

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

Prima parte

All'interno di un prosciuttificio è presente una stazione di smistamento dei prosciutti per procedere alle operazioni di marchiatura selezione per la vendita e timbratura. I prosciutti vengono posti su un nastro trasportatore e arrivano su una piattaforma girevole e provvista di una cella di carico con portata di fondo scala pari a 150 N, dove vengono pesati e successivamente distribuiti in funzione del loro peso. Il nastro trasportatore di arrivo alla piattaforma si ferma per 5 secondi per permettere l'operazione di pesatura, al termine della quale, in base al peso, il prosciutto viene smistato. I prosciutti di peso inferiore a 5 kg vengono convogliati verso uno scivolo di raccolta posto a 180° per destinarli ad altri usi. Gli altri vengono indirizzati verso due nastri trasportatori, posti rispettivamente a 90° e 270° rispetto al nastro di arrivo attorno alla piattaforma. In particolare se il peso è compreso tra 5 e 10 kg la base ruota di 90° verso destra, se il peso supera i 10 kg la base ruota di 90° verso sinistra. Alla fine dei due nastri è posto un contenitore di raccolta, che una volta pieno determinerà un arresto temporaneo del sistema per permettere all'operatore la sua sostituzione. La rotazione della piattaforma è affidata ad un opportuno motore, mentre lo spostamento del prosciutto dalla base ruotante alla linea di destinazione è affidato ad una serie di micro rulli solidali alla base rotante stessa e azionati da un ulteriore motore. Ogni linea di smistamento è provvista di un opportuno sensore che permette il conteggio dei prosciutti commerciabili da quelli destinati ad altri usi. Il candidato, fatte le ulteriori ipotesi aggiuntive che ritiene necessarie:

1. descriva l'impianto attraverso uno schema e individui i dispositivi necessari alla sua realizzazione, fornendo una tabella di I/O rappresentante i principali segnali elettrici di controllo;
2. rappresenti mediante un diagramma di flusso di propria conoscenza, l'algoritmo di gestione dell'impianto;
3. elabori il programma in grado di gestire l'automatismo utilizzando un sistema programmabile di propria conoscenza;
4. progetti un sistema in grado di effettuare una stima percentuale dei prosciutti commerciabili da quelli destinati ad altri usi. Inoltre, il candidato progetti un idoneo sistema di segnalazioni luminose nelle fasi di movimentazione dei nastri, nonché i pulsanti di marcia e arresto dell'impianto.

Soluzione

Ipotesi aggiuntive

- Si assume che la cella di carico abbia una precisione sufficiente a garantire un'accurata classificazione dei prosciutti e che il peso massimo dei prosciutti sia di 15 Kg, corrispondenti al fondoscala della cella di carico (150 N).
- Il tempo di pesatura di 5 secondi è ritenuto sufficiente per stabilizzare la lettura del peso.
- La piattaforma girevole può ruotare in una sola direzione. La corretta orientazione della piattaforma è rilevata da sensori di finecorsa posizionati a 0°, 90° e 270°.
- Dopo la rotazione, i micro rulli restano attivi per 10 secondi per garantire il completo trasferimento del prosciutto sulla linea di destinazione. I micro rulli si attivano solo dopo che la piattaforma ha raggiunto la posizione corretta. Se il prosciutto non viene rilevato dopo 5 secondi dall'azionamento dei microrulli, il sistema viene fermato segnalando l'anomalia con un'indicazione luminosa e dovrà essere fatto ripartire manualmente dopo un'ispezione.
- Ogni linea di smistamento ha un sensore a fotocellula per rilevare e contare i prosciutti. Il conteggio viene aggiornato solo dopo che il prosciutto ha lasciato la piattaforma.
- I contenitori sono solo due, relativi ai prosciutti commercializzabili. Lo scivolo convoglia i prosciutti verso un'altra zona dello stabilimento per ulteriori lavorazioni. Si ipotizza inoltre che sui contenitori siano presenti dei sensori di riempimento. Quando il contenitore è pieno, il sistema si ferma e si attiva una luce blu di segnalazione per lo svuotamento manuale.
- Un pulsante di emergenza permette di fermare immediatamente l'impianto di smistamento.
- Il segnale delle fotocellule viene considerato valido solo se mantiene uno stato stabile per almeno 200 ms in modo da evitare che un disturbo esterno di breve durata determini un'erronea rilevazione del prosciutto. Questo controllo è implementato mediante un timer TON, che avvia il conteggio non appena il segnale cambia stato e attiva l'uscita solo al termine del tempo impostato.
- I nastri trasportatori, la piattaforma girevole e i microrulli sono azionati da motori asincroni trifase con potenze comprese tra 0,5 kW e 1,5 kW e controllati tramite inverter. Questi motori sono ampiamente utilizzati nei sistemi di movimentazione industriale per la loro robustezza, economicità e semplicità di controllo mediante inverter. Il comando degli inverter avviene tramite le uscite digitali a 24 V del PLC Beckhoff. Per garantire la protezione dai sovraccarichi e dai cortocircuiti, gli inverter sono alimentati attraverso interruttori magnetotermici installati a monte, che proteggono sia l'inverter che il motore da sovracorrenti e guasti sulla linea di alimentazione. In caso di intervento dell'interruttore, un contatto ausiliario invia un segnale al PLC, consentendo l'arresto immediato dell'impianto e la segnalazione dell'anomalia all'operatore.

Descrizione dell'impianto e dispositivi di I/O

L'impianto è composto da:

- Nastro trasportatore di ingresso con annesso motore M1 che porta i prosciutti sulla piattaforma girevole con cella di carico. Una fotocellula indicata con PS1 rileva i prosciutti in arrivo.

- Piattaforma girevole mossa da un motore M4 che ruota la in base al peso del prosciutto rilevato dalla cella di carico LC1. Dispone di tre sensori finecorsa per identificare la posizione a seguito della rotazione.
- Micro rulli che spostano il prosciutto dalla piattaforma al nastro trasportatore corretto o allo scivolo.
- Tre destinazioni per i prosciutti: Scivolo (180°) per quelli di peso inferiore a 5 kg. Nastro 1 (90° a destra) per quelli tra 5 e 10 kg. Nastro 2 (90° a sinistra) per quelli di peso superiore a 10 kg.
- Sensori di presenza a fotocellula sulle linee per differenziare i prosciutti commerciabili da quelli scartati.
- Sensori di riempimento dei contenitori per fermare temporaneamente il sistema.
- Pannello di controllo con pulsanti di avvio/arresto e segnalazioni luminose.

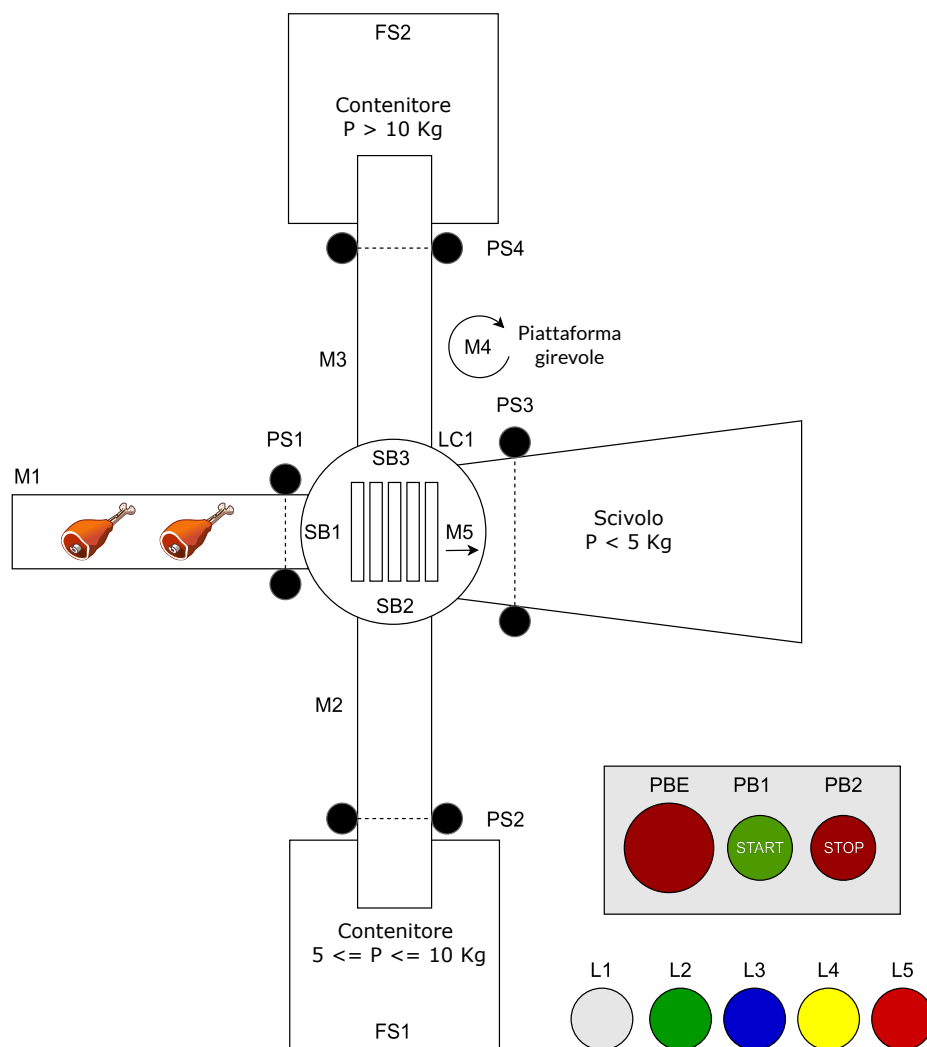


Figura 1: Schema dell'impianto

Nella tabella seguente sono riassunti i dispositivi di input con il nome della variabile a cui si farà riferimento nell'implementazione dell'algoritmo:

Codice	Descrizione	Tipo segnale
PB1	Pulsante di avvio NA	Digitale 24V
PB2	Pulsante di stop (gestito) NC	Digitale 24V
PBE	Pulsante di emergenza a fungo NC	Digitale 24V
PS1	Fotocellula rilevamento prosciutto linea di arrivo	Digitale 24V
PS2	Fotocellula rilevamento prosciutto contenitore di raccolta da 5 a 10 Kg	Digitale 24V
PS3	Fotocellula rilevamento prosciutto scivolo di raccolta minore di 5 Kg	Digitale 24V
PS4	Fotocellula rilevamento prosciutto contenitore di raccolta maggiore di 10 Kg	Digitale 24V
FS1	Sensore di riempimento contenitore di raccolta da 5 a 10 Kg	Digitale 24V
FS2	Sensore di riempimento contenitore di raccolta maggiore di 10 Kg	Digitale 24V
SB1	Sensore di finecorsa che indica la rotazione di 0°	Digitale 24V
SB2	Sensore di finecorsa che indica la rotazione di 90° a destra	Digitale 24V
SB3	Sensore di finecorsa che indica la rotazione di 90° a sinistra	Digitale 24V
LC1	Cella di carico che misura il peso del prosciutto.	Analogico 10V

Di seguito, sono riportati i dispositivi di output:

Codice	Descrizione	Tipo segnale
M1	Motore nastro trasportatore linea di arrivo	Digitale 24V
M2	Motore nastro trasportatore linea da 5 a 10 Kg	Digitale 24V
M3	Motore nastro trasportatore linea maggiore di 10 Kg	Digitale 24V
M4	Motore piattaforma girevole	Digitale 24V
M5	Motore micro rulli	Digitale 24V
L1	Lampada di segnalazione bianca (macchina in tensione)	Digitale 24V
L2	Lampada di segnalazione verde (macchina in funzione)	Digitale 24V
L3	Lampada di segnalazione blu (azione richiesta)	Digitale 24V
L4	Lampada di segnalazione gialla (anomalia)	Digitale 24V
L5	Lampada di segnalazione rossa (condizione di emergenza)	Digitale 24V

Azionamento dei motori e scelta degli inverter

In questa sezione viene descritto il controllo dei motori asincroni trifase impiegati per la movimentazione dei nastri trasportatori, della piattaforma girevole e dei micro rulli. È stato scelto un inverter Schneider Electric Altivar ATV320, compatibile con i segnali di comando a 24 V DC provenienti dal PLC Beckhoff. Questo dispositivo consente il controllo diretto del motore attraverso ingressi digitali, con la possibilità di integrare una regolazione della velocità mediante un segnale analogico 0-10 V. Di seguito sono riportate le caratteristiche principali dell'inverter:

- Tensione di alimentazione: 380...500 V AC
- Potenza del motore: da 0,18 kW a 15 kW
- Comando tramite ingressi digitali:
 - ON/OFF e marcia/arresto gestiti da ingressi digitali a 24 V DC, compatibili con le uscite del PLC Beckhoff (Modulo EL2008). L'inverter presenta diverse modalità di funzionamento configurabili dal pannello o via software.
 - Selezione della direzione (avanti/indietro).
- Comando tramite ingresso analogico (opzionale): controllo della velocità con un segnale 0-10V o 4-20mA (può essere fornito dal modulo EL3064 se necessario).
- Protocolli di comunicazione per un controllo più avanzato
 - Modbus RTU su RS485
 - CANopen
 - Modulo opzionale EtherCAT.
- Segnalazione anomalie tramite uscita relè R1A/R1C dell'inverter:
 - Contatto chiuso = Funzionamento normale
 - Contatto aperto = Anomalia (sovraccarico sovratemperatura, errore di alimentazione)



Condizionamento del segnale della cella di carico

Una cella di carico è un trasduttore di forza che converte un carico meccanico in un segnale elettrico proporzionale, generalmente utilizzando il principio della variazione di resistenza in un ponte di Wheatstone. Il suo impiego è fondamentale in applicazioni di pesatura industriale e nell'automazione garantendo misurazioni precise ed insensibili ai disturbi ad un costo contenuto. Di seguito è riportato lo schema rappresentativo di una cella di carico del tipo a ponte estensimetrico binoculare:

standard dei PLC industriali (0-10 V). Per amplificare il segnale differenziale della cella di carico, è possibile usare un amplificatore per strumentazione, come l'INA125. La resistenza R_G viene scelta in modo da far corrispondere un segnale di 0 V a un carico nullo (0 N) ed un segnale di 10 V a un carico massimo corrispondente al fondo scala della cella di carico (18 Kg). In tal modo verrà utilizzato l'intero intervallo di misura della cella di carico. Nel nostro caso, il guadagno richiesto dall'amplificatore sarà:

$$G = \frac{10}{22 \cdot 10^{-3}} = 454,6$$

Per la cella di carico HBK PW2C con valore di fondoscala 18 Kg alimentata a 10 V avremo le seguenti corrispondenze tra peso e tensione. I valori di peso sono quelli utili ai fini dello svolgimento del quesito:

Peso [Kg]	Tensione cella di carico [mV]	Tensione amplificatore [V]
0	0	0
18	22	10
5	6.1	2.78
10	12.2	5.56

Di seguito viene riportato lo schema di principio dell'amplificatore per strumentazione e la relazione tra ingressi e uscita:

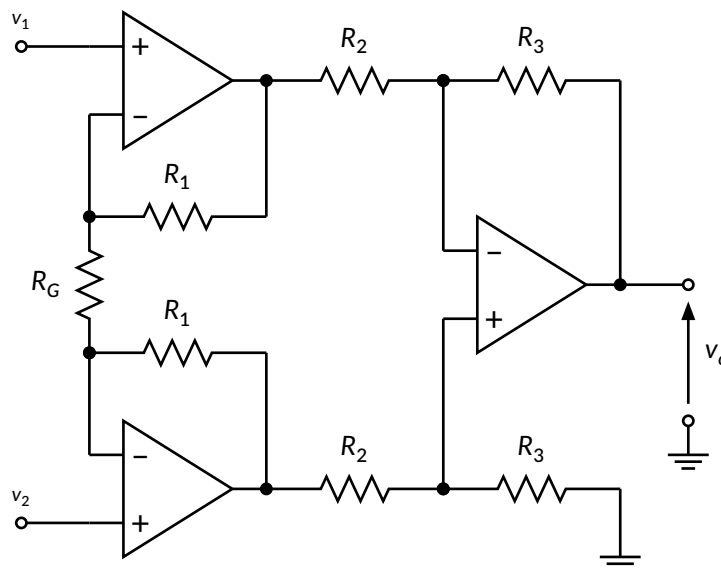


Figura 5: Amplificatore per strumentazione

$$G = \frac{v_o}{v_2 - v_1} = \frac{R_3}{R_2} \cdot \left(1 + \frac{2R_1}{R_G} \right)$$

Nel caso dell'integrato INA125, il guadagno in funzione della resistenza R_G vale:

$$G = 4 + \frac{60 \cdot 10^3}{R_G}$$

Da cui deriva:

$$R_G = \frac{60 \cdot 10^3}{454,6 - 4} = 133 \, \Omega$$

Tale valore di resistenza può essere regolato tramite l'utilizzo di un trimmer da 150 Ω o scegliendo una resistenza della serie E48 da 133 Ω .

In alternativa al circuito di condizionamento illustrato, è possibile utilizzare il modulo Beckhoff EL3356, idoneo ad acquisire segnali provenienti da celle di carico. Questo modulo Beckhoff è dotato di ingressi analogici differenziali e di un circuito di condizionamento integrato, che permette di leggere direttamente il segnale proveniente dalla cella di carico senza necessità di un amplificatore esterno.

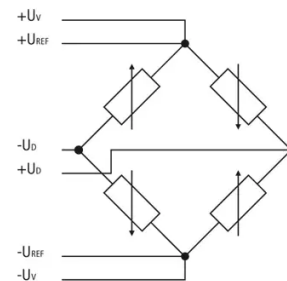
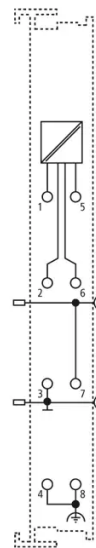
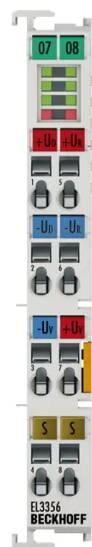


Diagramma di flusso

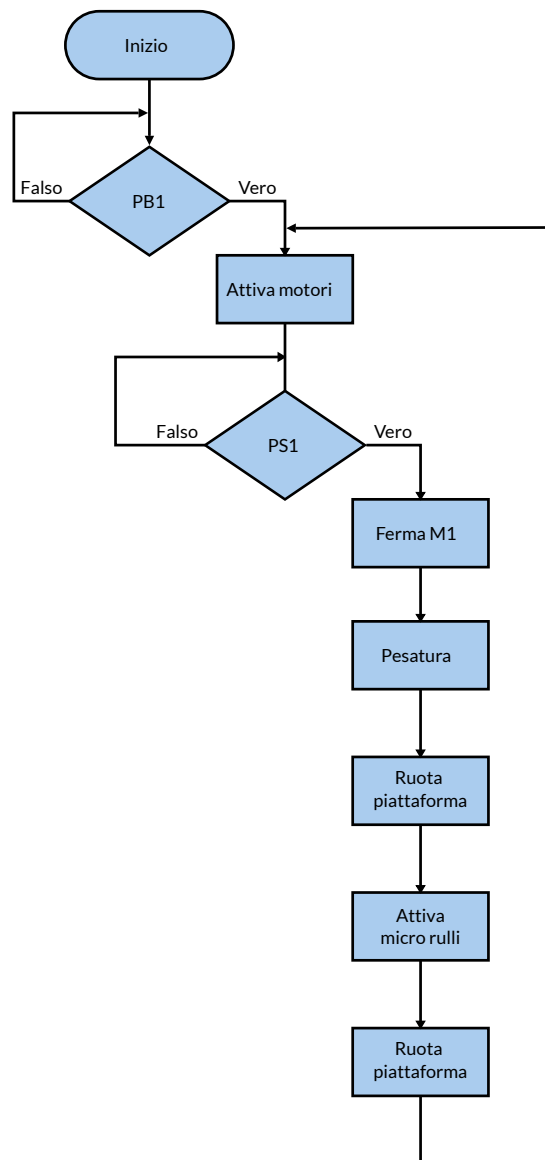


Figura 7: Diagramma di flusso

Scelta dei dispositivi hardware

Per l'implementazione del sistema di smistamento oggetto del quesito, è stata scelta un'architettura basata su PLC Beckhoff e sul protocollo Ethercat:

- Beckhoff CX5120: PC industriale con processore Intel Atom che supporta il protocollo di comunicazione Ethercat.
- EL1809: Modulo Ethercat con 16 ingressi digitali a 24 V DC, utilizzato per la lettura di sensori e pulsanti di comando.
- EL2809: Modulo Ethercat con 16 uscite digitali a 24 V DC, impiegato per il controllo degli attuatori come l'azionamento dei nastri trasportatori e la piattaforma girevole.

- EL3064: Modulo Ethercat con 4 ingressi analogici a 0-10 V o ± 10 V, utilizzato per l'acquisizione del segnale amplificato della cella di carico. Risoluzione di 12 bit.

In alternativa

- EL3356: Modulo Ethercat con un ingresso analogico idoneo per l'acquisizione di segnali elettrici provenienti da circuiti a ponte nell'intervallo ± 27 mV. Non necessita di amplificatori esterni. Risoluzione di 16 bit.

Implementazione del software

Per la realizzazione del software di controllo dell'impianto, verrà utilizzato l'ambiente di sviluppo TwinCAT 3, il sistema di automazione industriale di Beckhoff che integra la programmazione IEC 61131-3 con funzionalità avanzate per la gestione in tempo reale dei dispositivi EtherCAT. Il software sarà strutturato in maniera modulare utilizzando delle action all'interno del Program MAIN.

L'interfacciamento con i moduli I/O EtherCAT, inclusi gli ingressi digitali (EL1809), le uscite digitali (EL2809) e l'acquisizione del segnale della cella di carico (EL3064), avverrà tramite mappatura delle variabili nel System Manager di TwinCAT. Le logiche di controllo saranno implementate in linguaggio Ladder Diagram (LD), garantendo chiarezza e manutenibilità del codice.

L'architettura software includerà anche la gestione delle anomalie, con la possibilità di monitorare allarmi provenienti dagli inverter e dai dispositivi di protezione, permettendo l'arresto sicuro dell'impianto in caso di guasti.

Variabili

Di seguito sono riportate tutte le variabili globali, ovvero disponibili nell'intero progetto e possono essere utilizzate anche da una eventuale HMI. Queste variabili sono inoltre oggetto di mappatura con dispositivi di I/O.

VAR_GLOBAL

```
//Input
PB1 AT%I*: BOOL;
PB2 AT%I*: BOOL;
PBE AT%I*: BOOL;
PS1 AT%I*: BOOL;
PS2 AT%I*: BOOL;
PS3 AT%I*: BOOL;
PS4 AT%I*: BOOL;
FS1 AT%I*: BOOL;
FS2 AT%I*: BOOL;
SB1 AT%I*: BOOL;
SB2 AT%I*: BOOL;
SB3 AT%I*: BOOL;
LC1 AT%I*: REAL; //Valore di tensione da 0V a 10V (0 Kg - 18 Kg)
//output
L1 AT%Q*: BOOL;
L2 AT%Q*: BOOL;
L3 AT%Q*: BOOL;
L4 AT%Q*: BOOL;
L5 AT%Q*: BOOL;
M1 AT%Q*: BOOL;
M2 AT%Q*: BOOL;
M3 AT%Q*: BOOL;
```

```
M4 AT%Q*: BOOL;  
M5 AT%Q*: BOOL;  
END_VAR
```

Di seguito, invece, sono riportate le variabile interne al PRG MAIN che non saranno mappate su dispositivi di I/O.

```
VAR  
  StopRichiesto: BOOL;  
  Anomalia: BOOL;  
  Emergenza: BOOL;  
  Funzione: BOOL;  
  Smistamento: BOOL;  
  Rotazione: BOOL;  
  MicroRulli: BOOL;  
  FineSmistamento: BOOL;  
  FinePesatura: BOOL;  
  RuotaOrigine: BOOL;  
  PesoMin5: BOOL;  
  PesoMag10: BOOL;  
  PesoIntermedio: BOOL;  
  ProsciuttoSmistato: BOOL;  
  //Timer  
  TON_PS1: TON;  
  TON_Pesatura: TON;  
  TON_MicroRulli: TON;  
END_VAR
```

Nella prima parte del programma, vengono gestiti i pulsanti e le luci di segnalazione. La variabile Stop indica che è stato richiesto uno stop, che può avvenire perché il pulsante di stop è stato premuto, oppure perché uno dei contenitori è pieno. Il pulsante di stop ha effetto solo una volta terminato lo smistamento del prosciutto corrente in modo da lasciare la macchina in uno stato gestito.

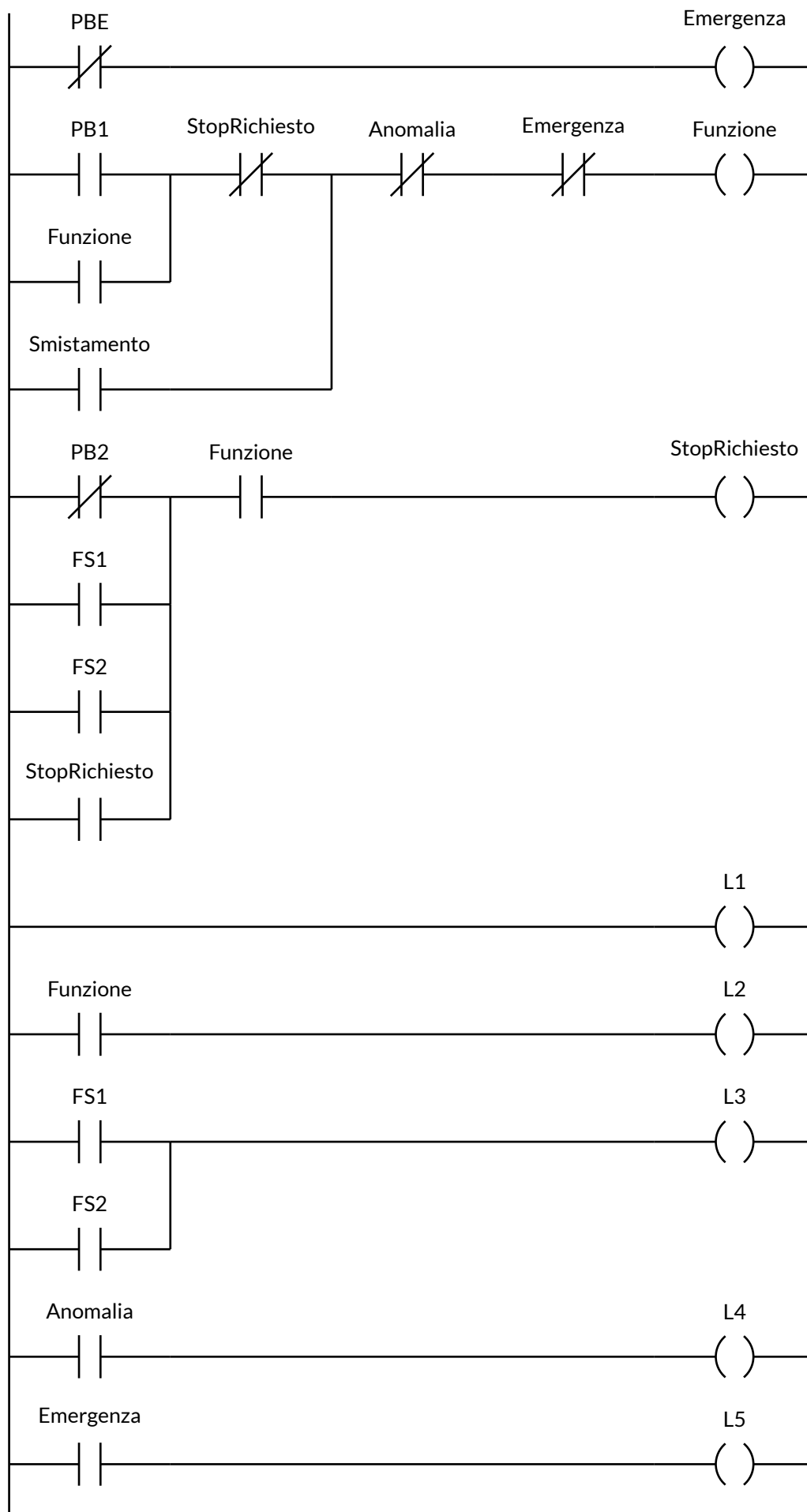


Figura 8: Programma Ladder: gestione dei pulsanti e segnalazioni.

Nella seconda parte del programma, vengono gestiti i motori. Si è ipotizzato che il motore M1 debba fermarsi una volta iniziata la procedura di smistamento, mentre i motori M2 ed M3 possono restare sempre in movimento durante il funzionamento dell'impianto. Inoltre, il motore M1 richiede che la piattaforma sia ruotata nella posizione di partenza (segnale SB1 a livello alto) per poter funzionare.

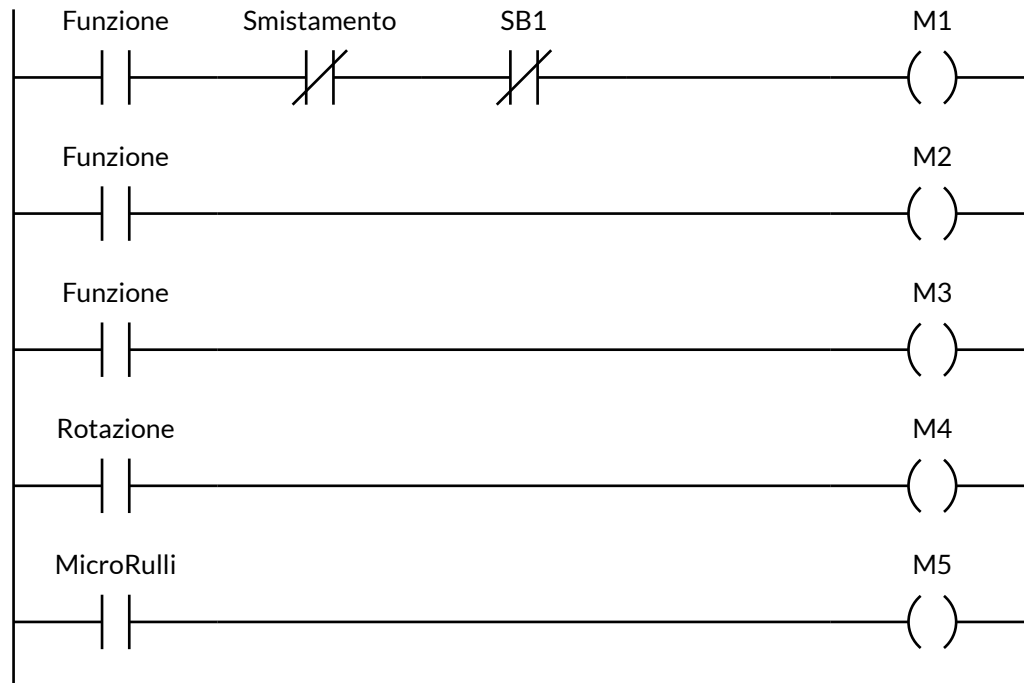


Figura 9: Programma Ladder: gestione dei motori.

Nella terza parte del programma, viene gestito la pesatura del prosciutto. Un timer TON di 200 ms permette di evitare falsi positivi sull'effettiva presenza del prosciutto sulla linea di arrivo. Si ritiene sufficiente l'inerzia del motore del nastro per trasferire il prosciutto sulla piattaforma girevole. Tale aspetto andrà verificato in fase di collaudo dell'impianto e può essere modificato inserendo un timer di tipo TOF per lo spegnimento del motore M1.

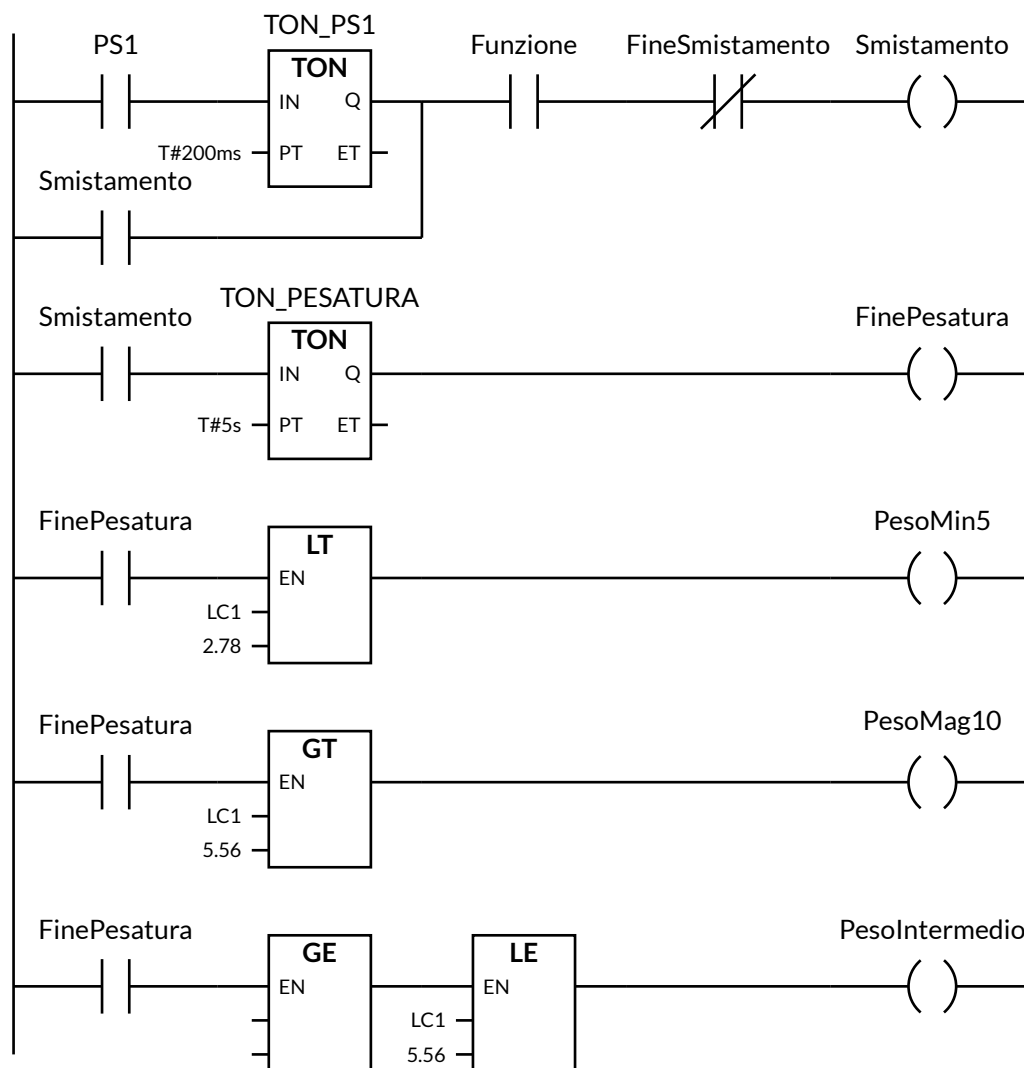


Figura 10: Programma Ladder: gestione della pesatura.

Nella quarta parte del programma, viene gestita la rotazione della piattaforma. Se il peso rilevato è minore di 5 Kg, non vi sarà alcuna rotazione. In questa parte di programma viene gestita anche la rotazione verso la posizione iniziale, effettuata alla fine dello smistamento.

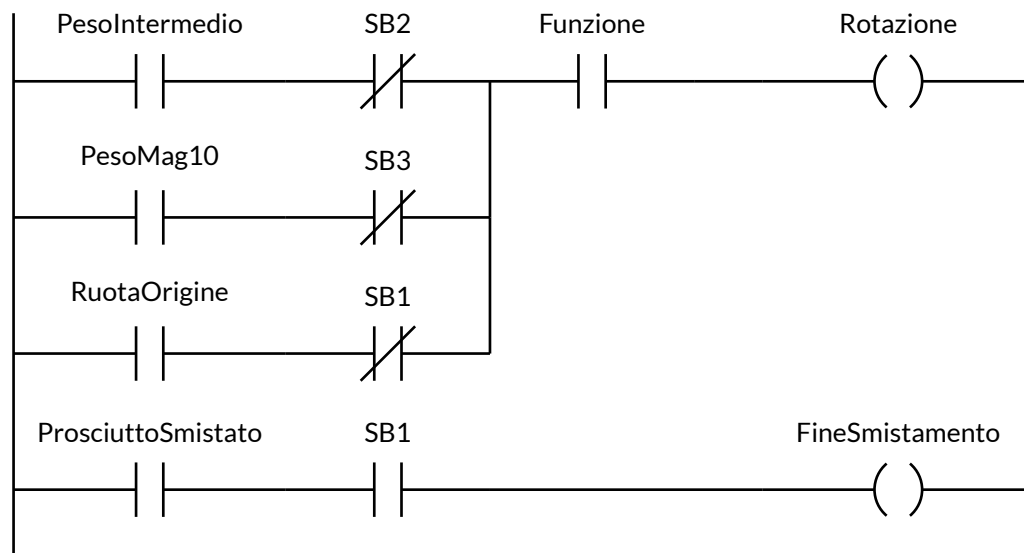


Figura 11: Programma Ladder: rotazione della piattaforma.

Nella quinta parte del programma, viene gestito lo smistamento del prosciutto nella linea corretta. Come prima cosa vengono attivati i micro rulli ed infine viene verificata l'effettiva presenza del prosciutto nel contenitore corretto tramite il segnale della fotocellula. Nel caso in cui il motore dei micro rulli rimanga acceso per più di 10 secondi senza che venga rilevata la presenza di un prosciutto in uno dei contenitori, l'impianto passa in condizione di anomalia e si ferma. In tal caso, l'operatore dovrà dapprima verificare la presenza di prosciutti bloccati e successivamente verificare il funzionamento delle fotocellule.

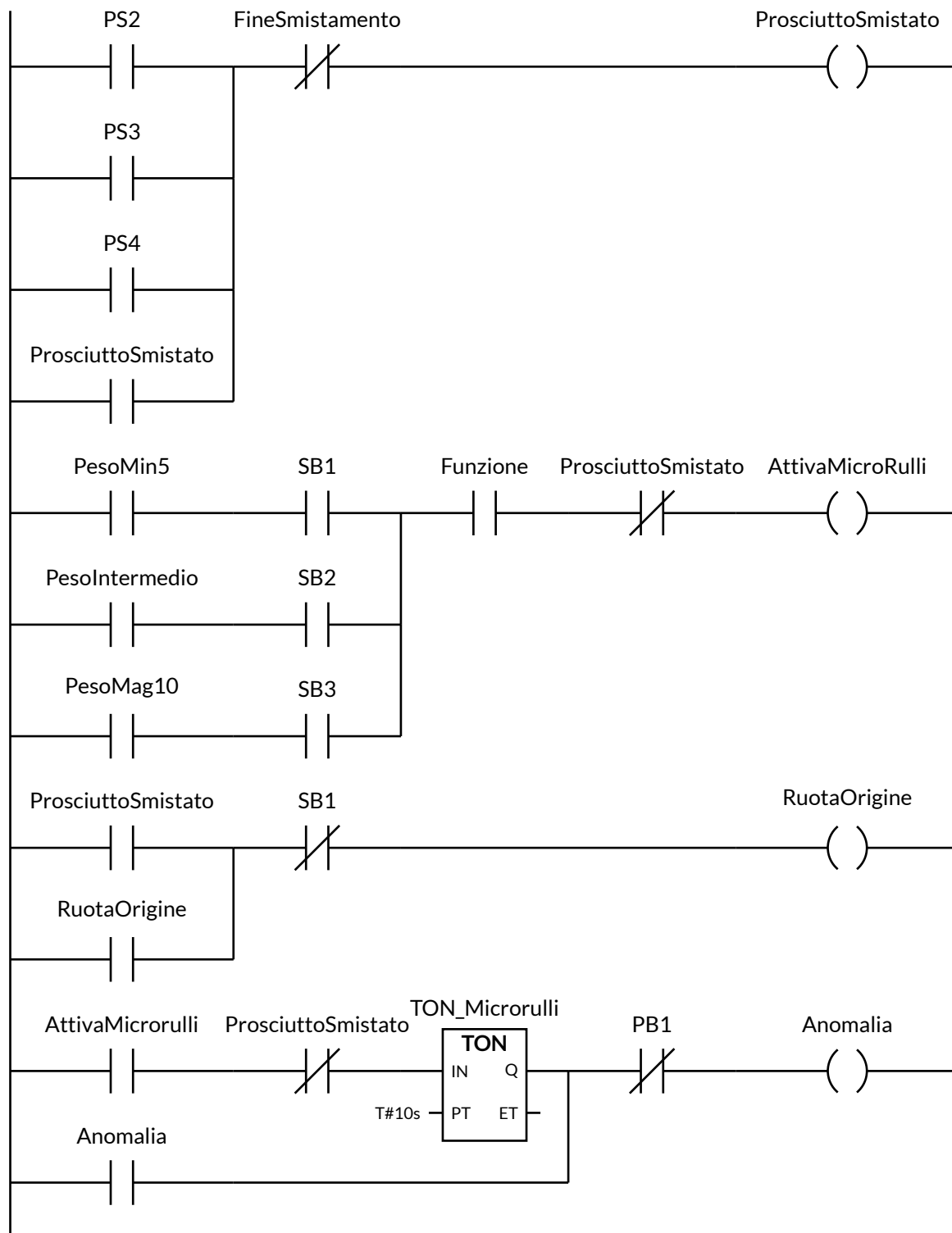


Figura 12: Programma Ladder: gestione smistamento

Stima percentuale

Per effettuare la stima percentuale, il sistema necessita di conoscere il numero totale di prosciutti smistati ed il numero di prosciutti destinati ad altre lavorazioni. Il sistema di smistamento è dotato di sensori a fotocella che possono essere utilizzati per il rilevamento del prosciutto sulla corrispondente linea di produzione ed incremento un blocco CTU che si occuperà del conteggio dei prosciutti. Anche in questo caso la lettura dei sensori deve avvenire attraverso dei timer TON che permettono di stabilizzare il segnale per almeno 200 ms prima che questo possa incrementare

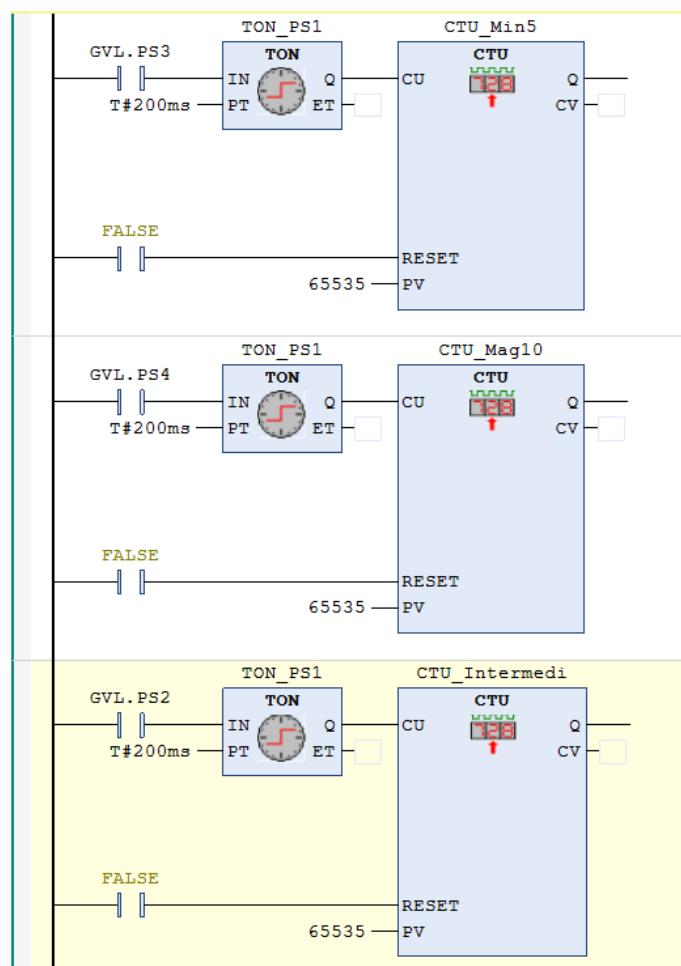
il valore del contatore. Vengono introdotte nuove variabili di tipo intero per contenere i calcoli parziali e la percentuale di prosciutti commercializzabili e vengono definiti i blocchi funzione CTU necessari:

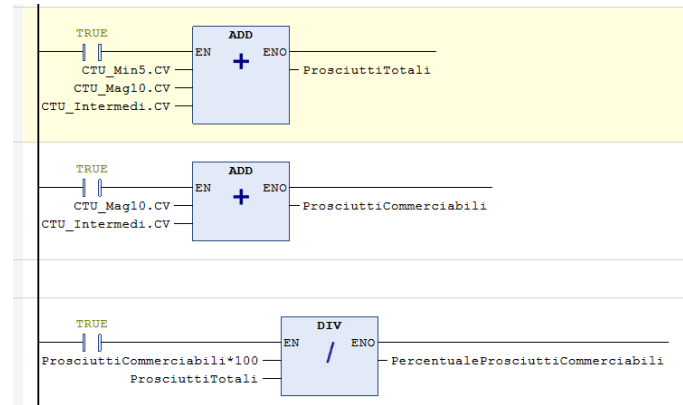
VAR

```
ProsciuttiTotali: UINT;  
ProsciuttiCommercializzabili: UINT;  
PercentualeProsciuttiCommercializzabili: UINT;  
//Counter  
CTU_Min5: CTU;  
CTU_Mag10: CTU;  
CTU_Intermedi: CTU;
```

END_VAR

Di seguito viene riportato il programma Ladder per la gestione del conteggio e del calcolo percentuale. Gli input digitali provenienti dai sensori a fotocellula sono posti in ingresso a timer TON con preset time di 200 ms che a loro volta sono posti in ingresso a dei blocchi CTU. I blocchi di conteggio non vengono mai resettati e possono contare fino a 65535 (valore massimo della variabile UINT). Nel caso in cui l'impianto debba lavorare numeri maggiori di prosciutti, si deve prevedere una storicizzazione di questi conteggi, ad esempio su base quotidiana.





Sistema di segnalazioni luminose e pulsanti di marcia e arresto

Il sistema di smistamento è dotato di segnalazioni luminose di vari colori:

- Spia di segnalazione bianca: impianto alimentato.
- Spia di segnalazione verde: impianto in funzione
- Spia di segnalazione blu: impianto fermo per richiesta attività manuale per svuotamento contenitori.
- Spia di segnalazione gialla: impianto fermo per anomalia.
- Spia di segnalazione rossa: impianto fermo per pressione del pulsante di emergenza a fungo.

Il sistema è dotato di pulsanti di marcia, arresto ed emergenza:

- Pulsante di marcia, normalmente aperto.
- Pulsante di arresto, normalmente chiuso. La pressione di tale pulsante non interrompe immediatamente l'impianto, ma determina un'interruzione gestita, terminando lo smistamento del prosciutto corrente. Viene utilizzato a fine turno o per fermare l'impianto per manutenzione.
- Pulsante di emergenza, normalmente chiuso a fungo. Viene utilizzato in caso di emergenza ed interrompe immediatamente il funzionamento dell'impianto.