

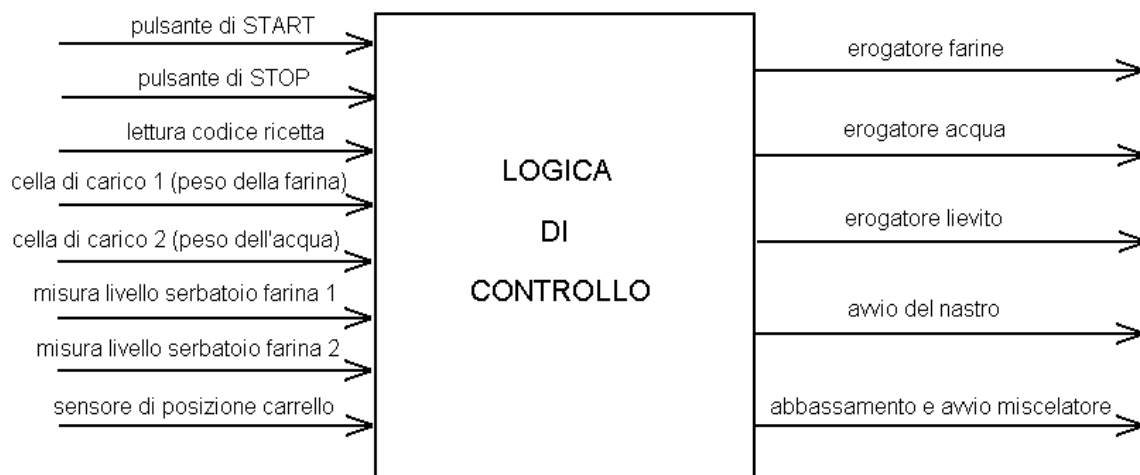
## SISTEMI AUTOMATICI

**Indirizzo:** ITAT – ELETTRONICA ED ELETTROROTECNICA – ARTICOLAZIONE AUTOMAZIONE

In questa traccia ministeriale, vari aspetti relativi al funzionamento del processo industriale oggetto della prova non sono precisati, perciò occorre formulare ipotesi aggiuntive. Ne consegue che, per il medesimo problema, possono essere sviluppate soluzioni piuttosto diverse fra loro, secondo le ipotesi introdotte. Le presenti note si limitano quindi a una possibile interpretazione del tema proposto.

In linea generale, l'automazione di un processo industriale può essere realizzata con soluzioni a logica cablata (es. relè o circuiti digitali sequenziali, con cui può essere sintetizzato un automa a stati finiti) o con soluzioni a logica programmata. Il primo punto della traccia ministeriale lascia aperte entrambe le opzioni ma il secondo punto, nel quale si richiede una codifica della logica di controllo in un linguaggio a scelta del candidato, sebbene il testo non espliciti il termine "linguaggio di programmazione", orienta verso una soluzione a logica programmata.

1. Restando, per il momento, a livello di schema a blocchi per la descrizione del sistema automatico, identifichiamo i segnali di *input* e di *output* necessari alla logica di controllo per svolgere le proprie funzioni. Proponiamo lo schema sotto riportato.



Questa architettura è indipendente dal tipo di apparecchiatura scelta per implementare le funzioni di comando e controllo. Descriviamo brevemente i dispositivi e la natura dei segnali elettrici, come richiesto dalla traccia.

I pulsanti di START e STOP non richiedono particolari approfondimenti: possono essere dei tipi normalmente usati negli azionamenti industriali. Riguardo ai carrelli destinati a contenere l'impasto, la traccia non è molto chiara ma si ritiene che essi siano fissati sul nastro e perciò privi di un proprio azionamento, in quanto trascinati dal nastro stesso. Ogni carrello reca un codice, la cui natura non è definita, che identifica una fra tre ricette: questo è uno degli aspetti più incerti del progetto richiesto.

In assenza di conoscenze specifiche relative alle produzioni alimentari, situazione che riteniamo accomuni la maggioranza di candidati e docenti, si può pensare che i serbatoi delle farine dei due tipi convergano, a mezzo di appositi condotti, a un unico recipiente dotato di bilancia elettronica e che questa pesi, in sequenza, entrambe le farine; per questa ragione si è ipotizzato un unico segnale "peso delle farine", di tipo analogico.

Distinto è invece il segnale, per ipotesi pure analogico, indicato come “peso dell’acqua”. Anche la misura del livello dei serbatoi delle due farine, ottenuta con sensori a ultrasuoni, può essere associata a due segnali analogici. Se i quattro segnali di misura sono, come ora si è supposto, di natura analogica, sarà compito del sistema a logica programmata convertirli in grandezze digitali per confrontarli, via *software*, con valori opportuni; in alternativa, avremmo potuto supporre l’impiego di circuiti elettronici con componenti discreti e integrati (comparatori con amp. op.), collegati alle uscite dei sensori, tali da fornire alla logica di controllo segnali di natura digitale, i quali, con un livello alto o basso, informano sulla situazione di superamento o di non superamento delle soglie minime e massime. Meno vantaggioso appare il ricorso a convertitori analogico/digitale esterni.

Possono altresì essere utili segnali forniti da sensori di prossimità, riuniti per semplicità in un’unica linea nello schema qui accluso, che informano il blocco di controllo sulla avvenuta corrispondenza della posizione raggiunta dal carrello con le coordinate del complesso di adduzione degli ingredienti e con il miscelatore.

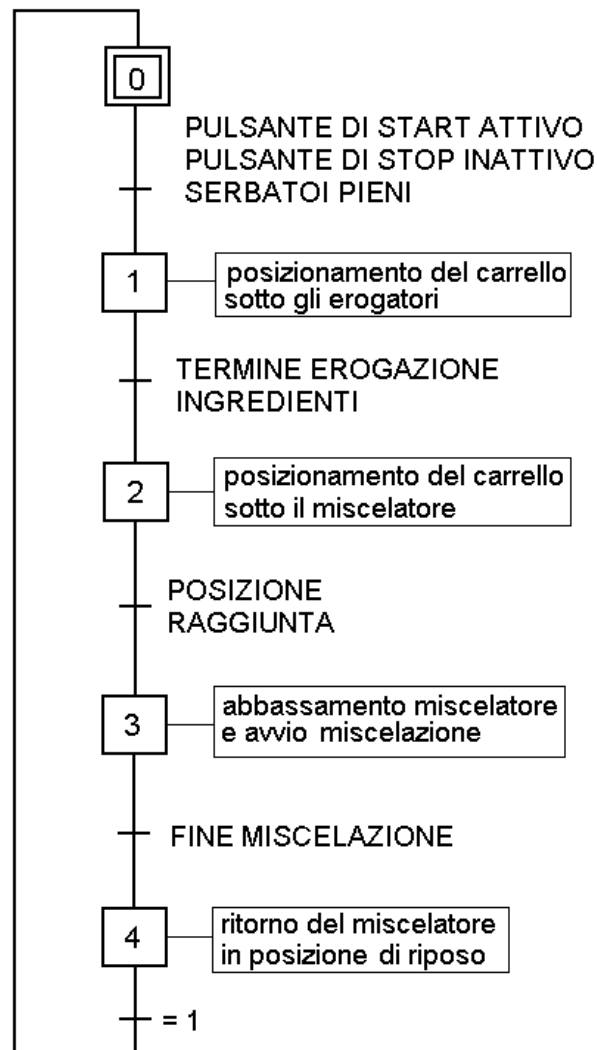
I parametri elettrici di tutti i segnali devono essere compatibili col dispositivo impiegato per implementare la logica di controllo: in funzione di questo saranno eventualmente necessari circuiti di condizionamento, tipicamente amplificatori o attenuatori con amp. op. Gli standard più diffusi vedono l’impiego di segnali di tensione variabili fra 0 e 5 V (“TTL compatibili”) o fra 0 e 10 V o segnali di corrente fra 0 e 20 mA; ma i PLC accettano anche segnali di ampiezze diverse.

I segnali di *output* sono essenzialmente destinati ad attuatori. Per gli erogatori degli ingredienti (farina, acqua e lievito) possiamo pensare di impiegare elettromagneti, la cui alimentazione elettrica è da scegliere fra i valori commerciali. Il nastro trasportatore sarà azionato da motori elettrici le cui caratteristiche, in termini di tensione e potenza, dipendono dalle dimensioni dell’impianto, che non sono note. Il miscelatore sarà probabilmente un braccio meccanico che, in presenza del carrello, viene abbassato fino al contatto con la miscela e avviato nel suo moto di rotazione: anche in questo caso, i parametri elettrici dell’azionamento dipendono da parametri che la traccia non suggerisce, primo fra i quali il volume dell’impasto. Possiamo soltanto rimarcare che le uscite del blocco di controllo necessiteranno di un’amplificazione di potenza in grado di fornire agli attuatori la corrente richiesta.

2. Il sistema di comando e controllo a logica programmata può essere realizzato con un microcontrollore, oppure con un PLC o addirittura con un calcolatore di processo. La scelta del dispositivo influisce sulle modalità di programmazione e sul progetto delle interfacce. Tranne che per i dispositivi più recenti, che possono essere programmati con linguaggi ad alto livello con buone caratteristiche di standardizzazione (ad esempio, la versione del linguaggio C per la scheda Arduino), gli altri prodotti hanno insiemi di istruzioni e simboli che differiscono da un costruttore all’altro: questo è vero soprattutto per i PLC, che rappresentano, all’applicazione proposta, la soluzione forse più congeniale.

Esiste però una tecnica di rappresentazione, nota come GRAFCET (per esteso, “grafico di comando azioni-transizioni”), emessa dall’ente di normazione francese UTE, che è al tempo stesso un diagramma di flusso indipendente dal dispositivo impiegato e un linguaggio riconosciuto per la programmazione dei PLC. Esso è trattato anche nei manuali scolastici.

In questo linguaggio grafico, un ciclo automatico si compone di una successione di azioni, indicate all’interno di rettangoli, e transizioni, rappresentate con un segmento orizzontale contrassegnato dalla condizione di transizione. Una fase rimane attiva finché non si verificano le condizioni che ne consentono il superamento. Presentiamo la codifica nel suddetto linguaggio grafico delle fasi richieste dalla traccia.



Qui si è supposto che i carrelli possano ricevere tutti gli ingredienti necessari restando fermi in un'unica posizione, grazie a opportuni condotti di convogliamento delle varie materie.

3. Nella prima parte della traccia ministeriale si legge che la ricetta viene identificata "tramite un codice apposto sul carrello". Secondo l'interpretazione più diretta, la procedura dovrebbe comportare l'impiego di un contrassegno, ad esempio una targhetta, che un braccio meccanico (o, meno verosimilmente, un operatore) appoggia sul carrello prima che esso transiti sotto gli erogatori. La stabilità del contrassegno durante il moto del nastro richiede un'opportuna sagomatura del carrello, cioè un alloggiamento per la targhetta, che però deve essere facilmente rimuovibile, da un altro dispositivo automatico, dopo le successive fasi di lavorazione e prima dell'inizio di un nuovo ciclo. Le targhette potrebbero essere depositate in tre contenitori adiacenti e il braccio meccanico, guidato dal programma *software*, preleva di volta in volta la targhetta richiesta.

Per codificare tre ricette sono sufficienti due bit. Si può pensare, ad esempio, all'impiego di targhette con bande alterne di colore bianco e nero, una versione semplificata del codice a barre EAN, compatibili con un lettore ottico, secondo una tecnica diffusa nei settori dei trasporti, della logistica o della gestione dei magazzini.

Resta da definire il criterio di selezione delle ricette ma, riguardo a questo punto, la traccia non fornisce alcuna utile informazione. Si tratta di un aspetto che attiene alla gestione

della produzione, piuttosto che all'automazione industriale. Possiamo ipotizzare che, all'inizio di ogni giornata, un reparto dell'azienda comunichi un piano di lavoro, cioè una ripartizione della produzione fra le tre ricette, a un operatore tecnico, il quale, prima dell'avvio del sistema automatico, tramite un'opportuna interfaccia, anche un normale PC, imposta alcuni parametri numerici che modificano corrispondenti variabili del programma. Per la stima percentuale della ripartizione della produzione fra le tre ricette, si può pensare all'inserimento di variabili contatori all'interno dello stesso programma e che, al termine di ogni giornata, il programma stesso calcoli la statistica richiesta.

#### QUESITO N. 1)

Se il sistema automatico è governato da un PLC, questo eseguirà ciclicamente una lista di istruzioni. I programmi per PLC, almeno nei casi più semplici e diffusi, hanno una tipica struttura composta di quattro fasi successive: lettura degli ingressi, elaborazione, aggiornamento delle uscite e autodiagnosi. Ogni ciclo, composto delle quattro fasi anzidette, richiede un tempo dell'ordine del centinaio di ms. L'arresto e il riavvio della produzione, in funzione del livello delle farine contenute nei serbatoi, possono essere gestiti dal programma stesso, attraverso un test ("selezione") inserito nella parte di lettura delle variabili d'ingresso.

#### QUESITO N. 2)

Possiamo prevedere un pannello di controllo con una luce rossa attiva quando il nastro è in moto, una luce verde attiva quando il nastro è fermo e ulteriori segnalazioni relative al livello delle farine nei serbatoi. La scelta fra lampadine o LED riguarda le alimentazioni elettriche. Si farà tuttavia riferimento a elementi di produzione commerciale e pertanto standardizzati. Il comando delle segnalazioni luminose proviene dalle uscite dal dispositivo logico di controllo.

QUESITO N. 3)

La funzione di trasferimento ad anello aperto risulta

$$K(s) = H_0 \cdot K \cdot [G_1(s) - G_2(s)]$$

e, sostituendo i dati forniti dal testo, con  $H_0 = \frac{1}{2}$ ,

$$K(s) = 10 \cdot \frac{19s + 100}{(s+1)(s+10)^2}$$

La funzione di trasferimento dell'intero sistema è

$$T(s) = \frac{K(s)}{1 + H_0 \cdot K(s)} = K \cdot \frac{19s + 100}{s^3 + 21s^2 + (120 + \frac{19}{2}K)s + 50K + 100}$$

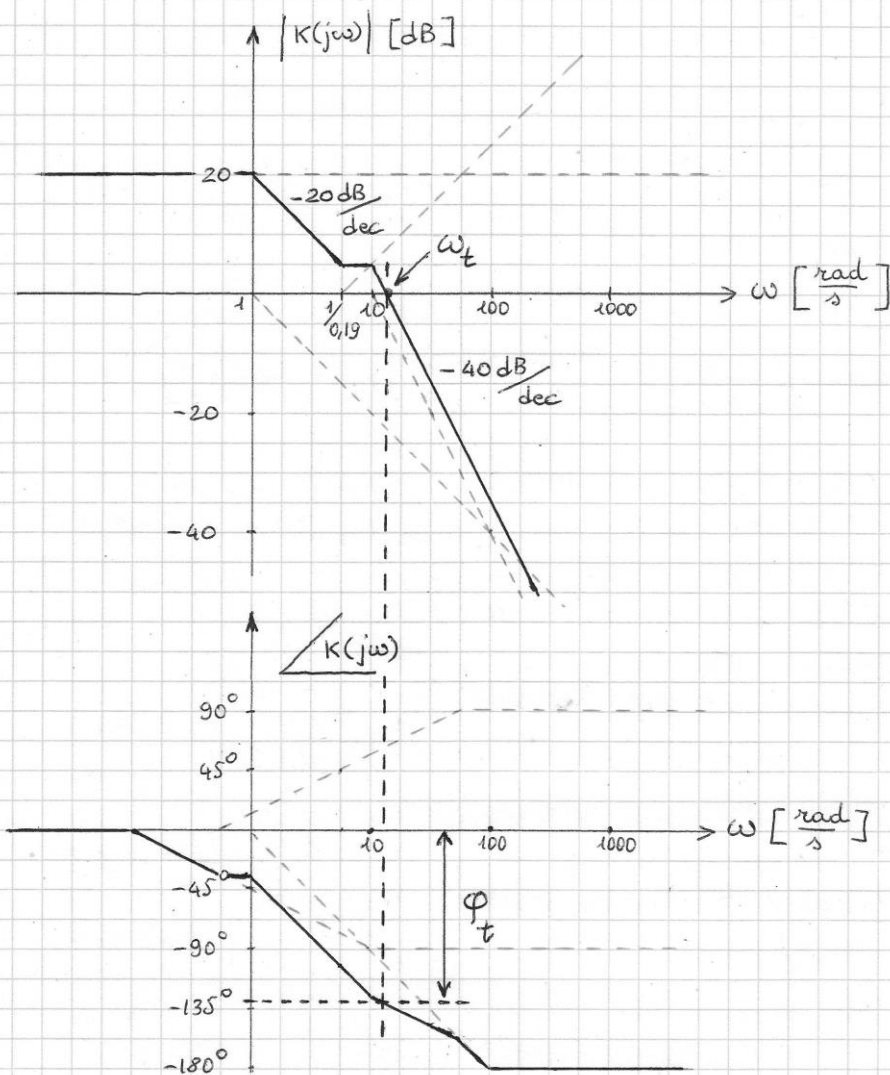
Il metodo più rapido per analizzare la stabilità in anello chiuso del sistema consiste nell'applicare il metodo di Routh-Hurwitz al denominatore di  $T(s)$ , i cui zeri sono i poli del sistema in anello chiuso. Costruita la tabella di Routh, si verifica che sussiste la sta-

1	$120 + \frac{19}{2}K$	Stabilità asintotica in anello chiuso per ogni $K > 0$ . Allo stesso risultato si poteva giungere osservando che il sistema è stabile in anello aperto e la differenza $n - m$ fra il numero dei poli e quello degli zeri di $T(s)$ non è superiore a 2. Per il tracciamento dei diagrammi di Bode, riscriviamo il guadagno d'anello nella forma canonica, che evidenzia il
21	$50K + 100$	
$2420 + \frac{299K}{2}$	0	
$50K + 100$	0	
0		

guadagno statico e le costanti di tempo:

$$K(s) = 10 \cdot \frac{100 \left(1 + \frac{19}{100}s\right)}{(1+s) \cdot 10 \left(1 + \frac{1}{10}s\right) \cdot 10 \cdot \left(1 + \frac{1}{10}s\right)} = 10 \cdot \frac{1 + 0,19s}{(1+s)(1+0,1s)^2}$$

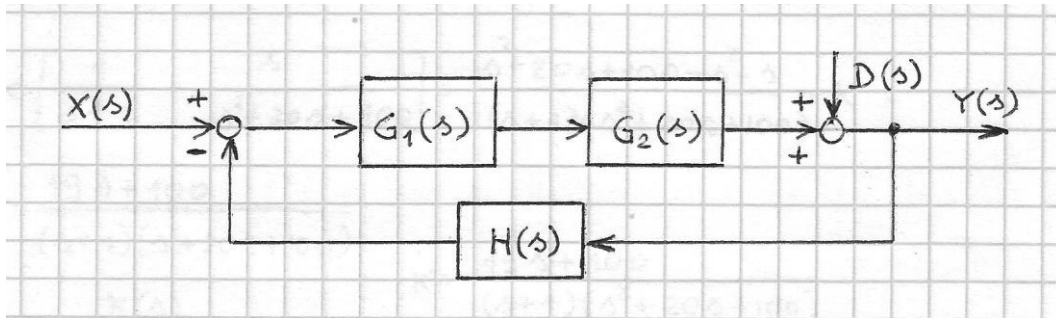
Il testo dell'esercizio richiede la determinazione del margine di fase col metodo grafico perciò, anziché calcolare la fase di  $K(j\omega)$  in corrispondenza di  $\omega = \omega_t$  attraverso la funzione  $\arctg$ , tracciamo entrambi i diagrammi di  $K(j\omega)$ , modulo e fase, ed eseguiamo la necessaria costruzione grafica.



Utilizzando l'approssimazione dei diagrammi asintotici, risulta una pulsazione  $\omega_t$  di intersezione del diagramma con l'asse unitario ("asse a 0 dB") di poco superiore a  $10 \text{ rad/s}$ . La proiezione di tale valore di  $\omega_t$  sul diagramma sottostante interseca l'andamento della fase a un'ordinata  $\varphi_t$  prossima a  $-135^\circ$ , fatte salve le imprecisioni intrinseche al metodo seguito. Quindi il margine di fase  $MF = 180^\circ + \varphi_t$  risulta vicino a  $45^\circ$ .

#### QUESITO N. 4)

Il tema proposto dall'ultimo quesito è molto ampio ma non pone difficoltà ai candidati, dal momento che è trattato anche nei manuali scolastici. Ci limitiamo ad un'estrema sintesi. I vantaggi della reazione negativa comprendono la riduzione degli effetti, sul segnale d'uscita, sia della comparsa di segnali di disturbo di natura additiva (si veda la figura) sia di variazioni parametriche. In entrambi i casi, la riduzione degli effetti di tali fenomeni sull'uscita, causata dalla reazione negativa, è governata dal fattore  $1 + H(s) \cdot G_1(s) \cdot G_2(s)$ , indicato da taluni autori come "tasso di reazione".



La natura del disturbo additivo varia sensibilmente secondo il tipo di sistema considerato: il disturbo, per un motore elettrico, può consistere in una variazione del carico meccanico; per un sistema idraulico, nella variazione di portata di un deflusso; per un amplificatore audio, nella fluttuazione del segnale d'antenna. I disturbi parametrici, invece, possono consistere in variazioni, nel periodo di funzionamento, dei coefficienti di una funzione di trasferimento, causate ad esempio da fenomeni di usura nei sistemi meccanici o da un aumento di temperatura in un circuito elettronico.

La reazione negativa modifica anche il tempo di risposta di un sistema, poiché può variarne il valore dei poli della funzione di trasferimento, dai quali appunto dipende la dinamica del sistema stesso. Riguardo alla stabilità, va detto che i sistemi in anello aperto di interesse pratico sono di norma stabili ed è proprio la retroazione che, potenzialmente, può innescare fenomeni di instabilità. Tuttavia, negli automatismi in cui la retroazione si impone come necessaria, o anche nei sistemi a reazione multipla (es. motore in c.c. controllato in coppia e in velocità), la taratura dei parametri dell'anello chiuso rappresenta uno strumento essenziale per garantire un funzionamento stabile.