



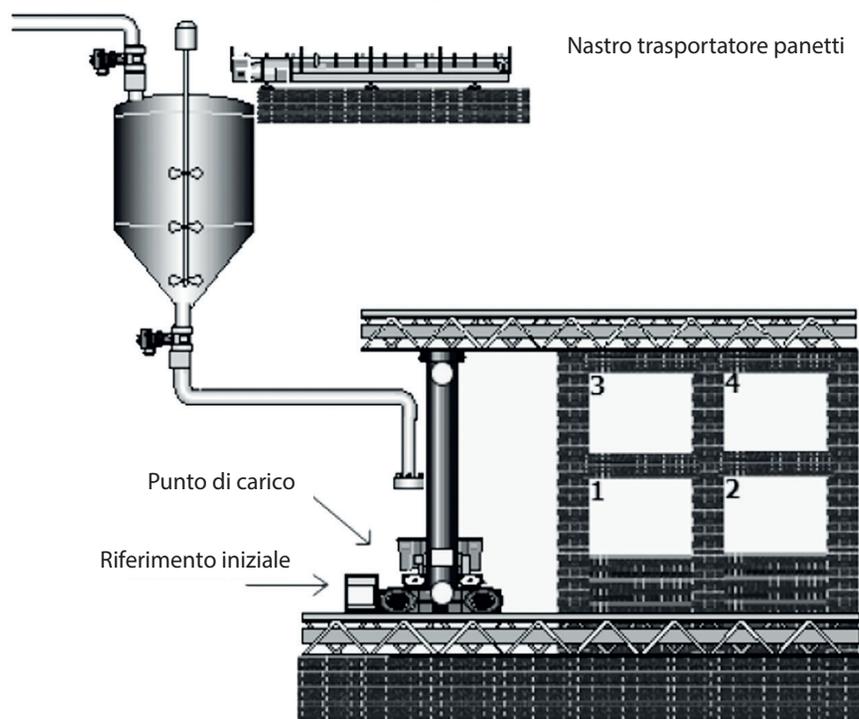
## ESAME DI STATO DI ISTRUZIONE SECONDARIA SUPERIORE

Indirizzo: ITAT - ELETTRATECNICA ED ELETTRONICA  
ARTICOLAZIONE AUTOMAZIONE  
Tema di: ELETTRATECNICA ED ELETTRONICA  
e SISTEMI AUTOMATICI 2019  
(sessione ordinaria)

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

### PRIMA PARTE

All'interno di un'azienda chimica è presente l'impianto, rappresentato in figura, per la produzione e il successivo immagazzinamento di un particolare composto chimico, ottenuto miscelando opportunamente due ingredienti in una tramoggia.



Il primo ingrediente è allo stato liquido e viene immesso nella tramoggia attraverso una condotta con una saracinesca comandata da un'elettrovalvola. Il secondo ingrediente è costituito da panetti solidi e raggiunge la tramoggia per mezzo di un nastro trasportatore azionato da un motore asincrono trifase (MAT). Per il composto da preparare sono necessari 5 panetti dell'ingrediente solido.

All'inizio del processo la tramoggia è vuota.

Alla pressione di un pulsante di START, l'operatore comanda la partenza del ciclo operativo: la saracinesca viene aperta e il mescolatore a pale viene avviato. Il processo di caricamento del liquido si arresta nel momento in cui viene raggiunto il livello di riferimento segnalato da un apposito sensore.

Successivamente viene azionato il nastro trasportatore per l'immissione dell'ingrediente solido.

Il mescolatore resta in azione per 10 minuti affinché gli elementi siano completamente amalgamati.

Al termine della miscelazione, il composto viene scaricato in una cassa posta sotto la tramoggia in corrispondenza del punto di carico (riferimento iniziale); la presenza del contenitore è segnalata da un apposito sensore di posizione. Lo scarico del composto avviene mediante l'apertura di una seconda saracinesca di portata pari a 2 l/s; la saracinesca viene mantenuta aperta fino a quando sono transitati 10 litri di composto.

Al termine dell'operazione di scarico si avvia il processo di trattamento termico mediante un piatto riscaldante posto sotto la cassa.

Un opportuno circuito fornisce la potenza necessaria per il raggiungimento delle temperature richieste per il riscaldamento del piatto secondo la seguente relazione:

$$T = 15 \cdot V_s \text{ con } T \text{ temperatura in } ^\circ\text{C} \text{ e } V_s \text{ tensione continua di valore compreso tra } 0 \text{ e } 10 \text{ V.}$$

Il piatto termico viene mantenuto, durante il trattamento, a una temperatura di 90 °C per 10 minuti e successivamente a 50 °C per altri 5 minuti, considerando trascurabili i transitori per i raggiungimenti delle temperature richieste. Ultimato il processo termico, la cassa viene prelevata attraverso un traslo-elevatore e depositata in un magazzino.

Il sistema di aggancio è alimentato a 24 VDC, mentre il traslo-elevatore, necessario per il trasporto verso il magazzino, è movimentato da 2 MAT autofrenanti a modalità diretta; sull'albero di ciascun motore è calettato un encoder incrementale che produce un impulso digitale a 24 V<sub>DC</sub> ogni 10 mm di spostamento lineare dell'asse, con frequenza massima pari a 100 Hz.

Il magazzino è costituito da quattro celle le cui coordinate, misurate rispetto al riferimento iniziale, sono indicate nella tabella successiva:

Posizione di aggancio	Coordinata X(m)	Coordinata Y(m)
piatto	0	0
cella 1	4	0
cella 2	7	0
cella 3	4	3
cella 4	7	3

Una volta riempito il magazzino, il processo ha termine.

L'impianto è dotato di un opportuno sistema di segnalazioni luminose e di un pulsante di STOP.

Il candidato, fatte le opportune ipotesi aggiuntive:

1. rappresenti lo schema a blocchi del sistema di controllo evidenziando i dispositivi coinvolti e, mediante un diagramma di flusso o un automa a stati finiti, definisca l'algoritmo di gestione dell'impianto;
2. sviluppi il codice per gestire il funzionamento dell'impianto, tramite un linguaggio di programmazione per PLC di propria conoscenza;
3. determini il rapporto di riduzione del riduttore da utilizzare per la trasmissione del moto e calcoli la potenza che il motore deve erogare considerando che:
  - il mescolatore è comandato da un MAT a 4 poli
  - la velocità delle pale si può considerare costante e pari a 40 rpm
  - la coppia resistente vale:  $C_r = 60 + 1,17 \cdot \omega_n^2$  [Nm]
  - il rendimento del riduttore è pari al 75%
4. progetti il circuito di condizionamento di un sensore di temperatura che si vuole installare sul piatto riscaldante al fine di monitorare la temperatura; la caratteristica del dispositivo è quella rappresentata in figura A, mentre in figura B è rappresentata la curva caratteristica richiesta in ingresso al sistema di controllo

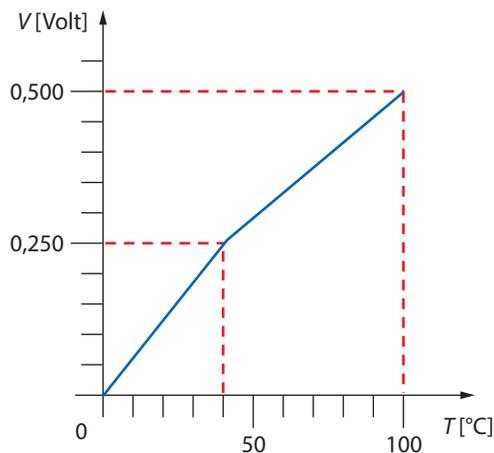


Figura A

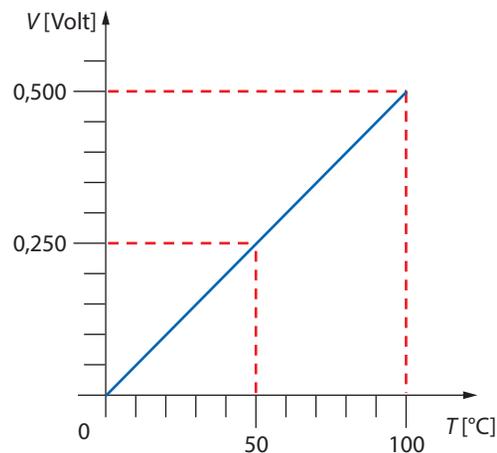


Figura B

## SECONDA PARTE

### Quesito 1

Con riferimento alla prima parte della traccia, il candidato individui un'ideale soluzione che permetta di diminuire la velocità di avanzamento nello spostamento orizzontale del traslo-elevatore quando le vibrazioni rilevate da un apposito sensore montato sull'unità di aggancio/sgancio indicano una situazione potenzialmente pericolosa. In particolare, il sensore di vibrazioni produce un segnale compreso tra 4 e 20 mA su un carico di 500  $\Omega$  per vibrazioni comprese tra 0 e 50 mm/s. In condizioni di normale funzionamento, la vibrazione non deve superare la soglia di 30 mm/s: se tale valore viene superato, la velocità di avanzamento del traslo-elevatore deve essere dimezzata ed essere mantenuta fino a raggiungere un valore per cui la vibrazione risulti inferiore a 15 mm/s.

Per ragioni legate alla funzionalità e alla sicurezza dell'impianto, è richiesto che la soluzione proposta non preveda l'utilizzo di dispositivi programmabili.

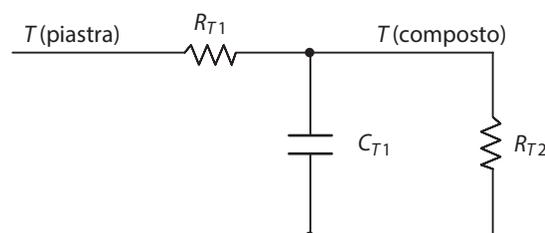
### Quesito 2

Con riferimento alla prima parte della traccia, è noto che la piastra riscaldante è di forma rettangolare e di dimensioni identiche a quelle della base della cassa. Si supponga che all'accensione della piastra, venga raggiunta istantaneamente la temperatura  $T_p = 90^\circ\text{C}$ .

In queste condizioni, le grandezze termiche presenti nel sistema assumono i seguenti valori:

- resistenza termica piastra-cassa  $R_{T1} = 0,002 \text{ sec}\cdot\text{K/J}$ ;
- resistenza termica composto-ambiente  $R_{T2} = 0,1 \text{ sec}\cdot\text{K/J}$ ;
- capacità termica del composto  $C_{T1} = 18000 \text{ J/K}$ ;
- temperatura iniziale del composto, della piastra e dell'ambiente di lavoro  $T_A = 20^\circ\text{C}$ .

Ipotizzando che la quantità di calore assorbita dalla base della cassa sia trascurabile, la rete elettrica che presenta analogia formale con il sistema termico in esame è la seguente:



Ciò premesso, il candidato ne determini la funzione di trasferimento e successivamente calcoli lo scostamento di temperatura del composto rispetto a quello della piastra, a regime.

**Quesito 3**

Nell'ambito del controllo di potenza dei motori in alternata, tramite dispositivi allo stato solido, il controllo di fase rappresenta una delle tecniche largamente utilizzate. Il candidato, sulla base delle proprie conoscenze, ne illustri le possibili implementazioni fornendo i relativi schemi e dettagliandone il funzionamento.

**Quesito 4**

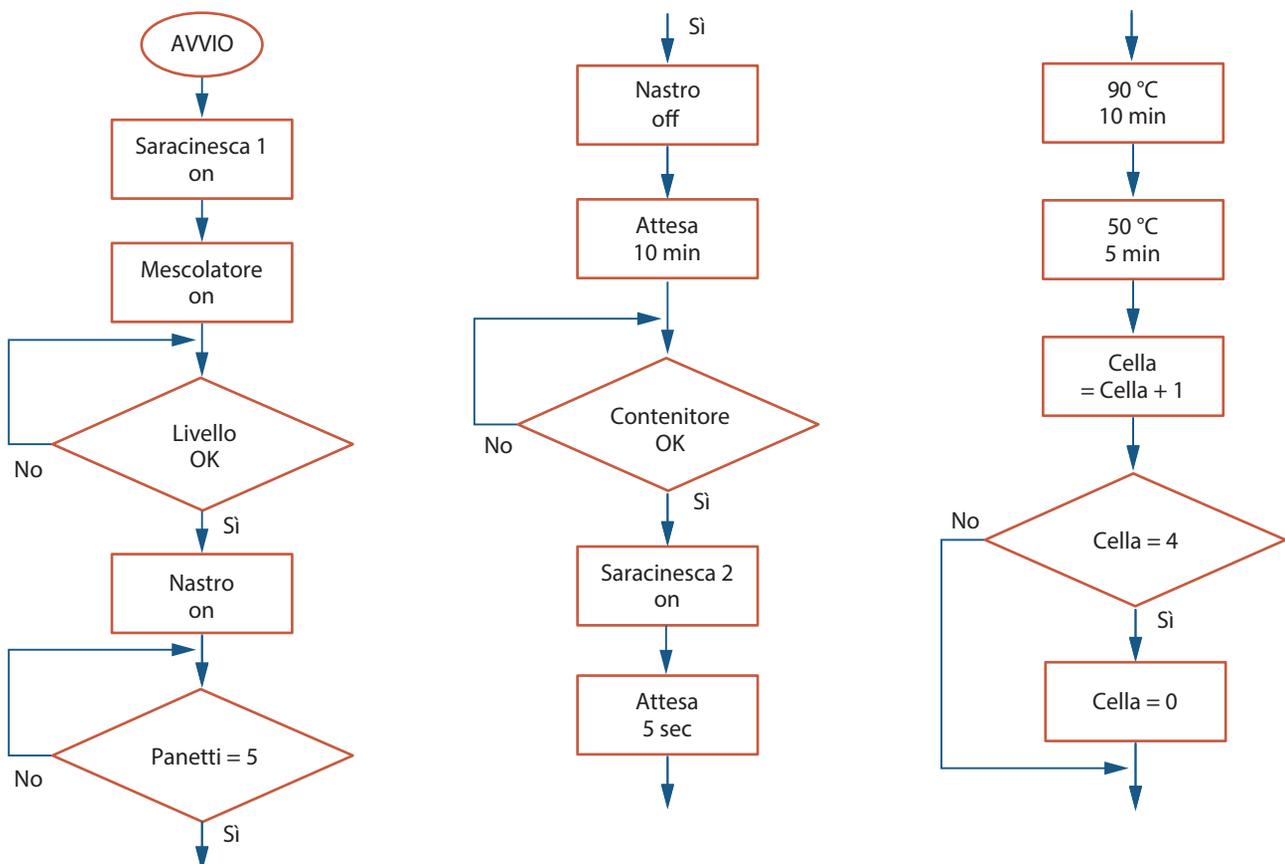
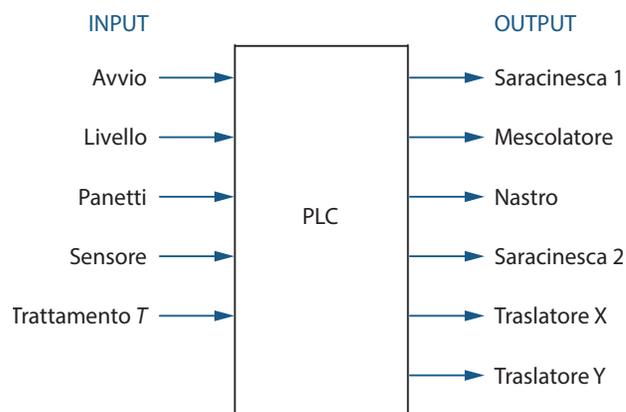
La strumentazione virtuale è una tecnologia sempre più largamente utilizzata anche nell'automazione industriale. Dopo aver discusso i relativi pregi/difetti, il candidato indichi una soluzione che permetta di dotare un'azienda di tale tecnologia, soffermandosi in particolare sulle soluzioni hardware e software prescelte.

**SOLUZIONE PRIMA PARTE**

**Quesito 1** – Rappresenti lo schema a blocchi del sistema di controllo evidenziando i blocchi del sistema di controllo evidenziando i dispositivi coinvolti e, mediante un diagramma di flusso o un automa a stati finiti, definisca l'algoritmo di gestione dell'impianto.

Nello schema a blocchi sono evidenziati i dispositivi collegati a ingressi e uscite del PLC.

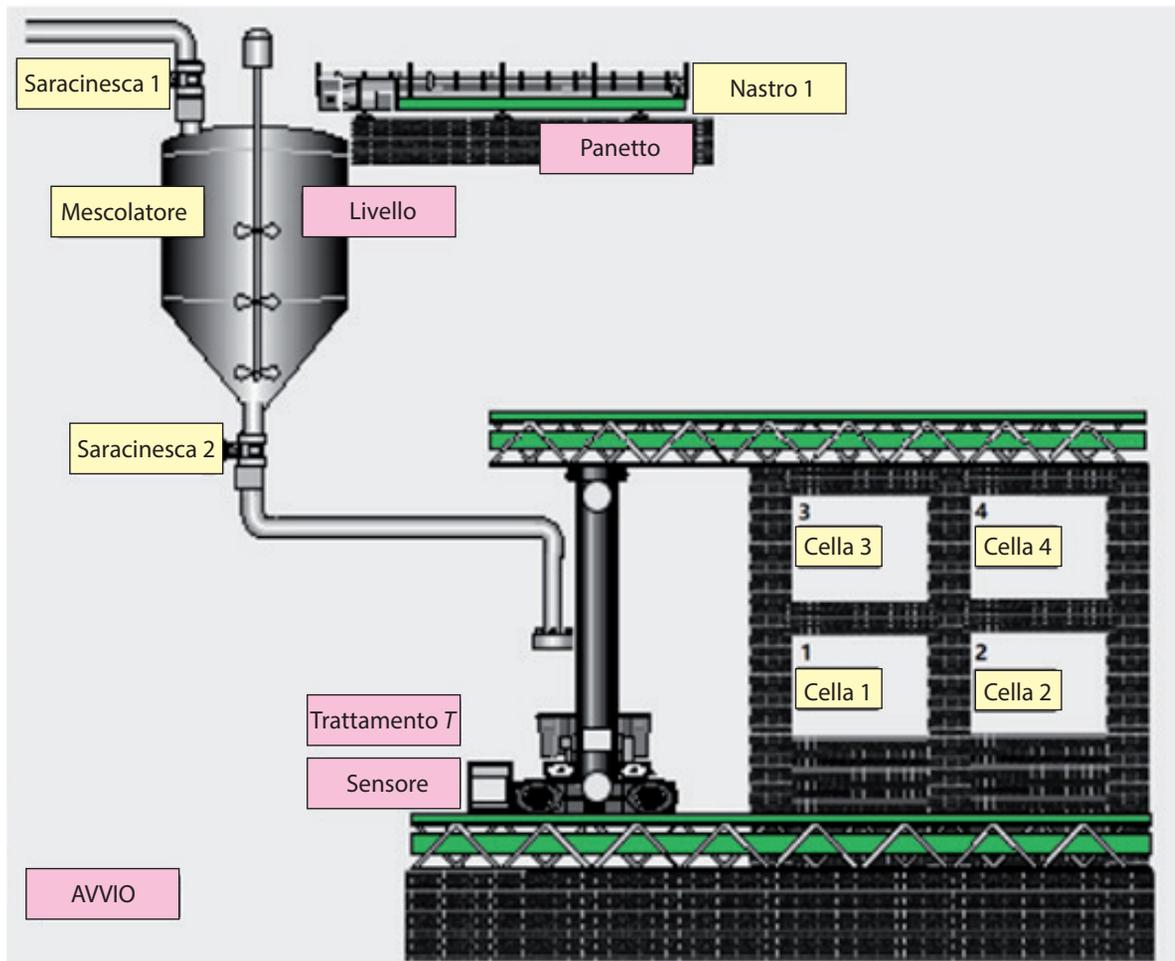
Il diagramma di flusso descrive in modo autoesplicativo l'algoritmo di gestione di questi dispositivi da parte del PLC.



**Quesito 2** – Sviluppi il codice per gestire il funzionamento dell'impianto, tramite un linguaggio di programmazione per PLC di propria conoscenza.

È stato utilizzato il programma di simulazione *SMC Autosim*.

Come si vede nel pannello qui raffigurato, gli ingressi sono simulati con pulsanti rosa e le uscite con LED gialli. Pulsanti e LED sono posizionati vicino al dispositivo associato nell'impianto.



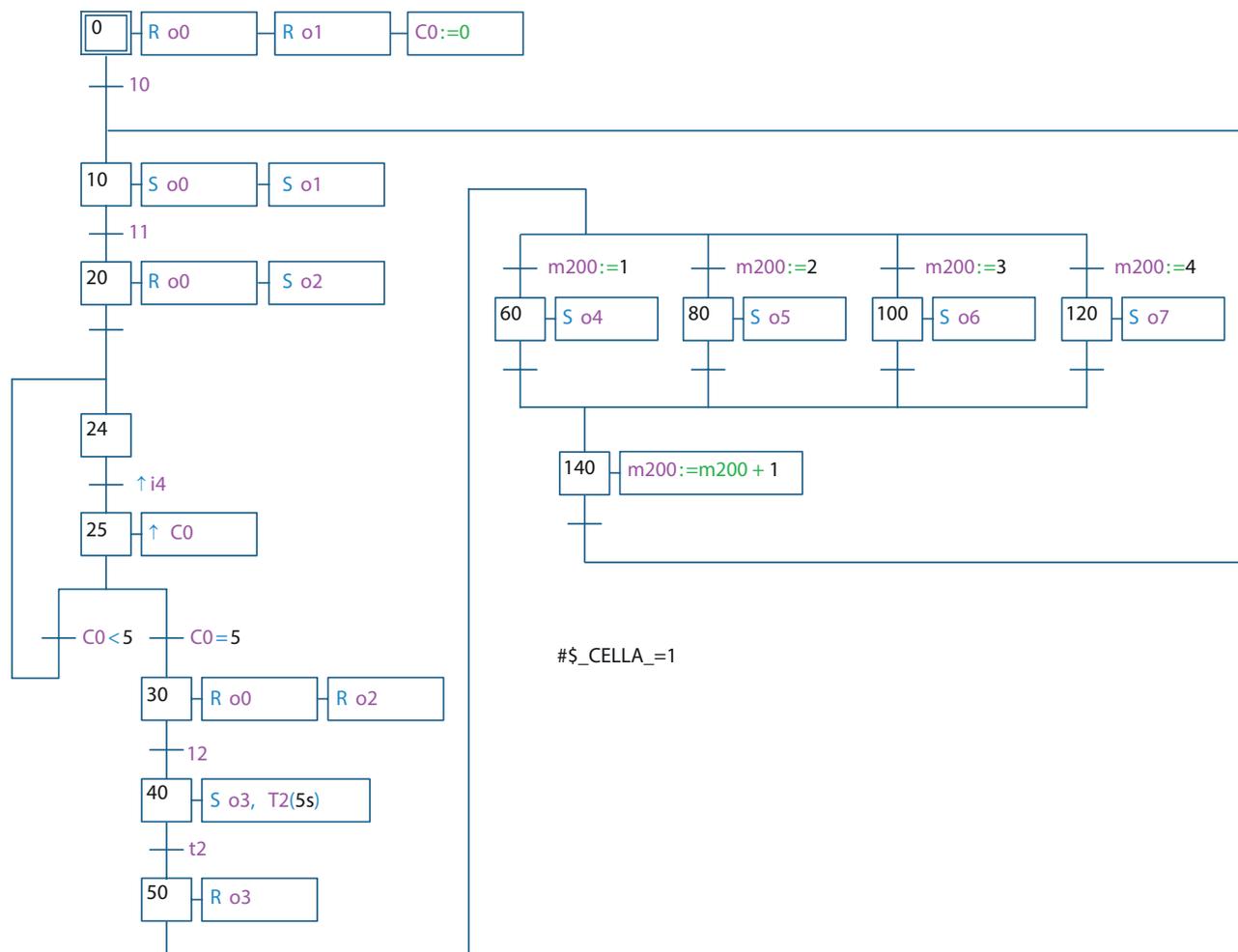
Il file è fornito con il presente *Corso di sistemi*. L'utente può ripercorrere il funzionamento del sistema, impartendo i comandi con i pulsanti. Si è lasciato al lettore lo sviluppo del trattamento termico.

Si descrive l'evoluzione del processo, con riferimento al diagramma SFC di implementazione del programma del PLC di seguito raffigurato e la tabella delle variabili.

- a. Fase 0 – Reset variabili e attesa **AVVIO**.
- b. Fase 10 – Avvio **SARACINESCA1** e **MESCOLATORE**.
- c. Fase 20 – Reset **SARACINESCA1** e avvio **NASTRO**.
- d. Fase 24 – Attesa di un **PANETTO** sul nastro.
- e. Fase 25 – Test per verificare se i panetti sono cinque:
  - se nuovo panetto incremento del contatore **C0**;
  - se  $C0 < 5$  ritorno alla fase 24;
  - se  $C0 = 5$  passaggio alla successiva fase 30.
- f. Fase 30 – Arresto **MESCOLATORE** e **NASTRO**.

Simboli	Variabili
AVVIO	i0
Saracinesca 1	o0
Mescolatore	o1
Livello	i1
Nastro 1	o2
Saracinesca 2	o3
Sensore	i2
Trattamento T	i3
Cella 1	o4
Cella 2	o5
Cella 3	o6
Cella 7	o7
CELLA	m200
Panetto	i4

- g. Fase40 – Apertura SARACINESCA2 e attesa 5 secondi.  
 h. Fase 50 – Chiusura SARACINESCA2.  
 i. Fasi 60, 80, 100, 120 – Posizionamento in Cella1, Cella2, Cella3, Cella4.  
 j. Fase140 – Incremento numero della CELLA.



**Quesito 3** – Determini il rapporto di riduzione del riduttore da utilizzare per la trasmissione del moto e calcoli la potenza che il motore deve erogare.

Nel caso dello schema di principio del MAT, con un solo avvolgimento per fase, il campo magnetico rotante compie un angolo giro a ogni periodo dell'onda sinusoidale, pertanto la formula per la determinazione della velocità, misurata in giri al minuto, è la seguente:

$$n_0 = f \cdot 60 \text{ nella quale: } n_0 = \text{giri/min}; f = \text{frequenza di alimentazione.}$$

È naturale che il termine  $f$ , che rappresenta il numero di cicli elettrici al secondo, compaia nella determinazione del numero di rotazioni meccaniche.

Nel caso siano presenti più coppie polari, la velocità si riduce in proporzione al loro numero, pertanto si ha:

$$n_0 = \frac{f \cdot 60}{p} \text{ nella quale: } p = \text{numero di coppie polari.}$$

In questo caso, il motore ha 2 coppie polari (4 poli) quindi:  $n_0 = \frac{(50 \cdot 60)}{2} = 1500 \text{ rpm}$

Nota la velocità delle pale  $n_n = 40 \text{ rpm}$ , si può allora determinare il rapporto riduzione:  $\frac{40}{1500} = \frac{1}{37,5}$

Per calcolare la potenza del motore si calcola innanzitutto la coppia resistente con la formula data.

$$\omega_n = 40[\text{rpm}] \cdot \frac{2\pi}{60} = 4,19 [\text{rad/s}] \quad C_r = 60 + 1,17 \cdot 4,19^2 = 80 \text{ Nm}$$

Ora si passa al calcolo della potenza al carico:  $P_L = C_r \cdot \omega_n = 80 \cdot 4,19 = 335,2 \text{ W}$

$$\text{Infine si ha per la potenza del motore: } P_M = \frac{P_L}{\delta} = 335,2 \cdot \frac{100}{75} = 447 \text{ W}$$

**Quesito 4** – Progetta il circuito di condizionamento di un sensore di temperatura che si vuole installare sul piatto riscaldante al fine di monitorare la temperatura.

Come si può notare a fronte di una caratteristica di ingresso spezzata, quella di uscita è completamente rettilinea. Si deve quindi operare con diverse amplificazioni a porzioni. Si noti inoltre attentamente che la porzione di ingresso da 0 V a 0,250 V attiene l'intervallo di temperatura  $0 < T < 40$ , mentre l'uscita da 0 V a 5 V attiene l'intervallo  $0 < T < 50$ . Pertanto da  $T = 40$  a  $T = 50$  è presente un ulteriore cambio di pendenza e le porzioni da analizzare sono tre. Per il calcolo del guadagno del condizionatore riferito alla prima porzione si procede con i valori assoluti; per le altre due porzioni si opera con il calcolo delle differenze.

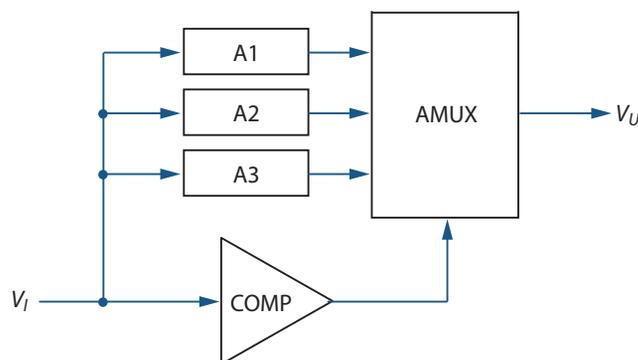
$$0 < T < 40 \quad \rightarrow \quad 0 < V_I < 0,250 \quad \rightarrow \quad \text{amplificazione A1: } V_U/V_I = 4/0,250 = 16$$

$$40 < T < 50 \quad \rightarrow \quad 0,250 < V_I < 0,3 \quad \rightarrow \quad \text{amplificazione A2: } \Delta V_U/\Delta V_I = (5 - 4)/(0,300 - 0,250) = 20$$

$$50 < T < 100 \quad \rightarrow \quad 0,3 < V_I < 0,5 \quad \rightarrow \quad \text{amplificazione A2: } \Delta V_U/\Delta V_I = (10 - 5)/(0,500 - 0,300) = 25$$

Dal punto di vista elettronico, si adotta uno schema con tre linee di amplificazione separate e selezionate da un AMUX in funzione dell'intervallo di tensione all'ingresso.

Il componente che distingue i tre intervalli della  $V_I$  è condensato nel blocco di nome COMP.



## SOLUZIONE SECONDA PARTE

**Quesito 1** – Con riferimento alla prima parte della traccia, il candidato individui un'ideale soluzione che permetta di diminuire la velocità di avanzamento nello spostamento orizzontale del traslo-elevatore quando le vibrazioni rilevate da un apposito sensore montato sull'unità di aggancio/sgancio indicano una situazione potenzialmente pericolosa.

Si ipotizza di prelevare la tensione all'uscita del sensore di vibrazione direttamente su resistenza di 500 W tramite un circuito di disaccoppiamento. Pertanto, noto l'intervallo di corrente compreso tra 4 mA e 20 mA, si ricava una tensione  $V_S$  compresa tra 2 V e 10 V.

Segnale sensore  $2 \leq V_S \leq 10 \text{ V}$

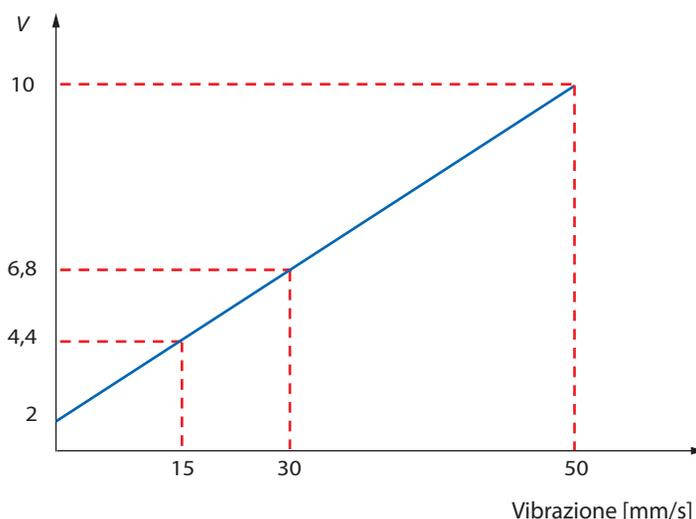
Nella figura è rappresentata la conseguente caratteristica del trasduttore, di pendenza:

$$\text{Pendenza retta: } \operatorname{tg}\alpha = \frac{(10-2)}{50} = 0,16$$

Dalla stessa caratteristica si possono ricavare le due tensioni di soglia inferiore e superiore.

$$\text{Tensione a 15 mm/s} \rightarrow 0,16 \times 15 + 2 = 4,4 \text{ V}$$

$$\text{Tensione a 30 mm/s} \rightarrow 0,16 \times 30 + 2 = 6,8 \text{ V}$$



La descrizione della funzionalità del circuito offerta dal quesito coincide con quella di un trigger con le soglie superiore e inferiore di 6,8 V e 4,4 V con valore medio:

$$\frac{(6,8 + 4,4)}{2} = 5,6 = \text{valore centrale del trigger} = E$$

La soluzione circuitale è di seguito riportata. Si noti il generatore di tensione  $E$  sulla linea di retroazione, coincidente con il valore medio della  $V_S$ .

Per  $V_S > 6,8 \text{ V}$  la velocità deve essere dimezzata. Calcoliamo allora la velocità del trasloelevatore, con riferimento per esempio alla quota  $X = 4 \text{ m}$  della Cella1.

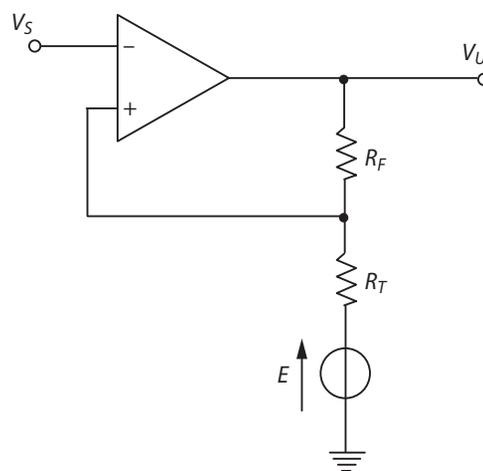
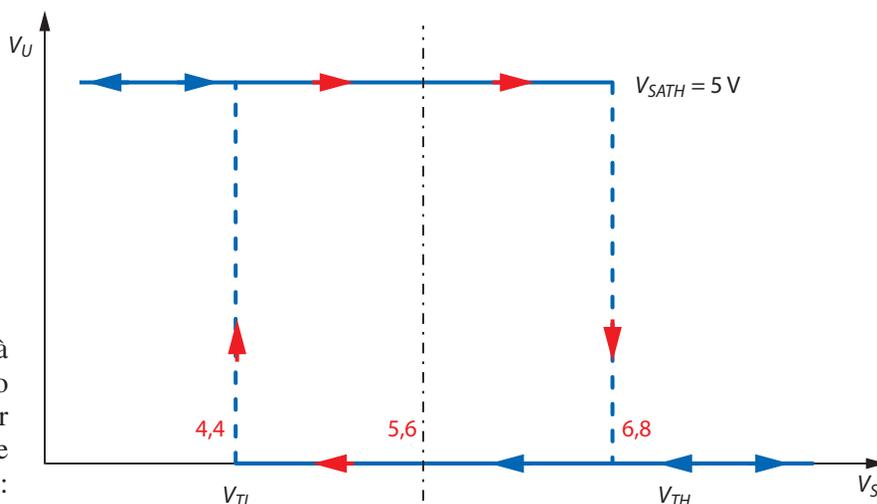
Noto che l'encoder incrementale produce un impulso digitale ogni 10 mm di spostamento lineare dell'asse, con frequenza 100 Hz si ha:

$$\text{impulsi} = \frac{4[\text{m}]}{10[\text{mm}]} = \frac{4000}{10} = 400 \text{ impulsi}$$

Poiché la frequenza degli impulsi è 100 Hz ovvero 100 impulsi / secondo la traslazione avviene in:

$$\frac{400}{100} = 4 \text{ secondi pertanto la velocità è: } \frac{4[\text{m}]}{4[\text{s}]} = 1 [\text{m/s}]$$

A valle del trigger si prevede di collocare un sistema che calcoli eventualmente questa velocità e provveda appunto a dimezzarla nel caso in cui le vibrazioni superino la soglia superiore.





**Quesito 2** – Il candidato ne determini la funzione di trasferimento e successivamente calcoli lo scostamento di temperatura del composto rispetto a quello della piastra, a regime.

Trattasi di un sistema equivalente nel quale  $V \equiv T$ . Si calcola la f.d.t tra uscita e ingresso.

$$G(s) = \frac{R_{T2} // \frac{1}{sC_{T1}}}{R_{T1} + R_{T2} // \frac{1}{sC_{T1}}}$$

$$R_{T2} // \frac{1}{sC_{T1}} = \frac{\frac{R_{T2}}{sC_{T1}}}{R_{T2} + \frac{1}{sC_{T1}}} = \frac{R_{T2}}{1 + R_{T2} \cdot sC_{T1}}$$

$$G(s) = \frac{\frac{R_{T2}}{1 + R_{T2} \cdot sC_{T1}}}{R_{T1} + \frac{R_{T2}}{1 + R_{T2} \cdot sC_{T1}}} = \frac{R_{T2}}{R_{T1} + R_{T2} + R_{T1} R_{T2} \cdot sC_{T1}}$$

Per calcolare la risposta a regime allo scalino termico di 90 °C si ricorre al teorema del valore finale.

$$T(\infty) = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot \frac{90}{s} \cdot \frac{R_{T2}}{R_{T1} + R_{T2} + R_{T1} R_{T2} \cdot sC_{T1}} = 90 \cdot \frac{R_{T2}}{R_{T1} + R_{T2}}$$

Si poteva pervenire allo stesso risultato considerando che ai capi del condensatore è presente un circuito equivalente Thevenin con tensione:

$$\text{Tensione equivalente} = 90 \cdot \frac{R_{T2}}{R_{T1} + R_{T2}}$$

Dato che il condensatore a regime equivale a un circuito aperto, questa è anche la temperatura di regime, come volevasi dimostrare.

Lo scostamento della temperatura del composto a regime rispetto a quello della piastra è:

$$\Delta T = 90 - T(\infty) = 90 - 90 \cdot \frac{0,1}{(0,1 + 0,002)} = 1,76 \text{ °C}$$

**Quesito 3** – Nell'ambito del controllo di potenza dei motori in alternata tramite dispositivi allo stato solido, il controllo di fase rappresenta una delle tecniche largamente utilizzate. Il candidato, sulla base delle proprie conoscenze, ne illustri le possibili implementazioni fornendo i relativi schemi e dettagliandone il funzionamento.

Per i contenuti relativi a questo quesito, si rinvia al modulo P. Impianti di conversione di potenza di questo Corso di sistemi, Volume 3 per l'articolazione Automazione.

**Quesito 4** – La strumentazione virtuale è una tecnologia sempre più largamente utilizzata anche nell'automazione industriale. Dopo aver discusso i relativi pregi/difetti, il candidato indichi una soluzione che permetta di dotare un'azienda di tale tecnologia, soffermandosi in particolare sulle soluzioni hardware e software prescelte.

Per i contenuti relativi a questo quesito, si rinvia al modulo B. Interfacciamento di questo Corso di sistemi Volume 3 per l'articolazione Automazione e a tutti i moduli attinenti dei volumi 1 e 2.

## ESAME DI STATO DI ISTRUZIONE SECONDARIA SUPERIORE

Indirizzo: ITAT - Elettrotecnica ed Elettronica  
Articolazione Automazione

Tema di: Elettrotecnica ed Elettronica  
e Sistemi Automatici 2019  
(simulazione)

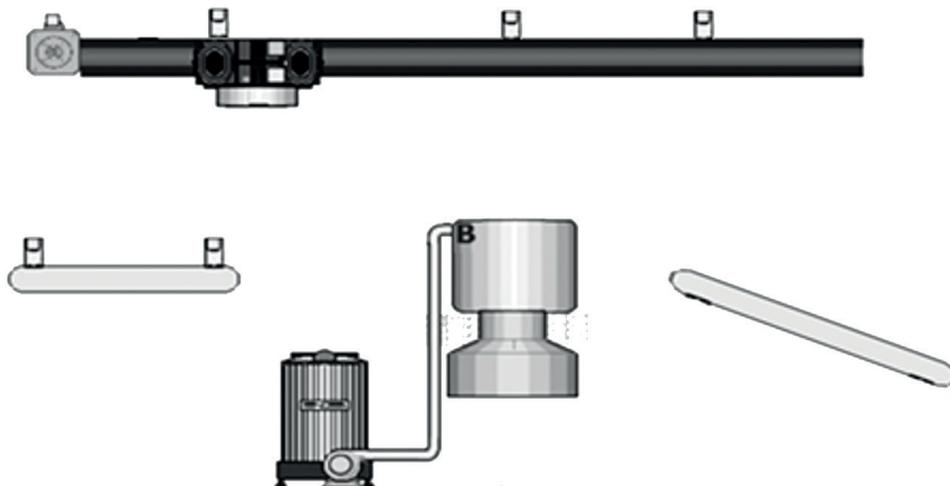
*Il candidato è tenuto a svolgere i quesiti della prima parte e due quesiti a sua scelta della seconda parte.*

### PRIMA PARTE

Tra le varie lavorazioni previste in un complesso industriale metallurgico viene realizzato il processo di zincatura a caldo che avviene mediante l'immersione nello zinco fuso di manufatti di acciaio.

L'immersione nello zinco fuso produce una lega che protegge i manufatti dalla corrosione.

L'impianto di zincatura, rappresentato in figura, è costituito da una vasca cilindrica di diametro pari a 2 metri e altezza pari a un metro che contiene lo zinco fuso e da un carro ponte dotato di un elettromagnete che preleva i manufatti di acciaio da un nastro trasportatore, li immerge nella vasca per un tempo predefinito e, infine, li deposita su un piano inclinato a rulli che li trasporta verso la successiva stazione di lavorazione.



All'avviamento dell'impianto, ha inizio il riempimento della vasca mediante l'attivazione di una pompa monofase che preleva lo zinco fuso da un serbatoio finché il liquido non raggiunge il livello di 800 mm; durante questa fase, avviene anche il riscaldamento dello zinco alla temperatura di 440 °C tramite un riscaldatore a 230 Volt a.c. azionato da un relè.

Quando il livello del liquido ha raggiunto il limite prestabilito e la temperatura è idonea per la zincatura, si avvia il ciclo di lavoro.

Il manufatto da trattare viene posto manualmente sul nastro di carico, azionato da un motore asincrono trifase, per essere trasportato automaticamente verso il punto di prelevamento posto a fine nastro.

L'elettromagnete preleva il manufatto dal nastro trasportatore e lo immerge nella vasca di zincatura tenendolo sospeso per un tempo di 10 minuti, trascorsi i quali l'elettromagnete deposita il manufatto sul piano inclinato a rulli per essere trasportato verso la successiva stazione di lavorazione.

Il carro ponte ritorna quindi nella posizione di partenza per riprendere con la lavorazione del manufatto successivo.

Il carro ponte è azionato da un motore asincrono trifase e le fermate nelle posizioni di lavoro sono segnalate tramite tre finecorsa posizionati in corrispondenza delle stesse.

La discesa e la salita dell'elettromagnete avvengono tramite un argano comandato da un motore asincrono trifase e da due finecorsa, opportunamente posti sull'argano, che sono utilizzati per limitare lo spostamento dell'elettromagnete.

La corretta temperatura dello zinco è garantita da un sistema di controllo che, utilizzando una termocoppia di tipo J, mantiene la temperatura dello zinco tra 440 °C e 460 °C; infine è previsto che il livello del liquido nella vasca sia mantenuto tra 600 mm e 800 mm.

Il candidato, fatte le ulteriori ipotesi aggiuntive che ritiene necessarie:

1. progetti il circuito di condizionamento della termocoppia, in grado di fornire una tensione pari a 5 Volt in corrispondenza della massima temperatura di lavoro, di valore pari a 600 °C;
2. definisca la potenza meccanica del motore asincrono trifase installato nell'argano, supponendo che il peso dei pezzi da sollevare non superi i 20 kg, che i pesi della fune e dell'elettromagnete siano trascurabili, che al motore sia collegato un riduttore avente rapporto 1:20 e rendimento 0.5 e sul cui albero di uscita sia montata una puleggia del diametro 100 mm.
3. rappresenti, mediante un diagramma di flusso o un automa a stati finiti, l'algoritmo di gestione dell'impianto, tenendo conto anche del controllo della temperatura e del livello dello zinco liquido;
4. sviluppi il codice per la gestione dell'impianto in un linguaggio di programmazione per PLC di propria conoscenza.

## SECONDA PARTE

### Quesito 1

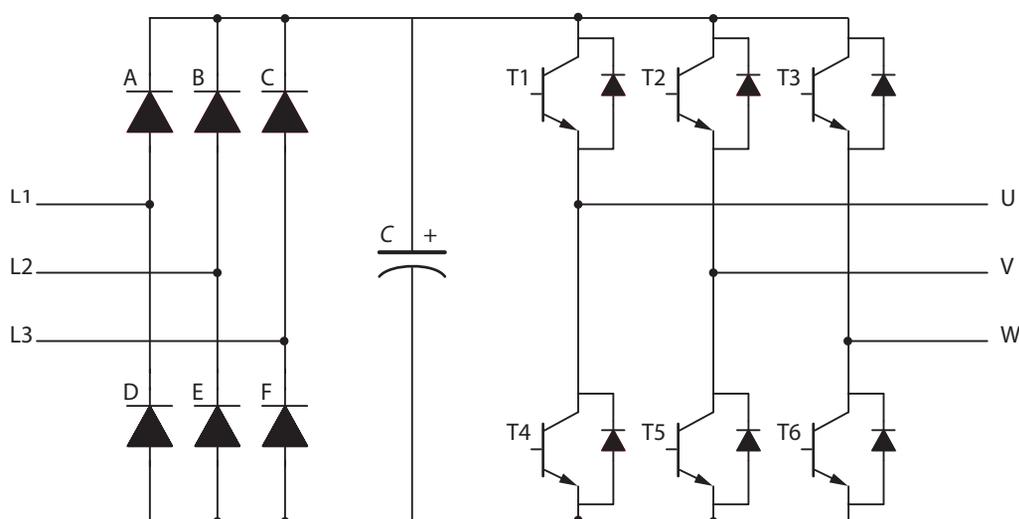
Con riferimento alla prima parte della prova, si supponga di voler monitorare la velocità di rotazione del motore che comanda il nastro di carico. A tal fine, sull'albero motore, viene calettato un encoder incrementale (300 impulsi/giro, ampiezza 5 volt). Considerando che nel ciclo di lavorazione la velocità massima del motore è pari a 1200 giri/min, il candidato ipotizzi una soluzione che fornisca una tensione compresa tra 0 e 10 Volt.

### Quesito 2

Con riferimento alla prima parte della prova, il candidato, sulla base delle proprie conoscenze e competenze, individui la tipologia di sensori da installare nella vasca di zincatura al fine di monitorare il livello del liquido in essa contenuto, motivando la scelta effettuata e indicando un possibile schema di collegamento al dispositivo programmabile.

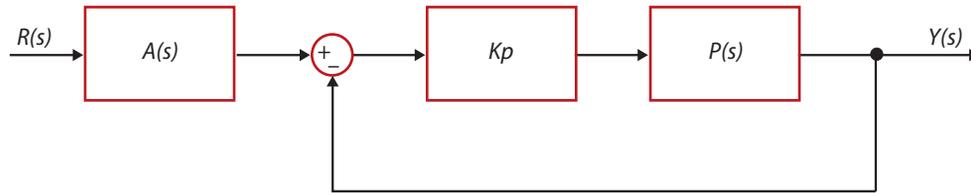
### Quesito 3

Nell'ambito del controllo di velocità dei motori trifase viene impiegato il dispositivo il cui schema elettrico è rappresentato in figura. Il candidato individui il dispositivo e ne illustri il funzionamento nelle sue parti essenziali, con particolare riguardo alle modalità con la quale avviene la rigenerazione del segnale trifase che alimenta il motore asincrono a esso collegato.



**Quesito 4**

Il sistema di controllo a retroazione unitaria in figura, viene sollecitato in ingresso da un segnale  $r(t) = 100 t$ .



Le funzioni di trasferimento dei blocchi valgono:

$A(s) = 1 + \tau s$ , con  $\tau$  parametro reale

$$P(s) = \frac{4 \times 10^3}{s(s + 200)}$$

$$Kp = 62,5$$

Il candidato, dopo aver determinato la funzione di trasferimento del sistema tra l'ingresso  $R(s)$  e l'uscita  $Y(s)$ , calcoli per quale valore della costante  $\tau$  l'errore a regime permanente si annulla.

**SOLUZIONE PRIMA PARTE**

**Quesito 1** – Progetti il circuito di condizionamento della termocoppia, in grado di fornire una tensione pari a 5 Volt in corrispondenza della massima temperatura di lavoro, di valore pari a  $600^\circ\text{C}$ .

Come noto, le termocoppie sono trasduttori di temperatura costituiti da una giunzione di due diversi materiali, in questo caso ferro-costantana, uniti in un punto detto giunto caldo, presso il quale viene effettuata la misura della temperatura  $T_C$ .



Dai morsetti del cosiddetto giunto freddo viene prelevata una piccola tensione  $V_U$  legata alla temperatura dalla relazione:

$$V = \alpha \cdot (T_C - T_f) \rightarrow \alpha = 51,7 [\mu\text{V}/^\circ\text{C}] \text{ giunzione ferro-costantana}$$

Supponendo di mantenere il giunto freddo alla temperatura  $T_f = 0^\circ\text{C}$ , la formula si semplifica in questo modo:

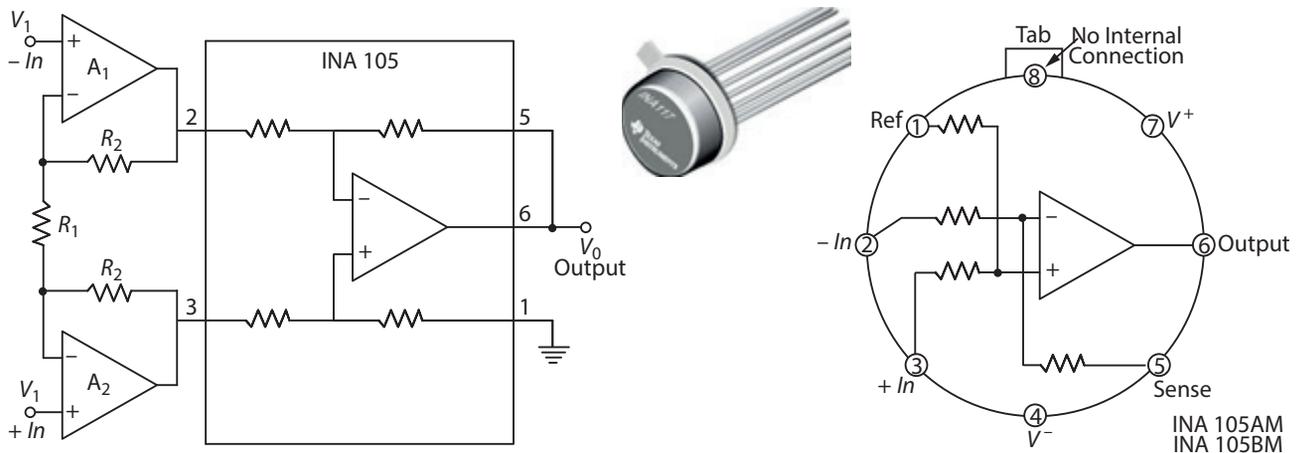
$$V = \alpha \cdot T_C$$

Alla temperatura di  $600^\circ\text{C}$  corrisponde quindi una tensione  $V = 51,7 \times 10^{-6} \times 600 = 0,031 = 31 \text{ mV}$

Per ottenere la tensione di 5 V alla temperatura massima di  $600^\circ\text{C}$  sar\`a sufficiente utilizzare un amplificatore per strumentazione INA impostando una amplificazione:

$$A = \frac{5}{31 \cdot 10^{-3}} = 161$$

Si riporta schema e piedinatura del componente INA105.



Dalla formula dell'INA, imponendo il guadagno, si ricava il rapporto tra le resistenze  $R_2$  e  $R_1$ .

$$A = \left(1 + 2 \frac{R_2}{R_1}\right) \quad 1 + 2 \frac{R_2}{R_1} = 161$$

Si può porre  $\frac{R_2}{R_1} = 80$ .

**Quesito 2** – Definisca la potenza meccanica del motore asincrono trifase installato nell'argano, supponendo che il peso dei pezzi da sollevare non superi i 20 kg, che i pesi della fune e dell'elettromagnete siano trascurabili, che al motore sia collegato un riduttore avente rapporto 1:20 e rendimento 0.5 e sul cui albero di uscita sia montata una puleggia del diametro 100 mm.

Se si indica con  $\omega_2 [2\pi n_2 / 60]$  la velocità angolare all'uscita del riduttore (verso l'asse lento) e  $\omega_1$  la velocità dell'asse veloce all'ingresso del riduttore si ha che  $\omega_2 = \frac{\omega_1}{20}$ .

Se  $P_2$  è la potenza sull'asse frenante e  $P_1$  è la potenza generata dal motore, si ha che il rendimento è  $\eta = \frac{P_2}{P_1}$ .

La risoluzione del problema viene condotta inizialmente valutando la potenza erogata al carico per risalire a quella erogata dal motore.

#### Calcolo di $P_2$

La potenza sviluppata dalla coppia  $C_2$  che grava sull'asse lento vale  $P_2 = C_2 \cdot \omega_2$ .

La coppia  $C_2$ , essendo nota sia la forza  $F$  del manufatto sollevato dalla puleggia sia il suo raggio, si può così calcolare:

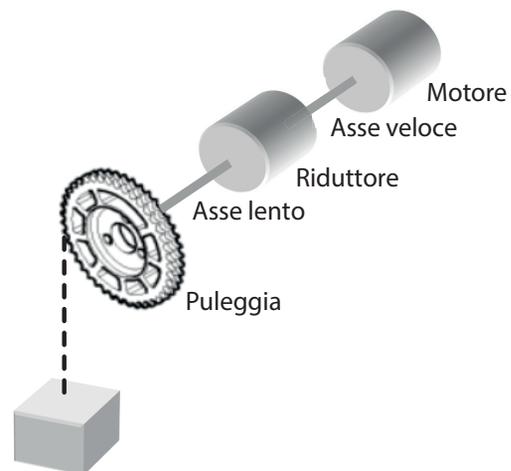
$$C_2 = F \cdot r = 20 \times 9,8 \times 0,05 = 9,8 \text{ Nm}$$

Per il calcolo di  $\omega_2$  è necessario fare delle ipotesi: si suppone che la distanza dell'elettromagnete dalla vasca sia di 1 metro e, considerando che la vasca ha una altezza di 1 metro, si può pensare che l'operazione di immersione del manufatto nella vasca di zinco fuso avvenga con una velocità

$$v = \frac{2m}{\text{min}} = \frac{2}{60} \text{ [m/sec]}$$

$$\text{Essendo } v = \omega_2 \cdot r \text{ si ha } \omega_2 = \frac{v}{r} = \frac{2}{60 \times 0,05} = 0,6666 \text{ rad/sec}$$

La potenza espressa sul carico vale in conclusione:  $P_2 = C_2 \cdot \omega_2 = 9,8 \times 0,6666 = 6,5 \text{ W}$





In parallelo a questo diagramma di flusso si ipotizza la presenza di un secondo diagramma che, con dei test simili, tiene sotto controllo i livelli della temperatura e dello zinco, in una modalità di controllo ON-OFF così congegnata:

se LIVELLO > MAX → SPEGNIMENTO.      se LIVELLO < MIN → ACCENSIONE.

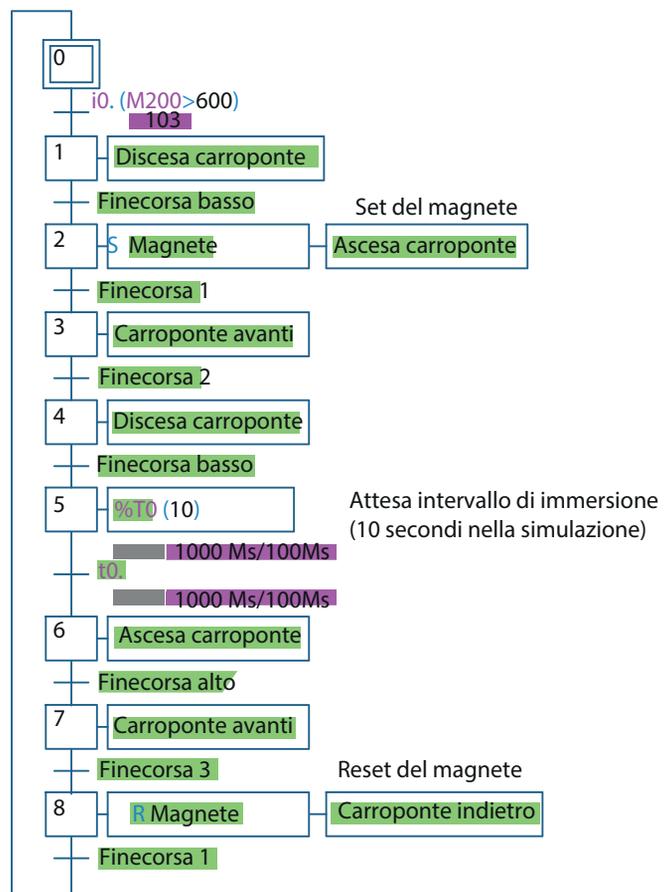
**Quesito 4** – *Sviluppi il codice per la gestione dell'impianto in un linguaggio di programmazione per PLC di propria conoscenza.*

Si è scelto di sviluppare il codice in *Grafset* per la parte di gestione del carro ponte e in listato (*Structured literal language* per PLC) per la parte di controllo dei livelli.

Si noti la quasi completa sovrapposibilità del *grafset* con il diagramma di flusso.

M200 è variabile analogica che rappresenta la temperatura.

Con la variabile digitale *i0* assegnata a un pulsante si è simulata l'adeguatezza del livello del liquido.



Il sistema è stato simulato grazie al software SMC autoSIM.

Le seguenti figure mostrano la tabella dei simboli e i monitor che consentono di sorvegliare le variabili del processo con lo scorrere del programma.

Simboli	Variabili	Commenti
Livello	i0	Il livello di zinco è adeguato
Fincorsa 1	i1	Inizio del percorso
Fincorsa 2	i2	Posizione intermedia
Fincorsa 3	i3	Fine del percorso
Fincorsa alto	i4	Posizione superiore
Fincorsa basso	i5	Posizione di immersione
Carro ponte avanti	o0	Movimento a destra del carro ponte
Carro ponte indietro	o1	Movimento a sinistra del carro ponte
Discesa carro ponte	o2	Comando abbassamento
Ascesa carro ponte	o3	Comando innalzamento
Magnete	o4	Attivazione magnete
Temperatura	M200	Valore analogico della temperatura



Nella sezione literal qui riportata il sistema controlla che la temperatura rimanga entro i limiti di  $600 \div 800 \text{ }^\circ\text{C}$ . Viene impiegata la variabile analogica M200. Si è omessa la soluzione per il controllo del livello del liquido perché analogo.

```

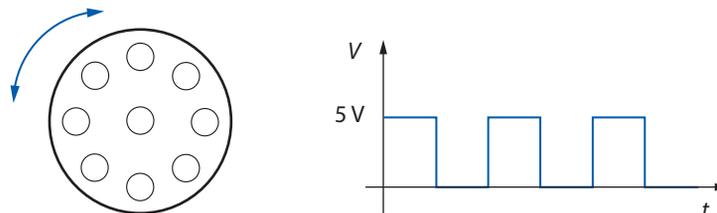
                                #M200=0
                                ↓
                                if o6 then
                                    M200:=M200-1;
                                    if M200<600 then
                                        o6:=FALSE;
                                    endif;
                                endif;

                                if (/o6) then
                                    M200:=M200+1;
                                    if M200>800 then
                                        o6:=TRUE;
                                    endif;
                                endif;
  
```

### SOLUZIONE SECONDA PARTE

**Quesito 1** – Con riferimento alla prima parte della prova, si supponga di voler monitorare la velocità di rotazione del motore che comanda il nastro di carico. A tal fine, sull'albero motore, viene calettato un encoder incrementale (300 impulsi/giro, ampiezza 5 volt). Considerando che nel ciclo di lavorazione la velocità massima del motore è pari a 1200 giri/min, il candidato ipotizzi una soluzione che fornisca una tensione compresa tra 0 e 10 Volt.

In linea di principio il funzionamento dell'encoder è descritto dalla seguente figura, nella quale è rappresentato il treno di onde quadre da esso generato.

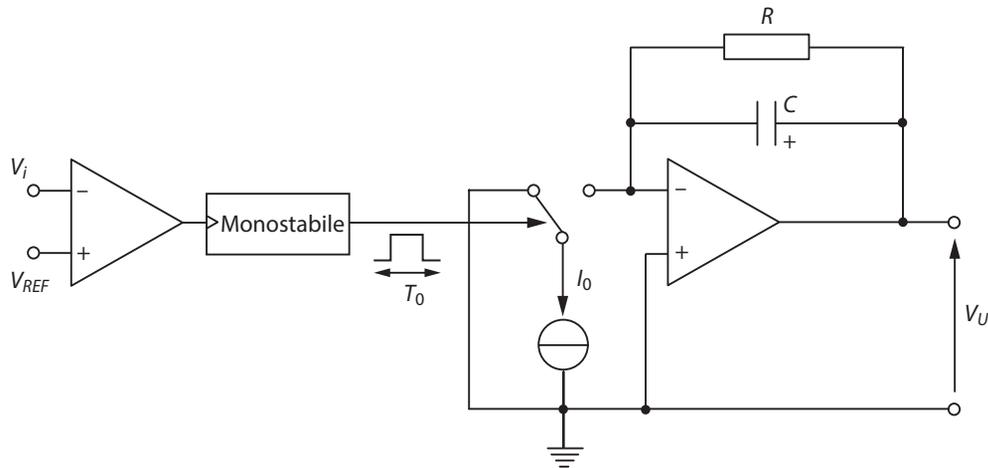


Per il calcolo della frequenza si considera che gli impulsi generati a giro sono 300 e che 1200 giri/min corrispondono a 20 giri/sec pertanto risulta:

$$f = \frac{20 \text{ giri}}{\text{sec}} \times 300 \text{ impulsi} = \frac{6000 \text{ impulsi}}{\text{sec}} = 6 \text{ kHz}$$

L'intervallo di variabilità della frequenza è pertanto  $0 \text{ Hz} \div 6 \text{ kHz}$  per velocità di rotazione del motore nell'intervallo  $0 \div 1200 \text{ [rpm]}$ .

Per convertire questa frequenza in una tensione proporzionale si fa ricorso a un convertitore frequenza-tensione.



Il circuito base sopra illustrato per la conversione è composto da un comparatore, un monostabile e un integratore.

Quando  $V_I < V_{REF}$  l'uscita del comparatore diviene alta e innesca l'impulso del monostabile di durata  $T_0$  costante e predeterminata.

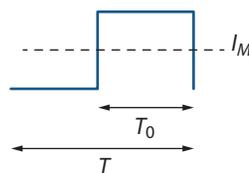
Tale impulso causa la commutazione dello switch connettendo il generatore di corrente costante  $I_0$  all'ingresso dell'integratore. Il condensatore si carica linearmente con la polarità indicata nella figura.

Nell'intervallo residuo invece il condensatore si scarica sulla resistenza.

Qualitativamente la conversione avviene in quanto, se aumenta la frequenza del segnale d'ingresso, sono più numerose le commutazioni del monostabile, gli intervalli di tempo concessi alla scarica si riducono mentre rimane uguale  $T_0$ ; pertanto aumenta il valore medio della tensione d'uscita.

Dal punto di vista analitico, la disamina prende in considerazione gli impulsi di corrente  $I_0$ .

Come descritto dalla figura seguente, essi determinano un valore medio  $I_M$  (trascurando le armoniche) che si riflette sulla tensione presente ai capi della resistenza (il condensatore per le correnti continue è un circuito aperto).



Questo valore medio vale:  $I_M = I_0 \cdot \frac{T_0}{T}$

Pertanto la tensione di uscita vale:  $V_U = R \cdot I_M = R \cdot I_0 \cdot \frac{T_0}{T} = RI_0 T_0 f$

Risulta così dimostrato che la tensione d'uscita è proporzionale alla frequenza del segnale d'ingresso.

Con la stessa formula si può effettuare il calcolo dei componenti, che viene lasciato al lettore, per il range richiesto di tensione generata da  $0 \text{ V}$  a  $10 \text{ V}$  a fronte di un range di frequenza  $0 < f < 6 \text{ kHz}$ .

**Quesito 2** – Con riferimento alla prima parte della prova, il candidato, sulla base delle proprie conoscenze e competenze, individui la tipologia di sensori da installare nella vasca di zincatura al fine di monitorare il livello del liquido in essa contenuto, motivando la scelta effettuata e indicando un possibile schema di collegamento al dispositivo programmabile.

Si può monitorare il livello dello zinco in linea di principio con due lamine che, quando poste a contatto con lo zinco che possiede caratteristiche conduttive, portano a massa i rispettivi conduttori a esse collegati.

Questi conduttori vengono collegati in configurazione pull-up a due ingressi digitali del PLC.

Si hanno di conseguenza le seguenti condizioni in funzione del livello corrente  $L$  dello zinco:

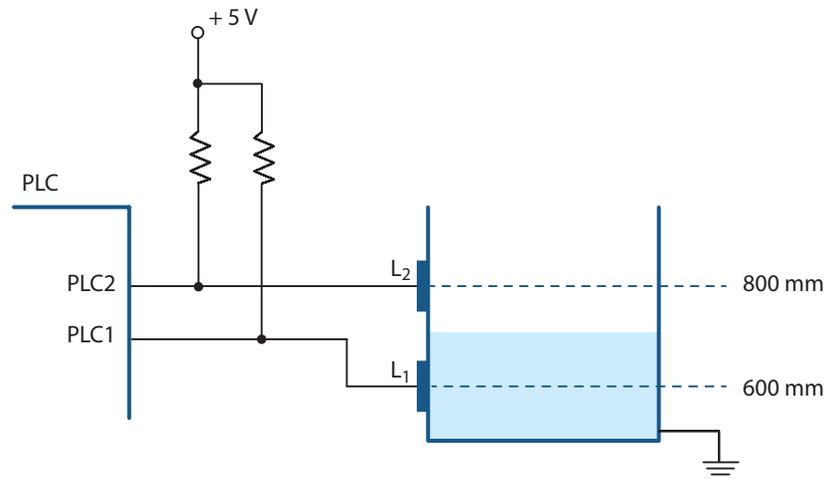
Livello  $L > L_2$  → PLC1 = 0 PLC2 = 0.

Livello  $L_1 < L < L_2$  → PLC1 = 0 PLC2 = 1.

Livello  $L < L_1$  → PLC1 = 1 PLC2 = 1.

Si è posto:  $L_1 = 600$  mm;  $L_2 = 800$  mm.

In funzione di queste informazioni il programma del PLC è possibilitato a ricavare lo stato del livello del liquido.

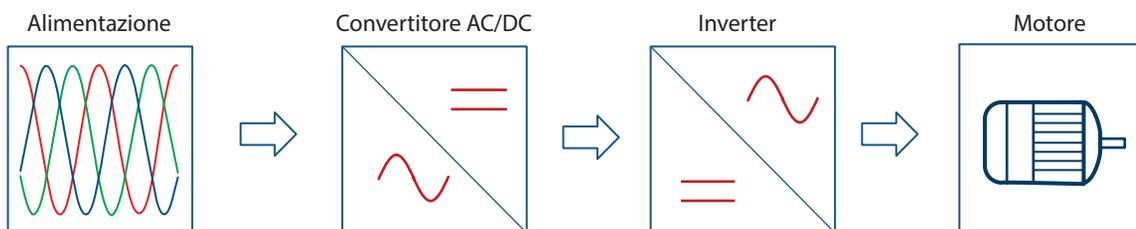


**Quesito 3** – *Nell'ambito del controllo di velocità dei motori trifase viene impiegato il dispositivo il cui schema elettrico è rappresentato in figura. Il candidato individui il dispositivo e ne illustri il funzionamento nelle sue parti essenziali, con particolare riguardo alle modalità con la quale avviene la rigenerazione del segnale trifase che alimenta il motore asincrono a esso collegato.*

Trattasi di un convertitore AC – AC da corrente alternata di data frequenza a corrente alternata di diversa frequenza, utilizzato appunto per variare la frequenza del campo rotante dei motori trifase sincroni o asincroni e di conseguenza la loro velocità.

Lo schema in linea di principio è costituito dalle seguenti sezioni:

1. alimentazione – treno di onde a 50 Hz trifase;
2. convertitore AC/DC – nello schema del problema è impiegato un ponte raddrizzatore trifase con un condensatore di grossa taglia impiegato per spianare le creste dell'onda raddrizzata;
3. inverter – convertitore DC/AC realizzabile con transistori MOS di potenza o dispositivi IGBT comandati da impulsi; la sequenza degli impulsi determina un sincronismo tale per cui è possibile sia il funzionamento normale sia quello rigenerativo;
4. motore.



Per un approfondimento delle due sezioni circuitali relative a questo quesito si rinvia al modulo *P. Impianti di conversione di potenza* di questo *Corso di sistemi Volume 3* per l'articolazione *Automazione*.

**Quesito 4** – Il candidato, dopo aver determinato la funzione di trasferimento del sistema tra l'ingresso  $R(s)$  e l'uscita  $Y(s)$ , calcoli per quale valore della costante  $\tau$  l'errore a regime permanente si annulla.

Per la valutazione della f.d.t complessiva vale la seguente formula:

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = A(s) \cdot \frac{G(s)}{1+G(s)} = (1+\tau s) \cdot \frac{\frac{250 \cdot 10^3}{s \cdot (s+200)}}{1 + \frac{250 \cdot 10^3}{s \cdot (s+200)}} = (1+\tau s) \cdot \frac{250 \cdot 10^3}{s \cdot (s+200) + 250 \cdot 10^3} =$$

$$(1+\tau s) \cdot \frac{250 \times 10^3}{s^2 + 200s + 250 \cdot 10^3}$$

Le f.d.t  $K_p$  e  $A(s)$  sono state accorpate in una singola  $G(s)$  così ricavata:

$$G(s) = K_p \cdot P(s) = \frac{62,5 \times 4 \times 10^3}{s(s+200)} = \frac{250 \times 10^3}{s(s+200)}$$

Trattasi di un sistema del secondo ordine; per valutarlo si procede con la determinazione dello smorzamento, confrontando con la formula generale:

$$f.d.t = \frac{\omega n^2}{s^2 + 2\xi \cdot \omega n \cdot s + \omega n^2}$$

$$\text{Risulta dunque: } 2\xi \cdot \omega n = 200 \text{ da cui: } \xi = \frac{200}{2 \cdot \sqrt{250 \times 10^3}} = 0,2$$

È uno smorzamento minore di 1, pertanto si tratta di un sistema oscillante con poli complessi e coniugati.

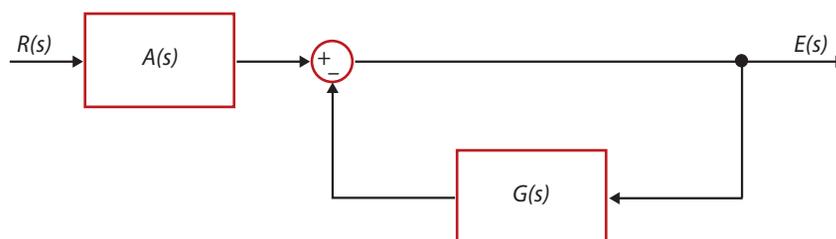
Per la valutazione dell'errore a regime è necessario ridisegnare lo schema assumendo  $E(s)$  come uscita.

Si noti che lo schema non cambia, rimane equivalente a quello originale.

$$\text{Ricordiamo che: } G(s) = \frac{250 \times 10^3}{s(s+200)}$$

La stessa f.d.t può essere riscritta nella forma con le costanti di tempo raccogliendo 200 al denominatore:

$$G(s) = \frac{250 \cdot 10^3}{200} \cdot \frac{1}{s(1+0,005s)} = K \cdot \frac{1}{s(1+0,005s)} \quad \text{con } K = \frac{250 \cdot 10^3}{200}$$



Il quesito chiede di conoscere il  $\lim_{t \rightarrow \infty} e(t)$  ovvero l'errore a regime.

Per ricavare questo risultato si può procedere con due modalità diverse, la prima basata sull'analisi della tabella degli errori a regime, la seconda analitica.

#### Prima modalità

La tabella degli errori a regime descrive come varia  $e(\infty)$  per i diversi tipi di ingresso e di sistema:

- tipo di ingresso: scalino, rampa, parabola;
- tipo di sistema: tipo 0, tipo 1, tipo 2 (numero di poli nulli).

Nella tabella,  $K$  è riferito al guadagno statico nel caso di f.d.t nella forma costanti di tempo.

Si noti che nel caso in esame la  $G(s)$  è di tipo 1.

	0	1	2
scalino	$1/K+1$	0	0
rampa	$\infty$	$1/K$	0
parabola	$\infty$	$\infty$	$2/K$

Considerando la sola sezione in retroazione a destra di  $A(s)$ , posto che all'ingresso + sia presente una rampa, l'errore a regime non può annullarsi, in quanto esso vale  $1/K$  nel caso di ingresso rampa e sistema tipo 1.

Vero è che tra l'ingresso  $R(s)$  e l'ingresso + è posta la  $A(s)$ , ma questa non inficia il ragionamento, come di seguito dimostrato.

Il segnale  $R(s)$  è la trasformata della rampa ovvero:  $R(s) = \frac{100}{s^2}$

All'uscita di  $R(s)$  si ha:  $\left(\frac{100}{s^2}\right) \cdot (1 + \tau s) = \frac{100}{s^2} + \frac{100}{\tau s}$ .

Il primo termine è ancora la stessa rampa di ingresso, il secondo è uno scalino.

Per la sovrapposizione degli effetti, che è possibile applicare essendo il sistema lineare, si può affermare, sempre dall'analisi della tabella dell'errore a regime, che:

- l'effetto della rampa è un errore uguale a  $\frac{100}{K}$
- l'effetto dello scalino sull'errore è nullo, come si legge nella prima riga/seconda colonna della tabella.

In conclusione l'errore a regime non può essere nullo e non può essere compensato dall'effetto dello scalino, che viene annichilito, per qualsiasi  $\tau$ .

### Seconda modalità

Si procede analiticamente al calcolo di  $E(s)$  e si calcola  $e(\infty)$  facendo ricorso al teorema del valore finale.

$$E(s) = R(s) \cdot A(s) \cdot \frac{1}{1+G(s)} = \frac{100}{s^2} \cdot (1 + \tau s) \cdot \frac{1}{1 + \frac{250 \cdot 10^3}{s \cdot (s+200)}} =$$

$$= \frac{100}{s^2} \cdot (1 + \tau s) \cdot \frac{s \cdot (s+200)}{s \cdot (s+200) + 250 \cdot 10^3}$$

Semplificando  $s$  al numeratore con  $s^2$  al denominatore e applicando il teorema del limite finale si ottiene:

$$e(\infty) = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot E(s) = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot \frac{100}{s^2} \cdot (1 + \tau s) \cdot \frac{s \cdot (s+200)}{s \cdot (s+200) + 250 \cdot 10^3} =$$

$$\lim_{s \rightarrow 0} 100 \cdot (1 + \tau s) \cdot \frac{(s+200)}{s \cdot (s+200) + 250 \cdot 10^3}$$

Sviluppando i prodotti si ricava:

$$e(\infty) = \lim_{s \rightarrow 0} 100 \cdot \frac{\tau s^2 + 200\tau s + s + 200}{s^2 + 200s + 250 \cdot 10^3} = 100 \cdot \frac{200}{250 \cdot 10^3}$$

Si confronti il risultato con quello dell'analisi fatta con la tabella e si veda che è il medesimo.

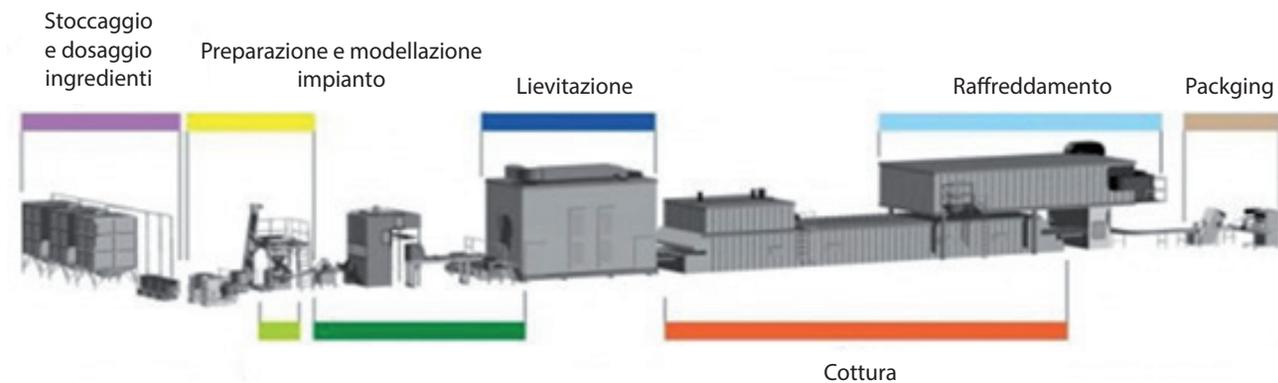
Come già stabilito, l'errore a regime non può annullarsi con alcun valore di  $\tau$ .

## ESAME DI STATO DI ISTRUZIONE SECONDARIA SUPERIORE

Indirizzo: ITAT - ELETTROTECNICA ED ELETTRONICA  
 ARTICOLAZIONE AUTOMAZIONE  
 Tema di: ELETTROTECNICA ED ELETTRONICA  
 e SISTEMI AUTOMATICI 2017  
 (sessione ordinaria)

*Viene proposta solo la prima parte della prova, dato che la tipologia non è esattamente quella più recente.*

Il processo di produzione di una industria alimentare nella quale vengono preparati e impacchettati prodotti da forno (biscotti) è rappresentato dallo schema riprodotto in figura.



In una prima parte del processo avvengono il dosaggio delle materie prime e il relativo impasto. L'impasto viene poi modellato, lievitato e cotto in un'altra zona dell'impianto e successivamente i biscotti vengono raffreddati e portati verso la zona di impacchettamento.

Si desidera automatizzare la parte dell'impianto relativa al dosaggio e all'impasto per prodotti da forno di una industria dolciaria.

L'impasto è ottenuto dalla miscela di 2 diverse farine combinate con il lievito e con l'acqua opportunamente pesati e poi amalgamati.

Il sistema di automazione deve consentire di realizzare 3 ricette attraverso la differenziazione, nella miscela, della percentuale delle 2 farine. La selezione delle singole ricette viene identificata tramite un codice apposto sul carrello. I carrelli sono mossi da un nastro trasportatore.

L'avvio del processo avviene tramite un pulsante di START e la presenza di un carrello A all'inizio del nastro. Il carrello si deve fermare sotto la stazione di erogazione della farina.

La quantità di farina da erogare viene individuata tramite una cella di carico a ponte resistivo con uscita in tensione (0-10 V) e sensibilità 0,1 V/1 N che funge da bilancia: raggiunto il peso desiderato, inizia l'erogazione che termina, ovviamente, quando il peso è tornato a 0 N.

Al termine dell'erogazione delle farine, inizia quella del lievito per una durata di 5 secondi per ottenere la quantità prefissata. Successivamente viene immessa la quantità di acqua necessaria pesata mediante una cella di carico simile a quella per pesare la farina. Terminata l'immissione dell'acqua, il nastro riparte fino a portare il carrello A sotto il mescolatore.

La fase di mescolamento avviene durante quella di carico del successivo carrello B.

I serbatoi delle farine sono provvisti di indicatori di livello a ultrasuoni che segnalano la quota di farina presente durante il processo e forniscono una tensione in uscita tra 0 e 10 Volt, corrispondente rispettivamente al livello minimo e massimo. A seguito del raggiungimento del livello minimo della farina in uno dei serbatoi, l'impianto si arresta e riprende a funzionare automaticamente una volta effettuato il riempimento del serbatoio fino alla soglia di massimo carico. Il serbatoio dell'acqua si suppone rifornito costantemente dall'impianto idrico.

L'impianto è inoltre provvisto di un pulsante di STOP che determina l'arresto del processo di produzione e l'annullamento della ricetta in corso.

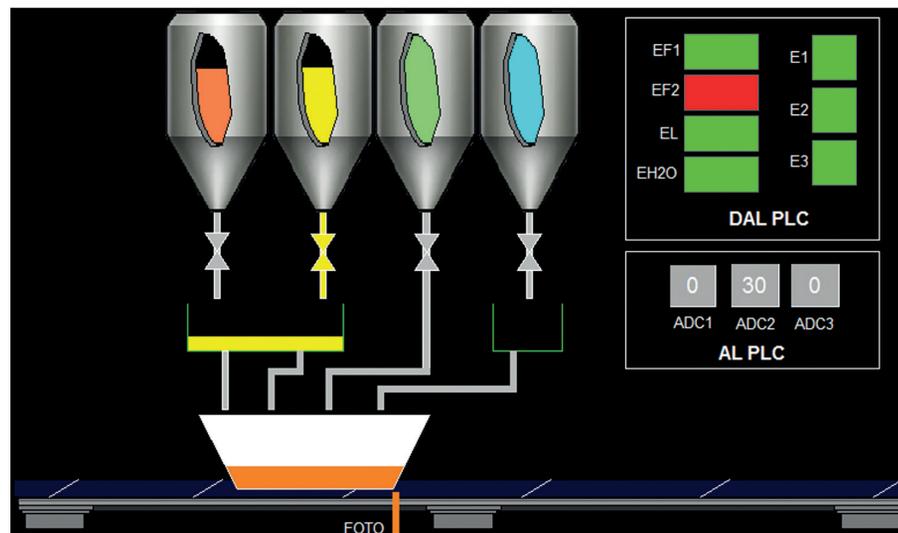
Il candidato, fatte le ipotesi aggiuntive ritenute necessarie:

1. illustri una possibile configurazione dell'intero sistema automatico individuando i dispositivi necessari alla sua realizzazione, i principali segnali elettrici di controllo e i relativi valori che consentono di gestire il sistema;
2. rappresenti, mediante un diagramma di flusso, e codifichi in un linguaggio di propria conoscenza l'azionamento del nastro trasportatore e l'impasto degli ingredienti;
3. descriva un possibile sistema di selezione della ricetta e di conseguenza la sua attuazione in fase di caricamento delle farine.

## SOLUZIONE

### Quesito 1

Il candidato illustri una possibile configurazione dell'intero sistema automatico individuando i dispositivi necessari alla sua realizzazione, i principali segnali elettrici di controllo e i relativi valori che consentono di gestire il sistema.



Si risolve il problema in cosimulazione con i software Somachine e Vijeo di Schneider Electric.

Il file è disponibile con il presente *Corso di sistemi* e consente di simulare completamente il processo.

Come illustrato nella figura il sistema prevede:

1. quattro serbatoi di stoccaggio degli ingredienti – farina1, farina2, lievito, acqua.
2. quattro valvole per l'emissione degli ingredienti.
3. due bilance per la pesatura dei due tipi di farina.
4. una bilancia per la pesatura dell'acqua.

Il processo viene automatizzato mediante un PLC, che comanda in output l'erogazione degli ingredienti e riceve in input dalle bilance i dati delle pesature.

#### 1. Output PLC → Input sistema

- EF1, EF2: emissione farina 1 e 2 – segnali che comandano l'apertura delle valvole.
- EL, H2O: emissione lievito e acqua – segnali che comandano l'apertura delle valvole.
- E1, E2, E3: erogazione bilance – segnali che comandano lo scarico del contenuto delle bilance.

#### 2. Input PLC ← Output sistema

- ADC1, ADC2, ADC3: rilevazione convertitori ADC bilance – valori del peso rilevati dalle bilance.
- FOTO: cellula fotoelettrica – rilevamento carrello in posizione dosaggio.

## Quesito 2

Il candidato rappresenti, mediante un diagramma di flusso, e codifichi in un linguaggio di propria conoscenza l'azionamento del nastro trasportatore e l'impasto degli ingredienti.

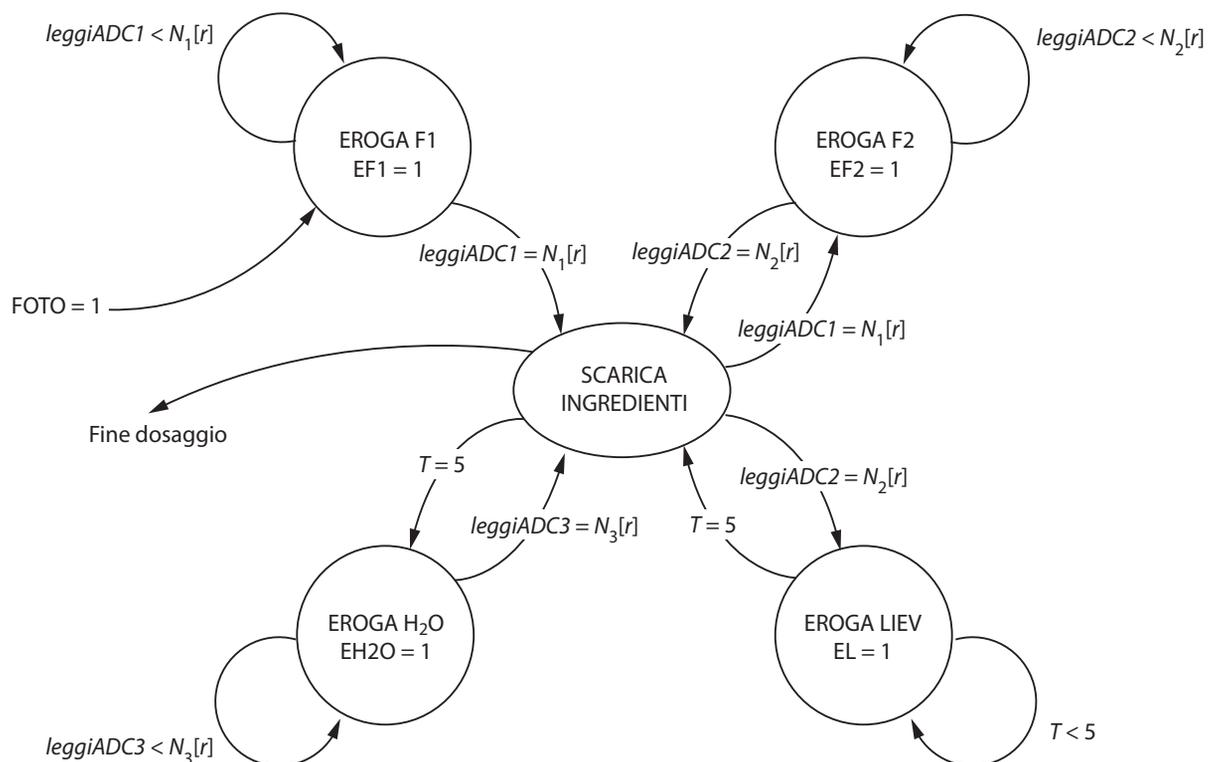
Il diagramma seguente descrive la successione degli stati nella fase di dosaggio degli ingredienti.

### Diagramma degli stati del dosaggio

Si entra in questa fase se  $FOTO = 1$ , ovvero se la cellula fotoelettrica rileva la presenza del carrello nell'area di emissione. Seguono i dosaggi dei quattro ingredienti. Il PLC termina l'erogazione di ciascuno quando la bilancia rileva il peso adeguato per la ricetta. Il lievito non viene invece erogato a peso bensì a tempo.

I dati forniti dalle bilance vengono indicati come  $leggiADC$  mentre i pesi ideali sono qui simbolizzati come  $N_1[r]$ ,  $N_2[r]$  e  $N_3[r]$ , dove  $N_1$ ,  $N_2$ ,  $N_3$  sono tre variabili vettoriali che contengono le dosi dei tre ingredienti Farina1, Farina2 e Acqua in funzione della ricetta  $r$ .

1. Erogazione Farina1 finché non si eguaglia  $leggiADC1 = N_1[r]$  seguito da scarico ingrediente.
2. Erogazione Farina2 finché non si eguaglia  $leggiADC2 = N_2[r]$  seguito da scarico ingrediente.
3. Erogazione Lievito per  $T = 5$  secondi; scarico ingrediente.
4. Erogazione Acqua finché non si eguaglia  $leggiADC3 = N_3[r]$  seguito da scarico ingrediente.



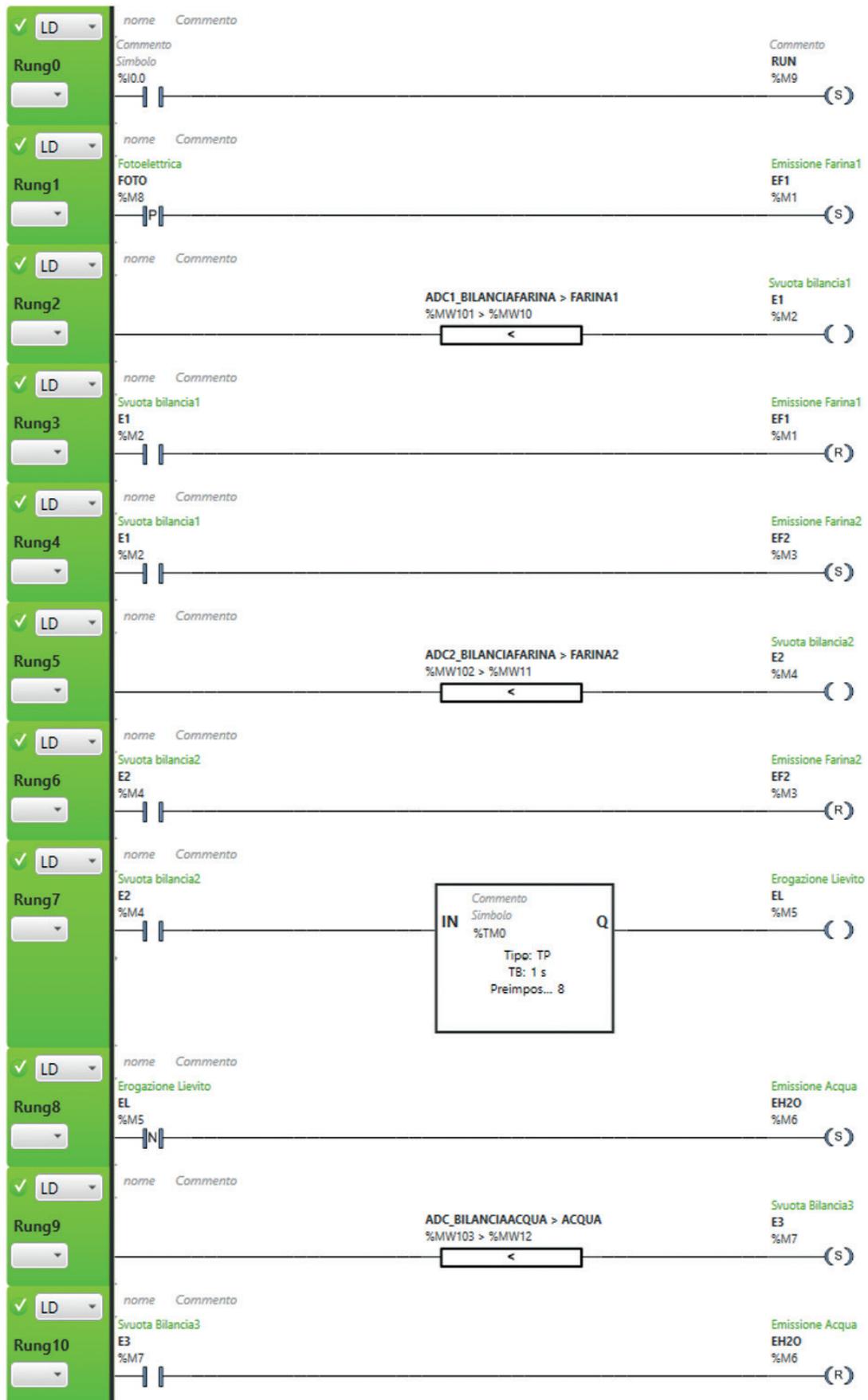
Di seguito è visualizzato lo schema del programma PLC.

Le bobine dello schema comunicano con il processo generando i livelli opportuni di erogazione degli ingredienti. I dati delle pesature vengono messi a confronto con i pesi ideali delle ricette mediante blocchi di confronto, che forniscono livello alto in uscita non appena il peso segnalato della bilancia oltrepassa quello ideale.

Lo schema è implementato all'interno del programma *SoMachine Basic* della *Schneider Electric*.

Lo schema interagisce con il processo, emulato grazie al software *Vijeo Designer* della *Schneider Electric*. Questo software è specializzato nella creazione di scenari per l'interfaccia del processo con dispositivi HMI (Human Machine Interface) e consente anche di visualizzare il processo in modalità virtuale.

## Programma PLC del dosaggio





0. Rung0 – Un impulso sull'ingresso I0.0 mette a 1 la variabile RUN che comanda l'avanzamento del carrello.
1. Rung1 – Sul fronte di salita della fotocellula FOTO il PLC comanda l'erogazione della Farina1 con il segnale EF1.
2. Rung2 – Quando viene raggiunto il peso adeguato il PLC comanda lo scarico dell'ingrediente con il segnale E1.
3. Rung3 – Il segnale E1 comanda anche l'arresto dell'emissione della Farina1, resettando EF1.
4. Rung4 – Il segnale E1 comanda anche l'emissione della Farina2, settando EF2.
5. Rung5 – Quando viene raggiunto il peso adeguato il PLC comanda lo scarico dell'ingrediente con il segnale E2.
6. Rung6 – Il segnale E2 comanda anche l'arresto dell'emissione della Farina2, resettando EF2.
7. Rung7 – Il segnale E2 comanda anche l'avvio della temporizzazione di tipo TP (Pulse Timer): viene generato un impulso di durata 5 secondi per comandare l'emissione del lievito, settando EL.
8. Rung8 – Il ritorno a zero del segnale EL allo scadere di  $T$  comanda l'erogazione dell'acqua con il segnale EH2O.
9. Rung9 – Quando viene raggiunto il peso adeguato il PLC comanda lo scarico dell'ingrediente con il segnale E3.
10. Rung10 – Il segnale E3 comanda anche l'arresto dell'emissione dell'acqua, resettando EH2O. Inoltre, nel processo, E3 comanda l'avanzamento del carrello verso l'impastatore.

La seguente tabella dei simboli enumera le variabili impiegate nello schema PLC, con i rispettivi indirizzi e scopi.

Utilizzato	Indirizzo	Simbolo	Commento
<input checked="" type="checkbox"/>	%M1	EF1	Emissione Farina1
<input checked="" type="checkbox"/>	%M2	E1	Svuota bilancia1 da ingrediente Farina1
<input checked="" type="checkbox"/>	%M3	EF2	Emissione Farina2
<input checked="" type="checkbox"/>	%M4	E2	Svuota bilancia1 da ingrediente Farina2
<input checked="" type="checkbox"/>	%M5	EL	Erogazione Lievito
<input checked="" type="checkbox"/>	%M6	EH2O	Emissione Acqua
<input checked="" type="checkbox"/>	%M7	E3	Svuota Bilancia di misurazione Acqua
<input checked="" type="checkbox"/>	%M8	FOTO	Cellula Fotoelettrica posizione carrello
<input checked="" type="checkbox"/>	%M9	RUN	Avvio scorrimento carrello
<input checked="" type="checkbox"/>	%MW10	FARINA1	Quantità ingrediente 1 nella ricetta
<input checked="" type="checkbox"/>	%MW11	FARINA2	Quantità ingrediente 2 nella ricetta
<input checked="" type="checkbox"/>	%MW12	ACQUA	Quantità acqua nella ricetta
<input checked="" type="checkbox"/>	%MW101	ADC1_BILANCIAFARINA	Misurazione 1 BilanciaFarina
<input checked="" type="checkbox"/>	%MW102	ADC2_BILANCIAFARINA	Misurazione 2 BilanciaFarina
<input checked="" type="checkbox"/>	%MW103	ADC_BILANCIAACQUA	Misurazione BilanciaAcqua

### Simulazione processo

Il processo residente in *Vijeo Designer* comunica con il programma del PLC sviluppato con *SoMachine Basic* attraverso variabili di memoria condivise.

Queste sono dichiarate come esterne nella colonna *Sorgente dati* dell'elenco di seguito riportato delle variabili dichiarate in *Vijeo Designer*.

Le variabili interne sono utilizzate solo all'interno di *Vijeo Designer* per l'emulazione del processo, attraverso la sincronizzazione dei vari elementi animati dell'interfaccia grafica.

	Nome	Tipo di dati	Sorgente dati	Gruppo di scan...	Indirizzo dispos...	Gruppo allarmi	Gruppo di acce...
1	_RecipeControlDefault	Structure	Interno				
2	Acqua	Integer	Esterno	Apparecchiatur...	%MW12	Disattivato	GruppoDiAcces...
3	ADC1_BilanciaFarina	Integer	Esterno	Apparecchiatur...	%MW101	Disattivato	GruppoDiAcces...
4	ADC2_BilanciaFarina	Integer	Esterno	Apparecchiatur...	%MW102	Disattivato	GruppoDiAcces...
5	ADC_BilanciaAcqua	Integer	Esterno	Apparecchiatur...	%MW103	Disattivato	GruppoDiAcces...
6	BilanciaAcqua	Integer	Interno			Disattivato	Nessuna
7	BilanciaFarina	Integer	Interno			Disattivato	Nessuna
8	E1	BOOL	Esterno	Apparecchiatur...	%M2	Disattivato	GruppoDiAcces...
9	E2	BOOL	Esterno	Apparecchiatur...	%M4	Disattivato	GruppoDiAcces...
10	E3	BOOL	Esterno	Apparecchiatur...	%M7	Disattivato	GruppoDiAcces...
11	EF1	BOOL	Esterno	Apparecchiatur...	%M1	Nessuna	GruppoDiAcces...
12	EF2	BOOL	Esterno	Apparecchiatur...	%M3	Disattivato	GruppoDiAcces...
13	EH20	BOOL	Esterno	Apparecchiatur...	%M6	Disattivato	GruppoDiAcces...
14	EL	BOOL	Esterno	Apparecchiatur...	%M5	Disattivato	GruppoDiAcces...
15	Farina1	Integer	Esterno	Apparecchiatur...	%MW10	Disattivato	Nessuna
16	Farina2	Integer	Esterno	Apparecchiatur...	%MW11	Disattivato	GruppoDiAcces...
17	FOTO	BOOL	Esterno	Apparecchiatur...	%M8	Disattivato	GruppoDiAcces...
18	Impasto	DINT	Interno			Disattivato	Nessuna
19	Livello1	DINT	Interno			Disattivato	Nessuna
20	Livello2	DINT	Interno			Disattivato	Nessuna
21	Livello3	Integer	Interno			Disattivato	Nessuna
22	Livello4	DINT	Interno			Disattivato	Nessuna
23	Pos_Sin	DINT	Interno			Disattivato	Nessuna
24	RUN	BOOL	Esterno	Apparecchiatur...	%M9	Disattivato	GruppoDiAcces...
25	_GruppoRicette1						

La simulazione del processo è realizzata mediante particolari script che assegnano a ogni elemento dinamico un particolare comportamento.

Il carrello, per esempio, è implementato completamente in simulazione. Lo script del carrello avvia lo scorrimento a destra della corrispondente figura quando RUN = 1. Quando FOTO = 1, ovvero quando il carrello giunge nell'area del dosaggio, lo script arresta lo scorrimento della figura.

Quando E3 = 1, che significa che l'ultima bilancia ha scaricato l'ultimo ingrediente, l'acqua, lo script riavvia di nuovo il carrello in direzione dell'impastatore.

#### • Script Carrello

```

if (RUN.getIntValue() == 1)
{
  //Spostamento fino a punto emissione
  int posizione = Pos_Sin.getIntValue();
  if ((posizione < 170) | ((posizione > 175) & (posizione < 700))) posizione = posizione + 5;
  //Se punto emissione attiva fotocellula
  if (posizione == 170)
  FOTO.write(1);
  else
  FOTO.write(0);
  //Se completata emissione (E3=1) avanza carrello
  int e = E3.getIntValue();
  if (e == 1) posizione = posizione + 5;
  Pos_Sin.write(posizione);
}

```

Il carrello avanza fino al punto di emissione degli ingredienti.

Qui viene attivata la fotocellula che lato PLC attiva il processo di dosaggio.

Quando dal PLC arriva il segnale E3 = 1 significa che il dosaggio è terminato, il carrello avanza a destra verso l'impastatore.



L'interazione tra lo schema del PLC e il processo è garantita dalle variabili ora citate più altre, che sono condivise dai due programmi *SoMachine Basic* e *Vijeo Designer*. Il processo si svolge in quattro fasi, corrispondenti a quattro script che comandano l'emissione dei quattro ingredienti.

```
Script1 - Dosaggio Farina1
int liv = Livello1.getIntValue();
int bil = BilanciaFarina.getIntValue();
//Erogatore Farina 1 attivato
if(EF1.getIntValue()==1) {
liv=liv-1;
bil=bil+1;
Livello1.write(liv);
BilanciaFarina.write(bil);
ADC1_BilanciaFarina.write(bil);
}
```

Il segnale di consenso EF1 =1 proveniente dal PLC a seguito del raggiungimento da parte del carrello della posizione di dosaggio attiva l'erogazione della farina 1. Il livello del serbatoio scende, mentre sale quello della bilancia.

```
//Svuotamento bilancia1
if(E1.getIntValue()==1)
{
Impasto.write(bil);
bil=0;
ADC1_BilanciaFarina.write(0);
BilanciaFarina.write(0);
}
```

Raggiunta la quantità desiderata della farina, la bilancia viene svuotata e l'impasto si arricchisce dell'ingrediente.

#### • Script2 - Dosaggio Farina2

```
int liv = Livello2.getIntValue();
int bil = BilanciaFarina.getIntValue();
int imp = Impasto.getIntValue();
```

```
//Erogatore Farina 2 attivato
if(EF2.getIntValue()==1) {
liv=liv-1;
bil=bil+1;
Livello2.write(liv);
BilanciaFarina.write(bil);
ADC2_BilanciaFarina.write(bil);
}
```

Lo script è simile a quello per il carico della farina 1. Al termine della pesatura l'altezza dell'impasto diventa uguale all'altezza precedente più l'altezza della farina 2.

```
//Svuotamento bilancia2
if(E2.getIntValue()==1)
{
Impasto.write(imp+bil);
bil=0;
ADC2_BilanciaFarina.write(0);
BilanciaFarina.write(bil);
}
```

#### • Script3 - Dosaggio Lievito

```
int imp = Impasto.getIntValue();
int liv=Livello3.getIntValue();
if(EL.getIntValue()==1) {
imp=imp+1;
```

Il lievito viene erogato per tutto il tempo in cui EL = 1. Questo tempo è definito dal temporizzatore del PLC.

```
liv=liv-1;
Impasto.write(imp);
Livello3.write(liv);
}
```

• **Script4 - Dosaggio Acqua**

Questo script è simile a quelli del carico farine.

```
int liv = Livello4.getIntValue();
int bil = BilanciaAcqua.getIntValue();
int imp = Impasto.getIntValue();
```

```
//Erogatore Farina 2 attivato
if(EH20.getIntValue()==1){
liv=liv-1;
bil=bil+1;
}
```

```
//Svuotamento bilancia2
if(E3.getIntValue()==1)
{
Impasto.write(imp+bil);
bil=0;
}
```

```
Livello4.write(liv);
BilanciaAcqua.write(bil);
ADC_BilanciaAcqua.write(bil);
```

Per consentire la ripartenza della simulazione è necessario ripristinare i livelli massimi dei quattro serbatoi e la posizione iniziale del carrello.

Per questo viene assegnato il seguente script a un apposito pulsante di ripristino, etichettato con la scritta “ripristino serbatoi”.

```
Livello1.write(100);
Livello2.write(100);
Livello3.write(100);
Livello4.write(100);
Pos_Sin.write(0);
```

Alla soluzione descritta si deve prevedere l’aggiunta di una parte di programma che sospenda il processo al raggiungimento del livello minimo in uno dei serbatoi, provveda a ripristinare il livello massimo e riavvi la lavorazione.

Per queste operazioni si può utilizzare un merker, ovvero una bobina, che vada a livello basso quando il confronto di uno dei livelli fornisce 0 V.

In questo caso, il livello alto del merker, negato e messo in serie a tutti i rami del programma, ne interromperà l’azione.

In contemporanea il livello alto del merker avvierà un altro segmento del programma, così organizzato:

1. Apertura valvola rifornimento.
2. Attesa raggiungimento livello massimo 10 V.
3. Reset del merker per riavviare il processo di lavorazione.

Occorre poi prevedere anche l’arresto del carrello in corrispondenza dell’impastatore, che farà capo a una seconda cellula fotoelettrica.

Qui inizierà la fase di mescolamento, che avverrà durante la fase di carico del nuovo carrello e dovrà terminare nel momento in cui viene attivata la prima cellula fotoelettrica, ovvero quando FOTO = 1.

**Quesito 3** – Il candidato descriva un possibile sistema di selezione della ricetta e di conseguenza la sua attuazione in fase di caricamento delle farine.

L'impiego delle ricette è un "classico" dell'implementazione mediante PLC e interfaccia HMI.

Si suppone che chi sovrintende il processo sia dotato di una interfaccia HMI con un prospetto degli ingredienti nelle varie quantità, in funzione della ricetta scelta.

Il programma *Vijeo Designer*, con il quale è stato emulato il processo, dà la possibilità di creare ricette e assegnare i livelli degli ingredienti a variabili, che vengono poi adeguatamente condivise con il PLC per la gestione del processo.

La figura rappresenta tre ricette diverse, con valori differenti dei tre ingredienti Farina1, Farina2, Acqua. Si viene a costituire una matrice 3 × 3, ovvero tre colonne delle ricette per tre righe degli ingredienti.

Ricette	Etichetta		Variabile ingr...	Etichetta	Modif...	min	Max	Ricetta1	Ricetta2	Ricetta3
Ricetta1	Ricetta1		1	Farina1	<input checked="" type="checkbox"/>			30	20	15
Ricetta2	Ricetta2		2	Farina2	<input checked="" type="checkbox"/>			30	25	30
Ricetta3	Ricetta3		3	Acqua	<input checked="" type="checkbox"/>			30	20	15

La scelta della ricetta viene effettuata mediante tre pulsanti. Se per esempio si preme il secondo pulsante, corrispondente alla Ricetta2, vengono assegnati i seguenti valori della matrice:

Farina1 = 20; Farina2 = 25; Farina3 = 20.

Il PLC riceve questi dati tramite le tre variabili condivise e modifica conseguentemente il funzionamento del processo.

Per esempio, in questo spaccato di programma, viene evidenziato come avviene il confronto tra il peso misurato dalla bilancia, presente nella variabile ADC\_BilanciaAcqua e il peso dell'ingrediente, presente nella variabile Acqua.

