

A023 - ESAME DI STATO CONCLUSIVO DEL SECONDO CICLO DI ISTRUZIONE

Indirizzo: ITAT – ELETTRONICA ED ELETTROTECNICA
ARTICOLAZIONE "AUTOMAZIONE"

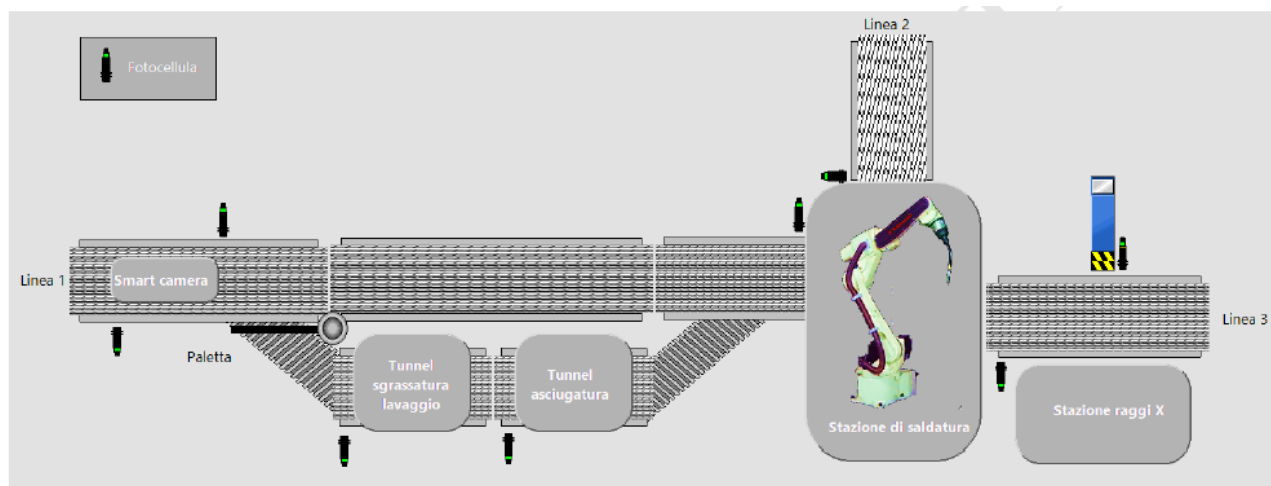
(Testo valevole anche per l'indirizzo quadriennale IT39)

Disciplina: SISTEMI AUTOMATICI

Il candidato svolga la prima parte della prova e due tra i quesiti proposti nella seconda parte.

PRIMA PARTE

In un impianto di assemblaggio, su una flangia proveniente da una precedente lavorazione deve essere saldato un tubo a sua volta proveniente da un'altra linea.



La flangia transita su un nastro trasportatore (linea 1) al di sotto di una smart camera, grazie alla quale viene valutata la presenza di residui oleosi dovuti alle lavorazioni precedenti che potrebbero inficiare la corretta esecuzione della saldatura. Nel caso la flangia non presenti residui, prosegue il percorso verso la stazione di saldatura.

In presenza di residui la flangia viene deviata, mediante una paletta installata su un attuatore rotante pneumatico, dalla linea principale verso una linea secondaria; la flangia transita in un primo tunnel nel quale viene sgrassata e poi lavata con un getto d'acqua ad alta pressione e successivamente in un altro tunnel dove viene asciugata in un forno ad aria calda per poi essere riportata verso la linea 1.

Il tubo proviene dalla linea 2. Agli ingressi della stazione di saldatura sono collocati opportuni sensori che rilevano la presenza di entrambi i pezzi da saldare e consentono l'avvio del processo di saldatura. Un manipolatore robotizzato, collocato internamente alla stazione, preleva i pezzi e li mette in contatto, poi un ulteriore braccio robotico provvisto di torcia di saldatura effettua l'unione dei due elementi.

A023 - ESAME DI STATO CONCLUSIVO DEL SECONDO CICLO DI ISTRUZIONE

Indirizzo: ITAT – ELETTRONICA ED Elettrotecnica
ARTICOLAZIONE "AUTOMAZIONE"

(Testo valevole anche per l'indirizzo quadriennale IT39)

Disciplina: SISTEMI AUTOMATICI

Terminata l'operazione, il robot manipolatore deposita il prodotto finito sul nastro di uscita, che conseguentemente si attiva trasportandolo verso la stazione successiva.

Descrizione delle parti dell'impianto:

Smart camera

Per catturare l'immagine la smart camera riceve un segnale di sincronismo proveniente da un sensore posizionato ad una certa distanza dal centro ottico della lente; il tempo che trascorre tra l'attivazione del sensore e il momento in cui la flangia viene a trovarsi al centro del campo visivo della smart camera è pari a 3 secondi. Trascorsi i 3 secondi la smart camera acquisisce l'immagine, la elabora e sulla sua linea di uscita produce un segnale digitale OK/KO a livello alto nel caso che il manufatto sia pulito. Il segnale a livello alto permane per due secondi.

Tunnel lavaggio

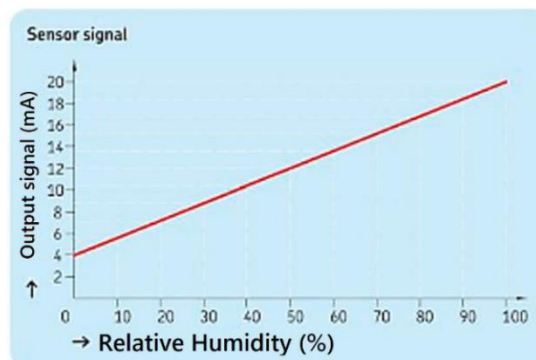
Il lavaggio viene eseguito con acqua in pressione proveniente da una pompa a ciclo continuo.

Tunnel asciugatura

L'elemento riscaldante è una lampada a infrarossi, comandata in modalità diretta attraverso un relè di potenza.

All'interno del forno è presente un sensore per il rilevamento dell'umidità la cui caratteristica riportata a lato è descritta da:

$$I = \frac{RH \times 16mA}{100\%} + 4mA$$



Il manufatto deve sostare all'interno del tunnel

finché l'umidità relativa (RH) misurata in funzione dell'intensità di corrente rimane superiore al 10%.

A023 - ESAME DI STATO CONCLUSIVO DEL SECONDO CICLO DI ISTRUZIONE

Indirizzo: ITAT – ELETTRONICA ED Elettrotecnica
ARTICOLAZIONE "AUTOMAZIONE"

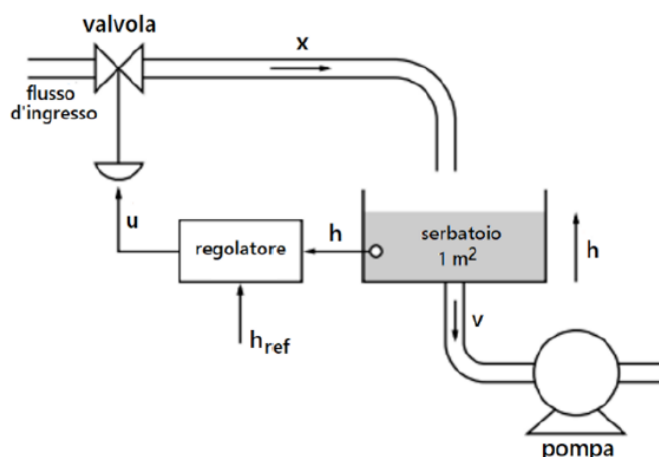
(Testo valevole anche per l'indirizzo quadriennale IT39)

Disciplina: SISTEMI AUTOMATICI

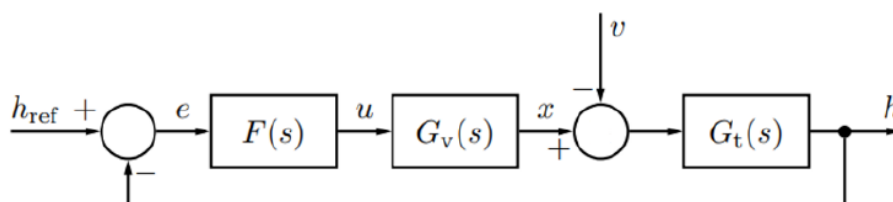
Il candidato, fatte le opportune ipotesi aggiuntive ritenute necessarie:

A. rappresenti lo schema a blocchi dell'intero sistema evidenziando i dispositivi coinvolti e le relative connessioni, nell'ipotesi che il funzionamento dell'intera macchina sia gestito da un controllore a logica programmabile;

B. Con riferimento alla stazione di lavaggio riportata nella figura a fianco, un regolatore *stand-alone* provvede a mantenere costante il livello dell'acqua presente nel serbatoio.



Il modello del sistema di regolazione è rappresentato dallo schema a blocchi seguente:

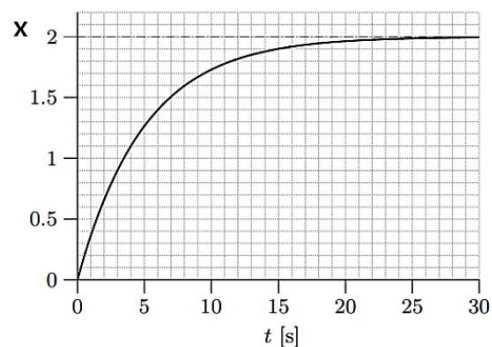


È noto che:

- la portata in ingresso al serbatoio (afflusso) è data dalla posizione della valvola $u(t)$ e la portata in uscita dal serbatoio (deflusso) dal flusso $v(t)$ attraverso la pompa;
- la funzione di trasferimento del controllore vale $F(s) = K_P$;
- la funzione di trasferimento del serbatoio vale $G_t(s) = 1/s$;
- la funzione di trasferimento della valvola vale:

$$G_v(s) = \frac{K_v}{1 + T_s s}$$

e presenta la risposta a un gradino d'ingresso unitario u riportato nel grafico a lato.



A023 - ESAME DI STATO CONCLUSIVO DEL SECONDO CICLO DI ISTRUZIONE

Indirizzo: ITAT – ELETTRONICA ED Elettrotecnica
ARTICOLAZIONE "AUTOMAZIONE"

(Testo valevole anche per l'indirizzo quadriennale IT39)

Disciplina: SISTEMI AUTOMATICI

Il candidato:

dopo aver determinato i valori di K_v e T , esprima l'uscita $H(s)$ in relazione agli ingressi $H_{ref}(s)$ e $V(s)$ e determini la funzione di trasferimento $H(s)/H_{ref}(s)$ nell'ipotesi di valvola di deflusso chiusa ($v(t)=0$) in funzione dei valori di K_v e T ricavati.

C. Rappresenti l'algoritmo che permetta di gestire il trasporto della flangia dall'ingresso dell'impianto fino al conferimento alla stazione di saldatura, sviluppandone il relativo codice tramite un linguaggio di programmazione di propria conoscenza.

SECONDA PARTE

Quesito 1

Con riferimento alla prima parte della prova, per verificare il livello qualitativo delle saldature viene effettuata su alcuni campioni un'ispezione con raggi X. A questo scopo il prodotto finito viene spostato mediante un cilindro a comando elettro-pneumatico dal nastro trasportatore di uscita verso la stazione di controllo.

Considerando che nella fase di spinta la forza prodotta dal cilindro pneumatico vale:

$$F_s = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot p \cdot \eta$$

in cui:

- F_s è la forza sviluppata dal cilindro in spinta espressa in N;

D è l'alesaggio del cilindro espresso in metri;

p è la pressione espressa in Pascal ($1 \text{ bar} = 1 \cdot 10^5 \text{ Pascal}$);

η è il coefficiente di rendimento del cilindro pari a 0,9;

- tenuto conto che il peso finale del manufatto è di 10 Kg e che il coefficiente di attrito tra manufatto e nastro vale 0,57;

il candidato, dopo aver scelto l'alesaggio del cilindro tra i seguenti: 12, 16, 20, 25, 32 (mm) determini la pressione di alimentazione (in bar) del circuito pneumatico da installare per lo spostamento del manufatto verso la stazione a raggi X e successivamente disegni lo schema di azionamento del cilindro in logica elettropneumatica.

A023 - ESAME DI STATO CONCLUSIVO DEL SECONDO CICLO DI ISTRUZIONE

Indirizzo: ITAT – ELETTRONICA ED Elettrotecnica
ARTICOLAZIONE "AUTOMAZIONE"

(Testo valevole anche per l'indirizzo quadriennale IT39)

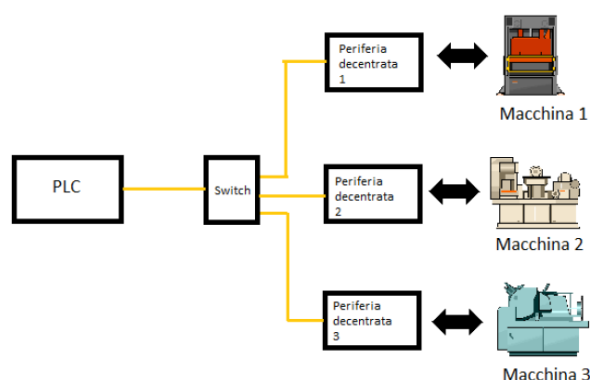
Disciplina: SISTEMI AUTOMATICI

Quesito 2

Con riferimento alla prima parte della traccia, il candidato ipotizzando che sia introdotto un disturbo nel deflusso v sotto forma di un gradino unitario, determini l'entità dell'errore a regime a causa del disturbo.

Quesito 3

All'interno di una fabbrica, un processo produttivo realizzato da tre macchine è coordinato da un unico PLC. Il collegamento tra le apparecchiature avviene per mezzo di un bus di campo su base Ethernet. Nella figura è rappresentato lo schema topologico del sistema. Il candidato discuta sulle peculiarità della tecnologia del bus di campo, soffermandosi in particolare sulle funzionalità dei blocchi "switch" e "periferia decentrata", definendo un criterio per una corretta impostazione degli indirizzi di rete dei nodi e descrivendo le caratteristiche della topologia di rete rappresentata.



Quesito 4

Si vuole controllare la temperatura presente all'interno di un reattore chimico. La funzione di trasferimento del reattore è data da:

$$G_R(s) = \frac{K_P}{(s + 3)^2(s - 1)}$$

Il reattore è inserito in un sistema di controllo a controeazione nel quale è presente un regolatore proporzionale avente guadagno K_P ; il ramo di feedback presenta guadagno unitario.

Ciò premesso il candidato, dopo aver disegnato lo schema a blocchi del sistema, determini per quali valori del guadagno K_P il sistema può ritenersi stabile.

PRIMA PARTE

A. Il candidato rappresenti lo schema a blocchi dell'intero sistema evidenziando i dispositivi coinvolti e le relative connessioni, nell'ipotesi che il funzionamento dell'intera macchina sia gestito da un controllore a logica programmabile.

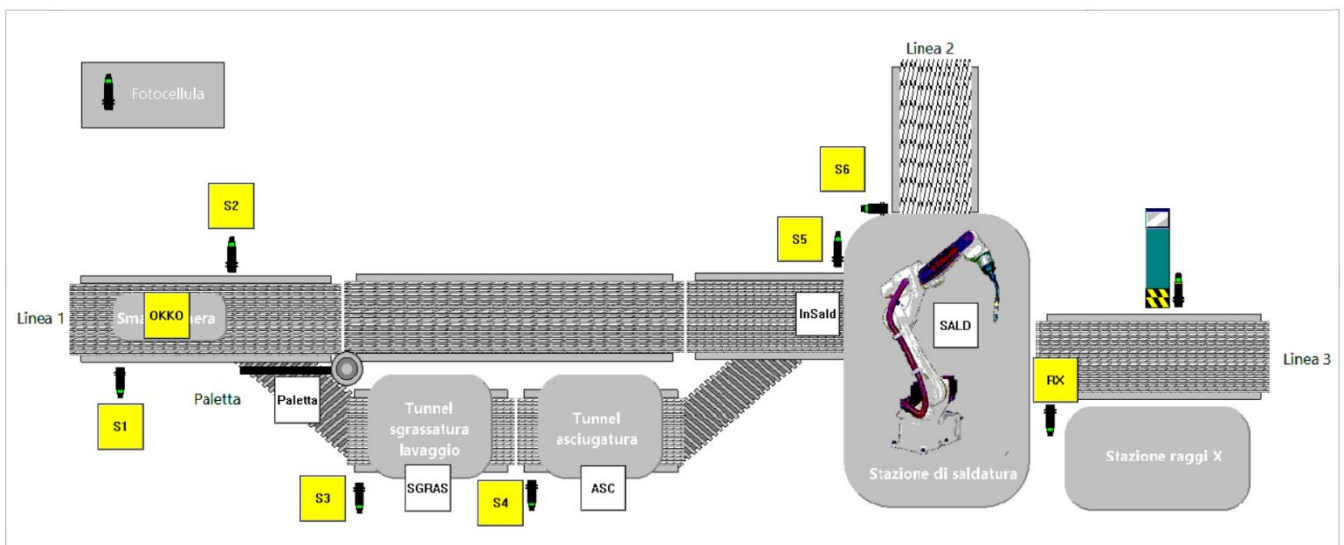
Lo schema seguente riproduce la topologia dell'impianto, aggiungendo la nomenclatura delle fotocellule:

- S1 – sensore prima della fotocamera smart;
- S2 – sensore dopo la fotocamera smart;
- S3 – sensore di entrata nel tunnel di sgrassatura e lavaggio;
- S4 – sensore di entrata nel tunnel di asciugatura;
- S5 – sensore che segnala la presenza della flangia pronta per la saldatura;
- S6 – sensore che segnala la presenza del tubo pronto per la saldatura;
- RX – sensore che segnala la posizione del manufatto all'ingresso della stazione a raggi X.

Gli elementi rappresentati in giallo non sono delle semplici etichette, bensì dei pulsanti che consentono di simulare il funzionamento del sistema con il programma SMC Autosim. Premendo questi pulsanti si può emulare l'impianto, osservando lo stato del suo funzionamento attraverso i seguenti LED:

- Paletta – paletta azionata per deviare la flangia nel caso di residui di sporco;
- SGRAS – azione di sgrassatura e lavaggio;
- ASC – azione di asciugatura;
- InSald – flangia pronta per la saldatura;
- SALD- azione di saldatura da parte del robot.

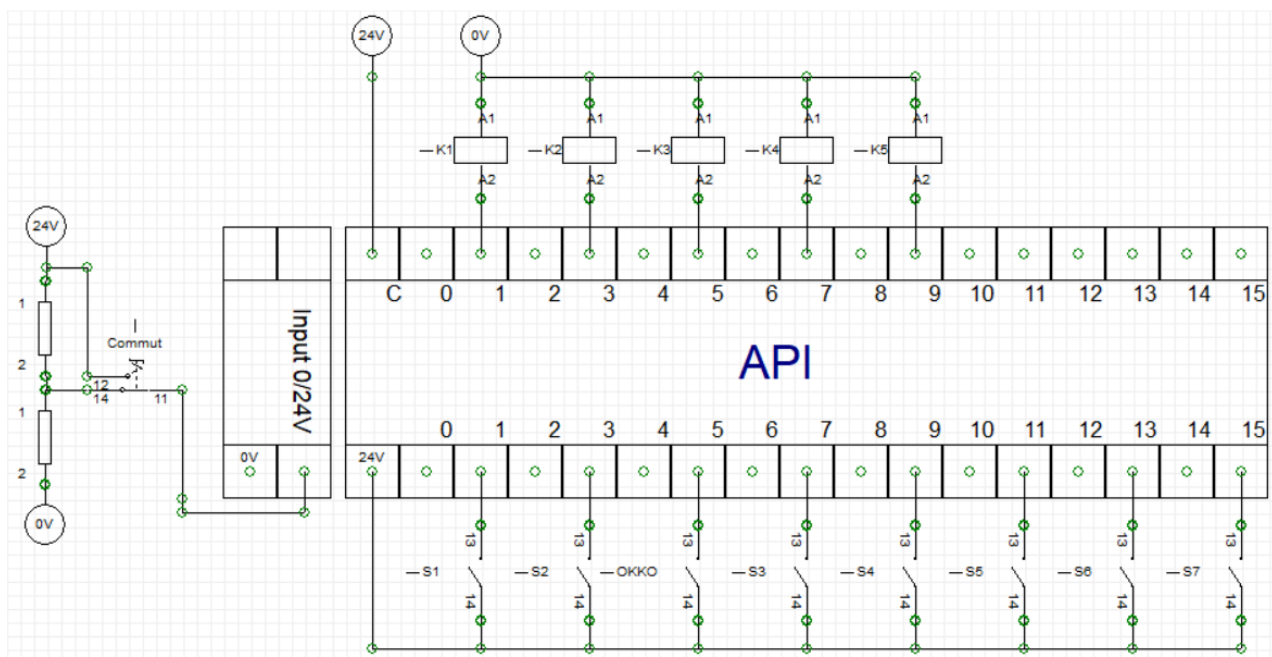
E' presente anche il pulsante OKKO con il quale la telecamera virtualmente fornisce al sistema il segnale OK/KO.



I segnali S1, S2, S3, S4, S5, S6, RX provenienti dalle fotocellule, unitamente al segnale OK/KO, sono diretti agli ingressi del PLC.

Questo in base a un algoritmo descritto nella risposta C li elabora per fornire attraverso le sue uscite i comandi Paletta, SGRAS, ASC, InSald, SALD dei vari dispositivi che compongono il processo. Le uscite pervengono a bobine di relè che azionano attraverso i relativi contatti i detti dispositivi. Le bobine sono rispettivamente: K1, K2, K3, K4, K5.

La figura che segue mette in evidenza appunto i collegamenti agli ingressi e uscite del PLC, entro il programma SMC Autosim.



Riferendosi ora alla sezione di asciugatura è necessario stabilire più in dettaglio come impiegare il sensore per il rilevamento di umidità, del quale si riporta la relazione matematica:

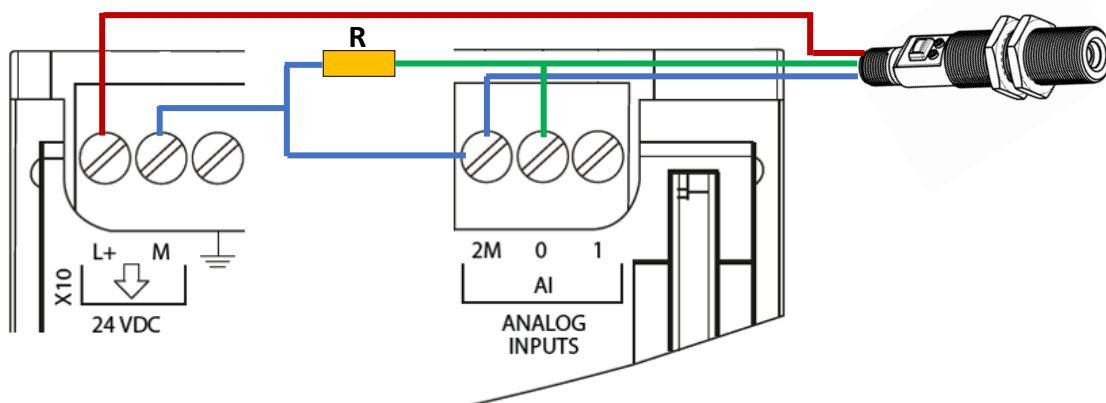
$$I = \frac{RH \times 16mA}{100\%} + 4mA$$

Come si evince anche dall'osservazione del relativo grafico per RH = 0 % si ha I = 4 mA e per RH = 100 % si ha I = 16 + 4 = 20 mA

Con una resistenza di 500 Ω si converte l'intervallo di corrente in quello di tensione 2 ÷ 10 V, ovvero da 0,004 × 500 = 2 V a 0,02 × 500 = 10 V, adatto a un tipico terminale analogico del PLC.

La seguente figura mostra il collegamento della resistenza tra l'uscita di corrente del sensore (filo verde) e la massa (filo blu diretto al comune 2M del PLC). Il filo verde è anche collegato all'ingresso analogico AI0.

Il filo rosso è l'alimentazione del sensore, prelevata dal terminale L+.



In alternativa a questa soluzione si può adottare quella di convertire l'intervallo di corrente 4 ÷ 20 mA nell'intervallo 0 ÷ 10 V con un convertitore corrente/tensione. In tal caso il dato digitale corrispondente al 10 %, quindi a una tensione di 1 V, vale:

$$N = 65535 / 10 = 6553.$$

B. Con riferimento alla stazione di lavaggio il candidato, dopo aver determinato i valori di K_V e T , esprima l'uscita $H(s)$ in relazione agli ingressi $H_{ref}(s)$ e $V(s)$ e determini la funzione di trasferimento $H(s)/H_{ref}(s)$ nell'ipotesi di valvola di deflusso chiusa ($v(t)=0$) in funzione dei valori di K_V e T ricavati.

La risposta a un gradino d'ingresso unitario è evidentemente relativa a un sistema del primo ordine il cui valore di regime coincide come noto con il guadagno K_V .

Infatti per il teorema del valore finale il valore di regime della risposta al gradino unitario vale:

$$\lim_{s \rightarrow 0} s \cdot \frac{1}{s} \cdot \frac{K_V}{1 + TS} = K_V$$

Pertanto $K_V = 2$.

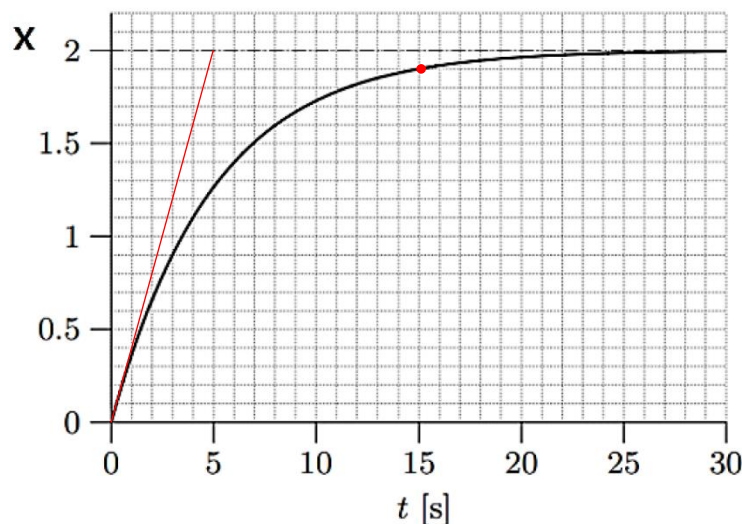
E' noto che dopo 3 volte la costante di tempo questo sistema raggiunge il 95% del valore di regime che vale:

$$\frac{95}{100} \cdot 2 = 1,9 \text{ V}$$

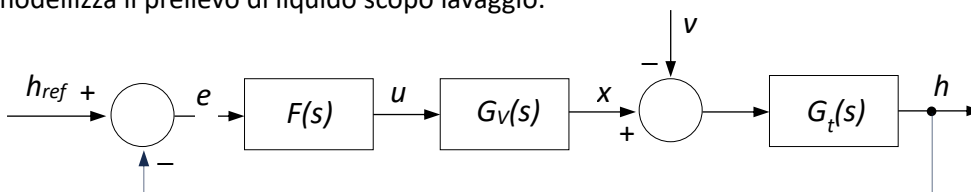
Si vede dal grafico che il valore $x(t) = 1,9 \text{ V}$ si raggiunge per $t = 15 \text{ s}$ pertanto la costante di tempo vale:

$$T = 15 / 3 = 5 \text{ secondi.}$$

In alternativa per determinare T si ricorda che la costante di tempo è data dall'intersezione tra l'asintoto di regime ($X = 2$) e la retta tangente a $x(t)$ nell'origine. Tracciando quest'ultima sul grafico (linea rossa) si trova che l'intersezione è collocata a $t = 5 \text{ s}$ e questo conferma il dato calcolato $T = 5 \text{ s}$.



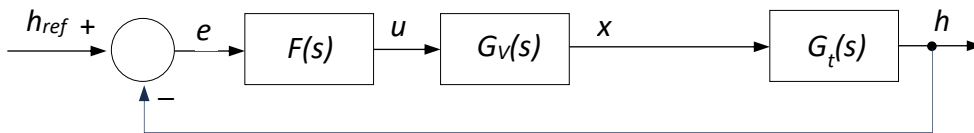
Lo schema a blocchi suggerito nel testo del problema è la rappresentazione schematica dello schema funzionale con serbatoio, pompa ecc. Infatti in entrambi il regolatore confronta l'altezza del pelo libero h del serbatoio con il valore di riferimento h_{ref} . L'uscita u del regolatore agisce sulla valvola che comanda l'afflusso al serbatoio. Quest'ultimo è modellizzato con la funzione di trasferimento dell'integratore, infatti con afflusso costante il livello del liquido sale come una rampa. Nell'anello inoltre si sottrae il disturbo v che modella il prelievo di liquido scopo lavaggio.



Per esprimere $H(s)$ in relazione agli ingressi $H_{ref}(s)$ e $V(s)$ si applica la sovrapposizione degli effetti.

- Effetto di $H_{ref}(s)$.

Lo schema equivalente si determina eliminando il segnale v .

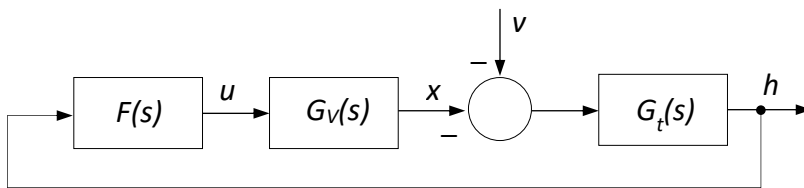


La f.d.t $H(s) / H_{ref}(s)$ vale:

$$\frac{H(s)}{H_{ref}(s)} = \frac{F(s)G_V(s)G_t(s)}{1 + F(s)G_V(s)G_t(s)}$$

- Effetto di $V(s)$.

Lo schema equivalente si determina eliminando il segnale H_{ref} .



Considerando che i blocchi $F(s)$ e $G_V(s)$ si collocano nella linea di retroazione e il segno meno del primo nodo sommatore si può traslare sul secondo la f.d.t $H(s) / V(s)$ vale:

$$\frac{H(s)}{V(s)} = - \frac{G_t(s)}{1 + F(s)G_V(s)G_t(s)}$$

L'effetto complessivo, dato dalla somma dei singoli effetti è dunque:

$$H(s) = H_{ref}(s) \cdot \frac{F(s)G_V(s)G_t(s)}{1 + F(s)G_V(s)G_t(s)} - V(s) \cdot \frac{G_t(s)}{1 + F(s)G_V(s)G_t(s)}$$

Nel caso di valvola di deflusso chiusa l'effetto di $V(s)$ è nullo quindi:

$$\begin{aligned} \frac{H(s)}{H_{ref}(s)} &= \frac{F(s)G_V(s)G_t(s)}{1 + F(s)G_V(s)G_t(s)} = \frac{K_P \cdot \frac{K_V}{1+Ts} \cdot \frac{1}{s}}{1 + K_P \cdot \frac{K_V}{1+Ts} \cdot \frac{1}{s}} = \frac{K_P \cdot \frac{2}{1+5s} \cdot \frac{1}{s}}{1 + K_P \cdot \frac{2}{1+5s} \cdot \frac{1}{s}} \\ \frac{H(s)}{H_{ref}(s)} &= \frac{2K_P}{5s^2 + s + 2K_P} \end{aligned}$$

A motivo di conferma si affida il calcolo della f.d.t al programma Scilab.

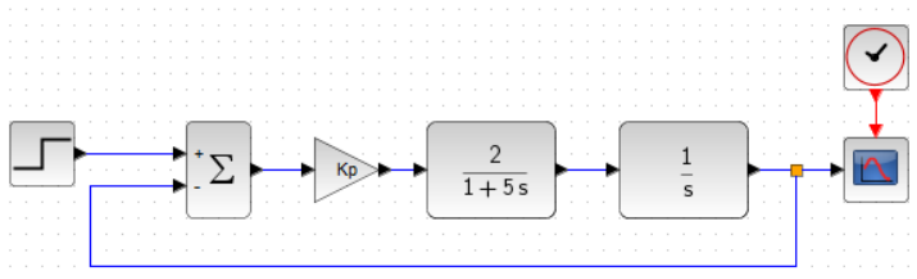
--> s=%s	--> Gt=1/s
s =	Gt =
s	1
--> Kp=1	-
Kp =	s
1.	--> Gtot=(Kp*Gv*Gt)/(1+Kp*Gv*Gt)
--> Gv=2/(1+5*s)	Gtot =
Gv =	0.4
2	-----
-----	0.4 + 0.2s + s^2
1 + 5s	

Questa f.d.t coincide con quella teorica, infatti moltiplicando numeratore e denominatore per 5 si ricava, ponendo ad esempio $K_p = 1$:

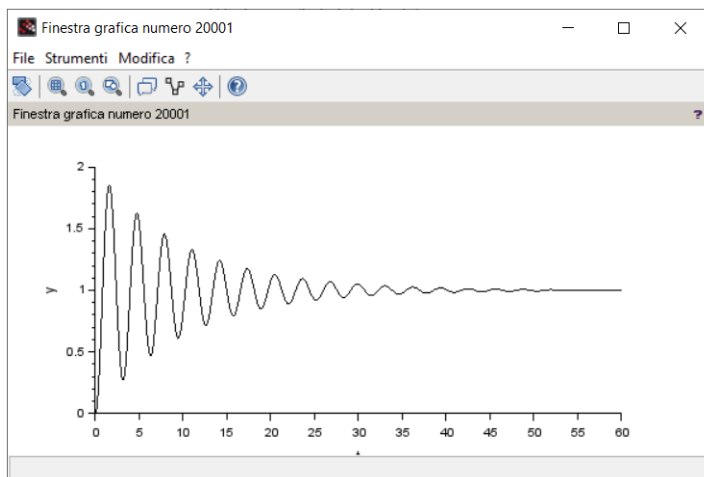
$$\frac{0,4}{s^2 + 0,2s + 0,4} \cdot \frac{5}{5} = \frac{2K_p}{5s^2 + s + 2K_p}$$

E' possibile anche fare una prova della risposta dinamica del sistema utilizzando il programma Xcos presente all'interno di Scilab.

Per questo si schematizza il sistema con i blocchi disponibili.



Avviando poi l'applicazione si ricava il grafico della risposta allo scalino unitario dal quale si evince che, dopo un transitorio di oscillazione, il sistema raggiunge un valore di regime $h(\infty)$ uguale a 1, ovvero al riferimento h_{ref} .



C. Rappresenti l'algoritmo che permetta di gestire il trasporto della flangia dall'ingresso dell'impianto fino al conferimento alla stazione di saldatura, sviluppandone il relativo codice tramite un linguaggio di programmazione di propria conoscenza.

Con il programma SMC Autosim si dichiarano i simboli seguenti.

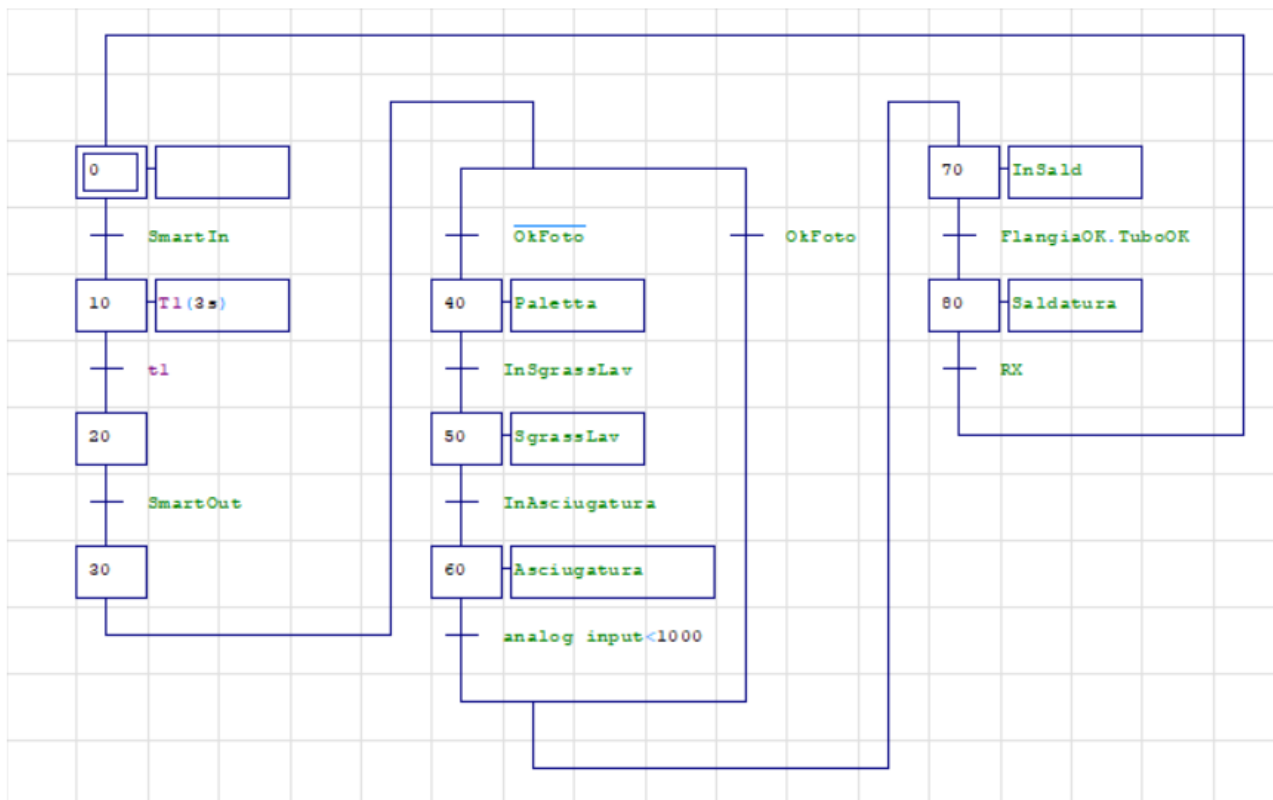
I simboli associati alle variabili i1, i3, i5, i7, i9, i11, i13, i15 fanno riferimento ai segnali presenti agli ingressi digitali del PLC, mentre o1, o3, o5, o7, o9 si riferiscono ai segnali presenti alle uscite digitali del PLC.

E' infine presente la variabile analogica m201 *analog input* che serve a memorizzare il dato proveniente dal sensore di umidità del tunnel di asciugatura.

Simboli	Variabili	Commenti
analog input	m201	
Paletta	o1	Paletta per deviazione nel caso di residui
SmartIn	i1	Sensore prima della fotocamera smart
OkFoto	i5	Conferma della fotocamera di manufatto pulito
SmartOut	i3	Sensore dopo la fotocamera smart
InSgrassLav	i7	Entrata nel tunnel di sgrassatura e lavaggio
InAsciugatura	i9	Entrata nel tunnel di asciugatura
SgrassLav	o3	Azione di sgrassatura e lavaggio
Asciugatura	o5	Azione di asciugatura
FlangiaOK	i11	Flangia pronta per saldatura
TuboOK	i13	Tubo pronto per saldatura
InSald	o7	Pezzo pronto per saldatura
Saldatura	o9	Azione di saldatura
RX	i15	Invio stazione raqqi X

Il programma di gestione del sistema è scritto in linguaggio SFC.

- Passo 0 – Il sistema transita al passo 10 se il sensore posto prima della smart camera segnala la presenza della flangia con il segnale *SmartIn*.
- Passo 10 – viene impostato il tempo di attesa in modo che il sensore venga a trovarsi al centro del campo visivo della flangia.
- Passo 20 – Si attende che la flangia transiti davanti al sensore posto dopo la fotocamera di segnale *SmartOut*.
- Passo 30 – Se il segnale di conferma del manufatto pulito *OkFoto* è alto il programma salta al passo 70, altrimenti prosegue per avviare i cicli di sgrassatura, lavaggio e asciugatura.
- Passo 40 – Viene azionata la paletta per dirottare la flangia verso i tunnel. Il segnale alto *InSgrassLav* della fotocellula di entrata nel tunnel di sgrassatura/lavaggio determina la transizione al passo 50.
- Passo 50 – La variabile *SgrassLav* avvia l'azione di sgrassatura e lavaggio. La fotocellula di segnale *InAsciugatura* determina la transizione al passo 60.
- Passo 60 – Qui viene avviata l'azione di asciugatura portando a livello alto l'omonima variabile. L'azione ha termine quando il trasduttore di umidità segnala che RH è sceso sotto il 10%. In questa simulazione è stato utilizzato un ingresso analogico a 10 bit, quindi di valore 1023 quando la tensione è massima pari a 24 V. Quando invece il commutatore è posto sul partitore si ha un valore inferiore. E' stato scelto indicativamente 1000.
- Passo 70 – Nella simulazione viene posto *InSald* = 1 in modo che si accenda un LED che segnala la presenza della flangia all'ingresso della stazione robotica e quindi *FlangiaOK.TuboOK* = 1. Se anche *TuboOK* = 1 ovvero è presente il tubo da saldare, si transita al passo 80.
- Passo 80 – Qui viene avviata la saldatura grazie al segnale di uscita dal PLC di nome *Saldatura*. Al termine della saldatura se la fotocellula RX rileva la fuoriuscita del pezzo saldato il ciclo riprende dall'inizio.



SECONDA PARTE

Quesito 1

il candidato, dopo aver scelto l'alesaggio del cilindro tra i seguenti: 12, 16, 20, 25, 32 (mm) determini la pressione di alimentazione (in bar) del circuito pneumatico da installare per lo spostamento del manufatto verso la stazione a raggi X e successivamente disegni lo schema di azionamento del cilindro in logica elettropneumatica.

Dai dati del problema si ricava innanzitutto la forza che deve esprimere il cilindro, data dal prodotto della forza peso (massa per accelerazione) per il coefficiente d'attrito.

$$F_s = 0,57 \cdot 10 \cdot 9,81 = 55,9 \text{ N} = 5,59 \text{ daN (deca Newton)}$$

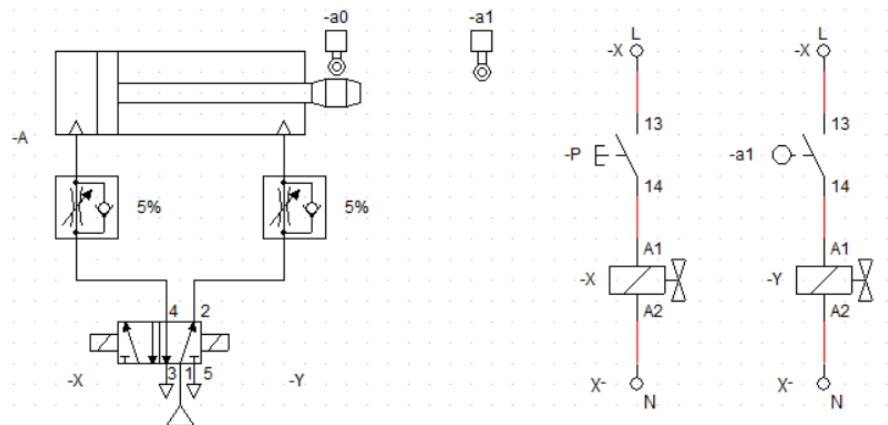
Si ricava poi la formula inversa del cilindro.

$$F_s = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot p \cdot \eta \quad \rightarrow \quad p = \frac{4F_s}{\pi \cdot D^2 \eta}$$

Scelto $D = 16 \text{ mm} = 1,6 \text{ cm}$ (si esprimono D in cm e F_s in deca Newton perché $\text{bar} = 10 \text{ N/cm}^2$)

$$p = \frac{4F_s}{\pi \cdot D^2 \eta} = \frac{4 \cdot 5,59}{3,14 \cdot 2,56 \cdot 0,9} = \frac{22,36}{7,23} = 3 \text{ bar} = 3 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

Lo schema di azionamento in logica elettropneumatica del cilindro realizza un ciclo singolo semiautomatico. Premendo il pulsante P si energizza la bobina X che provoca l'estensione del cilindro. Al termine dell'estensione il finecorsa $a1$ energizza la bobina Y che provoca la ritrazione automatica del cilindro.



Quesito 2

Con riferimento alla prima parte della traccia, il candidato ipotizzando che sia introdotto un disturbo nel deflusso v sotto forma di un gradino unitario, determini l'entità dell'errore a regime a causa del disturbo.

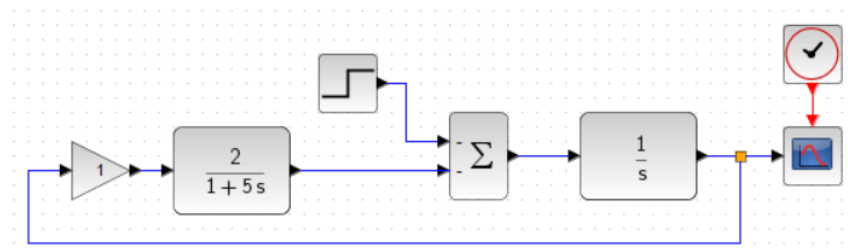
Si ricava la relazione tra la trasformata $V(s)$ del disturbo e la trasformata $H(s)$ dell'uscita.

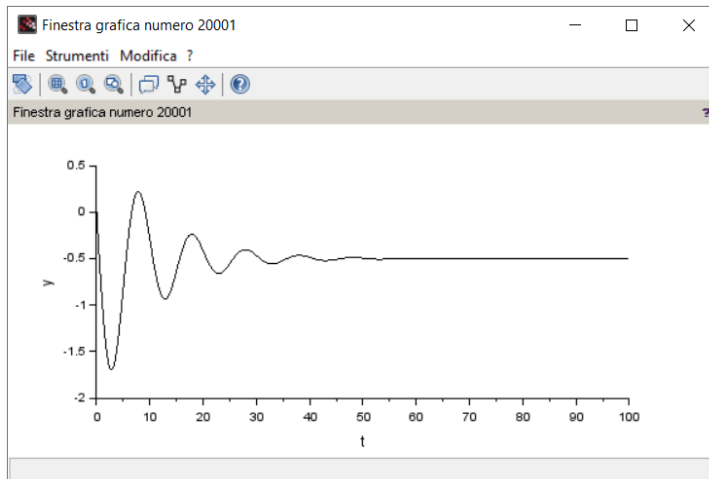
$$H(s) = -V(s) \cdot \frac{G_t(s)}{1 + F(s)G_V(s)G_t(s)} = -\frac{1}{s} \cdot \frac{1/s}{1 + K_p \cdot \frac{2}{1+5s} \cdot \frac{1}{s}} = -\frac{1}{s} \cdot \frac{1+5s}{5s^2 + s + 2K_p}$$

Si applica il teorema del valore finale per calcolare l'effetto a regime del disturbo sull'uscita.

$$h(\infty) = \lim_{s \rightarrow 0} -s \cdot \frac{1}{s} \cdot \frac{1+5s}{5s^2 + s + 2K_p} = \frac{1}{2K_p} = 0,5K_p = 0,5 \text{ se } K_p = 1$$

Come controprova di questo risultato si appronta lo schema con Scilab e si ricava il grafico che conferma l'effetto del disturbo a regime calcolato.





Quesito 3

Il candidato discuta sulle peculiarità della tecnologia del bus di campo, soffermandosi in particolare sulle funzionalità dei blocchi “switch” e “periferia decentrata”, definendo un criterio per una corretta impostazione degli indirizzi di rete dei nodi e descrivendo le caratteristiche della topologia di rete rappresentata.

Un sistema di controllo e monitoraggio di base è costituito da un insieme di sensori che raccolgono i dati dal campo, da attuatori che agiscono sul campo influenzando il comportamento del processo sotto controllo e dal programma eseguito dal sistema di controllo a PLC. Il PLC in questa architettura di base è collegato a ogni singolo sensore/attuatore tramite i propri terminali di input/output.

Questa architettura mostra dei limiti nel caso di un elevato numero di sensori e attuatori, per la conseguente presenza di numerosi cavi di collegamento punto-punto, spesso su grandi distanze, e ancor più nel caso di sistemi periferici decentrati cooperanti.

Si è imposta quindi l'esigenza di ridurre la complessità dei collegamenti hardware a favore della trasmissione di pacchetti di dati mediante collegamento in rete.

In passato la comunicazione su reti industriali avveniva tramite comunicazioni seriali RS232, ma questa modalità era fortemente limitante in quanto la comunicazione poteva avvenire direttamente solo tra due dispositivi.

L'introduzione dei bus di campo, noti come fieldbus, ha invece segnato una svolta nella connessione delle reti industriali consentendo lo scambio di informazioni tra i dispositivi di campo e i sistemi di automazione. Con un bus di campo è possibile far comunicare simultaneamente centinaia di dispositivi di input (sensori) e di output (attuatori) con il PLC, tramite un singolo collegamento di rete.

Non è possibile in questa sede approfondire i dettagli della teoria delle reti come i protocolli (Profibus, Profinet, IO-Link ...), le diverse topologie di collegamento (Star topology, BUS topology, Ring topology) e l'organizzazione del controllo a più livelli (Sensor Bus, Device Bus, Control Bus, Enterprise Bus).

Basti dire che nel quesito è schematizzato un sistema in cui l'infrastruttura di rete, che si avvale della presenza di uno switch, connette tramite BUS di campo i sistemi di controllo periferici con lo strato alto di coordinamento implementato da un solo PLC.

Lo switch ha il compito di instradare i pacchetti di informazioni dal PLC alla macchina a cui è effettivamente veicolato, in base all'indirizzo del destinatario.

Se i dispositivi di rete sono collegati mediante un semplice hub si può verificare che tanti dispositivi concorrano a impegnare lo stesso canale di trasmissione, generando collisioni. Si definisce dominio di collisione l'insieme dei segmenti di rete nei quali possono verificarsi collisioni: espandendo una rete mediante dei semplici hub il dominio di collisione si espande e aumenta di conseguenza la probabilità che si verifichino collisioni, con un conseguente degrado delle prestazioni. Per questa ragione si attua una segmentazione del dominio di collisione mediante uno switch.

Lo switch è un dispositivo che opera nel livello due del modello ISO/OSI, ovvero il livello *Data Link* o di *Collegamento*. A differenza del livello tre di *Rete*, nel quale i dati vengono inoltrati con l'indirizzo logico IP che può essere dinamico ovvero può venire assegnato al bisogno, il livello due si poggia sull'indirizzo fisico MAC (Media Access Control) che viene assegnato univocamente dal produttore al singolo dispositivo. Lo switch instrada le informazioni riconoscendo l'indirizzo MAC del mittente e inviandole al destinatario. La mappa degli indirizzi dei nodi viene realizzata con un processo di autoapprendimento: inizialmente lo switch invia l'informazione a tutti i nodi collegati ciascuno a una sua porta; il destinatario restituisce un frame di risposta con il proprio indirizzo MAC e di conseguenza lo switch può associare il MAC del dispositivo alla porta cui è collegato. Queste coppie di associazione porta-MAC vengono memorizzate in una tabella grazie alla quale lo switch può instradare le informazioni in modo deterministico evitando collisioni.

Quesito 4

Il candidato, dopo aver disegnato lo schema a blocchi del sistema, determini per quali valori del guadagno K_p il sistema può ritenersi stabile.

A partire dalla funzione di trasferimento $G_R(s)$ del sistema si ricava la f,d,t in retroazione.

$$G_{TOT}(s) = \frac{\frac{K_p}{(s+3)^2(s-1)}}{1 + \frac{K_p}{(s+3)^2(s-1)}} = \frac{K_p}{(s+3)^2(s-1) + K_p} = \frac{K_p}{(s^2 + 9 + 6s)(s-1) + K_p}$$

$$G_{TOT}(s) = \frac{K_p}{s^3 - s^2 + 9s - 9 + 6s^2 - 6s + K_p} = \frac{K_p}{s^3 + 5s^2 + 3s - 9 + K_p}$$

Si estrapola l'equazione caratteristica per valutare il segno dei poli da cui dedurre la stabilità.

$$s^3 + 5s^2 + 3s - 9 + K_p = 0$$

Per la stabilità del sistema deve essere innanzitutto soddisfatta la condizione necessaria che tutti i coefficienti abbiano lo stesso segno. Perché questo avvenga deve essere:

$$-9 + K_p = 0 \text{ ovvero } K_p > 9$$

Tuttavia questa non è anche condizione sufficiente, per la quale applichiamo il criterio di Routh.

$$\begin{array}{ccc} 1 & 3 & 0 \\ 5 & -9+K_p & \end{array}$$

Calcolo del coefficiente della terza riga.

$$-\frac{1}{5} \cdot \begin{vmatrix} 1 & 3 \\ 5 & -9+K_p \end{vmatrix} = -\frac{1}{5} \cdot (-9 + K_p - 15) = -\frac{1}{5} \cdot (K_p - 24)$$

In questo coefficiente è possibile eliminare il termine $-1/5$ moltiplicando tutta la riga per 5, dato che come noto moltiplicando una riga per un valore l'esito del teorema non cambia.

Calcolo del coefficiente della quarta riga.

$$-\frac{1}{K_p - 24} \cdot \begin{vmatrix} 5 & -9+K_p \\ K_p - 24 & 0 \end{vmatrix} = -9 + K_p$$

$$\begin{array}{ccc} 1 & 3 & 0 \\ 5 & -9+K_p & \\ K_p-24 & 0 & \\ -9+K_p & 0 & \\ 0 & & \end{array}$$

Come noto per il th di Routh il numero di poli positivi coincide con il numero di cambiamenti di segno della prima colonna. Affinchè non ci siano poli positivi deve quindi essere $K_p > 24$ e $K_p > 9$. Vale la prima disequazione, in quanto la seconda, già imposta all'inizio, è assorbita dalla precedente condizione.