

## PROPOSTA DI SOLUZIONE

### Quesito 1

Quando si usano delle termocoppie per misurare delle temperature, il problema principale è la compensazione del giunto freddo. Infatti la tensione misurata ai capi di una generica termocoppia non compensata è:

$$V_t = \alpha(T_c - T_f) = \alpha T_c - \alpha T_f$$

dove  $T_c$  è la temperatura a cui è sottoposta la giunzione di misura (giunto caldo) e  $T_f$  è la temperatura del punto di collegamento (giunto freddo) tra i fili della termocoppia e i fili (solitamente in rame) del sistema di misura.

Il coefficiente di proporzionalità,  $\alpha$ , dipende dal tipo di termocoppia impiegato. Per le termocoppie di tipo J vale  $55,2 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ .

Se il giunto freddo fosse a  $0^\circ\text{C}$ , la tensione ai capi della termocoppia dipenderebbe solo dalla temperatura misurata ( $T_c$ ). Ma nelle applicazioni pratiche non è pensabile mantenere il giunto freddo in un bagno di ghiaccio fondente.

Invece si ricorre a un blocco isotermico elettronico che ha lo scopo di compensare (annullandola) la tensione generata ai capi del giunto freddo ( $\alpha T_f$ ).

Questo blocco è costituito da una termoresistenza (a contatto col giunto freddo) disposta su un ramo di un ponte di Wheatstone. Il ponte può essere opportunamente tarato in modo che ai suoi capi si formi una tensione uguale e contraria a quella prodotta dal giunto freddo.

A  $600^\circ\text{C}$  la termocoppia compensata fornisce una tensione di  $33,1 \text{ mV}$  ( $55,2 \mu\text{V}/^\circ\text{C} \cdot 600^\circ\text{C}$ ). Per ottenere  $5\text{V}$  occorre amplificare questo segnale di  $151$  volte. A tale scopo, si consiglia di impiegare un amplificatore da strumentazione.

In commercio esistono dei circuiti integrati che oltre a contenere il blocco isotermico elettronico amplificano il segnale del giunto caldo. Ad esempio il dispositivo AD594, progettato per le termocoppie di tipo J, fornisce in uscita una tensione di  $10\text{mV}/^\circ\text{C}$ .

Tuttavia alla temperatura di  $600^\circ\text{C}$  l'uscita di questo integrato vale  $6\text{V}$ . Per ottenere la tensione di  $5\text{V}$  richiesta occorrerebbe attenuare questo segnale di un fattore  $5/6$ .

## Quesito 2

Il rendimento di una macchina rotante è genericamente dato da:

$$\eta = \frac{P_u}{P_i} = \frac{\omega_u \cdot C_u}{\omega_i \cdot C_i}$$

Dove  $P_u$  è la potenza d'uscita (richiesta dal problema) e  $P_i$  quella d'ingresso (espressa in Watt). La velocità angolare  $\omega$  è in rad/s e la coppia  $C$  in N/m. Pertanto:

$$P_i = \frac{P_u}{\eta} = \frac{P_u}{0,5} = 2 \cdot P_u$$

Ma per trovare  $P_u$  occorre conoscere  $\omega_u$  e  $C_u$ . Il valore di  $\omega_u$  può essere ricavato dalla relazione:

$$r = \frac{\omega_u}{\omega_i} = \frac{1}{20}$$

Dove  $r$  è il fattore di riduzione dato (1:20). Supponendo la velocità del motore  $\omega_i$  uguale a 1200 giri/m ovvero  $40\pi$  si ha che la velocità della puleggia è:

$$\omega_u = \frac{\omega_i}{20} = 2\pi$$

Si tratta adesso di calcolare la coppia di carico. Se la puleggia ha un diametro di 10 cm il suo raggio, in metri è: 0,05. Poiché occorre sollevare un peso di 20 Kg, ovvero circa 200 N la coppia necessaria  $C_u$  sarà:

$$C_u = F \cdot r = 200 \cdot 0,05 = 10$$

Adesso si conoscono tutti i valori che consentono di calcolare la potenza del motore:

$$P_i = 2 \cdot P_u = 2 \cdot 2\pi \cdot 10 = 40\pi \cong 126W$$

Considerando anche gli attriti e il peso dell'argano si consiglia però una potenza maggiore, diciamo 200 W.

### Quesito 3

Dall'analisi del problema si deduce che il processo di gestione della vasca di zincatura (controllo livello e temperatura) e il processo che si occupa della movimentazione e lavorazione del manufatto devono essere concorrenti.

Diversamente se l'impianto fosse gestito da un unico processo sequenziale si potrebbero avere dei problemi.

In questo caso prima si verificano livello e temperatura dello zinco fuso nella vasca dopodiché, se entrambi ricadono nell'intervallo di valori prestabilito, si passa alla fase successiva in cui il manufatto viene movimentato e lavorato.

Supponiamo adesso che la temperatura dello zinco sia nel range prestabilito, che la pompa di riempimento della vasca sia in funzione e che il livello sia appena sotto il massimo consentito (800 mm).

Temperatura e livello della vasca risultano corretti pertanto si può procedere a movimentare il manufatto. Il pezzo è trasportato e immerso nella vasca per 10 minuti come previsto dalle specifiche di lavorazione.

Durante l'attesa della zincatura però, la pompa di alimentazione della vasca è ancora in funzione e il livello dello zinco fuso potrebbe pericolosamente superare il limite massimo, In questa fase, infatti, il processo non si sta occupando della gestione del livello della vasca.

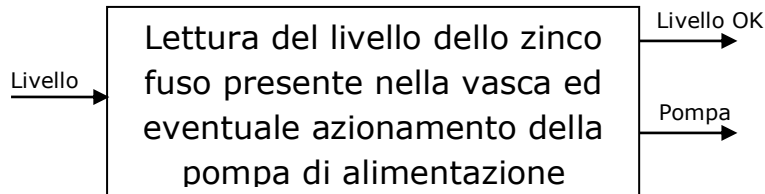
Esistono almeno tre soluzioni per superare il problema:

- Usare due PLC. Il primo gestisce la vasca di zincatura, l'altro la movimentazione e lavorazione del manufatto. Il consenso al secondo PLC (livello e temperatura corretti) può essere comunicato con due modalità distinte:
  - mediante un'uscita del primo PLC collegata fisicamente a un ingresso del secondo PLC. Quando questa uscita è abilitata il secondo PLC può procedere alla movimentazione;
  - verificando lo stato di una variabile di consenso via rete Profinet. Il secondo PLC, ad esempio, potrebbe leggere lo stato di questa variabile dalla memoria del primo PLC.
- Usare un unico PLC in cui la gestione della temperatura dello zinco fuso, quello del suo livello e la movimentazione del manufatto siano realizzati da tre processi distinti (contenuti, ad esempio, in tre function block). I tre processi saranno eseguiti in sequenza ad ogni ciclo di scansione del PLC, ma poiché quest'ultimo dura pochi millisecondi, si può dire che siano eseguiti contemporaneamente (o in modo concorrente).

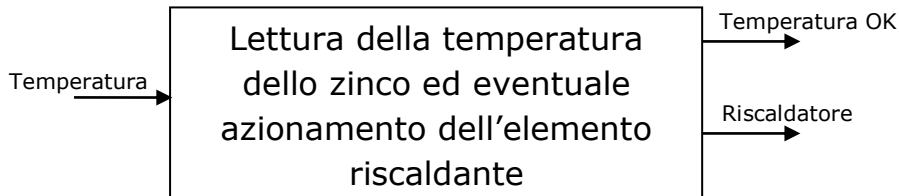
Essendo la soluzione più economica e semplice da implementare, ho scelto la soluzione con un unico PLC.

Come accennato, il diagramma di flusso del programma è semplicemente costituito da tre blocchi funzione distinti:

### Controllo livello



### Controllo temperatura



### Controllo movimentazione



## Controllo livello

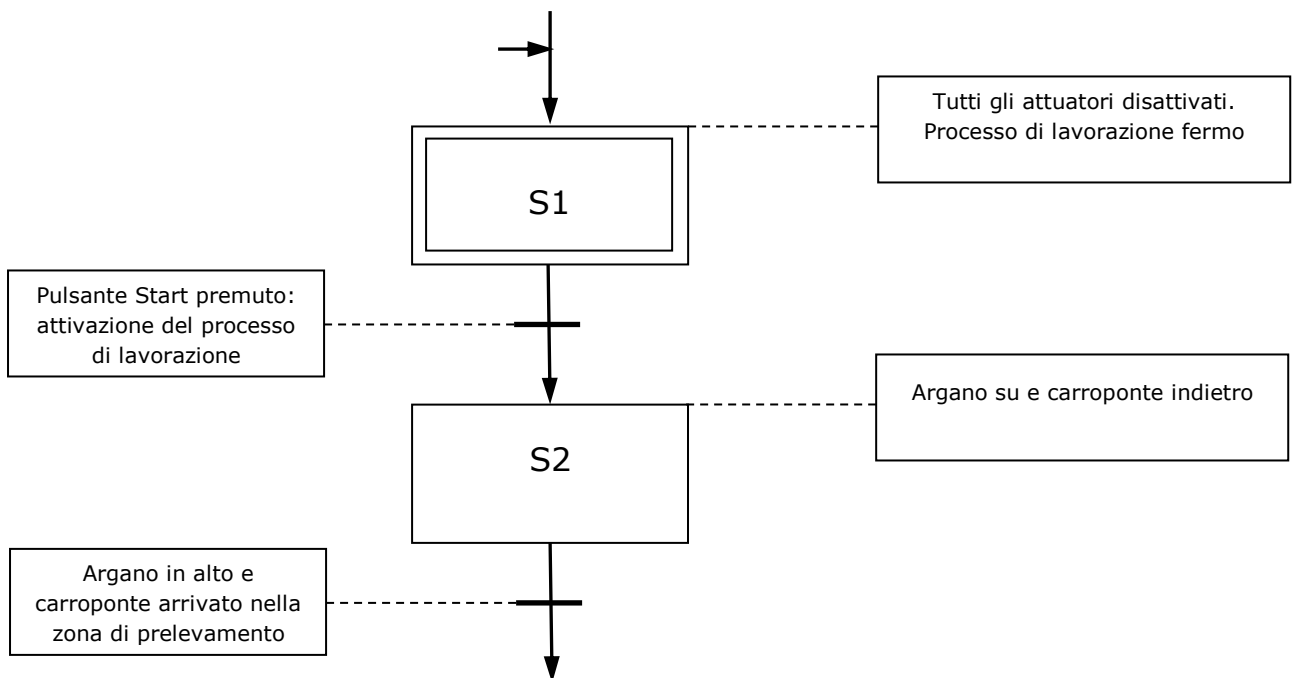
```
SE (Livello < 600)
  Pompa ← ON
  Livello OK ← false
ALTRIMENTI
  Livello OK ← true
  SE (Livello >= 800)
    Pompa ← OFF
```

## Controllo temperatura

```
SE (Temperatura < 440)
  Riscaldatore ← ON
  Temperatura OK ← false
ALTRIMENTI SE (Temperatura >= 460)
  Riscaldatore ← OFF
  Temperatura OK ← false
ALTRIMENTI
  Temperatura OK ← true
```

## Controllo movimentazione

Essendo un processo sequenziale preferisco rappresentarlo nel livello descrittivo di una catena sequenziale anziché in linguaggio di progetto:



Nelle seguenti tabelle sono descritte le azioni dei vari passi **S** e le condizioni delle transizioni **T**:

Passo	Azioni
S1	Tutti gli attuatori disattivati processo di lavorazione fermo
S2	/
S3	Argano su
S4	Carroponte indietro fino alla zona di prelevamento del manufatto
S5	/
S6	Il nastro trasportatore porta il manufatto nella zona di prelevamento
S7	Argano giù ed elettrocalamita attivata
S8	Argano su
S9	Carroponte a destra fino a raggiungere la vasca
S10	Argano giù fino a immergere il manufatto nella vasca
S11	/
S12	Argano su
S13	Carroponte a destra fino a raggiungere lo scivolo
S14	Argano giù
S15	Disattivazione elettrocalamita

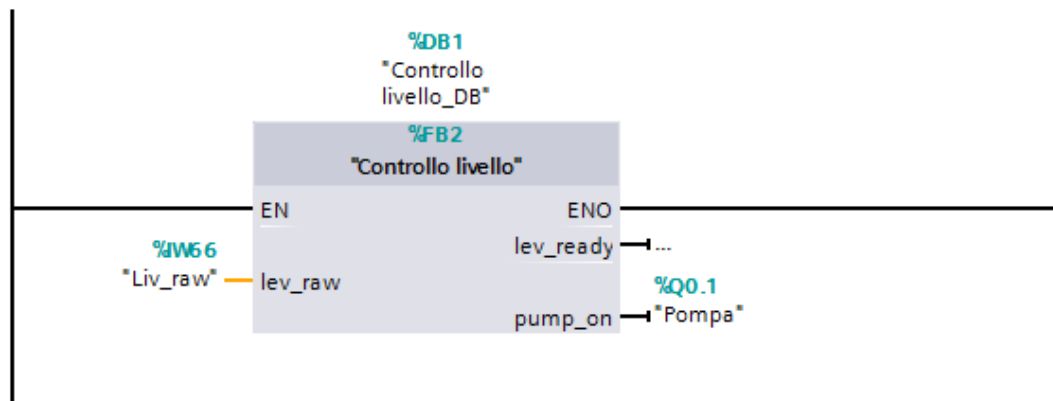
Transizione	Condizione
T1	Pulsante Start premuto: attivazione del processo di lavorazione
T2	Pulsante Stop premuto: salto all'inizio della catena (S1)
T3	Argano: finecorsa superiore attivato
T4	Carroponte: finecorsa sopra la zona di prelevamento attivato
T5	Pezzo depositato all'inizio del nastro trasportatore e temperatura/livello della vasca nella norma
T6	Pezzo arrivato nella zona di prelevamento
T7	Argano: finecorsa inferiore attivato. Pezzo afferrato
T8	Argano: finecorsa superiore attivato
T9	Carroponte arrivato sopra la vasca
T10	Argano: finecorsa inferiore attivato. Manufatto nella vasca
T11	Trascorsi 10 minuti dall'immersione
T12	Argano: finecorsa superiore attivato
T13	Carroponte: finecorsa scivolo raggiunto
T14	Argano: finecorsa inferiore attivato. Manufatto sopra lo scivolo
T15	Attesa di 1 secondo e ripresa del ciclo di lavorazione da S3

## Quesito 4

Di seguito il programma, scritto in linguaggio KOP (LD) utilizzando i FB:

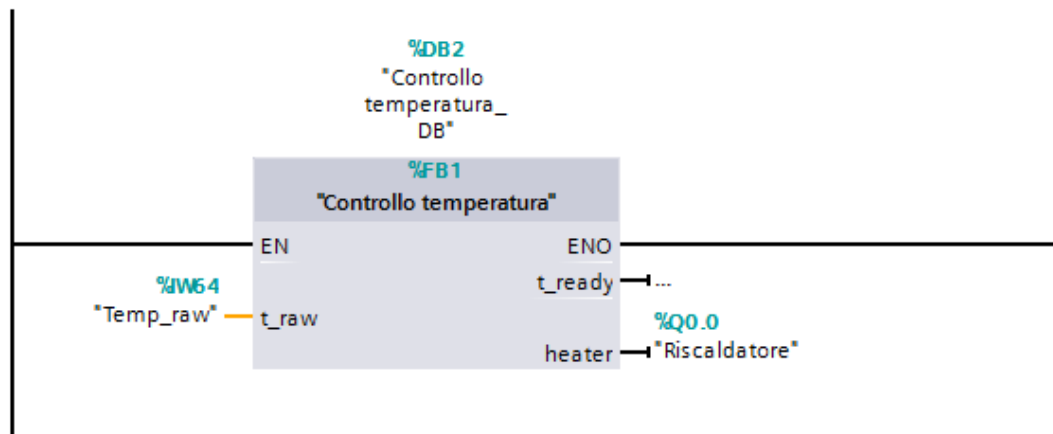
### Segmento 1: Controllo con isteresi del livello dello zinco nella vasca

- Lo zinco pompato è già allo stato liquido. La pompa della vasca si attiva quando il livello è sotto i 600 mm e si spegne quando il livello supera gli 800 mm. Se il livello è compreso tra questi due limiti l'uscita lev\_ready è TRUE. L'ingresso lev\_raw è connessa all'uscita dell'ADC collegato al trasduttore che misura il livello dello zinco nella vasca



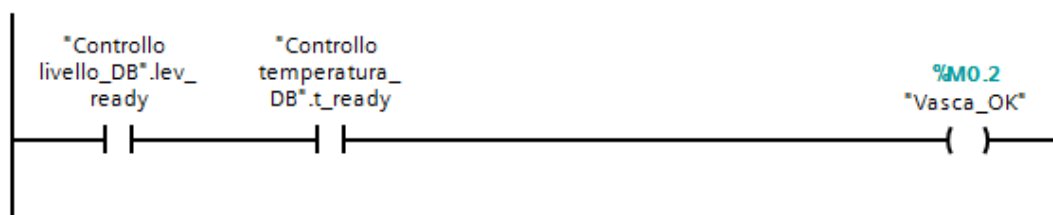
### Segmento 2: Controllo con isteresi della temperatura dello zinco nella vasca

- Questo FB controlla che la temperatura dello zinco nella vasca sia compresa tra 440 °C e 460 °C. In questo caso l'uscita t\_ready è allo stato TRUE. Se la temperatura è inferiore a 440 °C viene attivato l'elemento riscaldante. Quando la temperatura supera i 460 °C l'elemento riscaldante viene spento. L'ingresso t\_raw è connessa all'uscita dell'ADC collegato al trasduttore di temperatura dello zinco



### Segmento 3: Zinco in temperatura e al giusto livello. Abilitazione movimentazione

- Se nella vasca il livello dello zinco e la sua temperatura sono entro i limiti prestabiliti il marker Vasca\_OK viene attivato. Lo stato TRUE di questa variabile consentirà la movimentazione del manufatto nella catena sequenziale del FB "Gestione processo". Se Vasca\_OK è FALSE il processo resterà in attesa del raggiungimento dei limiti corretti di livello e temperatura



## Il FB **Controllo livello** è stato scritto in SCL (ST):

```
// normalizzazione dato grezzo proveniente dal canale 1 dell'ADC con eliminazione della tara
// l'uscita sarà 0.0 a serbatoio vuoto (2700 kg) e 1.0 a serbatoio completamente pieno (25000 kg)
#lev_norm := NORM_X(MIN := 2488, VALUE := #lev_raw, MAX := 23040);

// scaling del valore normalizzato per portarlo nel range 0 mm - 1000 mm
// poiché peso e livello sono direttamente proporzionali grazie alla normalizzazione è possibile
// convertire il valore normalizzato in mm anziché in kg
#level := SCALE_X(MIN := 0.0, VALUE := #lev_norm, MAX := 1000.0);

IF #level < #L_INF THEN          // se il livello è inferiore al minimo
    #pump_status := true;       // aziona la pompa
    #lev_ready := false;        // stato livello: non pronto
ELSE
    #lev_ready := true;         // stato livello: in range

    IF #level >= #L_SUP THEN     // se il livello è superiore al massimo
        #pump_status := false; // spegne la pompa
    END_IF;

END_IF;

#pump_on := #pump_status;       // eventuale aggiornamento dello stato dell'uscita
```

## Anche il codice del FB **Controllo temperatura** è scritto in SCL (ST):

```
// normalizzazione dato grezzo proveniente dal canale 0 dell'ADC
#t_norm := NORM_X(MIN := 0, VALUE := #t_raw, MAX := 27648);

// scaling del valore normalizzato per portarlo nel range 0°C - 600°C
#temperature := SCALE_X(MIN := 0.0, VALUE := #t_norm, MAX := 600.0);

IF #temperature < 440.0 THEN
    #h_status := true;          // accende il riscaldatore
    #t_ready := false;         // stato temperatura: non pronta
ELSE
    IF #temperature >= 460.0 THEN
        #h_status := false;    // spegne il riscaldatore
        #t_ready := false;     // stato temperatura: non pronta
    ELSE
        #t_ready := true;      // stato temperatura: in range
    END_IF;
END_IF;

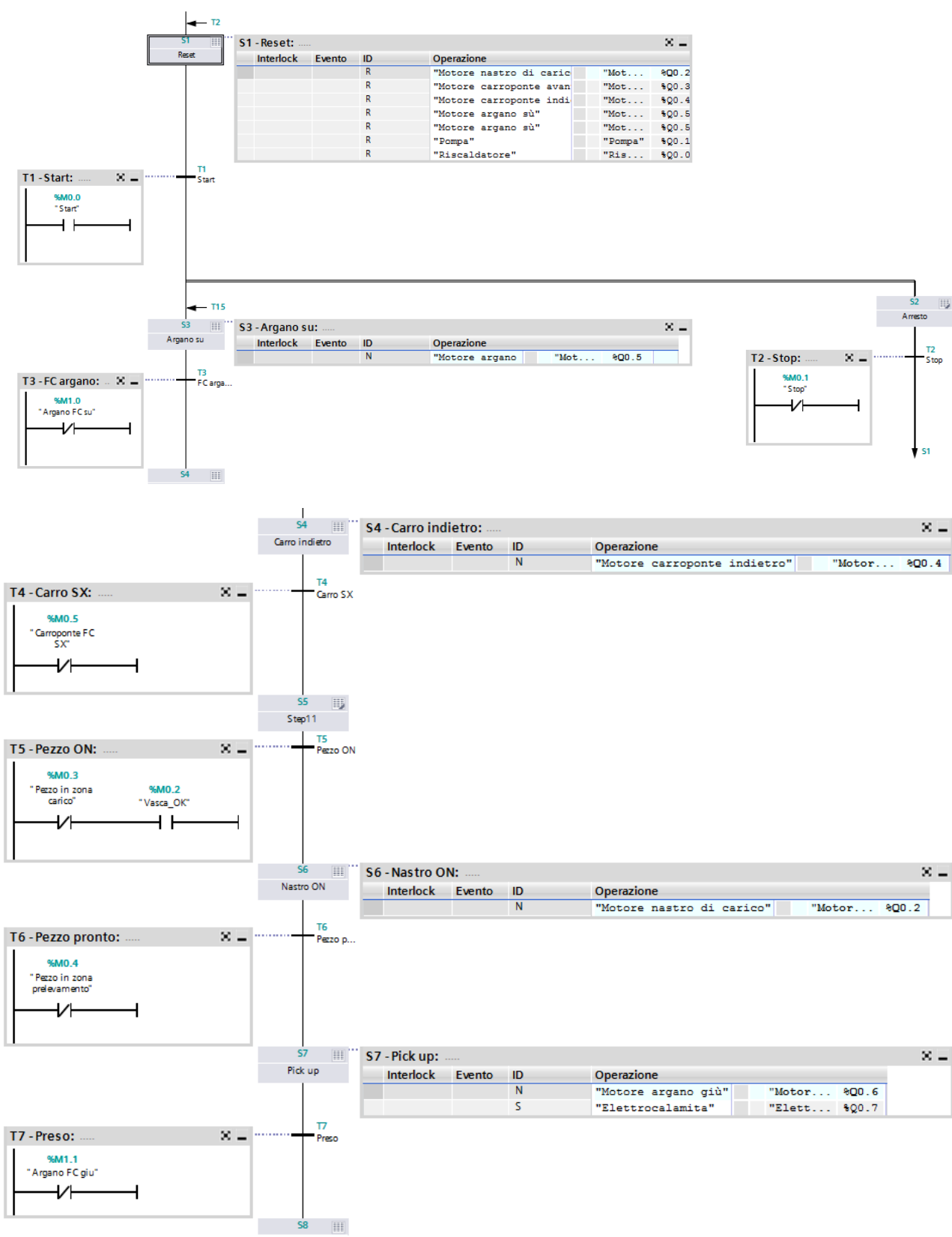
#heater := #h_status;          // eventuale aggiornamento dello stato dell'uscita
```

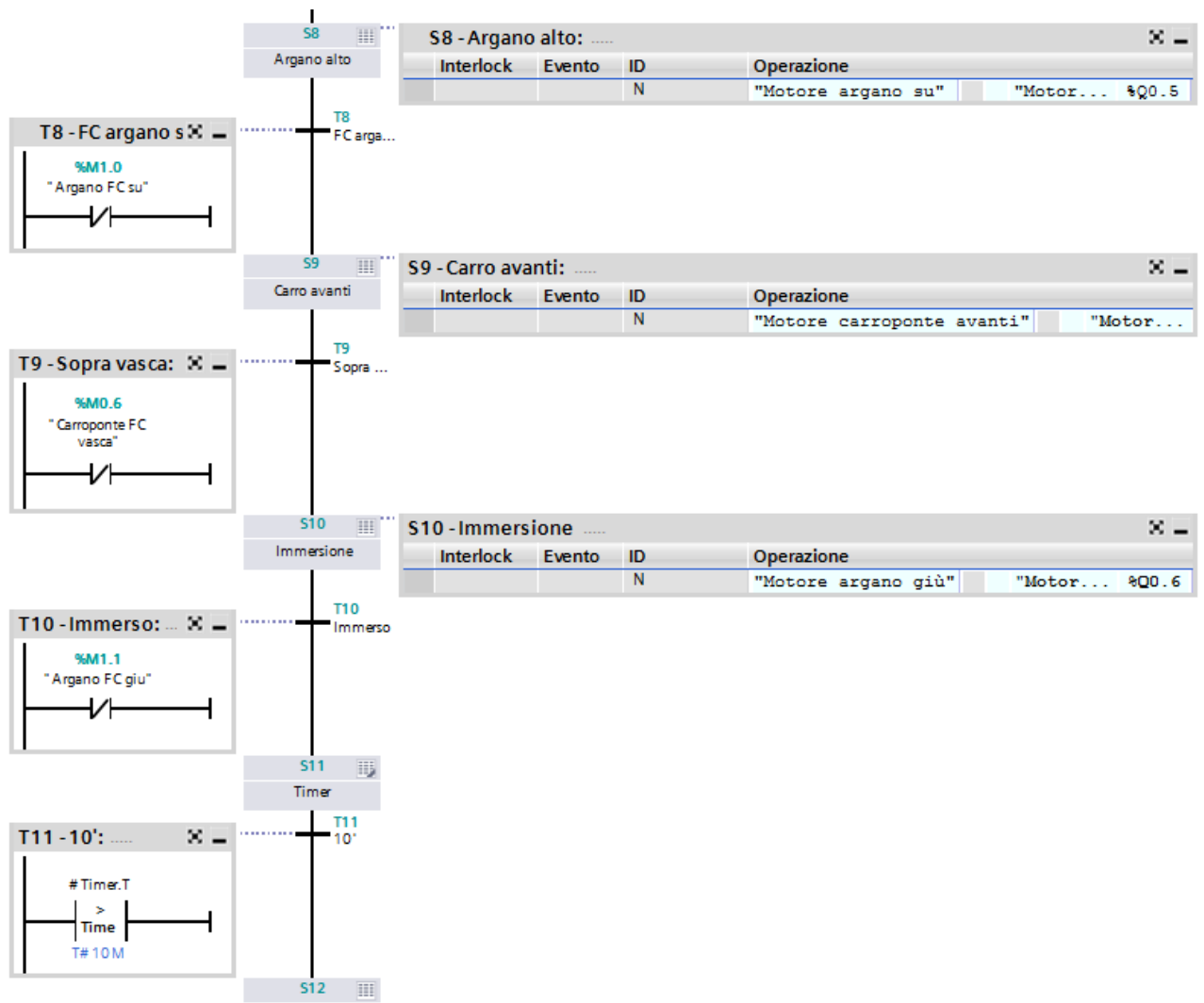
Il **Segmento 4** contiene il FB che si occupa della movimentazione del pezzo, scritto in linguaggio S7-GRAPH (SCF):

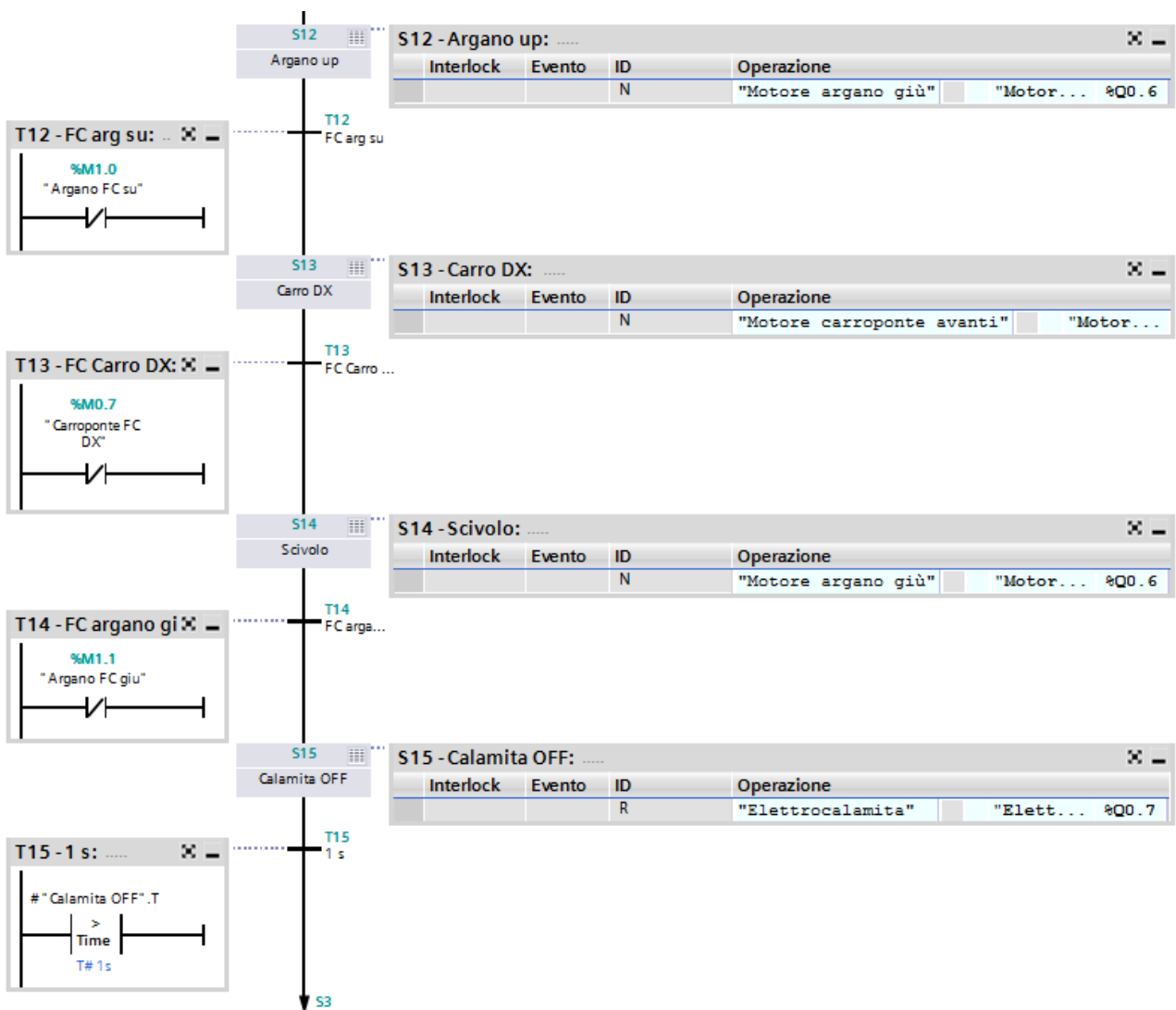


Movimentazione e lavorazione del manufatto

Il processo si avvia premendo il tasto di Start e si arresta col tasto di Stop. Tuttavia la movimentazione e la lavorazione avvengono solo se la temperatura e il livello dello zinco nella vasca sono adeguati. Questo condizione è segnalata dallo stato della variabile globale Vasca\_OK







Si noti che per l'attivazione della transizione 5 (T5) non è sufficiente il posizionamento del manufatto all'inizio del nastro trasportatore. Occorre che anche il livello e la temperatura dello zinco nella vasca siano entro i limiti prestabiliti (condizione verificata mediante il merker Vasca\_OK impostato nel Segmento 3).

## SECONDA PARTE

### Quesito 1

Se alla velocità massima il motore fa 1200 giri/min, il disco dell'encoder incrementale esegue  $1200/60=20$  rotazioni al secondo. Pertanto all'uscita dell'encoder avremo degli impulsi a 5 volt con una frequenza di  $20 \times 300=6000$  Hz. A velocità inferiori del motore la frequenza degli impulsi diminuirà in modo proporzionale.

Per ottenere un tensione proporzionale alla frequenza d'uscita dell'encoder incrementale occorre impiegare un convertitore frequenza/tensione. Sul mercato esistono diversi dispositivi integrati che realizzano questa conversione utilizzando pochi componenti esterni. Tra questi citiamo LM131, LM231 e LM331 della National Instruments. Sono tutti equivalenti del punto di vista delle funzionalità e della piedinatura, si differenziano soltanto nella temperatura massima di funzionamento.

È sufficiente calcolare il valore di pochi componenti esterni per ottenere in uscita 10V con una frequenza d'ingresso di 6000 Hz.

### Quesito 2

Per rilevare il livello dello zinco fuso nel crogiolo ho pensato di realizzare una misura indiretta. Le soluzioni che ho preso in considerazione sono quelle di misurare il livello mediante la rilevazione della distanza da un punto fisso alla superficie del liquido oppure mediante pesatura della vasca.

La prima soluzione prevede l'uso di un sensore a ultrasuoni (laser, radar), la seconda impiega una cella di carico a compressione.

Considerate le problematiche dovute alle alte temperature del sistema che potrebbero danneggiare il sensore a ultrasuoni sopra la vasca, ho deciso di impiegare una cella di carico.

Per dimensionare la sua portata calcoliamo prima il peso massimo dello zinco fuso.

Il volume della vasca cilindrica è facilmente calcolabile: area di base x altezza.

$$v = \pi \cdot r^2 \cdot h$$

Il raggio e l'altezza misurano 1 metro, pertanto il volume massimo della vasca è di  $\pi$  metri cubi.

Poiché il peso specifico dello zinco è di  $7,1 \text{ kg/dm}^3$ , il peso massimo dello zinco fuso sarà:

$$p = v \cdot d \cdot 1000$$

Dove  $d$  è il peso specifico dello zinco espresso in  $\text{kg/dm}^3$  e 1000 il fattore di conversione per portare il volume da metri cubi a decimetri cubi.

Pertanto il valore del peso massimo è:

$$p_{\max} = \pi \cdot 7,1 \cdot 1000 \cong 22300 \text{kg}$$

Considerando anche il peso della vasca potremmo ipotizzare un peso complessivo di 25000 kg. Scegliamo quindi una cella di carico con una portata almeno di 30000 kg.

La relazione che lega la tensione d'uscita  $V_o$  della cella di carico al peso  $p$  è la seguente:

$$V_o = V_s \cdot \text{sensibilità} \cdot \frac{p}{\text{portata}}$$

La sensibilità di queste celle è solitamente di  $2\text{mV/V}$  alla massima portata. Ovvero se alimentiamo la cella con una tensione  $V_s$  di 1V e applichiamo un peso uguale alla portata otteniamo una tensione d'uscita di 2mV.

Se invece alimentiamo la cella di carico con  $V_s$  10V, alla massima portata l'uscita sarà di 20mV.

Dalla relazione precedente si può risalire al peso applicato misurando la tensione  $V_o$  in uscita dalla cella:

$$p = \frac{V_o}{V_s \cdot \text{sensibilità}} \cdot \text{portata}$$

e, sostituendo i valori della cella di carico scelta:

$$p = \frac{V_o}{20\text{mV}} \cdot 30000$$

Il segnale d'uscita della cella di carico è differenziale. Condizionando questo segnale mediante un amplificatore da strumentazione con guadagno 500, in corrispondenza della massima portata della cella (30000 kg) otterremo una tensione di 10V.

Ovviamente nel peso misurato è compreso anche quello del serbatoio (tara). Ma se acquisiamo il segnale condizionato mediante il convertitore A/D del PLC e se lo normalizziamo opportunamente possiamo eliminare dal peso misurato la tara ottenendo il peso netto dello zinco fuso attualmente presente nel crogiolo,  $p_z$ .

Il peso dello zinco fuso,  $p_z$ , correlato con quello del suo livello nel crogiolo è dato dalla seguente relazione:

$$p_z = \pi \cdot \text{livello} \cdot 7100$$

da cui si ottiene:

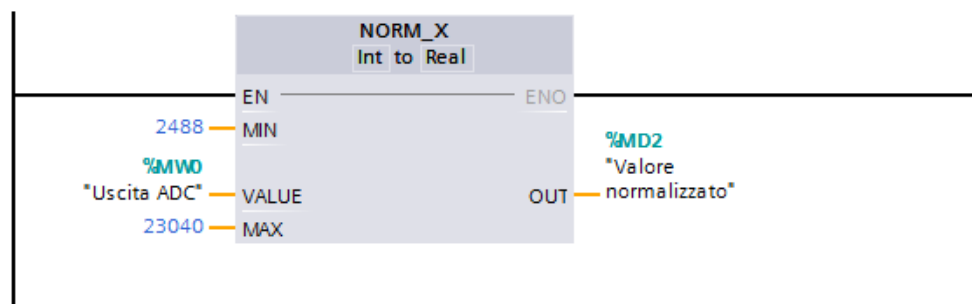
$$\text{livello} = \frac{p_z}{\pi \cdot 7100}$$

Poiché livello e peso sono direttamente proporzionali è possibile scalare il valore misurato (che è quello del peso) esprimendolo direttamente in mm di livello.

Di seguito presento due segmenti del codice PLC che effettuano le conversioni di cui ho parlato:

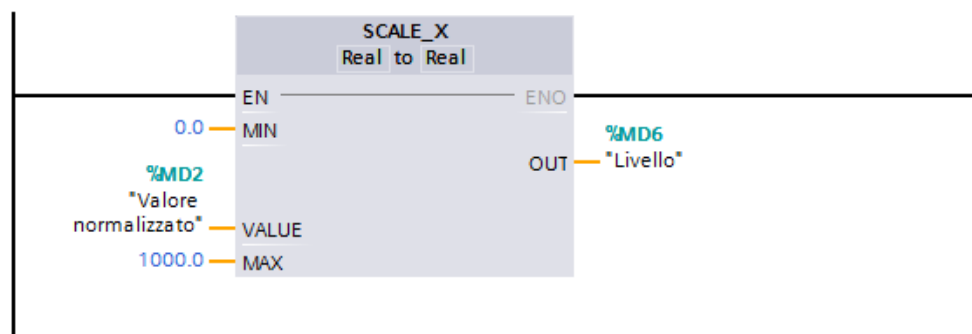
#### Segmento 1: Compensazione della tara e normalizzazione del peso

▼ L'uscita del blocco NORM\_X è  $OUT = (VALUE - MIN) / (MAX - MIN)$ . MAX = 23040 è il valore in uscita all'ADC quando il peso misurato è 25000 kg (serbatoio completamente pieno). MIN = 2488 è l'uscita dell'ADC quando il serbatoio è vuoto (peso = 2700 kg). Pertanto OUT sarà un valore reale compreso tra 0.0 e 1.0 proporzionale al peso dello zinco fuso al netto della tara del serbatoio



#### Segmento 2: Conversione del valore normalizzato in livello

▼ Poiché il livello dello zinco fuso nel serbatoio è proporzionale al suo peso, possiamo scalare il valore normalizzato in un valore compreso tra il livello minimo (0 mm) e quello massimo (1000 mm)



Come si vede l'uso di queste funzioni consente di semplificare notevolmente il problema della misura del livello.

Il valore 2488 all'ingresso MIN del blocco è stato calcolato nel seguente modo:

$$\text{MIN} : 2700 \text{ kg} = 27648 : 30000 \text{ kg}$$

e rappresenta il valore in uscita al convertitore A/D quando il serbatoio è vuoto, ovvero quando la cella di carico sta pesando la tara (2700 kg).

Il valore all'ingresso MAX (23040) è l'uscita dell'ADC quando il serbatoio è al massimo della capienza ovvero quando il suo peso è di 25000 kg. Infatti:

$$\text{MAX} : 27648 = 25000 \text{ kg} : 30000 \text{ kg}$$

Pertanto il valore dell'uscita OUT sarà 0 con il serbatoio vuoto e 1,0 con il serbatoio completamente pieno.

L'operazione successiva, eseguita dal blocco SCALE\_X è:

$$\text{OUT} = [\text{VALUE} * (\text{MAX} - \text{MIN})] + \text{MIN}$$

Grazie alla normalizzazione, e al fatto che peso e livello sono direttamente proporzionali, è possibile convertire il valore misurato direttamente in mm anziché in kg, senza che sia necessario specificare la costante di proporzionalità.