

scritta

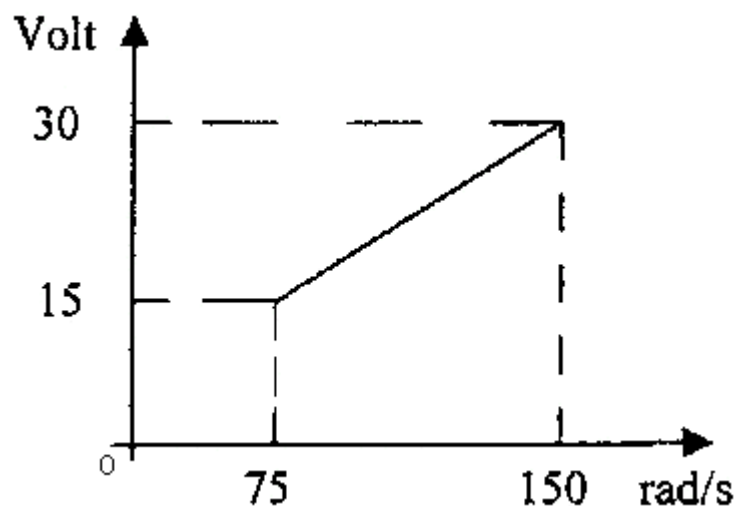
M048 - ESAME DI STATO DI ISTITUTO PROFESSIONALE

CORSO DI ORDINAMENTO

**Indirizzo:** TECNICO DELLE INDUSTRIE ELETTRICHE

**Tema di:** SISTEMI, AUTOMAZIONE E ORGANIZZAZIONE DELLA PRODUZIONE

L'impianto di automatizzazione di un'azienda vinicola per il riempimento e la chiusura delle bottiglie prevede l'impiego di un nastro trasportatore per convogliare le bottiglie verso le stazioni dove vengono svolte le suindicate operazioni. Sapendo che la durata del riempimento è in funzione della capacità dei contenitori e che il sistema deve provvedere al controllo espellendo le bottiglie non correttamente riempite, il candidato -fatte eventuali ipotesi aggiuntive, scelti di conseguenza i dispositivi necessari - descriva una possibile configurazione del sistema e illustri la soluzione dell'automatismo, usando un metodo di sua conoscenza. Sapendo inoltre che: il motore in corrente continua, preposto al movimento del nastro trasportatore, è inserito in un sistema di controllo ad anello chiuso e ha le seguenti caratteristiche: costante di tempo elettrica = 0,125 ms, costante meccanica = 1,25 ms, costante di macchina = 0,04 Vs/rad; la dinamo tachimetrica presenta la seguente caratteristica:



quando il motore gira ad una velocità di 100 rad/s la tensione rilevata deve valere 5 V e il sistema di comando ha un guadagno statico pari a 1,6 e una costante di tempo di 12,5 ms,

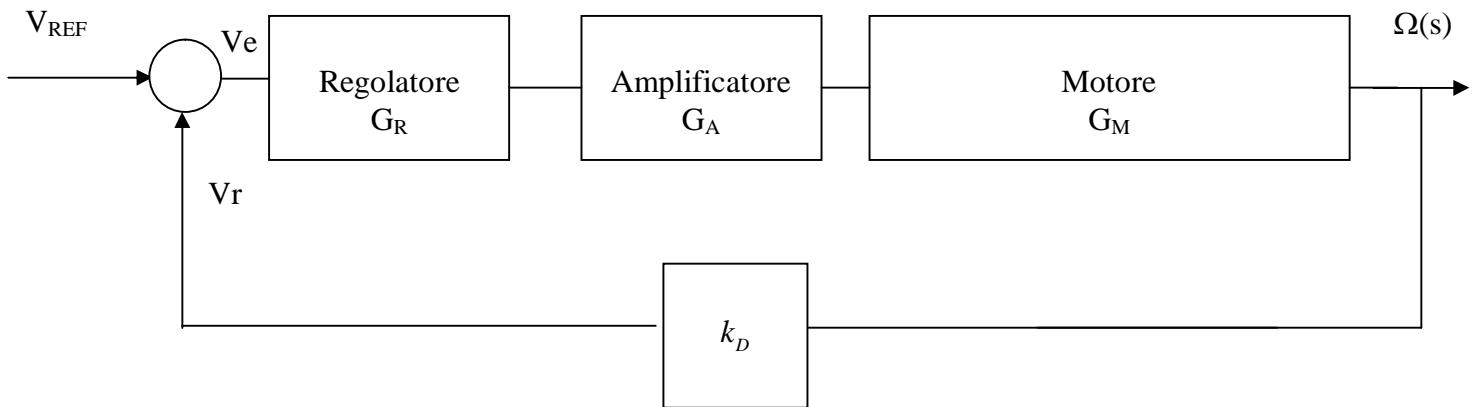
il candidato, fatte eventuali ipotesi aggiuntive:

1. descriva il sistema con uno schema a blocchi, calcolandone la funzione di trasferimento totale;
2. illustri l'utilità dell'introduzione di un regolatore proporzionale e lo dimensiona ipotizzando un opportuno margine di fase.

Durata massima della prova: 6 ore. E' consentito soltanto l'uso di manuali tecnici e di calcolatrici tascabili non programmabili. Non è consentito lasciare l'Istituto prima che siano trascorse 3 ore dalla dettatura del tema.

### Soluzione PARTE SISTEMI

In figura è rappresentato lo schema a blocchi del sistema



La funzione di trasferimento del motore è:

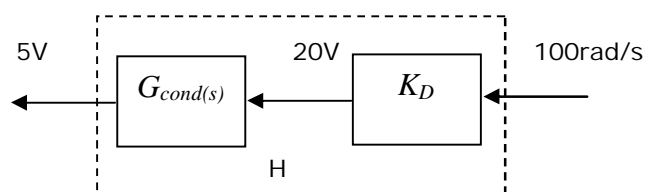
$$G_M = \frac{\omega}{V_a} = \frac{k}{(1 + s \cdot \tau_m) \cdot (1 + s \cdot \tau_e)}$$

Dove  $k = \frac{1}{k_t} = \frac{1}{0,04} = 25 \frac{rad}{s \cdot V}$

Dalla caratteristica grafica della dinamo tachimetrica si ricava che alla velocità nominale di 100 rad/s, la tensione fornita è 20 V (basta impostare una proporzione), quindi la costante tachimetrica è:

$$K_D = \frac{20}{100} = 0,2 \frac{V \cdot s}{rad}$$

per rispettare la richiesta che la tensione rilevata valga  $V_r = 5 V$  occorre aggiungere un blocco condizionatore che riceve i 20V dalla dinamo e che rende la  $V_r = 5V$



$$5 = G_{cond}(s) \cdot 20 \quad \longrightarrow \quad G_{cond}(s) = \frac{5}{20} = 0,25$$

Per cui

$$H(s) = \frac{5V}{100rad / s} = 0,05$$

Si deduce che la velocità desiderata di 100rad/s si avrà con una tensione:

$$V_{REF} = V_r + V_e = 5 + 0 = 5V \quad \text{dove } V_e \text{ è il segnale errore}$$

La parte di sistema indicata come amplificatore deve avere guadagno statico  $K_A = 1,6$  e costante di tempo  $\tau_A = 12,5ms$  Pertanto è un sistema del primo ordine con F.d.T. :

$$G_A = \frac{k_A}{1 + s \cdot \tau_A} = \frac{1,6}{1 + 12,5 \cdot 10^{-3} \cdot s}$$

**Ipotizziamo un valore unitario del regolatore**

La funzione di trasferimento ad anello aperto vale :

$$G_{AP} = G_R \cdot G_A \cdot G_M \cdot H = 1 \cdot \frac{25}{(1 + s \cdot 1,25 \cdot 10^{-3}) \cdot (1 + s \cdot 0,125 \cdot 10^{-3})} \cdot \frac{1,6}{1 + 12,5 \cdot 10^{-3} \cdot s} \cdot 0,05 =$$

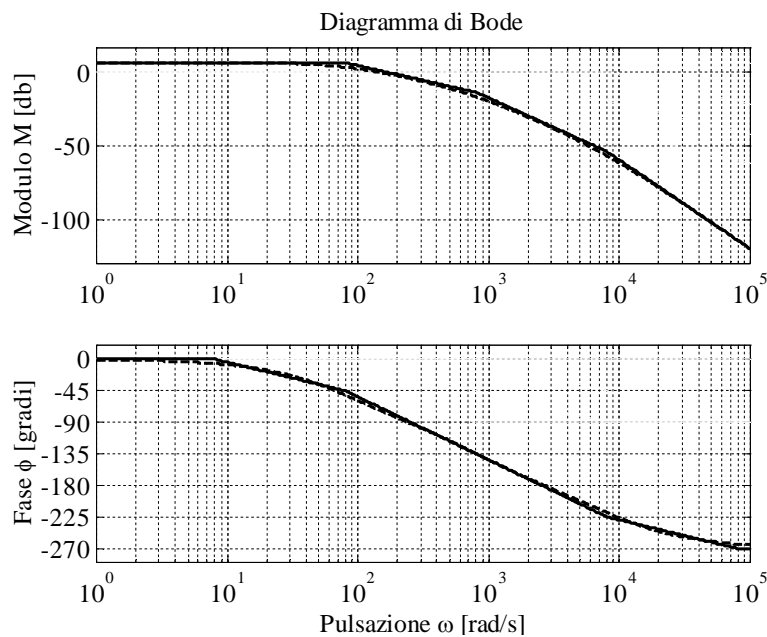
$$G_{AP} = \frac{2}{(1 + s \cdot 1,25 \cdot 10^{-3}) \cdot (1 + s \cdot 0,125 \cdot 10^{-3}) \cdot (1 + s \cdot 12,5 \cdot 10^{-3})}$$

Mentre la funzione di trasferimento a catena chiusa vale:

$$G_{CH}(s) = \frac{G_{Andata}(s)}{1 + G_{Andata}(s) \cdot H(s)} = \frac{40}{1 + \frac{40}{(1 + s \cdot 1,25 \cdot 10^{-3}) \cdot (1 + s \cdot 0,125 \cdot 10^{-3}) \cdot (1 + s \cdot 12,5 \cdot 10^{-3})} \cdot 0,05} =$$

$$G_{CH}(s) = \frac{40}{(1 + s \cdot 1,25 \cdot 10^{-3}) \cdot (1 + s \cdot 0,125 \cdot 10^{-3}) \cdot (1 + s \cdot 12,5 \cdot 10^{-3}) + 2}$$

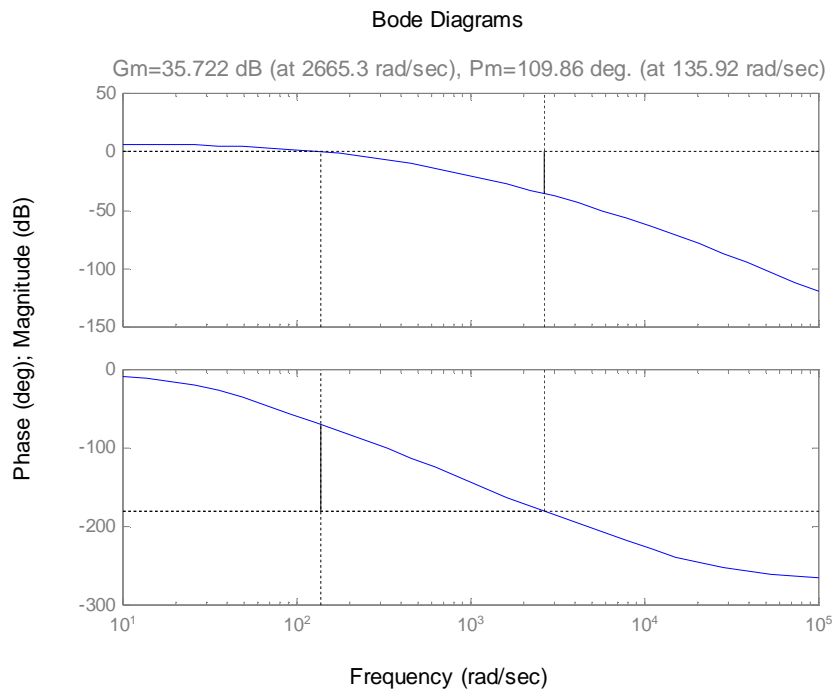
Per valutare la stabilità tracciamo i diagrammi di Bode della F.d.T. a catena aperta .



Guadagno di Bode:  $K = 2,$   $K_{db} = 6$

Polo reale:	$p = -7998.0603$	$\tau = 0.0001$
Polo reale:	$p = -800.6260$	$\tau = 0.0012$
Polo reale:	$p = -79.9620$	$\tau = 0.0125$

Valutiamo ora i margini fase e di guadagno



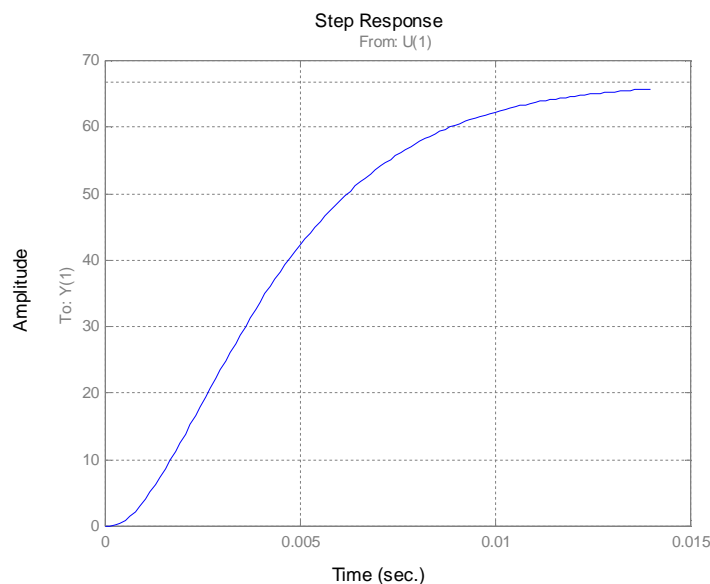
Si nota che i margini sono ampiamente positivi, ( $Mg=35,7$  ed  $Mf \cong 110$ ) il sistema è stabile in modo robusto. Il problema di tale sistema è, però, l'errore a regime che può essere valutato con la formula della tabella dell'errore, dopo aver considerato che il sistema in esame è di tipo "0", cioè non ha poli nell'origine.

$$e = \frac{V_{REF}}{H \cdot (1 + H \cdot Kp)} = \frac{5}{0,05 \cdot (1 + 2)} = 33$$

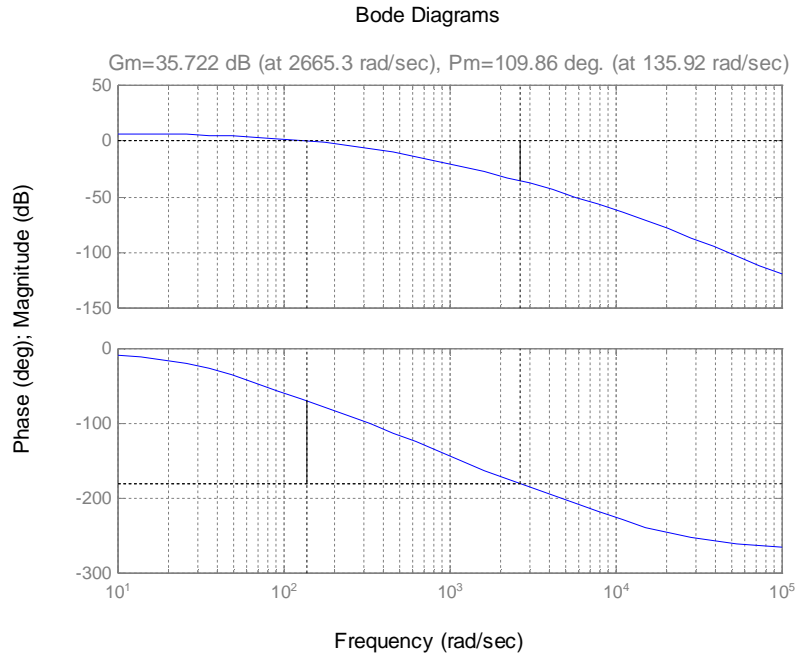
Dove  $Kp$  è il guadagno statico della catena di andata  $Kp = G_R \cdot G_A \cdot G_M = 1 \cdot 1,6 \cdot 25 = 40$

Avere un errore assoluto di 33 vuol dire avere un errore percentuale di circa il 33%. Errore abbastanza elevato.

Con Matlab è possibile tracciare la risposta al gradino dell'intero sistema retroazionato.



Si nota che l'errore a regime è proprio quello calcolato (non arriva a 100 ma a 67).  
 Compito del regolatore è quello di aumentare il guadagno statico in modo da far diminuire l'errore e aumentare la velocità, il rischio è ovviamente la instabilità.  
 Nel nostro caso il sistema è ampiamente stabile, quindi possiamo pensare di diminuire il margine di fase per ottenere una maggiore velocità del sistema e un errore a regime più piccolo senza rischiare l'instabilità. Osservando nuovamente il diagramma di Bode della funzione di trasferimento ad anello aperto



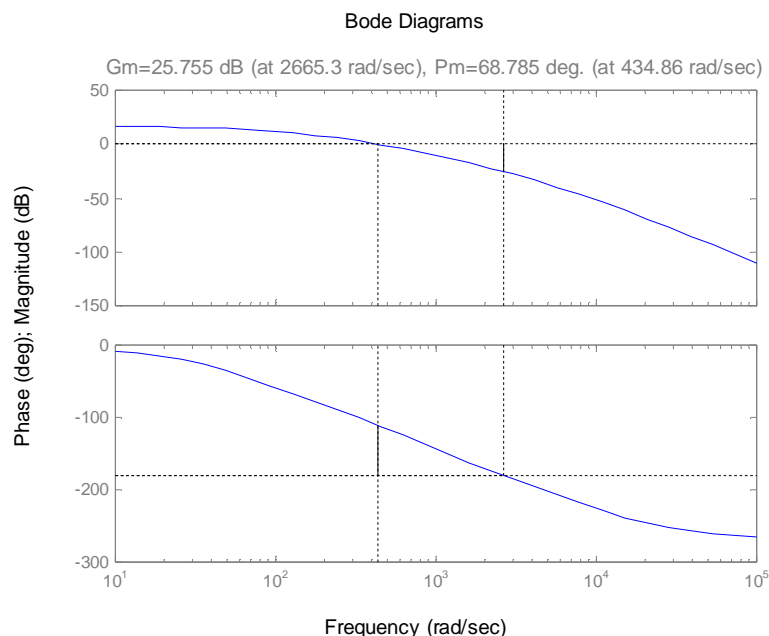
Si nota dal grafico che per avere un margine di fase di circa  $60^\circ$  è necessario amplificare il sistema di circa 10 dB.

Si sposta il margine di fase da  $109,86$  a  $60^\circ$  e si valuta di quanto il diagramma del modulo deve essere traslato verso l'alto fino a incrociare 0db. Il controllore deve avere un  $K = 3,1$

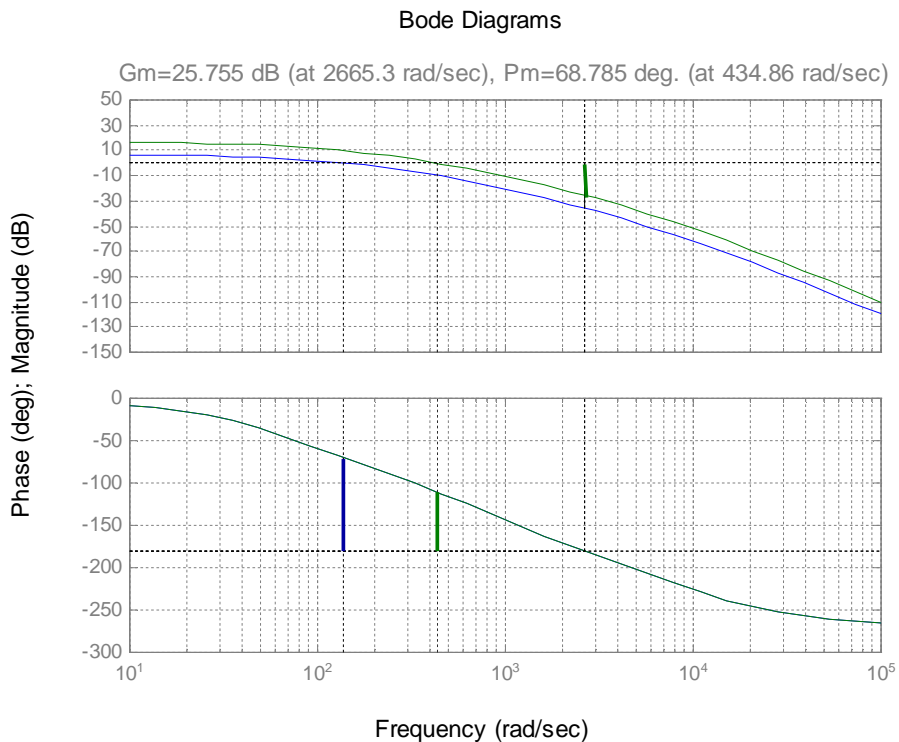
calcolato  $K = 10^{\frac{10db}{20}} = 3,1$ . Con tale valore la F.d.T. ad anello aperto diventa:

$$G_{AP} = \frac{6,3}{(1 + s \cdot 1,25 \cdot 10^{-3}) \cdot (1 + s \cdot 0,125 \cdot 10^{-3}) \cdot (1 + s \cdot 12,5 \cdot 10^{-3})}$$

I nuovi margini si evincono dalla figura.



Si possono confrontare i diagrammi di Bode con e senza regolatore.



Si nota che il diagramma di Bode del modulo è traslato verso l'alto di circa 10 dB, mentre quello della fase è rimasto invariato.

I margini sono diminuiti, ma il sistema è più veloce, essendo aumentata la pulsazione di cross-over.

L'errore è :

$$e = \frac{V_{REF}}{H \cdot (1 + H \cdot Kp)} = \frac{5}{0,05 \cdot (1 + 12,6)} = 7,3$$

Dove  $Kp = G_R \cdot G_A \cdot G_M = 6,3 \cdot 1,6 \cdot 25 = 252$

Rispetto al caso precedente si fortemente ridotto.

Con Matlab è possibile tracciare le risposte al gradino a confronto prima e dopo l'inserzione del regolatore.

Con  $G_R = 1$

$$G_{CH}(s) = \frac{40}{(1 + s \cdot 1,25 \cdot 10^{-3}) \cdot (1 + s \cdot 0,125 \cdot 10^{-3}) \cdot (1 + s \cdot 12,5 \cdot 10^{-3}) + 2}$$

Con  $G_R = 6,3$

Si calcola la nuova G di Andata  $G_{Andata} = G_R \cdot G_A \cdot G_M =$

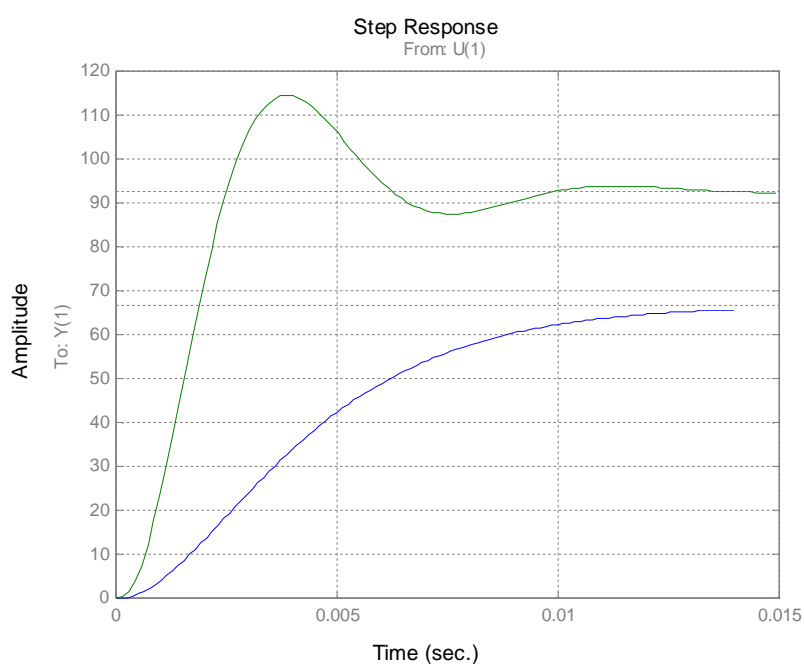
$$6,3 \cdot \frac{1,6}{1 + 12,5 \cdot 10^{-3} \cdot s} \cdot \frac{25}{(1 + s \cdot 1,25 \cdot 10^{-3}) \cdot (1 + s \cdot 0,125 \cdot 10^{-3})} = \frac{252}{(1 + s \cdot 1,25 \cdot 10^{-3}) \cdot (1 + s \cdot 0,125 \cdot 10^{-3}) \cdot (1 + 12,5 \cdot 10^{-3} \cdot s)}$$

$$G_{CH}(s) = \frac{G_{Andata}(s)}{1 + G_{Andata}(s) \cdot H(s)} = \frac{\frac{252}{(1 + s \cdot 1,25 \cdot 10^{-3}) \cdot (1 + s \cdot 0,125 \cdot 10^{-3}) \cdot (1 + s \cdot 12,5 \cdot 10^{-3})}}{1 + \frac{252}{(1 + s \cdot 1,25 \cdot 10^{-3}) \cdot (1 + s \cdot 0,125 \cdot 10^{-3}) \cdot (1 + s \cdot 12,5 \cdot 10^{-3})} \cdot 0,05} =$$

Da cui:

$$G_{CH}(s) = \frac{252}{(1 + s \cdot 1,25 \cdot 10^{-3}) \cdot (1 + s \cdot 0,125 \cdot 10^{-3}) \cdot (1 + s \cdot 12,5 \cdot 10^{-3}) + 12,6}$$

Le due risposte sovrapposte sono sotto riportate.



Si nota come la risposta verde (con regolatore) è più veloce, a regime ha un errore molto ridotto, presenta però una maggiore sovraelongazione a causa della riduzione dei margini di stabilità.

## **Soluzione PARTE DI AUTOMAZIONE**

La gestione tramite automatismo del processo di riempimento, controllo e chiusura delle bottiglie può essere affidata ad un PLC.

Il motore che muove il nastro viene avviato premendo un pulsante (di start), può essere fermato in qualsiasi istante premendo un ulteriore pulsante (di stop).

Si suppone inoltre che le bottiglie vengano posizionate automaticamente sul nastro e ad intervalli di tempo tali da garantire, per ciascuna bottiglia, il completamento del ciclo prima che venga depositata una nuova bottiglia; al termine del percorso le bottiglie escono dal nastro.

Si descrive di seguito, in modo sintetico, il funzionamento del sistema facendo riferimento al ciclo di lavorazione di una bottiglia.

### ***Avviamento***

- il ciclo di lavorazione ha inizio premendo il pulsante di start
- contemporaneamente una bottiglia viene deposta sul nastro ed avanza fino a raggiungere il sensore di posizione FC1 che avverte la presenza della medesima il nastro si ferma per la prima volta in modo da consentire il riempimento della bottiglia

### ***Fase di riempimento***

- l'elettrovalvola YV1 si eccita e comanda il riempimento della bottiglia
- il sensore FC2 rileva il livello di fine riempimento e diseccita l'elettrovalvola YV1
- il nastro riparte e la bottiglia prosegue il suo percorso

### ***Fase di controllo livello ed espulsione***

- il nastro si ferma se la bottiglia incontra il sensore di posizione FC3 e se, contemporaneamente, il segnale prodotto dal sensore FC4 non segnala il raggiungimento del livello alto del liquido
- il nastro continua invece il suo movimento se la bottiglia incontra il sensore di posizione FC3 e se, contemporaneamente, il segnale prodotto dal sensore FC4 segnala il raggiungimento del livello alto del liquido
- nel primo caso (di livello non raggiunto per un precedente difetto di funzionamento dell'automatismo causato ad esempio dalla formazione di schiuma) si eccita l'elettrovalvola YV2 (con funzionamento monostabile) che determina l'uscita di un pistone che espelle la bottiglia difettosa e rientra quando ha raggiunto il finecorsa SQ1

### ***Fase di chiusura***

- il nastro si ferma quando le bottiglie non difettose raggiungono il sensore di posizione FC5
- si eccita l'elettrovalvola YV3 (anche questa con funzionamento monostabile) che determina l'uscita di un pistone che esce, inserisce il tappo e rientra quando ha raggiunto il finecorsa SQ2
- il nastro riparte e la bottiglia esce dal nastro

In Fig. 2 viene riprodotto lo schema in logica elettromeccanica che garantisce il funzionamento del sistema ora descritto.



## SCHEMA

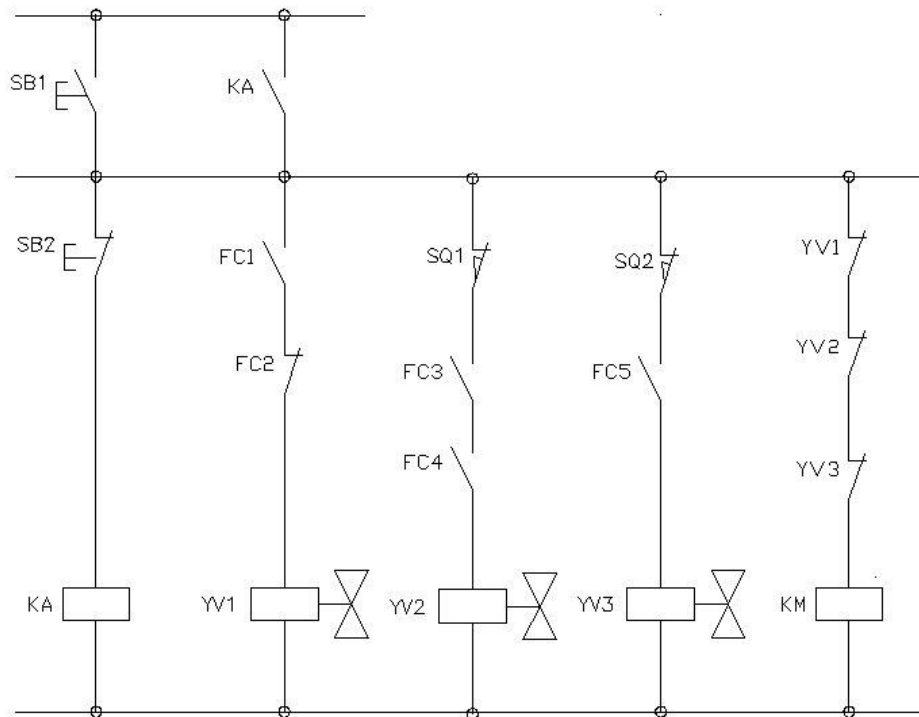


Fig. 2

Nello schema non viene considerato il contatto del relè termico che protegge il motore dai sovraccarichi.

I pulsanti di start e di stop sono SB1 ed SB2; premendo SB1 il relè ausiliario KA si eccita e il contatto di autoritenuta si chiude avviando il ciclo di lavorazione.

La bobina dell'elettrovalvola V1 si eccita se il contatto di FC1 si chiude (nel momento in cui il sensore corrispondente segnala la presenza della bottiglia) e si diseccita se il contatto di FC2 si apre (nel momento in cui il sensore segnala il raggiungimento del livello massimo).

La bobina dell'elettrovalvola YV2 si eccita se i contatti di FC3 e di FC4 si chiudono (nel momento in cui i sensori corrispondenti segnalano contemporaneamente la presenza della bottiglia e il mancato raggiungimento del livello massimo) e si diseccita quando il contatto di SQ1 si apre (nel momento in cui la corsa del pistone ha raggiunto il finecorsa corrispondente).

La bobina dell'elettrovalvola YV3 si eccita se il contatto di FC5 si chiude (nel momento in cui il sensore corrispondente segnala la presenza della bottiglia) e si diseccita quando il contatto di SQ2 si apre (nel momento la corsa del pistone ha raggiunto il finecorsa corrispondente).

La bobina del contattore KM si eccita solo se nessuna delle bobine delle elettrovalvole è eccitata.

In Fig. 3 viene riprodotto lo schema KOP corrispondente allo schema in logica elettromeccanica ipotizzando di utilizzare un PLC Siemens S7-200

E' necessario prima costruire la tabella delle assegnazioni.

### Tabella delle assegnazioni ingressi

<b>Indirizzo</b>	<b>Stato logico</b>	<b>Funzione</b>
I0.0	0	START
I0.1	1	STOP
I0.2	0	Sensore FC1
I0.3	1	Sensore FC2
I0.4	0	Sensore FC3
I0.5	0	Sensore FC4
I0.6	0	Sensore FC5
I0.7	1	Finecorsa SQ1
I1.0	1	Finecorsa SQ2

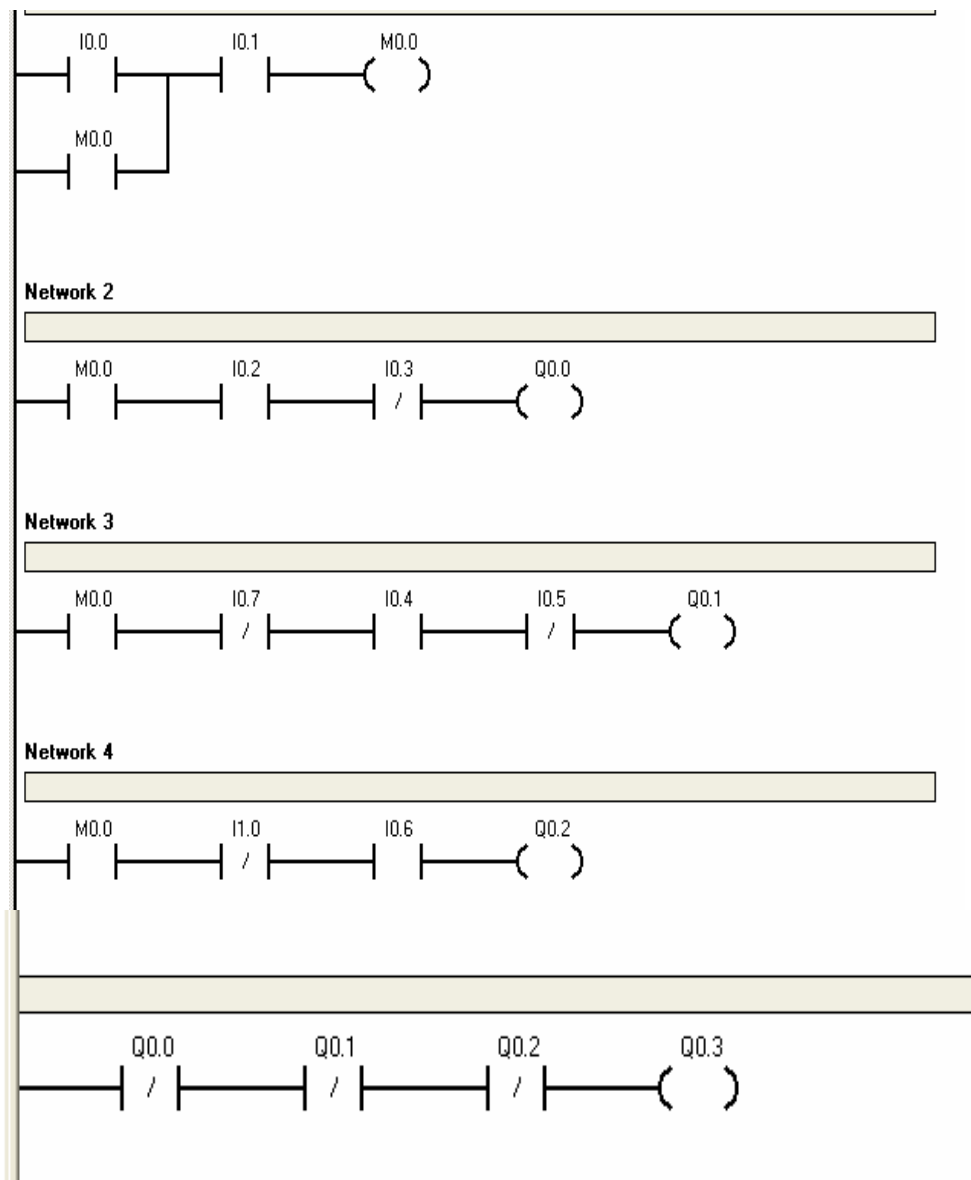
### Tabella delle assegnazioni uscite

<b>Indirizzo</b>	<b>Stato logico</b>	<b>Funzione</b>
Q0.0	0	VALVOLA YV1 riempimento
Q0.1	0	VALVOLA YV2 espulsione
Q0.2	0	VALVOLA YV3 inserimento tappo
Q0.3	0	Contattore KM motore

Il relè ausiliario KA diventa un elemento software e ad esso corrisponde il bit interno M0.0.

Fig.3

SCHEMA KOP



Lista Istruzioni

**Segmento 1**

LD I0.0  
 O M0.0  
 A I0.1  
 = M0.0

**Segmento 2**

LD M0.0  
 A I0.2  
 AN I0.3  
 = Q0.0

**Segmento 3**

LD M0.0  
 AN I0.7  
 A I0.4  
 AN I0.5  
 = Q0.1

**Segmento 4**

LD M0.0  
 AN I1.0  
 A I0.6  
 = Q0.2

**Segmento 5**

LD M0.0  
 AN Q0.0  
 AN Q0.1  
 AN Q0.2  
 = Q0.3