



## 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** - Prima sessione 2015

### **PRIMA PROVA SCRITTA DEL 17 GIUGNO 2015**

#### **SETTORE INDUSTRIALE**

Tema n. 1:

Alcune delle tematiche generalmente affrontate nella progettazione delle macchine riguardano la trasformazione e la trasmissione del moto fra diversi elementi. In tale contesto, il candidato esponga le problematiche più comuni e descriva i sistemi (meccanismi, trasmissioni, ecc.) usualmente utilizzati per risolverle.

Tema n. 2:

Il candidato illustri le specifiche tecniche ed economiche di un sistema di controllo industriale.

Tema n. 3:

Il candidato esponga una panoramica dei principi, delle metodologie, delle tecniche e degli strumenti operativi impiegati nella gestione della produzione all'interno degli impianti industriali.



## 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 - Prima sessione 2015

### SECONDA PROVA SCRITTA DEL 25 GIUGNO 2015

#### SETTORE INDUSTRIALE

**Classi di laurea appartenenti al settore:**

**LM/25 - Ingegneria dell'automazione;**

**34/S e LM/31 - Ingegneria gestionale;**

**LM/33 - Ingegneria meccanica.**

**Tema n. 1 (classe LM/33 - Ingegneria meccanica, classe LM/25 - Ingegneria dell'automazione e classi 34/S e LM/31 - Ingegneria gestionale):**

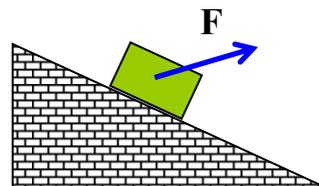
Il candidato descriva il fenomeno dell'attrito fra due corpi a contatto ed esponga le metodologie di studio per affrontare tale problematica. In particolare, si studino:

- il caso di un corpo rigido a forma di parallelepipedo, su cui agisce una forza esterna, appoggiato su un piano inclinato (analizzando le situazioni di strisciamento, distacco e ribaltamento);
- il caso di una ruota motrice di un veicolo (analizzando le condizioni di puro rotolamento e di strisciamento).

Nella trattazione si faccia riferimento alla simbologia e alle indicazioni riportate nelle immagini che seguono, e si introducano opportuni ulteriori simboli per eventuali grandezze non già specificate.

Caso a)

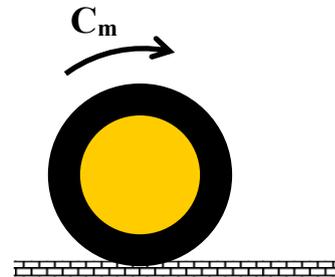
- $b$  lunghezza del corpo
- $h$  altezza del corpo
- $\alpha$  inclinazione del piano
- $f_s$  coefficiente di attrito statico
- $f_c$  coefficiente di attrito cinetico
- $m$  massa del corpo
- $J_G$  momento d'inerzia baricentrale del corpo
- $g$  accelerazione di gravità
- $F$  forza esterna agente sul corpo (di componenti orizzontale  $F_x$  e verticale  $F_y$ )



- $v$  velocità del corpo
- $a$  accelerazione del baricentro del corpo
- $\dot{w}$  accelerazione angolare del corpo
- $T$  reazione tangenziale al piano
- $N$  reazione normale al piano

Caso b)

- $r$  raggio della ruota
- $m$  massa del veicolo ripartita sulla ruota
- $J_G$  momento d'inerzia baricentrico della ruota
- $f_s$  coefficiente di attrito statico
- $f_c$  coefficiente di attrito cinetico
- $f_v$  coefficiente di attrito volvente
- $x$  spostamento del veicolo
- $\dot{x}$  velocità del veicolo
- $\ddot{x}$  accelerazione del veicolo
- $w$  velocità angolare della ruota
- $\dot{w}$  accelerazione angolare della ruota
- $C_m$  coppia motrice applicata alla ruota
- $T$  reazione tangenziale al piano
- $N$  reazione normale al piano



**Tema n. 2 (classe LM/25 - Ingegneria dell'automazione):**

Il candidato presenti nel dettaglio le problematiche e le soluzioni realizzative connesse alla progettazione e realizzazione di uno schema di controllo digitale per un sistema meccanico.

**Tema n. 3 (classi 34/S e 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 a rumore, 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 a rumore 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 - Prima sessione 2015

### PROVA PRATICA DI PROGETTAZIONE DEL 28 LUGLIO 2015

#### SETTORE INDUSTRIALE

**Classi di laurea appartenenti al settore:**

**LM/25 - Ingegneria dell'automazione;**

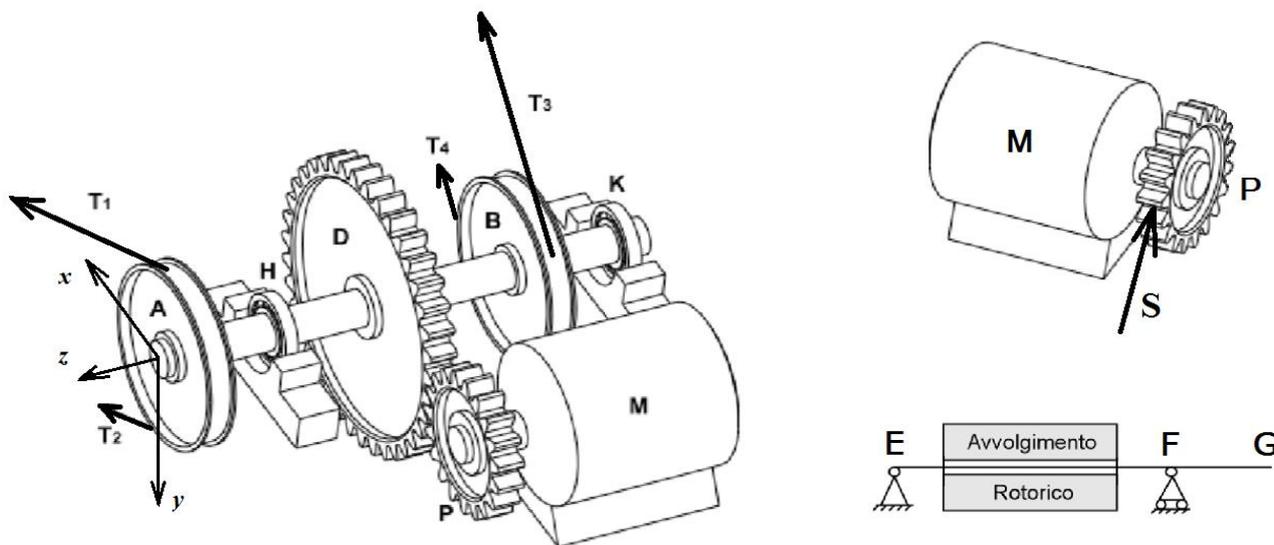
**34/S e LM/31 - Ingegneria gestionale;**

**LM/33 - Ingegneria meccanica.**

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

Nella figura a sinistra è mostrato lo schizzo tridimensionale di un dispositivo avente la funzione di fornire potenza a due utenze diverse. Il motore  $M$ , di cui si riporta uno schema nella figura a destra, trasmette, tramite il pignone  $P$ , una potenza di  $3500\text{ W}$  alla ruota  $D$  che trascina in rotazione l'albero sostenuto dai cuscinetti  $H$  e  $K$ , sul quale sono calettate le pulegge  $A$  e  $B$ .

La puleggia  $A$  assorbe il  $35\%$  della potenza, mentre la  $B$  assorbe la quota rimanente: i tratti di cinghia, dei quali sono indicate solo le forze  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$  e  $T_4$  che essi esercitano sulle pulegge, sono inclinati rispetto all'orizzontale, rispettivamente, di  $35^\circ$  verso il basso e di  $50^\circ$  verso l'alto (la direzione dell'asse orizzontale  $x$  sia individuata dall'interasse tra ruota dentata e pignone e sia indicato con  $y$  l'asse verticale verso il basso, cosicché la direzione di  $z$  risulti lungo l'asse dell'albero  $AK$ , vedi figura).



*Azionamento di pulegge tramite ingranaggio a denti dritti.*

Altri dati:

- diametro primitivo del pignone P  $D_P = 200 \text{ mm}$
- trasmissione a denti dritti, con angolo di pressione  $\vartheta = 20^\circ$
- rapporto di trasmissione  $i = 2.7$
- distanza tra i cuscinetti su cui è calettato l'albero motore  $EF = 160 \text{ mm}$
- sbalzo calettamento pignone  $FG = 60 \text{ mm}$
- diametro primitivo delle pulegge A e B  $D = 320 \text{ mm}$
- velocità del motore  $n = 800 \text{ giri/min}$
- distanze calettamento pulegge e ruota dentata  $AH = HD = BK = 200 \text{ mm}$
- distanza calettamento tra ruota dentata D e puleggia B  $BD = 300 \text{ mm}$
- relazioni fra i tiri delle cinghie  $T_1 = 5 T_2$   
 $T_3 = 5 T_4$
- materiale albero motore: acciaio C20, caratterizzato da:
  - tensione di snervamento  $\sigma_{snEG} = 380 \text{ MPa}$
  - tensione ammissibile  $\sigma_{amm} = \sigma_{sn}/\eta$  con coefficiente di sicurezza  $\eta = 2$
- materiale albero condotto: C40 bonificato, caratterizzato da:
  - tensione di rottura  $\sigma_{rAK} = 850 \text{ MPa}$
  - tensione di snervamento  $\sigma_{snAK} = 500 \text{ MPa}$
  - coefficiente d'intaglio a fatica  $k_f = 1.5$
  - coefficienti adimensionali correttivi  $b_2 = 0.95$   
 $b_3 = 0.85$

Si richiede:

- la determinazione della forza S scambiata tra pignone e ruota dentata ed il calcolo delle sue componenti radiale e tangenziale;
- la determinazione dei valori delle reazioni vincolari nei cuscinetti E ed F dell'albero motore;
- il tracciamento dei diagrammi di sollecitazione a cui è soggetto l'albero motore (per semplicità si consideri un piano passante per l'asse dell'albero e parallelo alla forza S);
- il dimensionamento dell'albero motore EG;
- il calcolo della potenza assorbita dalle pulegge A e B e il calcolo delle coppie agenti su di esse;
- l'individuazione dei tiri delle cinghie  $T_1, T_2, T_3$  e  $T_4$  e delle forze agenti sulle pulegge A e B;
- la determinazione delle componenti delle forze agenti sulle pulegge A e B nelle direzioni orizzontale e verticale, ed il calcolo dei valori delle reazioni vincolari nei cuscinetti H e K;
- il tracciamento dei diagrammi di sollecitazione a cui è soggetto l'albero AK nei diversi piani;
- la verifica dell'albero AK nella sezione più sollecitata, ipotizzando il suo diametro pari a  $16 \text{ mm}$ , discutendo il risultato ottenuto.

**Tema n. 2 (34/S e LM/31 - Ingegneria gestionale e LM/33 - Ingegneria meccanica):**

La AutoMeccanica S.p.A. è un'azienda operante nel settore automotive che produce pompe acqua per il raffreddamento del motore destinate sia al cosiddetto "primo impianto", ovvero all'installazione su veicoli nuovi da parte delle diverse case automobilistiche clienti, che al cosiddetto "aftermarket", ovvero al circuito dei pezzi di ricambio originali e non.

Da qualche mese l'azienda sta conducendo una trattativa con un potenziale nuovo cliente relativamente ad un contratto quinquennale che prevedrebbe, a regime, la fornitura di 300'000 pompe all'anno ad un prezzo di € 85. La firma del contratto comporterebbe la necessità di realizzare un investimento per adeguare la capacità produttiva sia acquistando nuove macchine/mezzi di lavoro che assumendo del personale aggiuntivo.

Il ciclo produttivo della pompa da fornire può essere sintetizzato come nella tabella seguente.

Operazione	T <sub>C</sub>	T <sub>Std</sub>
a. Lavorazione meccanica corpo pompa	1,8	1,5
b. Assemblaggio sottogruppi	3,5	10,0
c. Assemblaggio principale	2,5	1,8
d. Finitura e controllo qualità	4,0	9,6
e. Imballo e spedizione	1,0	2,5

dove:

- T<sub>C</sub> è il tempo ciclo per pezzo, espresso in minuti e decimi di minuto (carico macchina),
- T<sub>Std</sub> è il tempo standard uomo per pezzo, espresso in minuti e decimi di minuto (carico uomo).

Il costo del corpo pompa e di tutti gli altri componenti acquistati all'esterno sarebbe pari a 38 €/pompa. Da una stima, si prevede inoltre quanto indicato di seguito relativamente alle macchine/mezzi di lavoro ed agli operatori necessari.

Dati relativi alle macchine/mezzi di lavoro	a.	b.	c.	d.	e.
Disponibilità delle macchine/mezzi di lavoro (A)	0,85	0,80	0,90	0,99	0,99
Scarti, in ppm (SC)	3'500	400	1'500	100	0
Investimento per ogni macchina/mezzo di lavoro, in € (I)	750'000	350'000	500'000	45'000	10'000

Dati relativi agli operatori	a.	b.	c.	d.	e.	Totale
Incidenza percentuale dei tempi di attrezzaggio e altre perdite (%Att)	15%	10%	4%	5%	0%	
Rendimento del lavoro, rapportato alla base 133 (η)	132/133	132/133	132/133	130/133	130/133	
Incidenza percentuale delle ore di lavoro indiretto sulle ore di lavoro diretto (%ID)						12%
Assenteismo del lavoro diretto, in percentuale (%AssD)						8%
Assenteismo del lavoro indiretto, in percentuale (%AssI)						6%
Rapporto percentuale del numero di impiegati sulle maestranze (%Imp)						5%

L'organizzazione del lavoro potrebbe prevedere le seguenti configurazioni dei turni di lavoro:

- giornata,
- 8x5x2 (8 ore/turno, 5 giorni/settimana, 2 turni/giorno),

- 8x5x3 (8 ore/turno, 5 giorni/settimana, 3 turni/giorno),
- 6x6x3 (6 ore/turno, 6 giorni/settimana, 3 turni/giorno),
- 6x6x4 (6 ore/turno, 6 giorni/settimana, 4 turni/giorno).

Il costo del lavoro relativamente ad un singolo addetto è valutabile invece come nella tabella seguente.

Configurazione dei turni	Giornata	8x5x2	8x5x3	6x6x3	6x6x4
Costo annuo per addetto	€ 29'300	€ 30'000	€ 32'500	€ 32'900	€ 33'600

Si determini il numero di macchine/mezzi di lavoro necessari a regime ed il numero degli addetti necessari per ciascuna delle configurazioni dei turni di lavoro sopra presentate.

Prendendo poi in considerazione la sola configurazione dei turni di lavoro che comporta il costo minore per l'azienda, si valuti la redditività dell'iniziativa con i metodi che si ritengono più opportuni.

Per la valutazione, si assuma un orizzonte temporale di riferimento pari alla durata del contratto (5 anni). Si tenga inoltre conto che l'investimento in macchine e mezzi di lavoro sarebbe liquidato per il 65% prima di avviare la produzione e per il restante 35% durante il primo anno di attività; di conseguenza, la quantità di pompe prodotte e fornite nel primo anno sarebbe pari a 200'000 unità, mentre dal secondo anno in avanti la quantità sarebbe quella a regime (300'000 unità/anno).

Si consideri poi, in prima approssimazione, l'impiego del personale totalmente variabile con le quantità prodotte, trascurabili tutti i costi di materiale indiretto, di struttura, se non precedentemente esposti, ininfluente l'impatto del capitale circolante ed un valore residuo delle macchine/mezzi di lavoro nullo.

Inoltre, si esprima la valutazione sia trascurando che considerando l'impatto delle tasse; in questo secondo caso, si supponga una percentuale di tassazione del 43% ed un piano di ammortamento fiscale ordinario a quote costanti a 5 anni, senza distinzione tra le macchine/mezzi di lavoro e tra gli esercizi.

In conclusione, specificando eventuali ipotesi necessarie e sulla base dei risultati ottenuti, si esprima un parere motivato sulla firma o meno del contratto.

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

Dato il motore c.c. alimentato in tensione avente relazione tensione-velocità pari a:

$$G(s) = \frac{1}{0.1s} \cdot \frac{1}{0.001s + 1} (*)$$

#### PARTE A: CONTROLLO ANALOGICO

- A1. Presentare e progettare, giustificando le scelte effettuate, uno schema di controllo ad **anello singolo** per il **controllo della posizione**-utilizzando la scala logaritmica fornita nell'allegato A tale che:
- Si abbia errore nullo su un riferimento a setpoint
  - Si abbia un tempo di raggiungimento del valore di regime pari a  $T=0.4s$  ( $T_{\text{regime}} = 4 * \text{costante di tempo dominante}$ )
  - Si abbia un andamento il più simile possibile a quello di un sistema del primo ordine
- Indicare quale è la banda massima possibile per il sistema controllato tale da garantire impatto nullo dell'azionamento sulla risposta in anello chiuso.
- A2. Presentare uno schema di **controllo in cascata** per il controllo della posizione per il motore (\*), indicandone vantaggi e svantaggi.
- A3. Progettare uno schema di **controllo in cascata** basato su due controllori proporzionali per l'anello di velocità e di posizione. Tarare i due controllori, utilizzando se necessario la scala logaritmica fornita nell'allegato A, in modo tale che:
- LOOP INTERNO:
    - Inseguimento del setpoint di velocità senza errore a regime con costante di tempo dominante (in anello chiuso) pari a  $0.01s$ .
    - Andamento più simile possibile a quello di un sistema del primo ordine.
  - LOOP ESTERNO
    - Inseguimento del setpoint di velocità senza errore a regime con costante di tempo dominante pari a  $0.1s$ .
    - Approssimativamente senza sovraelongazioni ( $<10\%$ ).
- Motivare le scelte progettuali effettuate. Indicare se e quando potrebbe essere utile l'inserimento di un ulteriore integratore nel controllore dell'anello interno.
- A4. Presentare uno schema di controllo feedforward per l'inseguimento del setpoint di posizione per il sistema indicandone vantaggi e svantaggi. Indicare il ruolo teorico dell'azione di feed-forward e del controllore in questo schema.
- A5. Progettare uno schema di **controllo feed-forward (azione di feedforward+controllore)** per il **controllo della posizione** che garantisca un tempo di assestamento al 2% pari a  $1s$  e sovraelongazione massima del 5%.

#### PARTE B: CONTROLLO DIGITALE

Trascurando l'effetto degli azionamenti nella funzione di trasferimento (\*).

- B1. Presentare e commentare lo schema di controllo digitale ad anello singolo per la posizione. Indicare le criticità del sistema di controllo rispetto al sistema di controllo a tempo di continuo.
- B2. Progettare con il metodo della discretizzazione e giustificando le scelte effettuate, uno schema di controllo ad **anello singolo** per il **controllo della posizione**-utilizzando la scala logaritmica fornita nell'allegato A tale che:
- Si abbia errore nullo su un riferimento a setpoint
  - Si abbia un tempo di raggiungimento del valore di regime pari a  $T=0.4s$  ( $T_{\text{regime}} = 4 * \text{costante di tempo dominante}$ )

Supporre di avere a disposizione un sensore avente tempo di campionamento pari a 0.1s (e nessun errore di quantizzazione).

Indicare la sovraelongazione massima percentuale ottenuta con il controllore progettato.

- B3. Calcolare la funzione di trasferimento della serie **ZOH-Sistema-Campionatore** per l'anello di velocità, supponendo un sensore avente tempo di campionamento pari a 0.1s (e nessun errore di quantizzazione).
- B4. Presentare il concetto di controllo deadbeat, indicandone modalità di progettazione, vantaggi e svantaggi.
- B5. Realizzare un **controllo dead-beat per la velocità**, indicando il tempo di raggiungimento del valore di set-point.
- B6. Progettare uno schema in cascata il cui anello di velocità sia quello progettato al punto B5 e il controllore esterno permetta un'uscita deadbeat ripple-free sulla posizione (progettare tutto direttamente in z dopo aver discretizzato tutti i componenti coinvolti).
- B7. 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).
- B8. Presentare l'implementazione in pseudocodice del controllore deadbeat progettato al punto B2.

**Allegato al Tema n. 3**

