



## 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 2017

### PRIMA PROVA SCRITTA DEL 15 GIUGNO 2017

#### SETTORE INDUSTRIALE

##### **Tema n. 1:**

L'attività sperimentale svolge nell'ingegneria moderna un ruolo importante anche nell'ambito industriale. La gestione delle attività di misura ricopre in questo ambito una parte importante.

Indichi il candidato come, secondo le normative nazionali ed internazionali, devono essere gestite e trattate le misure e la strumentazione da utilizzare in ambito industriale.

##### **Tema n. 2:**

L'ottimizzazione di un prodotto o di un processo rappresenta indubbiamente l'obiettivo principale che l'ingegnere industriale deve perseguire durante lo sviluppo di un progetto.

Utilizzando alcuni esempi a sua scelta il candidato illustri le modalità secondo le quali il concetto di "ottimizzazione" viene implementato durante la progettazione ingegneristica di un prodotto industriale o di un processo produttivo.

##### **Tema n. 3:**

Gli ingegneri di processo sono chiamati molto spesso a lavorare con fluidi non-Newtoniani. Il candidato introduca i fluidi non-Newtoniani e descriva le implicazioni di carattere tecnologico associate al loro peculiare comportamento.

##### **Tema n. 4:**

Il candidato illustri le principali metodologie, tecniche e strumenti utilizzabili nell'ambito della valutazione dei rischi per la salute e la sicurezza dei lavoratori all'interno di un generico impianto industriale. Il candidato illustri inoltre il ruolo che tale attività potrà avere nello sviluppo della propria attività professionale.



## 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 2017

### SECONDA PROVA SCRITTA DEL 23 GIUGNO 2017

#### SETTORE INDUSTRIALE

**Tema n. 1 (classe LM/31 - Ingegneria gestionale)**

Con riferimento alla logistica esecutiva, si descrivano le finalità, le caratteristiche, le modalità operative e le principali problematiche connesse con l'attività di movimentazione e stoccaggio delle merci all'interno di un deposito.

Si proceda inoltre all'identificazione dei principali fattori di rischio per la salute e la sicurezza dei lavoratori addetti a tale attività e, per uno dei fattori identificati, si proponga e si descriva nel dettaglio la metodologia da utilizzarsi per la valutazione del rischio connesso a tale fattore.

**Tema n. 2 (classe LM/33 - Ingegneria meccanica)**

Nel percorso progettuale di un componente un ruolo fondamentale è svolto dalle proprietà del materiale, le quali vengono misurate con specifiche prove di laboratorio. Il candidato descriva le metodologie di prova per la misurazione delle proprietà di rigidità e resistenza meccanica dei materiali polimerici, sottolineando l'effetto delle condizioni di prova. Si considerino anche gli aspetti più propriamente strumentali.

### Tema n. 3 (classe LM/33 - Ingegneria meccanica)

Si deve realizzare un impianto per sollevare acqua dal serbatoio n.1 al serbatoio n.2 (vedi Figura 3.1); entrambi i serbatoi sono a pelo libero ed essendo di dimensioni notevoli è possibile ritenere costante la quota del pelo libero.

Supponendo di disporre di tutte le informazioni tecniche necessarie, si chiede di illustrare la procedura di progettazione dell'impianto, indicando in particolare:

1. i criteri di dimensionamento delle tubazioni;
2. i metodi per valutare le perdite di carico;
3. i dispositivi di regolazione della portata;
4. le verifiche da effettuare per evitare il problema della cavitazione;
5. il calcolo della potenza della pompa e del motore;
6. il costo di esercizio dell'impianto, supponendo noto il numero di ore di funzionamento giornaliero.

Si consideri anche la possibilità di regolare la portata agendo sulla velocità di rotazione del motore; in questo caso si indichi il tipo di motore più adatto per azionare la pompa e si individuino i dispositivi di comando necessari per la regolazione della velocità.

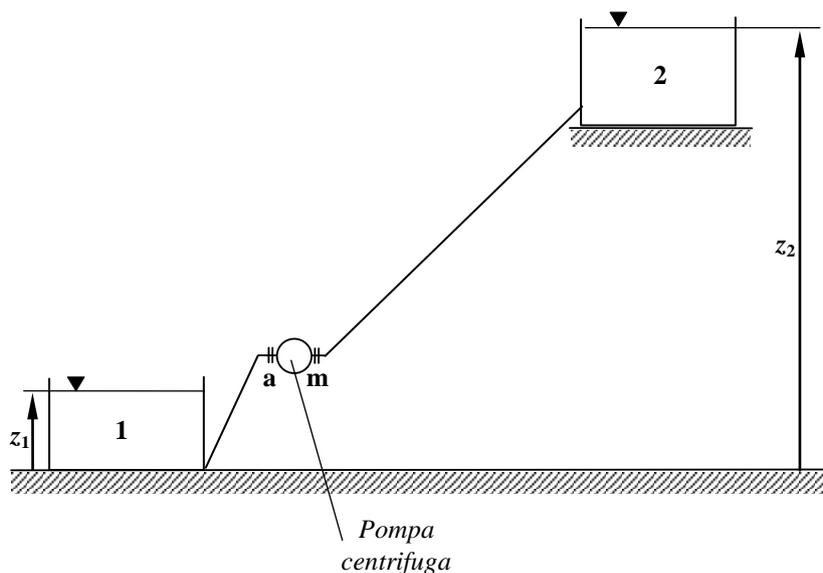


Figura 3.1 – Rappresentazione schematica dell'impianto

#### Tema n. 4 (classe LM/33 - Ingegneria meccanica)

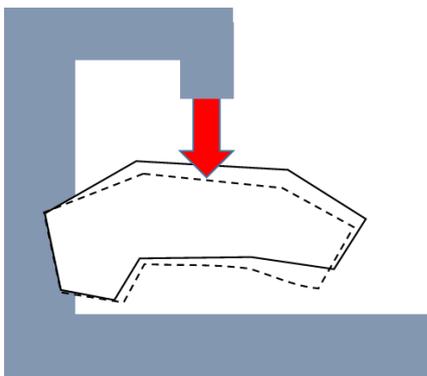
Si vuole realizzare un'attività sperimentale per verificare la congruenza di un modello numerico (FEM) di un componente sollecitato meccanicamente rispetto alla realtà. Viene realizzato un banco-prova (indicato schematicamente in Figura 4.1) che permette di sollecitare il componente con un carico che può essere regolato a piacimento mediante un sistema idraulico.

Si supponga che lo scopo delle prove sia quello di verificare, in alcuni punti significativi del pezzo, sia il livello di sollecitazione meccanica (sforzo/deformazione in una direzione specifica) in relazione al carico applicato, sia il livello complessivo della sollecitazione meccanica (stato di sollecitazione piano).

Le prove vengono eseguite sia con sollecitazioni in regime statico che con sollecitazioni dinamiche (lente) nell'intervallo di frequenze 0-10 Hz.

Il candidato indichi come potrebbe essere opportuno progettare l'intera sessione di test focalizzando l'attenzione su:

- identificazione delle grandezze meccaniche da monitorare per eseguire il confronto fra modello numerico e modello fisico;
- scelta degli strumenti da utilizzare (trasduttori) e loro impiego (circuiti di misura);
- indicazioni per la catena di misura da utilizzare per le misure statiche e per quelle dinamiche;
- modalità di elaborazione delle informazioni eseguita al fine di passare dalla registrazione delle uscite analogiche degli strumenti scelti alle grandezze meccaniche che consentano il confronto con il modello FEM;
- principali fonti di incertezza che possano giustificare eventuali difformità fra risultati teorici e sperimentali.



*Figura 4.1 – Rappresentazione schematica del banco-prova*

### Tema n. 5 (classe LM/25 - Ingegneria dell'automazione e classe LM/33 - Ingegneria meccanica)

L'azionamento lineare rappresentato in Figura 5.1 deve essere utilizzato per movimentare pezzi meccanici di piccole dimensioni (peso max. 8 kg). Il contenitore può ospitare al massimo 5 pezzi cilindrici che vengono caricati e scaricati mediante un braccio robotizzato (non rappresentato in Figura).

Supponendo di disporre di tutti i dati tecnici necessari, il candidato illustri le fasi operative che consentono una corretta progettazione del dispositivo. In particolare si indichino le procedure e le formule necessarie per effettuare i calcoli, ricorrendo anche a disegni schematici e diagrammi qualitativi, ove necessario.

Per comodità si riporta una possibile traccia di svolgimento che il candidato potrà seguire per organizzare meglio la descrizione delle varie fasi di progettazione:

1. definire la movimentazione a livello cinematico;
2. definire le caratteristiche della trasmissione e scegliere i componenti che la costituiscono; si valutino anche gli aspetti economici, la facilità di manutenzione e i requisiti di precisione di posizionamento;
3. indicare una soluzione progettuale per guidare il carrello lungo la traiettoria rettilinea; nella risposta si tenga presente che la soluzione richiesta dovrà garantire basso attrito e buona resistenza all'usura [solo per i candidati della classe LM/33 - Ingegneria meccanica];
4. indicare i criteri per il dimensionamento del motore (coppia massima, velocità massima, potenza) e per la scelta del rapporto di trasmissione;
5. indicare le tipologie di motore elettrico idonee per la movimentazione del sistema; si discutano le loro caratteristiche valutando in particolare: i costi, la complessità costruttiva, le esigenze di manutenzione, le esigenze di raffreddamento;
6. definire lo schema di controllo del moto da implementare sul sistema; si discutano varie soluzioni, valutando in particolare la facilità di implementazione e di regolazione [solo per i candidati della classe LM/25 - Ingegneria dell'automazione].

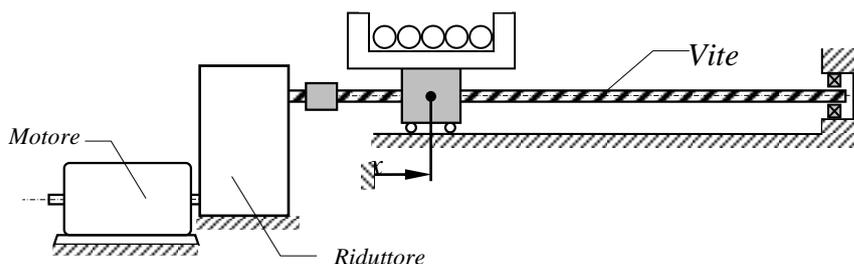


Figura 5.1 – Schema dell'azionamento lineare



## 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 2017

### PROVA PRATICA DI PROGETTAZIONE DEL 17 LUGLIO 2017

#### SETTORE INDUSTRIALE

##### **Tema n. 1 (classe LM/31 - Ingegneria gestionale):**

La Stockemov è un'azienda operante nella grande distribuzione organizzata avente un deposito in provincia di Asti. Il deposito è in un'area di 300.000m<sup>2</sup> di cui 150000m<sup>2</sup> coperti. È ubicato in posizione strategica in rapporto alle principali vie di circolazione e confina a nord con un'azienda che produce prefabbricati in cemento armato, la PrefCA, a est con un'azienda che produce componentistica meccanica, la CompMecc e ad ovest con un'area edificabile che la Stockemov acquisirà nei prossimi mesi.

L'attività della Stockemov consiste sostanzialmente nello stoccaggio e nella distribuzione di scatolame, prodotti alimentari freschi e freschissimi e surgelati, per un totale di circa 800 referenze. La rete distributiva della Stockemov serve 57 punti di vendita (PdV) e si sviluppa nell'area del Piemonte, della Liguria e della Lombardia occidentale. I punti vendita vengono riforniti quotidianamente con modalità *a per b* (se l'ordine dal PdV arriva alla Stockemov entro le 11.00 del giorno *a*, la merce viene consegnata il giorno successivo, *b*). I PdV ubicati a meno di 60km dal deposito vengono riforniti anche due volte al giorno, con una prima consegna la mattina prima dell'apertura del PdV e una seconda consegna nel pomeriggio. Per tali punti di vendita la consegna del pomeriggio viene effettuata con logica *a per a* se l'ordine viene inviato al deposito entro le 14.00. All'interno del deposito, con funzioni operative, lavorano 100 addetti suddivisi fra addetti al picking e addetti alla movimentazione delle merci.

Gli addetti al picking eseguono il prelievo manuale dei prodotti operando con due modalità diverse:

- prelievo dal livello più basso dell'area di stoccaggio per le referenze tenute a stock. In questo caso l'addetto al prelievo si muove a bordo di un carrello commissionatore, riceve la lista di prelievo su un terminale a bordo del carrello, effettua la missione di prelievo e porta poi il pallet con la merce prelevata nell'area di verifica e consolidamento delle spedizioni;
- ventilazione. Tale modalità si applica per le referenze di cui non si mantiene scorta (prodotti freschissimi). Quando vengono scaricate le unità di carico pallettizzate (UdC) monoarticolo contenenti la merce consegnata da un fornitore, si effettuano i necessari controlli e poi si avvia la fase di smistamento dei colli in ingresso in funzione degli ordini inviati dai PdV. Ogni addetto alla ventilazione prende una UdC che ha superato il controllo in ingresso e provvede a distribuire i colli contenuti. L'area di ventilazione è organizzata con 57 postazioni, una per ogni PdV. In ciascuna postazione è collocato un pallet vuoto su cui l'addetto alla ventilazione deposita il numero di colli richiesto da quel PdV per la referenza che sta smistando. Al termine del giro di ventilazione l'addetto deposita in pallet ormai vuoto in un'apposita area, preleva una nuova UdC da smistare e ripete le operazioni appena descritte.

Gli addetti alla movimentazione operano invece a bordo di carrelli elevatori a montante retrattile ed effettuano le seguenti operazioni:

- rifornimento dell'area di stoccaggio (organizzata con scaffalature a celle a semplice profondità contenenti 2 UdC affiancate e con 6 livelli di stoccaggio) con le UdC consegnate dai fornitori (per le referenze di cui si mantiene scorta),
  - rifornimento dell'area di picking con UdC prelevate dal sistema di stoccaggio,
  - prelievo di UdC intere dal sistema di stoccaggio nel caso di ordini di elevati quantitativi di materiale da parte dei PdV.
- A ciò si aggiungono ulteriori movimentazioni interne la cui entità risulta però trascurabile rispetto alle precedenti.

Considerando l'esito della valutazione dei rischi e che l'età media del personale operativo è elevata in rapporto a quella di realtà analoghe, la Stockemov ha adottato da un paio di anni la politica di coprire eventuali carenze di personale dedicato alla movimentazione delle merci formando adeguatamente e spostando su tale attività personale proveniente dal picking ed inserendo eventualmente nuove risorse da dedicare al prelievo.

Data l'imminente acquisizione dell'area edificabile con cui la Stockemov confina, dettata anche da un prevedibile aumento dei PdV serviti e delle referenze gestite, l'azienda sta pianificando lo spostamento in tale area di alcune attività al fine di ottimizzare le proprie prestazioni.

A tal fine ha incaricato una società di consulenza di sviluppare alcune ipotesi di layout della nuova area e di identificare le attività che sarebbe opportuno spostare. Sulla base delle prime valutazioni effettuate, parrebbe opportuno dedicare la nuova area alla gestione di quelle referenze che vengono vendute a UdC intere.

Una delle soluzioni proposte dalla società di consulenza prevede il layout riportato in Figura 1 in cui sono indicate 3 differenti aree di stoccaggio dedicate a tali referenze e le baie di carico e scarico delle merci.

Sulla base di tale layout e delle informazioni di seguito riportate, vi viene chiesto di dimensionare la flotta carrelli che risulterebbe necessaria per soddisfare le necessità di movimentazione previste per tale nuova area.

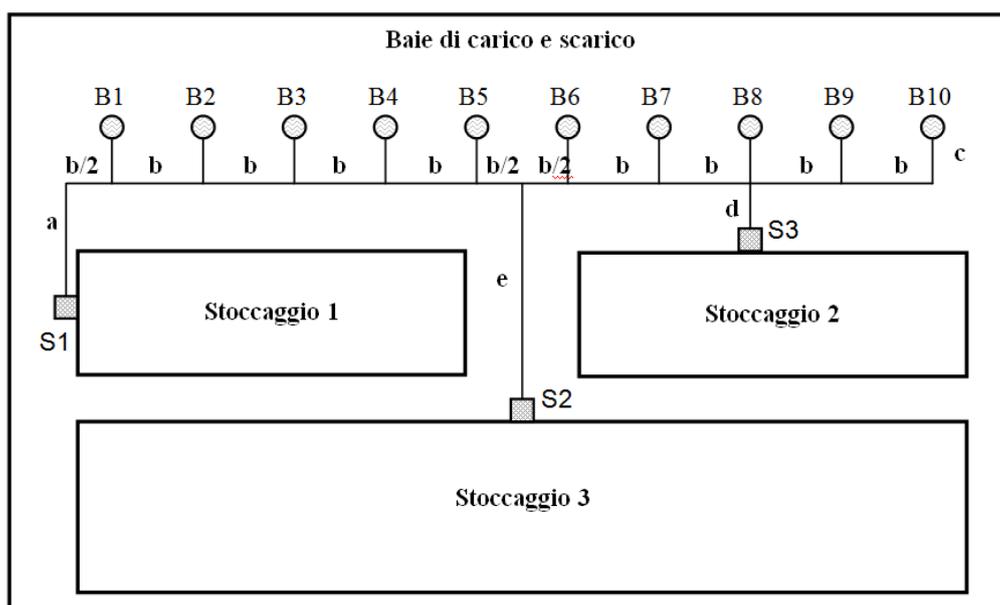


Figura 1 - Ipotesi layout nuova area

<b>a</b>	25 m
<b>b</b>	10 m
<b>c</b>	8 m
<b>d</b>	10 m
<b>e</b>	40 m

Tabella 1 - Dimensioni relative alla Figura 1

Sulla base delle informazioni attualmente disponibili sulle movimentazioni effettuate dalla Stockemov e considerando le previsioni fatte sugli scenari futuri, la società di consulenza ha stimato che all'interno del nuovo deposito si svilupperanno i flussi orari di merce riportati in Tabella 2, espressi come numero di UdC che sarà necessario movimentare da ciascuna area di stoccaggio (S1, S2, S3) verso ciascuna baia di carico e scarico.

		<b>Baie</b>									
		B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10
<b>Stoccaggio</b>	S1	35	27	35	30	30	22	20	20	45	10
	S2	15	18	30	20	20	20	15	37	15	10
	S3	23	28	10	12	12	12	17	8	13	5

Tabella 2 - Matrice dei flussi orari [UdC/h].

Per dimensionare la flotta carrelli tenete conto che l'attuale fornitore di carrelli elevatori della Stockemov ritiene che per soddisfare le esigenze dell'azienda sono attualmente disponibili due modelli di carrelli elevatori a montante retrattile (il consolidato modello C1 e il nuovissimo modello C2 appena lanciato sul mercato) che si differenziano sostanzialmente per i seguenti fattori:

- velocità di traslazione orizzontale: C2 con velocità maggiore di C1 del 20%;
- prezzo: C2 con prezzo maggiore di C1;
- ergonomia e sicurezza: come si evince dalla brochure di presentazione del carrello C2 "il carrello C2 azzera il rischio investimento grazie alla visibilità a 360° e ottimizza ergonomia e sicurezza per l'operatore);
- ricarica del carrello: tempo di ricarica di C1 inferiore del 30% al tempo di ricarica di C2.

Per altri parametri caratteristici i due carrelli hanno prestazioni analoghe.

Dopo aver determinato la dimensione della flotta carrelli sia nel caso di carrelli C1 che C2, il datore di lavoro della Stockemov vi chiede di indicargli:

- quanti operatori dovrà prevedere per tale attività, specificando anche le modalità di organizzazione del lavoro che ritenete più opportune;
- quali sono i principali fattori di rischio a cui risulterebbero esposti gli addetti che utilizzano i carrelli elevatori e se effettivamente l'acquisto del carrello C2 porterebbe effettivamente una riduzione di tali rischi;
- se è opportuno applicare ancora la politica di spostare alla movimentazione addetti che prima effettuavano il picking o se sia preferibile assumere nuovo personale da dedicare a tale attività tenendo conto sia del fattore economico che delle problematiche connesse alla valutazione dei rischi. Si chiede di dettagliare le motivazioni alla base della risposta.

Per poter valutare se il carrello C2 apporti dei benefici (quesito b) è evidente che è necessario approfondire la generica indicazione riportata sulla brochure del carrello "ottimizza ergonomia e sicurezza per l'operatore". Indicate quindi quali chiarimenti sarebbe opportuno chiedere al fornitore con riferimento ai fattori di rischio che sono stati eliminati o ridotti con questo nuovo modello C2, specificando anche quali valori quantitativi sarebbe necessario avere e per quale motivo per poter fare una valutazione corretta.

Indicate inoltre quanto potrebbe essere disposta a spendere in più la Stockemov per acquistare il modello C2 al posto del C1 in virtù delle sue migliori prestazioni in termini operativi e di ergonomia e sicurezza (evidenziare chiaramente le considerazioni fatte relativamente alle due tipologie di prestazione).

Per la soluzione del problema il candidato ipotizzi ragionevolmente tutti i dati necessari ed espliciti le ipotesi su cui basa le proprie considerazioni.

Nell'effettuare le vostre valutazioni tenete anche conto che, in uno degli incontri avuti con il datore di lavoro della Stockemov, è emersa una sua particolare sensibilità verso il tema visibilità dei carrelli elevatori in quanto di recente, nella PrefCA, azienda confinante con la Stockemov, si è verificato un infortunio mortale a seguito di investimento di un operatore a piedi da parte di un carrello elevatore. Da quanto è stato possibile sapere, pare

che il carrellista non avesse adeguata visibilità mentre guidava il carrello e non si sia quindi accordato del pedone che stava sopraggiungendo.

Il datore di lavoro è quindi interessato a valutare bene la prestazione dichiarata per il carrello C2: “il carrello C2 azzerava il rischio investimento grazie alla visibilità a 360°”.

Dopo aver effettuato delle considerazioni in merito a tale prestazione dichiarata per il carrello C2, decidete di approfondire il tema e scoprite che è disponibile un progetto di norma dal titolo Powered industrial trucks - Visibility - Test methods and verification - Part 6: Sit-on counterbalance trucks and rough terrain masted trucks greater than 10 000 kg capacity.

Indicate se, ed eventualmente come, tale norma possa essere utilizzata per verificare le prestazioni del carrello C2 riportando tutte le considerazioni che ritenete opportuno effettuare per affrontare in modo rigoroso il problema della visibilità dei carrelli elevatori.

Tema n. 2 (classe LM/33 - Ingegneria meccanica)

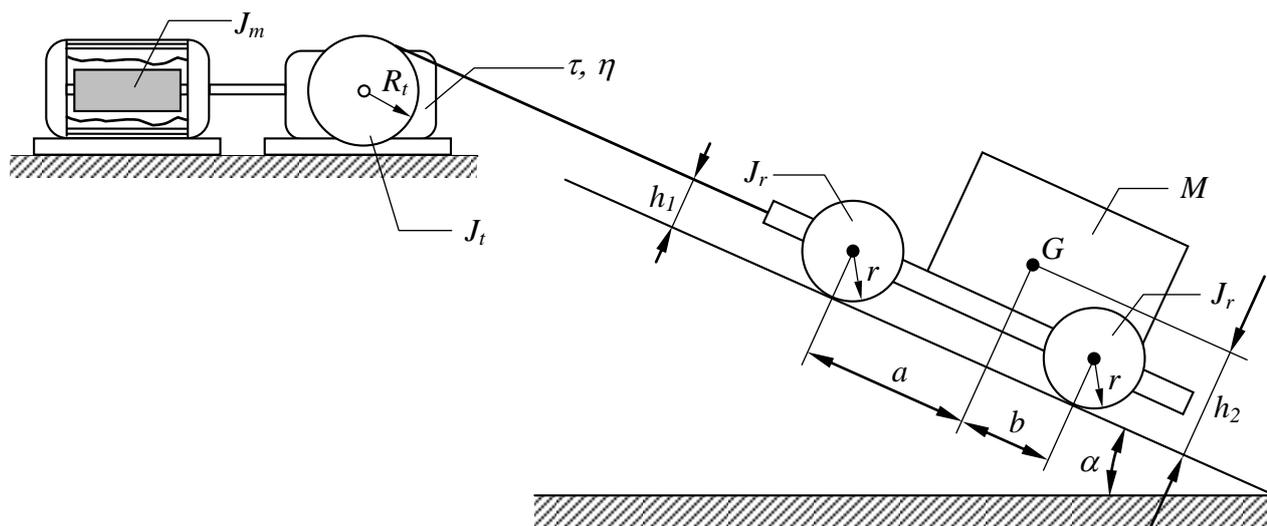


Fig. 1: Schema dell'argano

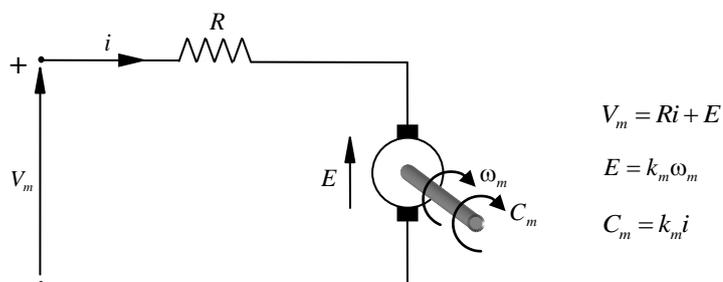


Fig. 2: Schema elettrico del motore in corrente continua a magneti permanenti che aziona l'argano; per il significato dei simboli si veda la nota dopo la sezione "Dati".

L'argano rappresentato schematicamente in Fig. 1 viene utilizzato per sollevare un carrello lungo un piano inclinato. La lettera "G" indica la posizione del baricentro del carrello.

Le quattro ruote del carrello hanno raggio  $r$  e momento d'inerzia baricentrico  $J_r$ . Si ipotizzi assenza di strisciamento fra le ruote e il piano inclinato.

Il tamburo rotante sul quale si avvolge la fune che trascina il carrello è azionato da un motore in corrente continua a magneti permanenti tramite un riduttore di velocità.

Utilizzando i dati assegnati ed adottando per i calcoli il Sistema Internazionale (S.I.), si chiede di:

1. determinare il valore della tensione di alimentazione  $V_m$  che occorre fornire ai morsetti del motore in modo che la coppia di spunto risulti uguale a 95 Nm; per il calcolo si utilizzi lo schema semplificato del motore indicato in Fig. 2 (induttanza trascurabile);
2. tracciare il grafico che fornisce l'andamento della coppia motrice in funzione della velocità angolare del motore e calcolare la velocità del motore a vuoto;
3. utilizzando il bilancio di potenza, ricavare l'equazione di moto del sistema meccanico nella forma:

$$\dot{\omega}_m = F(\omega_m)$$

dove  $\omega_m$  e  $\dot{\omega}_m$  indicano rispettivamente la velocità e l'accelerazione angolare dell'albero motore;

4. calcolare la coppia resistente ridotta all'asse del motore, considerando l'effetto gravitazionale e la resistenza dovuta all'attrito volvente delle ruote;
5. studiare il transitorio di avviamento del sistema, calcolando l'andamento nel tempo della velocità e dell'accelerazione del carrello; si ipotizzi che, al tempo  $t = 0$  (corrispondente all'istante in cui viene premuto il pulsante di avvio del motore elettrico), il carrello sia in equilibrio sul piano inclinato con la fune in tensione; supponga inoltre che la trasmissione sia irreversibile e quindi impedisca la discesa del carrello lungo il piano inclinato quando il motore non è alimentato; nel calcolo si utilizzi il valore di tensione calcolato al punto 1);
6. si rappresentino in forma grafica gli andamenti nel tempo della velocità e dell'accelerazione del carrello;
7. calcolare la velocità del motore e del carrello in condizioni di regime;
8. determinare l'andamento nel tempo della coppia motrice e tracciarne il grafico;
9. calcolare le forze nei punti di contatto fra le ruote ed il piano inclinato, supponendo che il sistema sia in condizioni di regime;
10. Stabilire il valore di forza che dovrà essere utilizzato come riferimento per dimensionare la fune di trazione (si consideri la situazione di maggiore sollecitazione durante l'avviamento).
11. fornire una rappresentazione schematica del riduttore (in forma di schizzo), indicando una possibile soluzione costruttiva che consenta di ottenere il rapporto di trasmissione richiesto e la condizione di irreversibilità.

## Dati

- Massa del carrello (ruote comprese)..... $M = 600 \text{ kg}$
- Momento d'inerzia delle ruote del carrello ..... $J_r = 0,4 \text{ kg m}^2$
- Momento d'inerzia del motore ..... $J_m = 0,005 \text{ kg m}^2$
- Momento d'inerzia del tamburo ..... $J_t = 0,8 \text{ kg m}^2$
  
- Inclinazione del piano rispetto all'orizzontale ..... $\alpha = 30^\circ$
- Rapporto di trasmissione ..... $\tau = 1:20$
- Rendimento della trasmissione ..... $\eta = 87\%$
- Coeff. di attrito volvente fra le ruote del carrello ..... $f_v = 0,025$
  
- Raggio delle ruote del carrello..... $r = 200 \text{ mm}$
- Raggio del tamburo..... $R_t = 220 \text{ mm}$
- Distanza "a" ..... $a = 800 \text{ mm}$
- Distanza "b" ..... $b = 450 \text{ mm}$
- Distanza " $h_1$ " ..... $h_1 = 270 \text{ mm}$
- Distanza " $h_2$ " ..... $h_2 = 580 \text{ mm}$
  
- Resistenza elettrica del circuito di armatura del motore..... $R = 0.72 \Omega$
- Costante di coppia/tensione del motore ..... $k_m = 0.57 \text{ Nm/A}$

### Nota: Significato dei simboli utilizzati nella Fig. 2 (con unità di misure S.I.):

- $V_m$ : tensione ai morsetti del motore ..... [V]
- $R$  resistenza del circuito di armatura del motore ..... [ $\Omega$ ]
- $i$  corrente di armatura del motore ..... [A]
- $E$ : tensione contro-elettromotrice ..... [V]
- $k_m$ : costante di coppia/tensione del motore ..... [Nm/A] oppure [Vs/rad]
- $C_m$ : coppia motrice all'asse del motore ..... [Nm]
- $\omega_m$ : velocità angolare del motore ..... [rad/s]

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

In Fig.1 è rappresentato lo schema a blocchi del sistema di controllo che permette di azionare il braccio di un robot.

Per l'azionamento del braccio viene utilizzato un motore in corrente continua abbinato ad un riduttore avente rapporto di trasmissione  $z$  (Fig.2).

Lo schema di controllo prevede una retroazione di velocità ed una retroazione di posizione.

Il trasduttore di velocità (dinamo tachimetrica) ed il trasduttore di posizione (encoder incrementale bicanale in quadratura) sono entrambi montati sull'asse del motore.

Per effettuare il controllo di posizione si utilizza un regolatore ad azione proporzionale e derivativa, con funzione di trasferimento  $F(s) = K_p + sK_d$

Il motore in c.c., del tipo a magneti permanenti, ha un circuito di armatura con resistenza  $R$  ed induttanza trascurabile; la costante di coppia del motore ha valore pari a  $\alpha$ .

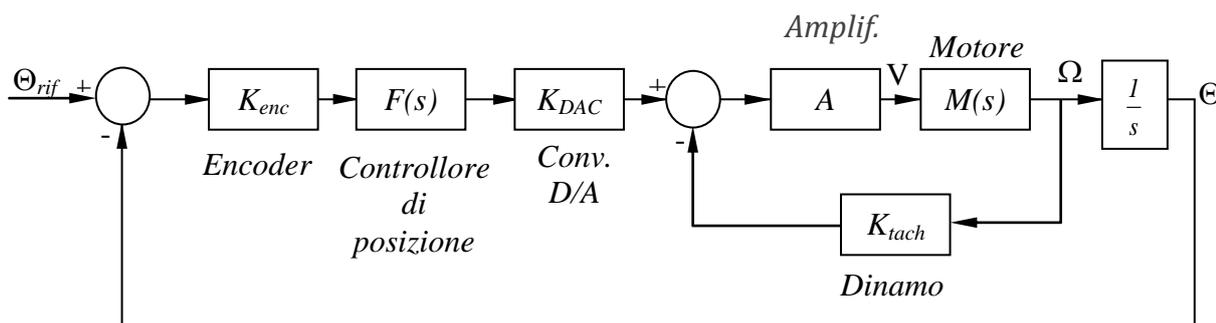


Fig.1

Simboli adottati nello schema a blocchi:

- $\Theta_{rif}$ : posizione di riferimento dell'albero motore
- $\Theta$ : posizione effettiva dell'albero motore
- $V$ : Tensione di armatura del motore
- $\Omega$ : Velocità angolare dell'albero motore

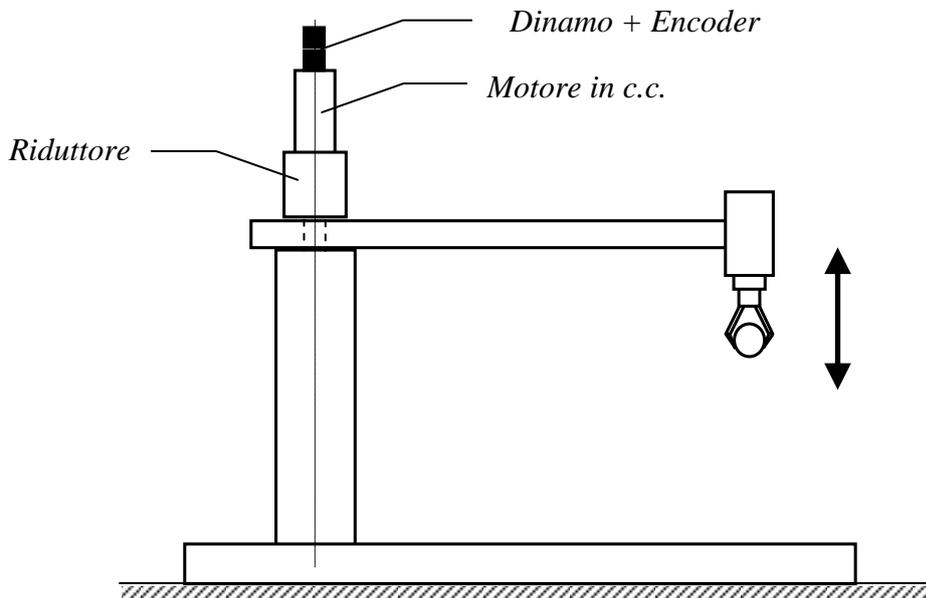


Fig.2

## Domande

1. Calcolare il guadagno d'anello  $L(s)$  dell'anello di posizione.
2. Calcolare la funzione di trasferimento globale  $G(s)$  fra la posizione effettiva  $\Theta$  e la posizione di riferimento  $\Theta_{rif}$ .
3. Dare indicazioni sulla stabilità del sistema retroazionato calcolando il margine di fase.
4. Tracciare i diagrammi di Bode asintotici del modulo delle funzioni di trasferimento  $L(s)$  e  $G(s)$ .
5. Fornire una rappresentazione schematica del gruppo motore-trasmissione, indicando una possibile soluzione costruttiva che consenta di movimentare il braccio del robot.
6. Effettuare la progettazione funzionale del sistema di afferraggio degli oggetti, indicando una soluzione cinematica adeguata che consenta di aprire e chiudere correttamente la pinza.
7. Individuare una soluzione progettuale che consenta di ottenere la traslazione verticale della pinza senza ricorrere a sistemi pneumatici.
8. Con riferimento alle normative comunemente adottate negli impianti robotizzati, indicare quali dispositivi dovranno essere installati sul robot e nella zona di lavoro della macchina per garantire le necessarie condizioni di sicurezza.

## Dati

- Numero di bit del convertitore D/A .....  $n = 12$
- Range di uscita del convertitore D/A .....  $\Delta V = 20 \text{ V } (-10 \div +10 \text{ V})$
- Numero di impulsi per giro dell'encoder bicanale .....  $N = 1000$
- Guadagno dell'amplificatore di tensione .....  $A = 10$
- Costante di proporzionalità della dinamo tachimetrica .....  $K_{tach} = 12 \text{ V} / 1000 \text{ RPM}$
- Costante di coppia del motore .....  $\alpha = 0.2 \text{ Nm/A}$
- Resistenza di armatura del motore .....  $R = 1 \ \Omega$
- Rapporto di trasmissione del riduttore .....  $z = 1/100$
- Momento d'inerzia del motore .....  $J_m = 1.8 \cdot 10^{-4} \text{ kg m}^2$
- Momento d'inerzia del braccio .....  $J_b = 0.7 \text{ kg m}^2$
- Guadagno proporzionale del controllore di posizione .....  $K_p = 1.5$
- Guadagno derivativo del controllore di posizione .....  $K_d = 0.2$