



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI BRESCIA**  
**Facoltà di Ingegneria**

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 - Prima sessione 2012

**PRIMA PROVA SCRITTA DEL 19 GIUGNO 2012**

**SETTORE INDUSTRIALE**

**Tema n. 1:**

Si consideri il sistema di azionamento di un servomotore elettrico utilizzato in una macchina automatica (robot industriale, macchina transfer, ecc.). Il candidato descriva i componenti di tale sistema, soffermandosi in particolare sulle metodologie di pianificazione e controllo del moto e sui dispositivi meccanici, elettrici ed elettronici che consentono di gestire la movimentazione secondo le esigenze richieste dal processo produttivo e dalle normative di sicurezza.

**Tema n. 2:**

Nel percorso progettuale di un manufatto è necessario fare riferimento alle proprietà dei materiali, valutate con prove su provini/campioni. Il candidato discuta il problema della trasferibilità delle proprietà del materiale dal provino/campione al manufatto, facendo riferimento sia ad aspetti legati alla previsione del comportamento in esercizio del manufatto che ad aspetti relativi alla sua fabbricazione.

**Tema n. 3:**

Il candidato scelga un metodo di produzione dell'energia elettrica a partire da combustibile fossile e lo descriva con particolare riferimento all'efficienza energetica e ad eventuali problematiche di natura ambientale e di sicurezza.

**Tema n. 4:**

Per avere successo, un'impresa deve capire la natura della competizione nel settore in cui essa opera. Tale comprensione è indispensabile perché l'impresa possa costruire strategie capaci di rispondere alla struttura esistente del settore e di costruire un vantaggio competitivo.

Tra i modelli più diffusi per l'analisi dell'ambiente competitivo vi sono certamente il modello delle "cinque forze" di Porter e il modello del ciclo di vita del settore.

Descrivere tali modelli, discutendone i rispettivi punti di forza e di debolezza.



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI BRESCIA**  
**Facoltà di Ingegneria**

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)

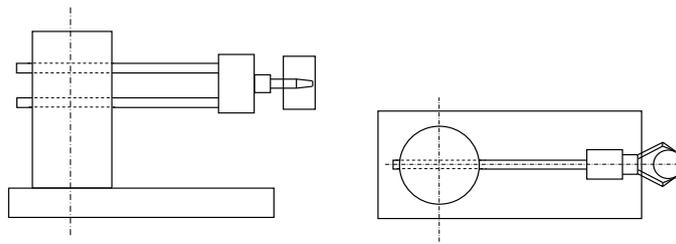
SEZIONE A - Prima sessione 2012

**SECONDA PROVA SCRITTA DEL 27 GIUGNO 2012**

**SETTORE INDUSTRIALE**

**classe di laurea: 36/S - Ingegneria meccanica**

## Tema n. 1:



Si supponga di dover progettare un sistema automatizzato per la movimentazione di oggetti metallici.

Gli oggetti vengono prelevati da un piccolo robot (vedi figura) dotato di un braccio rotante equipaggiato con una pinza per l'afferraggio dei pezzi.

La rotazione richiesta per il braccio è di  $90^\circ$ . Sono assegnati il tempo  $T$  della movimentazione (uguale per l'andata e il ritorno) ed il tempo di sosta  $T_s$ , durante il quale il braccio è fermo per consentire l'apertura e la chiusura della pinza. Sono inoltre note le caratteristiche geometriche ed i parametri inerziali del sistema.

Si risponda ad almeno 5 delle seguenti domande:

1. Tracciare, a livello qualitativo, i diagrammi di spostamento, velocità e accelerazione, relativi al moto del braccio rotante. Per semplicità si ipotizzi una movimentazione semplificata costituita da una fase ad accelerazione costante, una fase a velocità costante ed una fase a decelerazione costante, tutte di durata pari a  $T/3$ .
2. Selezionare un tipo di motore elettrico idoneo per la movimentazione del braccio rotante, scegliendolo fra le seguenti categorie: asincrono trifase, in corrente continua, "brushless", passo-passo. Motivare la scelta effettuata sulla base delle esigenze funzionali, escludendo il fattore costo.
3. Scegliere un tipo di riduttore da interporre fra il motore e il braccio rotante.
4. Indicare i criteri per il dimensionamento del motore (coppia max, velocità max., potenza) e per la scelta del rapporto di trasmissione.
5. Individuare i trasduttori da montare sull'asse del motore per effettuare il controllo del moto, descrivendone brevemente il principio di funzionamento.
6. Individuare i dispositivi hardware e software necessari per implementare il sistema di controllo del movimento e tracciare uno schema funzionale semplificato di tale sistema.
7. Indicare quali modifiche potranno essere effettuate ai diagrammi delle leggi di moto per garantire un'adeguata "dolcezza" di funzionamento e ridurre l'insorgere di fenomeni vibratori (nel rispetto dei tempi di movimentazione richiesti).
8. Individuare quali dispositivi sono necessari per realizzare il comando di apertura/chiusura della pinza di afferraggio.
9. Elencare i dispositivi necessari per garantire la sicurezza dell'area di lavoro.

## Tema n. 2:

Il candidato descriva le principali metodologie di prova per lo studio del comportamento a frattura dei materiali.

## Tema n. 3:

Un'azienda, in seguito ad un processo industriale, dispone di una portata di vapore  $\dot{m}$  alla temperatura  $T$  (ipotizzate dal candidato). Il candidato è chiamato dall'azienda, in qualità di consulente, a proporre soluzioni per un eventuale utilizzo in chiave energetica del vapore. Il candidato prospetti all'azienda una o più soluzioni, mettendo in evidenza vantaggi e svantaggi dal punto di vista tecnico ed economico. Nella valutazione si tenga anche conto delle vigenti direttive europee (ad esempio PED).



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI BRESCIA**  
**Facoltà di Ingegneria**

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)

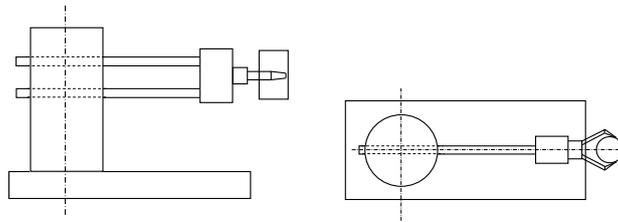
SEZIONE A - Prima sessione 2012

**SECONDA PROVA SCRITTA DEL 27 GIUGNO 2012**

**SETTORE INDUSTRIALE**

**classe di laurea: 29/S - Ingegneria dell'automazione**

## Tema n. 1:



Si supponga di dover progettare un sistema automatizzato per la movimentazione di oggetti metallici.

Gli oggetti vengono prelevati da un piccolo robot (vedi figura) dotato di un braccio rotante equipaggiato con una pinza per l'afferraggio dei pezzi.

La rotazione richiesta per il braccio è di  $90^\circ$ . Sono assegnati il tempo  $T$  della movimentazione (uguale per l'andata e il ritorno) ed il tempo di sosta  $T_s$ , durante il quale il braccio è fermo per consentire l'apertura e la chiusura della pinza. Sono inoltre note le caratteristiche geometriche ed i parametri inerziali del sistema.

Si risponda ad almeno 5 delle seguenti domande:

1. Tracciare, a livello qualitativo, i diagrammi di spostamento, velocità e accelerazione, relativi al moto del braccio rotante. Per semplicità si ipotizzi una movimentazione semplificata costituita da una fase ad accelerazione costante, una fase a velocità costante ed una fase a decelerazione costante, tutte di durata pari a  $T/3$ .
2. Selezionare un tipo di motore elettrico idoneo per la movimentazione del braccio rotante, scegliendolo fra le seguenti categorie: asincrono trifase, in corrente continua, "brushless", passo-passo. Motivare la scelta effettuata sulla base delle esigenze funzionali, escludendo il fattore costo.
3. Scegliere un tipo di riduttore da interporre fra il motore e il braccio rotante.
4. Indicare i criteri per il dimensionamento del motore (coppia max, velocità max., potenza) e per la scelta del rapporto di trasmissione.
5. Individuare i trasduttori da montare sull'asse del motore per effettuare il controllo del moto, descrivendone brevemente il principio di funzionamento.
6. Individuare i dispositivi hardware e software necessari per implementare il sistema di controllo del movimento e tracciare uno schema funzionale semplificato di tale sistema.
7. Indicare quali modifiche potranno essere effettuate ai diagrammi delle leggi di moto per garantire un'adeguata "dolcezza" di funzionamento e ridurre l'insorgere di fenomeni vibratorii (nel rispetto dei tempi di movimentazione richiesti).
8. Individuare quali dispositivi sono necessari per realizzare il comando di apertura/chiusura della pinza di afferraggio.
9. Elencare i dispositivi necessari per garantire la sicurezza dell'area di lavoro.

## Tema n. 2:

Il candidato descriva le principali metodologie di prova per lo studio del comportamento a frattura dei materiali.

## Tema n. 3:

Un'azienda, in seguito ad un processo industriale, dispone di una portata di vapore  $\dot{m}$  alla temperatura  $T$  (ipotizzate dal candidato). Il candidato è chiamato dall'azienda, in qualità di consulente, a proporre soluzioni per un eventuale utilizzo in chiave energetica del vapore. Il candidato prospetti all'azienda una o più soluzioni, mettendo in evidenza vantaggi e svantaggi dal punto di vista tecnico ed economico. Nella valutazione si tenga anche conto delle vigenti direttive europee (ad esempio PED).



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI BRESCIA**  
**Facoltà di Ingegneria**

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 - Prima sessione 2012

**SECONDA PROVA SCRITTA DEL 27 GIUGNO 2012**

**SETTORE INDUSTRIALE**

**classe di laurea: 34/S - Ingegneria gestionale**

**Tema n. 1:**

L'azienda Goldfinishing effettua attività di finitura superficiale di manufatti metallici da più di vent'anni. Un grosso cliente del settore termoidraulico sta valutando se affidare alla Goldfinishing le attività di doratura mediante PVD (Physical Vapor Deposition) di cinque classi di rubinetti che dovrebbe a breve lanciare sul mercato.

Complessivamente la domanda attesa per il primo anno è di circa 125.000 pezzi complessivi e le analisi di mercato hanno prospettato un trend di crescita di circa il 25% per il secondo anno e di un ulteriore 15% per ognuno dei successivi anni (per un totale di 5 anni dell'orizzonte di previsione). Si consideri che le previsioni sono state elaborate considerando una incertezza del  $\pm 5\%$ .

Con l'impianto attualmente in dotazione alla Goldfinishing non è pensabile di poter accettare questa nuova commessa, poiché la saturazione dello stesso è già piuttosto alto e le particolari finiture richieste dal cliente richiederebbero comunque una serie di adattamenti non realizzabili sull'attuale impianto.

Da una valutazione preliminare fatta dalla Goldfinishing dotarsi di una nuova macchina da dedicare a questa nuova commessa, comporta un investimento di circa 350.000 Euro, a cui vanno sommati i costi per l'adattamento delle strutture edilizie (circa 15.000) e delle opere impiantistiche (circa 10.000).

Si consideri per i costi energetici un valore di potenza di targa del macchinario di 67 kW.

Per la realizzazione delle diverse varianti dei rubinetti da dorare è possibile pensare all'impiego della stessa macchina e in particolare i tempi di trattamento per le quattro varianti, insieme ai lotti di trattamento e alla quota di mercato prevista sono riportati nella seguente tabella.

| Variante | Quota di mercato | Tempo trattamento | Lotto  | Costo materiali per lotto |
|----------|------------------|-------------------|--------|---------------------------|
| WG1      | 15% $\pm$ 5%     | 15 min            | 14 pz. | 25 Euro                   |
| WG2      | 25% $\pm$ 5%     | 25 min            | 22 pz. | 35 Euro                   |
| WG3      | 35% $\pm$ 5%     | 33 min            | 12 pz. | 15 Euro                   |
| WG4      | 10% $\pm$ 5%     | 20 min            | 10 pz. | 25 Euro                   |
| WG5      | 15% $\pm$ 5%     | 10 min            | 12 pz. | 15 Euro                   |

Il passaggio dal trattamento di doratura da una variante all'altra è piuttosto oneroso e richiede un tempo di modifica dei settaggi del macchinario, pulizia delle vasche e carica delle polveri di trattamento di circa 4 ore.

Per far funzionare la macchina è necessario prevedere almeno un operatore a cui si deve aggiungere un operatore che cura la predisposizione dei telai di caricamento e scaricamento dei rubinetti e un ulteriore addetto impiegato nelle attività di controllo della qualità dei rubinetti dorati che devono essere ispezionati in tutte le superfici con un macchinario con telecamera di ingrandimento e manipolatore (costo di 50.000 Euro e potenza installata di 6 kW) visto che gli standard qualitativi richiesti sono particolarmente elevati.

Si consideri inoltre la possibilità di organizzare la produzione su un turno (costo annuo per addetto di 40.000 Euro) oppure su due turni (costo annuo per addetto di 50.000 Euro).

Inoltre il cliente richiede una spedizione mensile dei rispettivi quantitativi delle diverse varianti.

Ipotizzando ogni altro dato necessario allo svolgimento si valuti quante macchine per il trattamento PVD è necessario acquistare e quanti operatori è necessario assumere, per accettare la commessa e come sarà preferibile organizzare la produzione (assegnamento delle varianti alle macchine, pianificazione di un turno oppure due turni, pianificazione dei lotti produttivi), considerando l'intero orizzonte di 5 anni della commessa.

Si valuti infine il costo di trasformazione per ognuna delle varianti.

**Tema n. 2:**

La SIGMAL produce attrezzature e macchine per l'industria enologica. L'impresa, nata nel 1977, ha conosciuto uno significativo sviluppo negli anni più recenti e fortunatamente non ha risentito particolarmente della crisi. Il numero di dipendenti, pari a 50 nel 2008, ha raggiunto le 80 unità nel 2010 e oggi è pari a 82. Nel 2008 è stata aperta un'unità produttiva in Cina, dove vengono attualmente prodotte in serie le apparecchiature di gamma. In Italia vengono invece realizzate le apparecchiature più sofisticate, spesso costruite su commessa per i clienti più esigenti.

Il mercato servito dalla Sigmal è mondiale, con concentrazione nei paesi maggiori produttori di vino: oltre all'Italia, che assorbe quasi la metà delle vendite, l'impresa ha quote di mercato interessanti in Francia, Svizzera, Germania, Europa dell'Est, Australia e Nuova Zelanda (servite principalmente dalla Cina, che a sua volta sta diventando un mercato interessante). Negativo invece l'andamento delle vendite sul mercato statunitense, che mostra di prediligere i produttori nazionali, nonostante il livello qualitativo delle loro produzioni, ormai quasi interamente delocalizzate in Cina e nei limitrofi paesi asiatici). Analogamente modesta è la quota di mercato in America Latina (dove il Cile e l'Argentina sono i mercati più interessanti). Molte vendite nel Nuovo continente vengono anche perse perché il distributore americano non ha possibilità di mantenere un magazzino sufficiente dei prodotti della Sigmal e i potenziali acquirenti si indirizzano su prodotti immediatamente disponibili.

Una società di consulenza statunitense ha proposto alla proprietà della Sigmal (come ad altre imprese del settore) un accordo commerciale con un concorrente statunitense, Winal Inc.

La Sigmal ha deciso di approfondire la questione e ha raccolto informazioni sulla Winal: si tratta di una delle poche imprese che ha mantenuto interamente la produzione negli Stati Uniti; ha 60 dipendenti, un marchio un tempo noto ma oggi in declino, uno stabilimento ormai obsoleto in quanto da anni non effettua investimenti causa il cattivo andamento economico. Tuttavia l'impresa ha sviluppato una tecnologia innovativa che può essere utilizzata nel settore della produzioni di essenze per l'industria alimentare e cosmetica.

Se vi fosse chiesto un parere sulle possibili strategie della Sigmal rispetto al mercato americano, ritenete che l'accordo con l'impresa statunitense possa essere vantaggiosa? Quali alternative ritenete possano essere valutate? Quali sono gli aspetti critici che possono influenzare la decisione tra le varie alternative da voi proposte?



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI BRESCIA**  
**Facoltà di Ingegneria**

**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 - Prima sessione 2012

**PROVA PRATICA DI PROGETTAZIONE DEL 18 SETTEMBRE 2012**

**SETTORE INDUSTRIALE**

**classe di laurea appartenente al settore: 36/S - Ingegneria meccanica**

**Tema n.1**



# Tema n.1

Si deve realizzare un impianto di pompaggio per sollevare acqua dal serbatoio n.1 al serbatoio n.2 (vedi Fig.1); sul pelo libero dei due serbatoi agisce la pressione atmosferica. Entrambi i serbatoi sono di grandi dimensioni, cosicché si possano trascurare le variazioni di quota del pelo libero. La pompa (volumetrica a semplice effetto) è azionata da un motore asincrono trifase mediante un riduttore di velocità (vedi Fig.2).

Durante le fasi di aspirazione e di mandata la pressione rimane costante grazie alla presenza di due casse d'aria; pertanto l'andamento della pressione nel cilindro in funzione dell'angolo di manovella  $\varphi$  può essere approssimato dal grafico in Fig.3.

Si supponga che le perdite di carico nelle tubazioni di aspirazione dell'impianto siano pari al 5% della quota geodetica  $H_{geo} = z_2 - z_1$ , mentre quelle relative alle tubazioni di mandata siano pari al 15% di  $H_{geo}$ .

## Domande

1. Calcolare la velocità di rotazione alla quale deve essere azionata la pompa.
2. Determinare il diametro delle tubazioni in modo che la velocità media del fluido nei condotti sia pari al valore assegnato.
3. Calcolare la prevalenza della pompa, la potenza ceduta al fluido dalla pompa e la potenza elettrica assorbita dal motore per azionare l'impianto; si assumano per i rendimenti dei vari organi (motore, riduttore e pompa) valori tipici ricavati da manuale.
4. Calcolare le pressioni  $p_a$  e  $p_m$  alle flange di aspirazione e di mandata della pompa.
5. Calcolare il lavoro resistente in un periodo.
6. Calcolare il lavoro motore in un periodo.
7. Calcolare il momento motore medio ridotto all'albero motore.
8. Ricavare il diagramma del momento resistente (ridotto all'albero di manovella) in funzione dell'angolo  $\varphi$ , indicato in Fig.2.
9. Calcolare il valore del momento d'inerzia del volano che consente di mantenere il grado di irregolarità periodica all' 8%.
10. Indicare gli interventi di manutenzione preventiva e periodica da effettuare sul sistema (motore, pompa, riduttore, impianto) per garantirne il corretto funzionamento. Indicare infine la strumentazione e i trasduttori da inserire sull'impianto per monitorare l'andamento delle principali grandezze fisiche.

## Dati

- Portata richiesta .....  $Q = 30$  litri/s
- Velocità media del fluido nei condotti .....  $v = 2$  m/s
- Quota del pelo libero del serbatoio n.1 .....  $z_1 = 5$  m
- Quota del pelo libero del serbatoio n.2 .....  $z_2 = 30$  m
- Quota delle flange di aspirazione e di mandata della pompa .....  $z_a = z_m = 6$  m
- Diametro dello stantuffo (alesaggio) .....  $d = 210$  mm
- Corsa dello stantuffo .....  $c = 280$  mm
- Lunghezza della biella .....  $l = 350$  mm
- Rapporto di trasmissione del riduttore .....  $\tau = 0,14$
- Massa solidale con il piede di biella .....  $m_s = 25$  kg

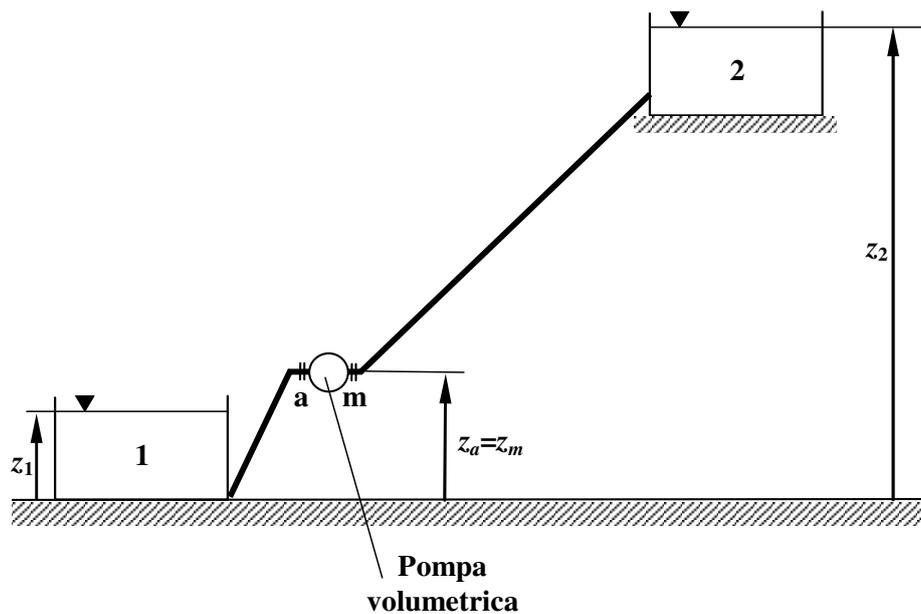


Figura 1: Impianto di pompaggio.

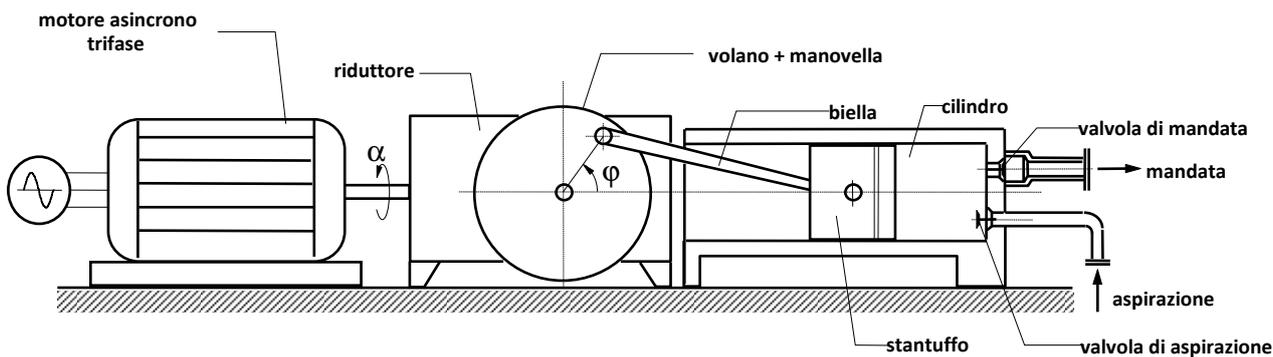


Figura 2: Pompa volumetrica a semplice effetto.

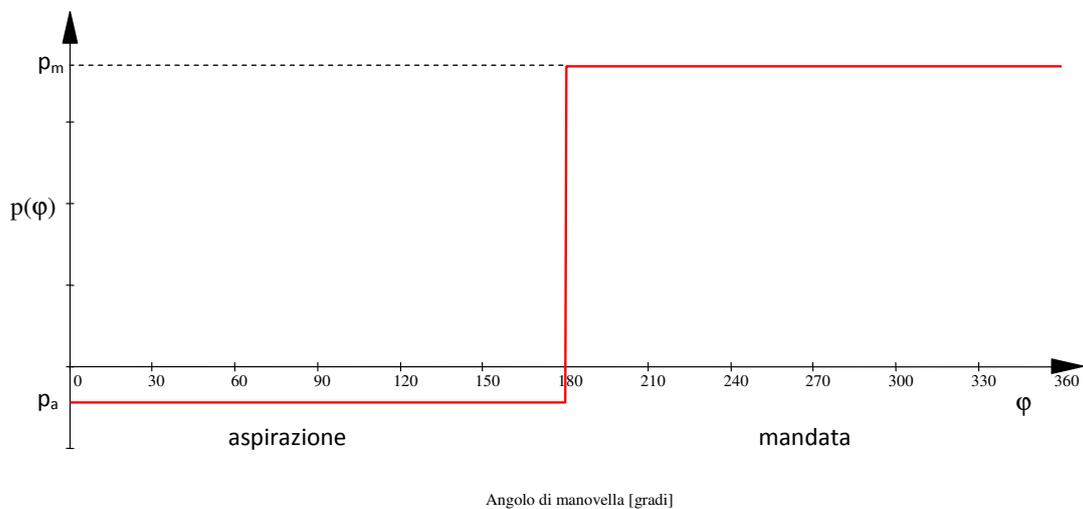


Figura 3: Andamento della pressione in funzione dell'angolo di manovella.



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI BRESCIA**  
**Facoltà di Ingegneria**

**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 - Prima sessione 2012**

**PROVA PRATICA DI PROGETTAZIONE DEL 18 SETTEMBRE 2012**

**SETTORE INDUSTRIALE**

**classe di laurea appartenente al settore: 36/S - Ingegneria meccanica**

**Tema n.2**

Il candidato effettui il dimensionamento di massima di un ciclo frigorifero utilizzato per mantenere alla temperatura di  $-25^{\circ}\text{C}$  una cella frigorifera per la conservazione di alimenti. Si supponga che la potenza termica da asportare dalla cella sia  $50\text{ kW}$  e che la temperatura dell'ambiente sia  $25^{\circ}\text{C}$ .

Si supponga che il fluido di lavoro sia R134a per il quale le tabelle e il diagramma termodinamico p-h sono forniti in allegato.

Il candidato, assumendo le perdite di carico trascurabili e facendo le opportune ipotesi, determini:

- il tipo di compressore da utilizzare ed il numero di stadi di compressione;
- le principali proprietà termodinamiche nei punti del ciclo (rappresentando tali punti sul diagramma termodinamico allegato);
- la portata volumetrica in mandata al compressore;
- la potenza assorbita dal compressore;
- il Coefficiente di Performance (COP) del ciclo;
- il rendimento di secondo principio del ciclo.

Il candidato discuta l'effetto delle perdite di carico sul COP e indichi la modalità di calcolo delle stesse.

Se il fluido di lavoro utilizzato fosse, invece di R134a,  $\text{CO}_2$  il candidato indichi, utilizzando il diagramma termodinamico allegato, se il COP del ciclo sarebbe superiore, inferiore o uguale. Il candidato discuta anche la possibilità di utilizzare gli stessi componenti per la realizzazione del ciclo a  $\text{CO}_2$ .



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI BRESCIA**  
**Facoltà di Ingegneria**

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 - Prima sessione 2012

**PROVA PRATICA DI PROGETTAZIONE DEL 18 SETTEMBRE 2012**

**SETTORE INDUSTRIALE**

**classe di laurea appartenente al settore: 36/S - Ingegneria meccanica**

**Tema n. 3**



### Tema n. 3

Si vogliono produrre per stampaggio a iniezione dei componenti in polietilene ad alta densità, HDPE Xy, dalla massa di 20 g ciascuno, utilizzando il sistema di canali multi-impronta (naturalmente bilanciato, a 4 impronte) rappresentato in forma schematica nell'Allegato A. Il volume del canale di accesso ("sprue") è pari a  $8 \text{ cm}^3$ , ed il "gate" è un canale di sezione rettangolare avente lunghezza,  $L_g$ , di 2 mm, larghezza,  $T_g$ , di 4 mm ed altezza,  $H_g$ , di 2 mm. La temperatura del fuso polimerico nell'unità di plastificazione è di  $190^\circ\text{C}$ , e la pressione di iniezione è di 100 MPa.

La curva di flusso del polimero HDPE Xy, ottenuta con prove al reometro capillare, per livelli di velocità di deformazione tipici dei processi di stampaggio a iniezione ed alla temperatura di  $190^\circ\text{C}$ , è riportata nell'Allegato B.

- Si valuti il tempo di iniezione,  $t_{iniez.}^*$ , da utilizzare nel processo per far sì che la pressione che il fuso polimerico ha a disposizione per riempire la cavità, una volta superato il "gate", sia pari all'88% della pressione di iniezione.
- Si indichi il valore della viscosità del fuso polimerico alla parete dei diversi canali interessati dal flusso ("runner" primario, "runner" secondario, "gate"), nel processo di iniezione condotto con un tempo di iniezione pari a  $t_{iniez.}^*$ .
- Si valuti la pressione a disposizione del fuso polimerico per il riempimento della cavità nel caso in cui il processo venga condotto con un tempo di iniezione pari a  $t_{iniez.}^*/4$ , e si discutano i principali problemi di carattere tecnologico che si manifesterebbero in queste condizioni di lavoro.

Si assuma il flusso come isoterma; si ignorino tutti i termini di cadute di pressione concentrate e le cadute di pressione nel canale di accesso ("sprue").

Vengano sottolineate in maniera chiara le ipotesi di lavoro fatte per la soluzione dei problemi.

Viene di seguito riportata l'equazione di Tait (equazione di stato pressione-volume-temperatura, PvT) per il polietilene ad alta densità, valida per temperature comprese tra  $140$  e  $203^\circ\text{C}$  e pressioni inferiori a 1960 bar [da P.A. Rodgers, *J. Appl. Polym. Sci.*, **48**, 1061 (1993)]:

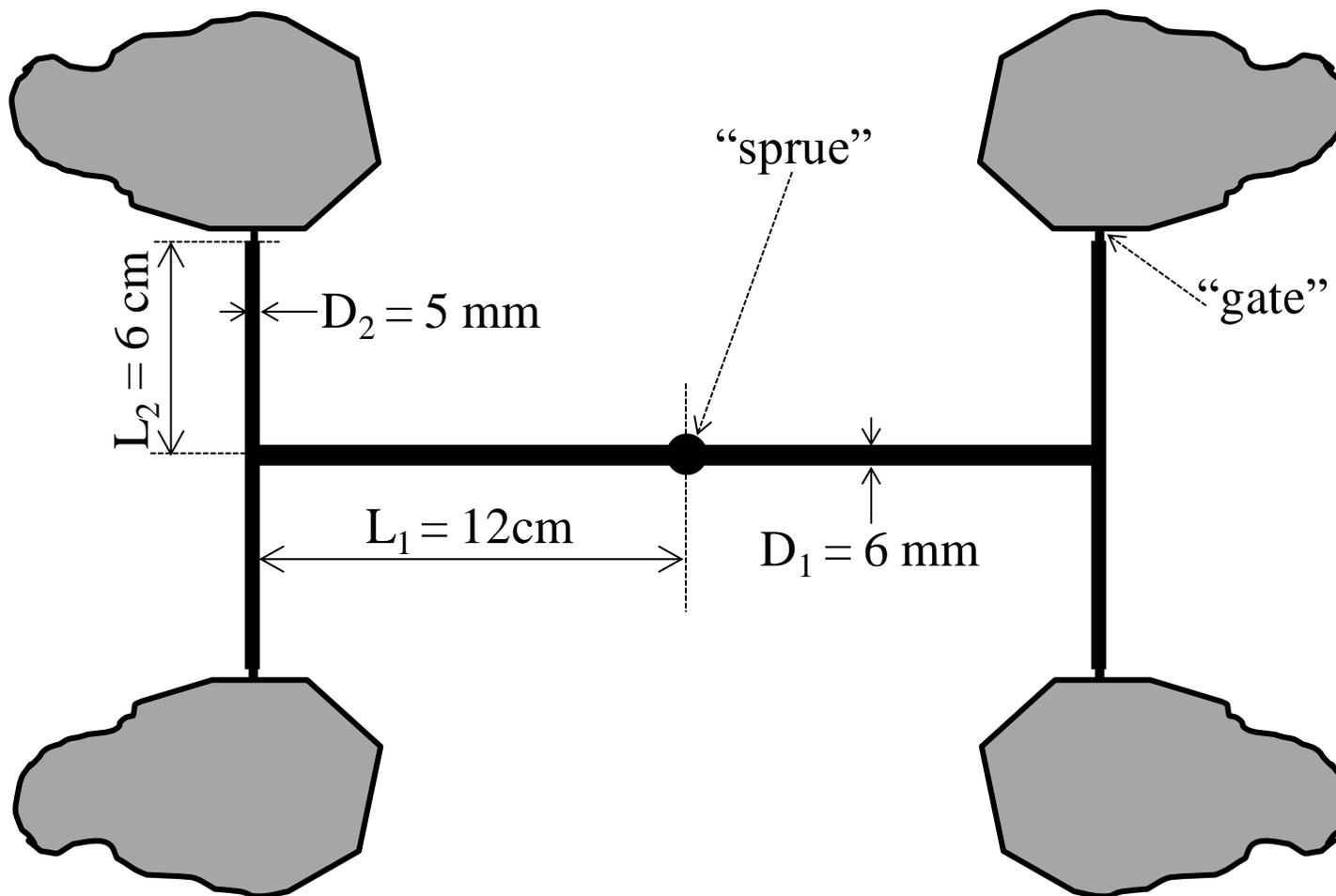
$$v(P, T) = v(0, T) \cdot \left\{ 1 - 0.0894 \cdot \ln \left[ 1 + \frac{P}{B(T)} \right] \right\}$$

dove

$$\begin{aligned} v(0, T) &= 1.1595 + 8.0394 \cdot 10^{-4} \cdot T & v(0, T) &\text{ in } [\text{cm}^3/\text{g}] \\ B(T) &= 1799 \cdot \exp(-4.739 \cdot 10^{-3} \cdot T) & B(T) &\text{ in } [\text{bar}] \end{aligned}$$

$T$  in  $[\text{C}]$

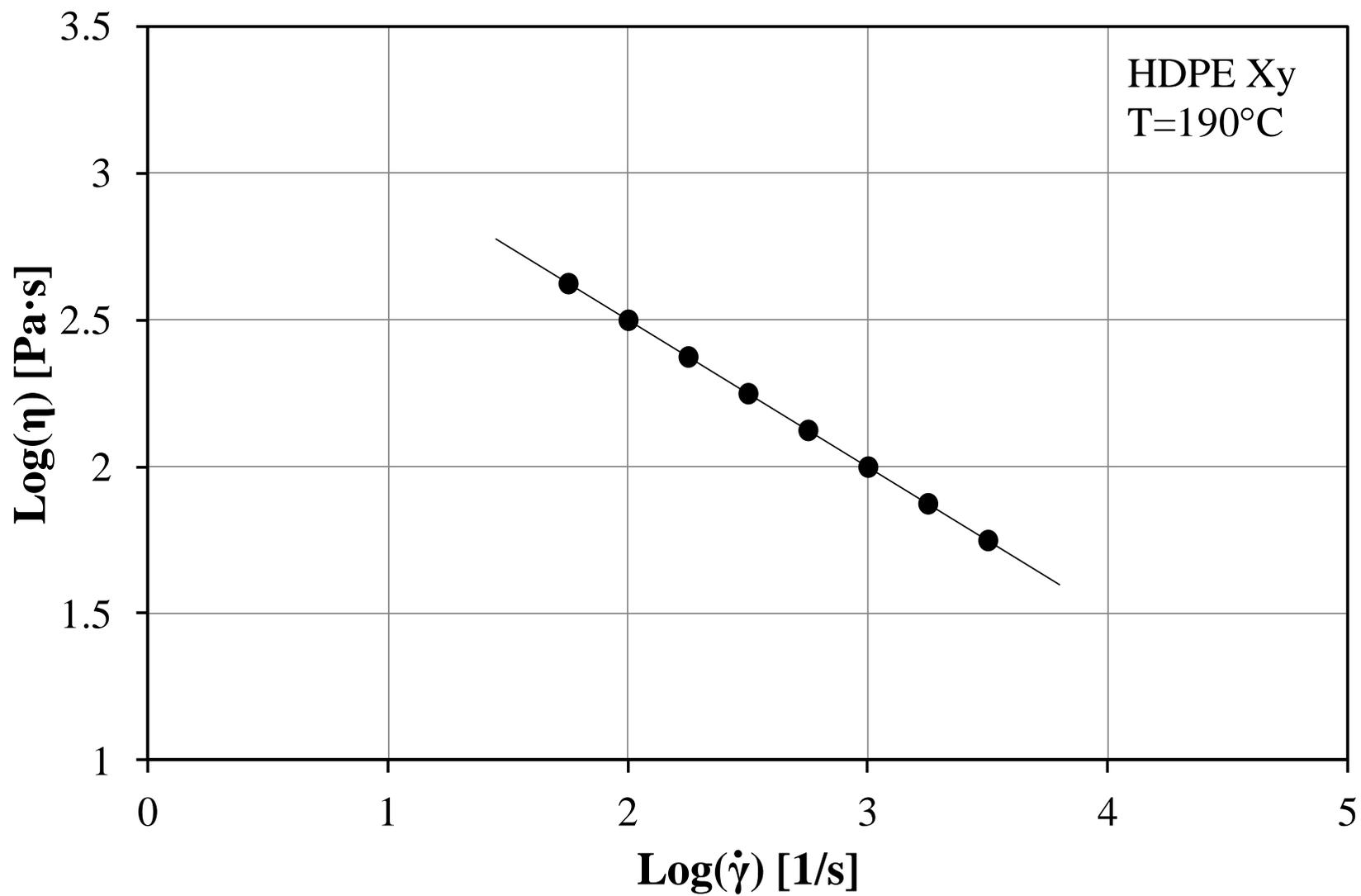
Tema n. 3, allegato A



Rappresentazione schematica del sistema di canali a 4 impronte utilizzato nel processo di stampaggio a iniezione.

Sono indicate le dimensioni caratteristiche dei "runner" (canali di sezione circolare):  $L_1$  e  $D_1$  si riferiscono al "runner" primario (1),  $L_2$  e  $D_2$  si riferiscono al "runner" secondario (2).

Tema n. 3, allegato B



Curva di flusso (viscosità di taglio,  $\eta$ , vs velocità di deformazione reale,  $\dot{\gamma}$ ) del HDPE Xy a 190°C.



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI BRESCIA**  
**Facoltà di Ingegneria**

**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 - Prima sessione 2012**

**PROVA PRATICA DI PROGETTAZIONE DEL 18 SETTEMBRE 2012**

**SETTORE INDUSTRIALE**

**(classi di laurea appartenenti al settore:**

**29/S - Ingegneria dell'automazione; 34/S - Ingegneria gestionale; 36/S - Ingegneria meccanica)**

Tema n. 4 (valido per tutte le classi del settore)

Si richiede lo studio di massima di uno stabilimento per la realizzazione di giocattoli per bambini in materiale plastico.

Il processo tecnologico di trasformazione principale dello stabilimento è costituito dallo stampaggio ad iniezione di resine termoplastiche del corpo dei giocattoli. Tale processo rappresenta una tecnica di lavorazione tradizionale eseguita mediante presse ad azionamento idraulico o elettrico.

Processo di trasformazione principale:       **Stampaggio a iniezione**  
Macchinario:                                       **Presse a iniezione**  
  **Banchi di assemblaggio e controllo**

Lo stabilimento deve essere concepito come un complesso produttivo a sé stante. Lo studio e la progettazione devono essere eseguiti tenendo conto delle seguenti informazioni di carattere generale:

*per lo studio di massima dello stabilimento:*

1. 240 gg lavorativi all'anno con due turni massimi al giorno (per complessive 15h giornaliere);
2. le materie prime giungono allo stabilimento mediante autotrasporto; il loro stoccaggio è da prevedere in un magazzino opportunamente attrezzato;
3. stoccaggio dei prodotti finiti previsto in un unico magazzino;

*per lo studio dell'impiantistica dello stabilimento:*

1. l'alimentazione dell'energia elettrica avviene in media tensione (22 kV - categoria 2) che pertanto deve essere trasformata a 400 V mediante appositi trasformatori da disporre opportunamente sulla planimetria (a tal fine si ipotizzi la posizione del punto di consegna da parte dell'Ente erogatore);

## **1. IL PROCESSO DI STAMPAGGIO A INIEZIONE**

La **pressa ad iniezione** è una macchina industriale impiegata nella produzione di particolari in materiale plastico, è principalmente composta da due parti: l'iniettore e la chiusura stampo.

L'iniettore è la parte principale della macchina, ed è composto da un cilindro con una camera interna riscaldato alla temperatura necessaria per la fusione del materiale da stampare, nella quale è presente una vite chiamata vite di iniezione o estrusore.

La chiusura è la parte meccanica della macchina dove viene montato lo stampo del pezzo da realizzare, questo viene chiuso con una forza specifica dal sistema di chiusura che può essere di tipo a ginocchiera o monobraccio, a pistone e hydroblok, a seconda della tipologia di macchina, il sistema di estrazione del pezzo fa parte della chiusura.

La pressa chiude lo stampo, successivamente inizia la fase di iniezione del materiale fino a circa 85% del pezzo, il completamento del 100% del pezzo avviene con la seconda fase di compattamento mantenendo il materiale in pressione fino a quando il pezzo stampato non diviene solido; inizia quindi la fase di plastificazione del materiale ruotando ed arretrando la vite di iniezione fino al raggiungimento della dosatura necessaria; la pressa quindi apre lo stampo ed estrae il pezzo stampato con un martinetto idraulico, mediante estrazione pneumatica, svitamento elettrico o idraulico, oppure è utilizzato un robot per prendere il pezzo (o più pezzi) e pallettizzarli. Diverse sono le tipologie di presse ad iniezione da quelle ad azionamento idraulico alle più moderne con azionamento elettrico le quali consentono grazie all'impiego di servomotori e controlli numerici un più veloce ed accurato controllo del processo nonché un risparmio energetico di circa il 20-30%.

## **2. DESCRIZIONE DEL PRODOTTO**

I prodotti da realizzare consistono in giocattoli per bambini costituiti essenzialmente da un corpo in materie plastiche dotati di alcuni accessori quali led di illuminazione e altoparlanti, comandati da semplici circuiti stampati integrati all'interno del giocattolo. I componenti principali sono realizzati in resina termoplastica (ABS, PC e TPE) e stampati per iniezione.

Nello stabilimento considerato vengono prodotti giocattoli di 4 diverse categorie (modelli A, B, C, D).

Ciascun prodotto finito viene imballato in una scatola di plastica fornita dall'esterno, e quindi sigillato in una scatola di cartone unitamente al manuale d'istruzioni, quindi sigillata con il bollo di garanzia e le reggette in plastica.

La distinta base del prodotto, comune a tutti i modelli, è riportata in Tabella 1.

**Tabella 1. Distinta base prodotto**

(in *corsivo* sono riportati i componenti forniti dall'esterno, in **MAIUSCOLO** gli assiemi)

| <b>CODICE</b> | <b>DESCRIZIONE</b>                    | <b>MATERIALE</b> | <b>PESO (g)</b> |
|---------------|---------------------------------------|------------------|-----------------|
| 01.00         | CORPO                                 |                  |                 |
| 01.01         | Corpo esterno superiore               | ABS              | 150             |
| 01.02         | Corpo esterno inferiore               | ABS              | 80              |
| 01.03         | Finestrella semi-trasparente rossa    | PC               | 20              |
| 01.04         | Finestrella semi-trasparente verde    | PC               | 20              |
| 01.05         | Pulsante grande                       | TPE              | 3               |
| 01.06         | Pulsante piccolo                      | TPE              | 2               |
| 01.07         | Coperchio batterie                    | ABS              | 5               |
| <i>01.08</i>  | <i>Molla e kit montaggio batteria</i> |                  |                 |
| <i>01.09</i>  | <i>Vite (x4)</i>                      |                  |                 |
| 02.00         | INTERNO                               |                  |                 |
| <i>02.01</i>  | <i>Scheda elettronica</i>             |                  |                 |
| <i>02.02</i>  | <i>Led con cavi (x2)</i>              |                  |                 |
| <i>02.03</i>  | <i>Vite (x2)</i>                      |                  |                 |

Il corpo esterno superiore colorato costituisce l'unico elemento di diversità da un modello all'altro. Per poter procedere al cambio materiale nella tramoggia della pressa per realizzare componenti di diverso colore sono necessarie 4 ore di fermo macchina, mentre per sostituire lo stampo e passare dalla produzione del componente in TPE a quello in ABS o a quello in PC e viceversa sono necessarie 3 ore (più il cambio materiale nella tramoggia).

Ogni componente realizzato in ABS è realizzato per mezzo di un unico stampo; ogni stampo permette di realizzare 5 componenti uguali per altrettanti prodotti finiti.

Per quanto riguarda i componenti in PC, essi sono realizzati per mezzo di uno stampo che contiene 20 pezzi.

Per quanto riguarda i componenti in TPE, essi sono realizzati per mezzo di uno stampo che contiene 30 pezzi.

In Tabella 5 sono riportate le associazioni pressa-componente.

Le materie prime sono costituite da materiali termoplastici forniti sotto forma di granuli contenuti in sacchi di grosse dimensioni detti "bigbags", caricati su pallet, secondo le indicazioni fornite nel testo.

**Tabella 2. Imballaggi materia prima**

| <b>Materiale</b> | <b>Contenuto [kg]</b> | <b>Imballaggio</b> | <b>Codice</b>           | <b>Dimensioni pallet [mm]</b> |
|------------------|-----------------------|--------------------|-------------------------|-------------------------------|
| ABS (colore)     | 1.000                 | Big Bags           | 01.01<br>01.02<br>01.07 | 800x1200                      |
| PC (colore)      | 1.000                 | Big Bags           | 01.03<br>01.04          | 800x1200                      |
| TPE              | 500                   | Big Bags           | 01.05<br>01.06          | 800x1200                      |

NOTA: il peso del pallet comprensivo di film termoretraibile è di 25 kg (tara). Ogni pallet porta un solo big bag. I pallet equipaggiati con big bags non sono impilabili.

Oltre ai codici prodotti nello stabilimento, la distinta base contiene una serie di componenti (forniture esterne) necessari per il completamento dei prodotti finiti. Le caratteristiche degli imballaggi entro i quali sono forniti tali componenti sono forniti in Tabella 3.

**Tabella 3. Imballaggi componenti**

| Cod.  | Descrizione                    | Imballaggio primario | Quant. Imball. Prim. | Dimensioni imballaggio primario [mm] | Dimensioni imballaggio secondario [mm] |
|-------|--------------------------------|----------------------|----------------------|--------------------------------------|--|
| 01.08 | Molla e kit montaggio batteria | Sacchetto            | 1000                 | 130x130x30(h)                        | 800x400x500(h)                         |
| 01.09 | Vite                           | Sacchetto            | 1000                 | 130x130x30(h)                        | 800x400x500(h)                         |
| 02.01 | Scheda elettronica             | Scatola cartone      | 100                  | 260x160x50(h)                        | 800x400x500(h)                         |
| 02.02 | Led con cavi                   | Sacchetto            | 100                  | 130x130x30(h)                        | 800x400x500(h)                         |
| 02.03 | Vite                           | Sacchetto            | 1000                 | 130x130x30(h)                        | 800x400x500(h)                         |

NOTA: Ogni pallet di componenti porta 6 imballaggi secondari

La produzione richiesta per ciascuna variante di giocattolo (che si differenziano per il colore diverso del corpo esterno superiore) prodotto è la seguente:

**Tabella 4. Domanda delle diverse varianti di prodotto**

| Variante    | Domanda [pz/anno] |
|-------------|-------------------|
| <b>Toy1</b> | 500,000           |
| <b>Toy2</b> | 300,000           |
| <b>Toy3</b> | 150,000           |
| <b>Toy4</b> | 50,000            |

### 3. IL PROCESSO PRODUTTIVO

Le operazioni realizzate nella produzione sono le seguenti:

1. ricevimento materia prima ed immagazzinamento
2. caricamento del materiale in silos per essiccamento del materiale stesso
3. caricamento del materiale nella tramoggia della pressa
4. stampaggio [Plastificazione – Iniezione – Raffreddamento – Estrazione – Smaterozzatura]
5. movimentazione su nastro trasportatore
6. assemblaggio e CQ su banco e controllo
7. imballaggio
8. pallettizzazione
9. invio al magazzino
10. etichettatura e spedizione.

In particolare, le suddette operazioni consistono nelle seguenti attività:

1. **RICEVIMENTO MATERIA PRIMA:** il materiale plastico arriva sotto forma di granuli all'interno di grandi sacchi (big bags), disposti su pallet;
2. **CARICAMENTO DEL MATERIALE IN SILOS PER ESSICCAMENTO:** i sacchi vengono trasportati a lato delle singole presse ed i granuli caricati all'interno del silos di essiccazione posti a lato della pressa;
3. **CARICAMENTO DEL MATERIALE NELLA TRAMOGGIA:** il materiale essiccato viene trasferito in modo automatico dopo il periodo previsto per l'essiccamento nella tramoggia di carico della pressa, posta al di sopra della pressa stessa;
4. **STAMPAGGIO:**
  - a. **PLASTIFICAZIONE:** il materiale cade nel gruppo di plastificazione e qui viene scaldato fino ad essere portato allo stato fluido;

- b. **INIEZIONE**: il materiale fuso viene iniettato all'interno dello stampo;
  - c. **RAFFREDDAMENTO**: giunto all'interno dello stampo e completata la figura del pezzo stampato, il materiale si raffredda e ritorna allo stato solido;
  - d. **ESTRAZIONE DEL PEZZO E SCARICO**: lo stampo si riapre ed il robot manipolatore montato sulla pressa estrae il pezzo a mezzo di una mano di presa, e predispone il pezzo all'interno di un'apposita attrezzatura per eseguire la smaterozzatura (eliminazione della carota di iniezione dal pezzo);
5. **MOVIMENTAZIONE SU NASTRO TRASPORTATORE**: i pezzi vengono quindi convogliati su un nastro trasportatore posto a lato della pressa che li trasporta fino a banco di pre-assemblaggio e controllo;
  6. **ASSEMBLAGGIO e CQ**: tutti i componenti realizzati nella fase precedente, convergono e vengono assemblati tra di loro per ottenere il prodotto finito, con l'aggiunta dei componenti acquistati in esterno; il prodotto finale viene quindi testato e viene apposto il bollino di CQ;
  7. **IMBALLAGGIO**: il prodotto finito con il bollino CQ viene inserito nell'apposita scatola di plastica, inscatolato e sigillato entro una scatola di cartone con il manuale d'istruzioni, e viene apposto il sigillo sull'apertura della scatola insieme alle reggette termoplastiche, a garanzia dell'integrità della confezione;
  8. **PALLETTIZZAZIONE**: le scatole contenenti i prodotti finiti vengono pallettizzate su pedane;
  9. **INVIO AL MAGAZZINO**: le pedane vengono inviate al magazzino;
  10. **ETICHETTATURA E SPEDIZIONE**: le pedane contenenti le scatole con il prodotto finito giunte al magazzino sono etichettate e spedite.

**Tabella 5. Cadenze produttive dei macchinari e risorse necessarie per monitorare la produzione**

| #  | FASE   | 01.01     | 01.02     | 01.03      | 01.04      | 01.05      | 01.06      | 01.07       |
|--|--|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|-------------|
| Produzione media netta oraria [stampate/ora] |  |           |           |            |            |            |            |             |
| 40   | Pressa 30 kW<br>0.4 operatori                | <b>60</b> | <b>60</b> |            |            |            |            |             |
| 40   | Pressa 20 kW <sup>[2]</sup><br>0.2 operatori |           |           | <b>200</b> | <b>200</b> | <b>600</b> | <b>600</b> |             |
| 40   | Pressa 18 kW<br>0.1 operatori                |           |           |            |            |            |            | <b>1200</b> |

**Tabella 6. Cadenze produttive delle postazioni di assemblaggio.**

| #                                      | FASE   |            |
|--|--|------------|
| Produzione media netta oraria [pz/ora] |  |            |
| 60                                     | Assemblaggio<br>finale<br>Banco: 4 operatori | <b>100</b> |

#### 4. MAGAZZINI MATERIA PRIMA, COMPONENTI E PRODOTTI FINITI

Nello stabilimento allo studio dovranno essere previsti:

1. un magazzino materia prima, in grado di ospitare almeno 2 big bags per ciascuna materia prima;
2. un magazzino componenti di assemblaggio, che garantisca una capacità di stoccaggio di 30 gg lavorativi;
3. un magazzino prodotti finiti, dimensionato in modo da garantire una capacità di stoccaggio pari a 10 gg lavorativi.

Per il dimensionamento di tutti i magazzini si tenga conto che i big bags sono da posizionare a livello del terreno (no sovrapposizione), mentre le altre tipologie di pallet sono sovrapponibili mediante opportuna scaffalatura da predisporre.

**Tabella 7. Imballaggi prodotti finiti (tutti i modelli)**

| Imballaggio primario | Dimensioni imballaggio primario [mm] | Dimensioni imballaggio secondario [mm] | Dimensioni pallet [mm] |
|----------------------|--------------------------------------|--|------------------------|
| Scatola cartone      | 260x160x100(h)                       | 800x400x500(h)                         | 800x1200x1000(h)       |

**Tabella 8. Caratteristiche macchinari e attrezzature**

| Descrizione          | Resa di qualità | Disponibilità | Potenza elettrica di targa [kW] | cosφ |
|----------------------|-----------------|---------------|---------------------------------|------|
| Pressa a iniezione   | 0,98            | 0,90          | 30                              | 0,6  |
| Pressa a iniezione   | 0,97            | 0,90          | 20                              | 0,6  |
| Pressa a iniezione   | 0,99            | 0,90          | 18                              | 0,6  |
| Banco assemblaggio   | 1               | 0,90*         | 2                               | 0,8  |
| Robot manipolatore   | 1               |               | 5                               | 0,9  |
| Nastro trasportatore | 1               |               | 2 (al metro)                    | 0,8  |

\*La disponibilità del banco di assemblaggio è legata al tasso di assenteismo degli operatori

**Tabella 9. Dimensioni macchinari e attrezzature**

| Descrizione          | Ingombro:<br>larghezza [m](lato operatore) x lunghezza [m] |
|----------------------|--|
| Pressa a iniezione   | 2 x 4  |
| Banco assemblaggio   | 2 x 6  |
| Robot manipolatore   | 1 x 1  |
| Nastro trasportatore | 0,5 (larghezza): lunghezza da calcolare in base al layout  |

Tutte le movimentazioni interne di materie prime, semilavorati, ..., sono realizzate con carrelli elevatori elettrici.

## 5. CONTENUTI DA PRESENTARE

Ai fini della progettazione di un impianto industriale è necessario esplicitare una serie di attività, che possono essere coordinate fin dalla fase iniziale di progettazione stessa.

Innanzitutto si chiede di presentare uno **studio di programmazione delle attività** secondo gli strumenti e le tecniche del *Project Management*: la concreta applicazione e realizzazione delle attività previste, secondo le tempistiche e le modalità di svolgimento selezionate, porterà alla stesura di un documento completo di "progetto dell'impianto industriale".

Si ricorda inoltre che è necessario richiedere e ottenere anche tutta la documentazione (pratiche amministrative e burocratiche) relativa all'apertura del nuovo insediamento produttivo.

Lo studio deve essere completato, oltre che dai **disegni di massima**, anche da una **relazione descrittiva**, la quale svilupperà, tra l'altro, i seguenti aspetti:

- numero totale dei macchinari (presse, banchi di assemblaggio, nastri trasportatori, ...);
- numero totale di addetti;
- posizione degli accessi, dimensione e posizionamento sul layout di stabilimento di tutte le zone sopra elencate; in particolare andranno realizzati 2 livelli di layout:
  - i. Block layout: layout di massima dello stabilimento con posizionamento reparti, occupazione spazi,...
  - ii. Detailed layout: posizionamento macchinari e attrezzature (prevedendo spazi per la movimentazione dei materiali e le postazioni degli operatori a lato macchina) all'interno dei reparti produttivi.

Si stimi inoltre il fabbisogno di area coperta complessiva per l'insediamento industriale e dell'eventuale area esterna necessaria e il perimetro aziendale, nonché la forma dello stabile stesso (altezze e profilo costruttivo).

## 5.1 Impianti di servizio

Considerando le diverse aree in cui è suddiviso lo stabilimento per quanto riguarda la valutazione della potenza contrattuale elettrica, devono essere previste le seguenti zone:

- ufficio accettazione arrivi
- uffici amministrativi e direzionali
- infermeria
- mensa
- almeno 2 servizi igienici
- almeno 2 spogliatoi
- attrezzeria e manutenzione
- deposito stampi
- zona ristoro
- reparto presse
- reparto assemblaggio
- magazzino materie prime
- magazzino componenti
- magazzino prodotti finiti
- isola tecnica adiacente al fabbricato principale (centrale elettrica, centrale termica, ...)

Con riferimento alla potenza elettrica, per ciascuna zona sono da ipotizzare, giustificando opportunamente la scelta, i coefficienti di contemporaneità e utilizzazione, note le potenze installate, e si proceda quindi alla valutazione della potenza elettrica contrattuale.

Nell'ambito dello stabilimento si consideri la presenza di una sottocabina di smistamento allacciata alla rete elettrica.

Per i dati non forniti, si assumano valori verosimili, laddove se ne ritenga necessaria l'adozione.

**PER TALI DATI SI CHIEDE DI GIUSTIFICARE LA SCELTA, ANCHE INDICANDO SEMPLICEMENTE LA FONTE DA CUI IL DATO È TRATTO** (ad esempio: manualistica, libri di testo, esercitazioni svolte).

Dovrà inoltre essere valutata l'idoneità dello stabilimento progettato (in termini di capacità produttiva) qualora si registri un aumento del 20% della domanda attuale. Si discutano le opportunità e si illustrino le soluzioni adottabili per far fronte alla richiesta.

Si tenga infine in considerazione che il caso studio proposto presenta notevoli semplificazioni rispetto alla realtà: questo per contenere i tempi e la complessità dei calcoli e delle valutazioni da presentare



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI BRESCIA**  
**Facoltà di Ingegneria**

**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 - Prima sessione 2012

**PROVA PRATICA DI PROGETTAZIONE DEL 18 SETTEMBRE 2012**

**SETTORE INDUSTRIALE**

**classe di laurea appartenente al settore: 29/S - Ingegneria dell'automazione**



# Tema d'esame

Il servomeccanismo rappresentato in Figura 1 consente di controllare la posizione e la velocità di un carrello secondo una legge di moto assegnata.

La parte meccanica del sistema è costituita dai seguenti elementi:

- un motore brushless;
- una trasmissione a cinghia sincrona;
- una vite a ricircolo di sfere;
- un carrello traslante azionato tramite sistema vite-madrevite.

La parte elettrica ed elettronica del sistema è costituita da:

- una dinamo tachimetrica, calettata sull'asse del motore, che fornisce un segnale analogico proporzionale alla velocità del motore;
- un encoder incrementale bicanale in quadratura, anch'esso calettato sull'asse del motore, interfacciato con un contatore di impulsi, che consente di rilevare l'angolo di rotazione del motore;
- un amplificatore tensione-corrente per alimentare il motore;
- un controllore di posizione digitale ad azione proporzionale;
- un convertitore digitale-analogico che fornisce in uscita una tensione proporzionale al segnale fornito dal controllore.

Il motore è schematizzato come in Figura 2; come si può osservare dallo schema, la coppia motrice  $C_m$  è proporzionale alla corrente  $i$  tramite la costante di coppia  $K_t$  ( $C_m = K_t i$ ), mentre la coppia resistente  $C_r$  è proporzionale alla velocità del motore  $\omega$  tramite un coefficiente di attrito viscoso equivalente  $\lambda$ , che tiene conto di tutti gli attriti presenti nel sistema ( $C_r = \lambda \omega$ ).

Lo schema di controllo prevede un doppio anello di retroazione sulla velocità e sulla posizione, come indicato in Figura 3.

Il carrello deve effettuare la corsa  $h$  in un tempo  $T$  secondo la legge di moto rappresentata nel diagramma di Figura 4.

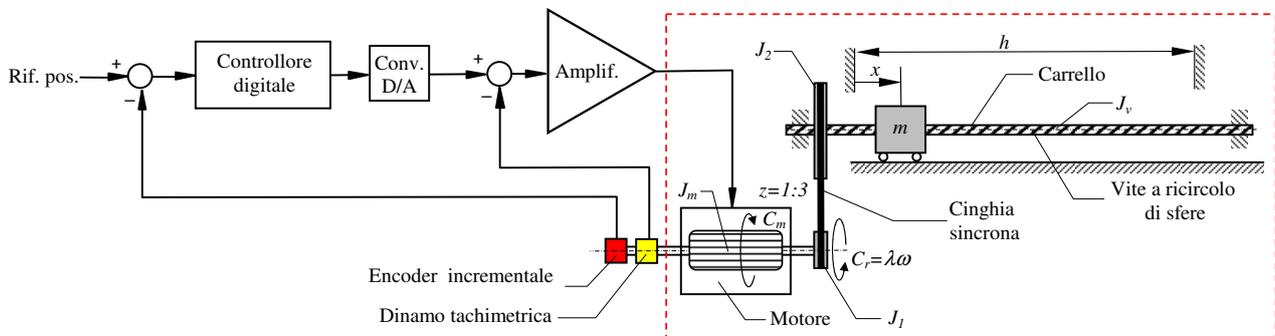


Figura 1: Servomeccanismo con controllo di posizione e di velocità.

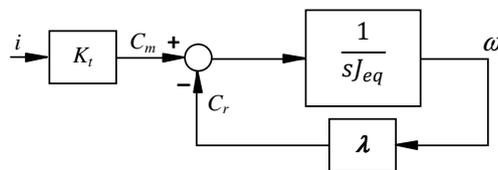


Figura 2: Schema a blocchi del motore.

La Tabella 1 riporta il significato dei simboli utilizzati in Figura 3 e le corrispondenti unità di misura.

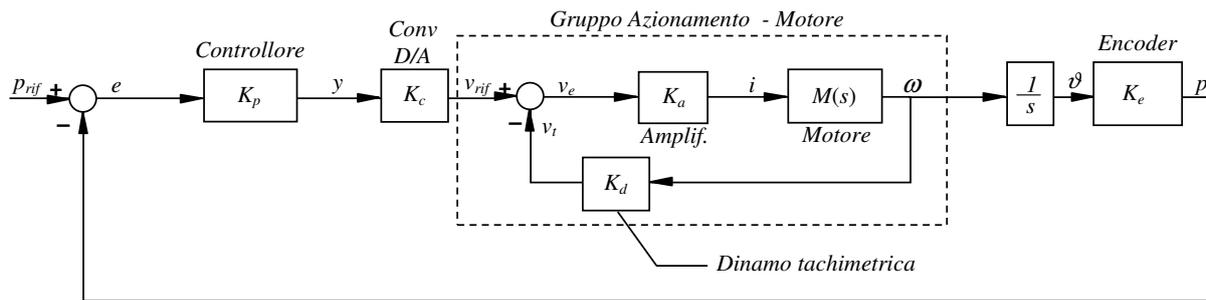


Figura 3: Schema a blocchi del servomeccanismo.

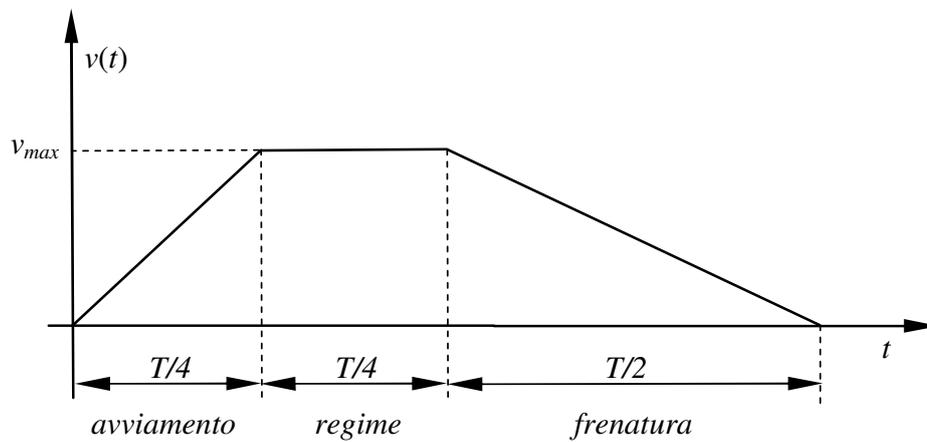


Figura 4: Legge di moto del carrello  $v = v(t)$  (velocità in funzione del tempo).

| Simb.     | Descrizione                      | unità      | Simb.       | Descrizione                    | unità                  |
|-----------|----------------------------------|------------|-------------|--------------------------------|------------------------|
| $p_{rif}$ | Posizione di riferimento         | unità int. | $\vartheta$ | Posizione dell'albero motore   | rad                    |
| $e$       | Errore di posizione              | unità int. | $p$         | Posiz. equiv. in passi encoder | unità int.             |
| $y$       | Valore elaborato dal regolatore  | unità int. | $K_p$       | Guadagno proporzionale         | unità int.             |
| $v_{rif}$ | Tensione di riferimento velocità | V          | $K_c$       | Risoluz. del convertitore D/A  | V/unità int.           |
| $v_e$     | Tensione errore di velocità      | V          | $K_a$       | Guadagno dell'amplificatore    | A/V                    |
| $v_t$     | Tensione della dinamo tachim.    | V          | $K_d$       | Costante della dinamo tachim.  | V/rad s <sup>-1</sup>  |
| $i$       | Corrente assorbita dal motore    | A          | $K_e$       | Costante dell'encoder          | unità int./rad         |
| $\omega$  | Velocità dell'albero motore      | rad/s      | $M(s)$      | Funz. di trasf. del motore     | rad s <sup>-1</sup> /A |

Tabella 1: Elenco dei simboli utilizzati in Figura 3.

## Dati

- Numero di bit del convertitore D/A .....  $n = 12$  bit
- Intervallo di tensione in uscita dal convertitore D/A .....  $\Delta V = -10 \text{ V} \div +10 \text{ V}$
- Numero di impulsi/giro dell'encoder bicanale .....  $N_{imp} = 1000$  imp./giro
- Guadagno dell'amplificatore .....  $K_a = 4 \text{ A/V}$
- Costante di coppia del motore .....  $K_t = 0.45 \text{ Nm/A}$
- Costante di proporzionalità della dinamo tachimetrica .....  $K_d = 30 \text{ V/1000 giri min}^{-1}$
- Rapporto di trasmissione della trasmissione a cinghia .....  $z = 1/3$
- Momento d'inerzia del motore .....  $J_m = 2 \times 10^{-4} \text{ kg m}^2$
- Momento d'inerzia delle pulegge (1) e (2) .....  $J_1 = 4 \times 10^{-4} \text{ kg m}^2$       $J_2 = 0.025 \text{ kg m}^2$
- Momento d'inerzia della vite a ricircolo di sfere .....  $J_v = 8.5 \times 10^{-5} \text{ kg m}^2$
- Massa del carrello .....  $m = 10 \text{ kg}$
- Passo della vite e numero di principi .....  $p = 5 \text{ mm/giro}$       $n_p = 1$
- Coefficiente di attrito viscoso equivalente .....  $\lambda = 5 \times 10^{-4} \text{ Nms/rad}$
- Corsa del carrello .....  $h = 800 \text{ mm}$
- Tempo di azionamento .....  $T = 8 \text{ s}$

## Domande

1. Scrivere il bilancio di potenza relativamente alla parte meccanica del sistema (componenti all'interno del riquadro tratteggiato in Figura 3) e calcolare il momento d'inerzia  $J_{eq}$  del sistema ridotto all'asse del motore.
2. Calcolare la velocità massima del carrello e del motore.
3. Calcolare l'accelerazione del carrello e del motore nelle fasi di avviamento e di frenatura.
4. Tracciare l'andamento nel tempo (nell'intervallo  $0 \div T$ ) delle seguenti grandezze:
  - a. rotazione del motore;
  - b. velocità angolare del motore;
  - c. accelerazione angolare del motore;
  - d. coppia motrice.
5. Utilizzando lo schema a blocchi di Figura 2 ricavare la funzione di trasferimento  $M(s) = \frac{\omega(s)}{i(s)}$  del motore.
6. Determinare la risoluzione  $K_c$  del convertitore D/A e la costante  $K_e$  dell'encoder.
7. Ricavare la funzione di trasferimento  $T(s) = \frac{\omega(s)}{v_{rif}(s)}$  del gruppo azionamento-motore (vedi Figura 3).
8. Dopo aver calcolato il guadagno d'anello  $L(s)$  del sistema completo, ricavare la funzione di trasferimento globale  $G(s) = \frac{p(s)}{p_{rif}(s)}$  e calcolare il valore della costante  $K_p$  in modo che il sistema, ad anello chiuso, abbia smorzamento critico.
9. Determinare il margine di fase e la banda passante del sistema quando al parametro  $K_p$  viene assegnato il valore calcolato al punto precedente.
10. Dopo aver posto  $s = j\omega$ , si rappresentino i diagrammi di Bode relativi al modulo delle funzioni di risposta armonica  $L(j\omega)$  e  $G(j\omega)$ .