dei principi e degli strumenti impiegabili per il miglioramento delle prestazioni operative della produzione industriale. Il candidato faccia tra l'altro riferimento ai principi e agli strumenti della cosiddetta "produzione snella", quali il kaizen, il total productive maintenance, il just in time ed il kanban.



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BRESCIA

ESAME DI STATO DI ABILITAZIONE ALL'ESERCIZIO DELLA PROFESSIONE DI INGEGNERE
(Lauree Specialistiche D.M. 509/99 - Lauree Magistrali D.M. 270/04 - Lauree Vecchio Ordinamento)

SEZIONE A - Seconda sessione 2015

SECONDA PROVA SCRITTA DEL 26 NOVEMBRE 2015

SETTORE INDUSTRIALE

Classi di laurea appartenenti al settore:

LM/25 - Ingegneria dell'automazione;

LM/31 - Ingegneria gestionale;

LM/33 - Ingegneria meccanica.

Tema n. 1 (classe LM/33 - Ingegneria meccanica):

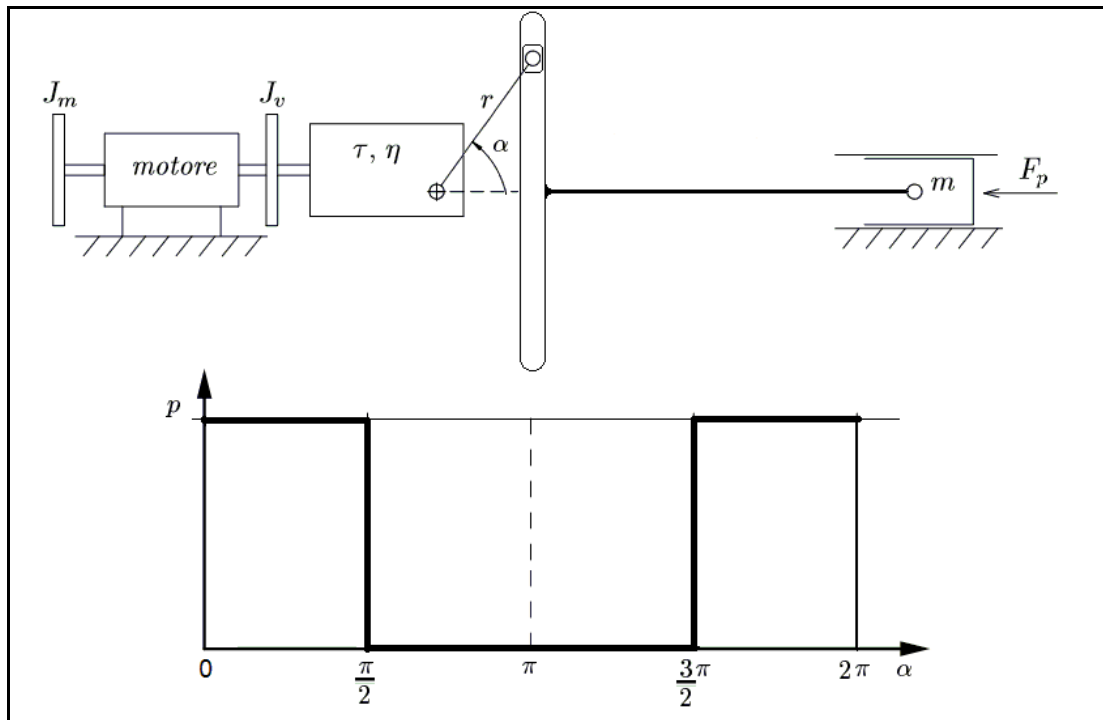
In figura è rappresentata schematicamente una punzonatrice automatica in cui un motore asincrono trifase, tramite una trasmissione, aziona un manovellismo a croce al fine di imprimere una forza F_p al punzone di formatura. Tale forza è di tipo ciclico e dipende dalla pressione p agente sulla testa del punzone il cui andamento ideale è riportato nel diagramma sottostante in funzione della rotazione α dell'albero di manovella. Il candidato descriva il significato di funzionamento di una macchina in regime periodico e, adottando la simbologia di seguito riportata (si considerino trascurabili masse e inerzie di glifo e manovella e si introducano ulteriori simboli per indicare eventuali grandezze non già rappresentate), svolga i punti di seguito elencati.

- Determinare la velocità media ω_m dell'albero motore e la coppia motrice media C_m tale da garantire il funzionamento della macchina.
- Si ricavi l'equazione di moto del sistema come espressione analitica dell'accelerazione angolare dell'albero motore.
- Esporre la procedura per determinare un valore di massima dell'inerzia volanica J_v tale da mantenere l'irregolarità periodica inferiore ad un valore limite predefinito (in tale contesto, per semplicità, si trascurino le altre masse ed inerzie in movimento).

Simbologia da utilizzare:

r	lunghezza della manovella
α	rotazione angolare manovella
D	diametro della testa del punzone
N_p	cadenza produttiva (numero di pezzi prodotti nell'unità di tempo)
ω_m	velocità media dell'albero motore
C_m	coppia motrice media
τ	rapporto di riduzione della trasmissione
η	rendimento della trasmissione
J_m	inerzia dell'albero motore
J_v	inerzia del volano

m massa del punzone
 p pressione massima di punzonatura
 i_{lim} limite massimo irregolarità periodica



Tema n. 2 (classe LM/33 - Ingegneria meccanica e classe LM/31 – Ingegneria gestionale):

Il candidato rediga una relazione di carattere generale per il progetto di massima di un forno elettrico trifase per la produzione di acciaio, illustrando le componenti principali del forno e i criteri utilizzati nel dimensionamento delle sue varie parti, comprendendo nella trattazione anche l'impianto di captazione e trattamento dei fumi.

Tema n. 3 (classe LM/25 – Ingegneria dell'automazione):

Il candidato presenti i diversi schemi di controllo applicati in ambito industriale per sistemi SISO e MIMO, con particolare riferimento agli schemi basati su controllori industriali standard.

Tema n. 4 (classe LM/31 – Ingegneria gestionale e classe LM/33 - Ingegneria meccanica):

Con riferimento ai rischi per la salute e la sicurezza dei lavoratori derivanti dall'esposizione ad ambienti termici severi caldi, il candidato:

- faccia alcuni esempi di ambienti lavorativi nei quali tipicamente ci si può attendere la presenza dei rischi in questione,
- identifichi e descriva i riferimenti legislativi per la loro valutazione,
- descriva i fattori dai quali essi dipendono,
- descriva le misure che è possibile adottare per la loro riduzione.

Il candidato definisca inoltre una procedura operativa per l'organizzazione delle attività necessarie alla valutazione dei rischi da esposizione ad ambienti termici severi caldi in un'azienda con un numero elevato di lavoratori che svolgono diverse mansioni in diversi uffici e/o reparti.



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BRESCIA

ESAME DI STATO DI ABILITAZIONE ALL'ESERCIZIO DELLA PROFESSIONE DI INGEGNERE
(Lauree Specialistiche D.M. 509/99 - Lauree Magistrali D.M. 270/04 - Lauree Vecchio Ordinamento)

SEZIONE A - Seconda sessione 2015

PROVA PRATICA DI PROGETTAZIONE DEL 19 GENNAIO 2016

SETTORE INDUSTRIALE

Classi di laurea appartenenti al settore:

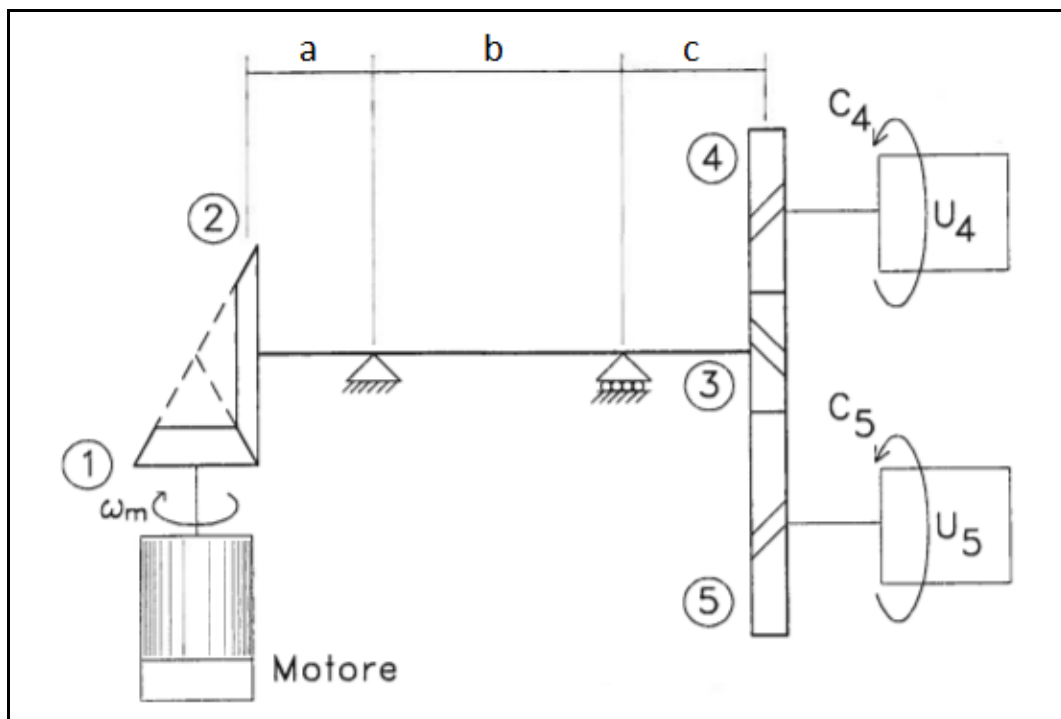
LM/25 - Ingegneria dell'automazione;

LM/31 - Ingegneria gestionale;

LM/33 - Ingegneria meccanica.

Tema n. 1 (classe LM/33 - Ingegneria meccanica e classe LM/25 - Ingegneria dell'automazione):

Il meccanismo rappresentato schematicamente in figura, è composto da un motore (rotante a velocità angolare ω_m) che, attraverso una coppia di ruote dentate coniche a denti dritti (1 e 2), mette in rotazione un albero su cui è calettata in estremità una ruota dentata (3) a denti elicoidali che ingrana con altre due ruote dentate a denti elicoidali (4 e 5) in asse con due utilizzatori U_4 e U_5 che assorbono le coppie C_4 e C_5 .



Si richiede:

- 1) il calcolo della coppia motrice e della potenza erogata dal motore;
- 2) il calcolo delle spinte agenti sulle ruote dentate;
- 3) il calcolo delle reazioni vincolari sui cuscinetti;
- 4) il tracciamento dei diagrammi di sollecitazione a cui è soggetto l'albero intermedio (ovvero quello su cui sono calettate le ruote 2 e 3);
- 5) la verifica di resistenza dell'albero intermedio nella sezione più sollecitata;
- 6) il dimensionamento dell'albero intermedio qualora la verifica al punto precedente non dia esito positivo;
- 7) la scelta dei cuscinetti su cui è montato l'albero intermedio.

Dati

- Velocità albero motore $\omega_m = 1000$ giri/min
- Coppia di ruote coniche 1-2
 - modulo medio $m_{m12} = 5$ mm
 - numero denti ruota 1 $z_1 = 17$
 - numero denti ruota 2 $z_2 = 30$
 - angolo di pressione $\vartheta = 20^\circ$
- Coppia di ruote cilindriche 3-4 e 3-5
 - modulo normale $m_{n345} = 7$ mm
 - numero denti ruota 3 $z_3 = 19$
 - numero denti ruota 4 $z_4 = 40$
 - numero denti ruota 5 $z_5 = 70$
 - angolo di pressione normale $\vartheta_n = 20^\circ$
 - angolo di inclinazione dell'elica $\beta = 15^\circ$
- Coppie resistenti
 - utilizzatore 4 $C_4 = 500$ Nm
 - utilizzatore 5 $C_5 = 1000$ Nm
- Dati albero intermedio
 - sporgenza ruota conica 2 $a = 100$ mm
 - distanza fra i cuscinetti $b = 200$ mm
 - sporgenza ruota cilindrica 3 $c = 100$ mm
 - diametro $d = 40$ mm
 - tipo di materiale Fe 410
 - carico unitario di snervamento $R_Y = 250$ MPa
 - coefficiente di intaglio a fatica $k_f = 1.5$
 - coefficienti adimensionali correttivi $b_2 = 0.9$
 - $b_3 = 0.9$

Nella trattazione si faccia riferimento alla simbologia sopra indicata e si introducano opportunamente ulteriori simboli e valori per eventuali grandezze non già specificate.

Tema n. 2 (classe LM/33 - Ingegneria meccanica e classe LM/31 – Ingegneria Gestionale):

Da un forno elettrico ogni 35 minuti vengono spillati nella siviera 80 ton di acciaio liquido a 1600°C con la seguente composizione chimica:

%C	%Si	%Mn	%P	%S	%O	%Fe
0.05	0.08	0.11	0.020	0.030	0.0480	resto

- Disegnare uno schizzo quotato della siviera indicando lo spessore e il tipo di refrattari impiegati.
- Ipotizzando che l'insufflazione di gas inerte avvenga dal fondo della siviera determinarne la portata per ottenere una potenza di stirring pari a 70 W/ton.
- Determinare la composizione chimica della scoria per avere un coefficiente di ripartizione dello zolfo L_s pari a 300 (il diagramma $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-MgO}$ semplificato è riportato in Tab. 1).
- Determinare quanti kg di scoria sono necessari per ridurre a 0.005% il tenore dello zolfo nell'acciaio facendo riferimento al diagramma di Riboud-Vasse (vedi Tab. 2).
- L'acciaio viene disossidato aggiungendo al bagno 150 kg di alluminio. Considerando le modalità di aggiunta e le rese dell'alluminio, calcolare la quantità di ossigeno nel bagno all'equilibrio (per il calcolo è possibile trascurare i coefficienti di interazione).
- Applicando il modello di Engh e Lindskog verificare se il tempo di stirring a disposizione è sufficiente a raggiungere l'equilibrio del processo di disossidazione.
- Determinare la percentuale di fosforo nel bagno al termine dell'affinazione in siviera.
- Calcolare le quantità di ferroleghie necessarie per portare l'acciaio alla composizione finale (considerare le rese delle ferroleghie):

%C	%Si	%Mn	%Cr	%P	%S	%O	%Al	%Fe
0.30	0.50	1.2	0.5	-	0.005	-	-	Resto

- Stimare la quantità di energia elettrica che bisogna fornire al bagno per compensare le cadute termiche dovute all'aggiunta dei flussanti usati per realizzare la scoria sintetica e all'aggiunta delle ferroleghie, oltre che per surriscaldare l'acciaio fino a 1650°C.

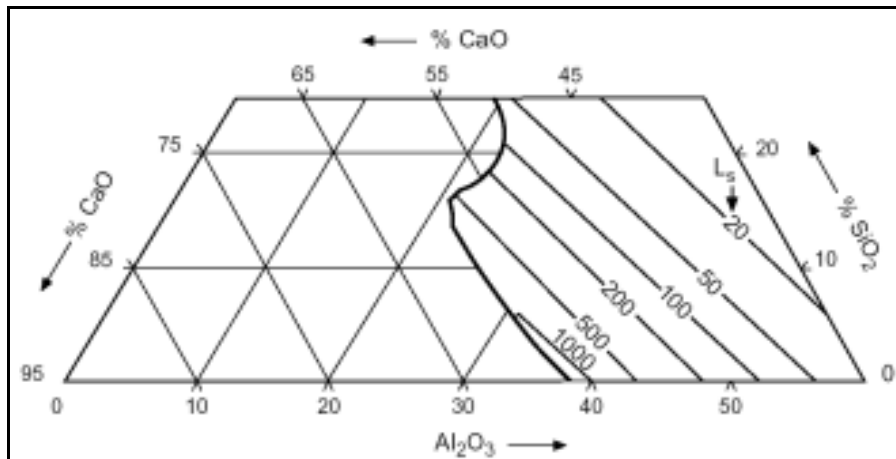
Si ipotizzi inoltre che l'acciaieria disponga di una colata continua a 2 vie con lingottiera curva e raggio di curvatura di 6 metri per il colaggio di slebi con spessore di 160 mm. La velocità di colaggio è compresa nell'intervallo di 1-1.5 m/min.

- Determinare la gamma produttiva della colata continua e le lunghezze metallurgiche dei semilavorati.
- Determinare le deformazioni subite dalla linea al momento del raddrizzamento per il caso della massima velocità di colaggio.
- Determinare la deformazione a bulging (costante di deformazione $CB = 38000$) e la deformazione di misalignment nell'ipotesi di un errore di allineamento dei rulli pari a 1 mm e di una distanza tra i rulli pari a 350 mm.

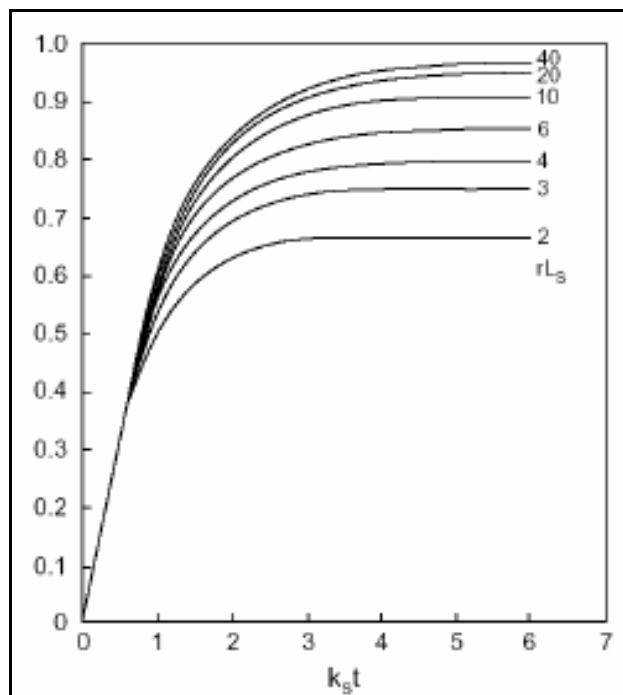
- Verificare se durante il raddrizzamento, la deformazione percentuale complessiva supera nelle zone più deboli del materiale il valore critico pari a 1%.

- Disegnare uno schizzo quotato della macchina di colata continua.

Per quanto riguarda eventuali dati non specificatamente indicati, il candidato faccia le opportune assunzioni giustificandole.



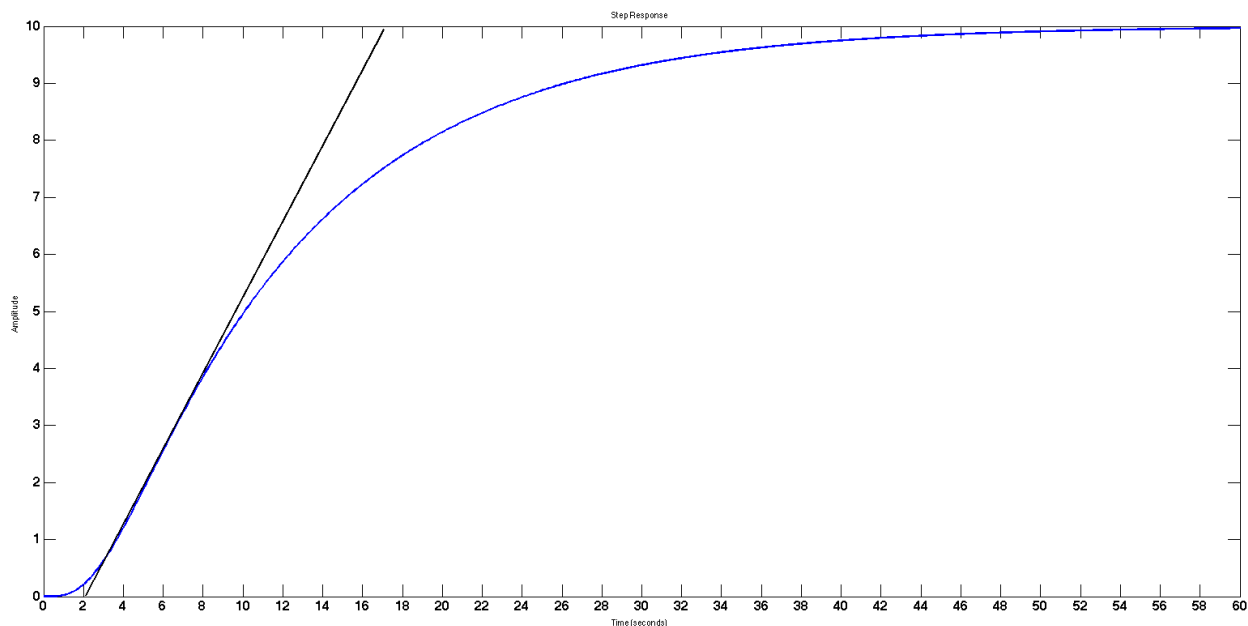
Tab. 1



Tab. 2

Tema n. 3 (classe LM/25 - Ingegneria dell'automazione):

Un processo produttivo prevede per una sua parte un sistema la cui relazione tra ingresso e uscita è rappresentata dalla seguente risposta ad uno scalino unitario:



Parte A: Controllo Analogico

- A1. Approssimare il processo con un sistema del primo ordine più ritardo e indicare la relativa funzione di trasferimento.
- A2. Presentare e progettare un controllore PI per il controllo del processo, basato sulla taratura di Ziegler-Nichols.
- A3. Calcolare analiticamente la pulsazione di taglio e il margine di fase del sistema controllato.
- A4. Valutare le prestazioni del controllore progettato nel punto (A2), evidenziando in particolare:
 - a. Sovraelongazione massima percentuale
 - b. Tempo di raggiungimento del valore di regime
 - c. Attenuazione a cui è soggetto un disturbo che arriva a pulsazione 300 rad/s
- A5. Presentare uno schema di controllo feedforward per l'inseguimento del setpoint del sistema indicandone vantaggi e svantaggi. Indicare il ruolo teorico dell'azione di feed-forward e del controllore in questo schema e le criticità nel suo progetto e utilizzo nel caso in esame.

Parte B: Controllo Digitale

- B1. Indicare le criticità del sistema di controllo digitale rispetto al sistema di controllo a tempo di continuo.
- B2. Supponendo di avere a disposizione un sensore per la misurazione della uscita del sistema con un tempo di campionamento pari a $T=0.2s$, progettare un controllore PI per il controllo del processo, basato sulla taratura di Ziegler-Nichols e discretizzandolo con il metodo delle differenze in avanti.
- B3. Valutare se il tempo di campionamento selezionato mantiene non instabile il controllore B2.
- B4. Calcolare la funzione di trasferimento della serie **ZOH-Sistema-Campionatore** per il sistema approssimato A1, eventualmente approssimando per eccesso l'effetto del ritardo.

- B5. Presentare il concetto di controllo deadbeat, indicandone modalità di progettazione, vantaggi e svantaggi.
- B6. Realizzare un **controllo dead-beat per il processo**, indicando il tempo di raggiungimento del valore di set-point.
- B7. Progettare un **controllo dead-beat ripple free per il processo**, indicando il tempo di raggiungimento del valore di set-point.
- B8. Progettare uno schema **di controllo feed-forward** per il controllo della posizione tale che l'andamento del sistema complessivo sia assimilabile ad un ritardo puro (di entità minima), e avente come controllore il controllore PI calcolato nel punto B2.
- B9. Presentare l'implementazione in pseudocodice del PI progettato al punto B2.

Tema n. 4 (classe LM/31 – Ingegneria Gestionale e classe LM/33 - Ingegneria meccanica):

Si consideri il caso di un'azienda che, come attività principale, progetta, produce e vende con il proprio marchio un prodotto che viene realizzato sia in una versione "standard" che in una versione personalizzata in funzione delle specifiche dei singoli clienti.

La produzione prevede l'approvvigionamento dei componenti e di alcuni sottogruppi pre-assemblati da parte di fornitori esterni, mentre l'assemblaggio finale è realizzato direttamente in azienda.

Attualmente, l'attività di assemblaggio è essenzialmente manuale ed il tempo standard, che considera anche le attività accessorie rispetto all'assemblaggio, come i controlli qualità e l'imballaggio del prodotto, è di 4,5 ore per il prodotto standard, mentre per il prodotto personalizzato è mediamente pari a 5,7 ore.

La programmazione commerciale prevede per i prossimi 12 mesi una domanda definita come illustrato nella tabella sottostante.

	Mese	Quantità prodotto standard	Quantità prodotto personalizzato
1	Febbraio	1'750	500
2	Marzo	2'400	600
3	Aprile	3'300	1'000
4	Maggio	3'700	900
5	Giugno	3'200	800
6	Luglio	2'700	800
7	Agosto	500	80
8	Settembre	1'200	500
9	Ottobre	1'600	600
10	Novembre	2'900	700
11	Dicembre	3'900	700
12	Gennaio	2'400	700

Si richiede di dimensionare la capacità produttiva necessaria, in termini di fabbisogno di addetti diretti, per l'attività di assemblaggio. Inoltre, considerando l'elevata variabilità della domanda, si richiede di valutare quale sia la strategia migliore per adeguare la capacità produttiva alle richieste del mercato, considerando le seguenti possibilità:

- l'impiego di lavoro straordinario da parte degli operatori assunti direttamente;
- la realizzazione dell'assemblaggio da parte di un fornitore esterno, per il solo prodotto standard;
- la consegna in ritardo dei prodotti ordinati;
- l'accumulo di scorte del prodotto standard a magazzino;
- un'ulteriore strategia definita dal candidato che combini due o più delle alternative sopra descritte o alternative diverse.

Si tenga conto che:

- il ritardo di consegna ha un costo stimabile in circa 150 € per ogni unità in ritardo. Per non compromettere la soddisfazione dei clienti, l'azienda vuole impegnarsi a limitare di norma il ritardo a non più di un mese;
- il costo orario della manodopera in ordinario è pari a 23,50 €, mentre quello della manodopera in straordinario è pari a 27,00 €, e l'impiego dello straordinario deve essere limitato a 12 ore mensili;
- il costo per l'assemblaggio del prodotto standard da parte del fornitore esterno è pari a 130 € per ogni unità di prodotto assemblata.

Si tenga inoltre conto che l'assemblaggio avviene solo su ordinazione e non viene gestito un magazzino di prodotti finiti, se non per il modello standard. Il costo di mantenimento a scorta è stimato essere pari a 85 € mensili per ogni unità a scorta.

Nell'affrontare il caso, si esplicitino chiaramente i criteri impiegati per la valutazione della migliore soluzione tra quelle suggerite e si facciano ipotesi ragionevoli su eventuali dati mancanti che fossero necessari.