



ELABORATO DI LAUREA IN INGEGNERIA
DELL'AUTOMAZIONE

***VALIDAZIONE DELLE LOGICHE DI
AUTOMAZIONE PER UN IMPIANTO DI
MOVIMENTAZIONE***

Anno Accademico 2020/2021

Relatore

Ch.mo prof.
Gianmaria De Tommasi

Candidato

Gennaro Cirillo
N39/796

Indice

| | |
|--|-----------|
| Introduzione | 1 |
| 1 Descrizione dell'impianto | 2 |
| 1.1 Struttura dell'impianto e principio di funzionamento . . | 2 |
| 1.2 Ipotesi di progetto | 4 |
| 1.3 Specifiche di controllo | 4 |
| 2 Sviluppo del software | 7 |
| 2.1 Variabili di ingresso e uscita | 7 |
| 2.2 Organizzazione del Codice | 11 |
| 3 Logica di controllo | 13 |
| 3.1 Controllore di posizione | 13 |
| 3.2 Baie di uscita | 14 |
| 3.3 Baia d'ingresso | 15 |
| 3.4 Navetta | 16 |
| 3.5 Movimentazioni A e B | 17 |
| 3.6 Baie di recupero A e B | 19 |
| 3.7 Coordinamento delle variabili | 20 |
| 4 Logica di simulazione | 21 |
| 4.1 Consegna pacco | 21 |
| 4.2 Simulatore di posizione carrello | 22 |
| 4.3 Simulatore delle baie di uscita A e B | 24 |
| 4.4 Simulatore navetta-baie d'uscita | 25 |
| 4.5 Simulatore d'ingresso prodotti | 26 |
| 4.6 Simulatore baie di recupero | 27 |
| 4.7 Coordinamento variabili | 28 |

| | | |
|----------|------------------------------------|-----------|
| 5 | Validazione della logica | 30 |
| 5.1 | Validazione in Codesys | 30 |
| 5.2 | Simulazione grafica: HMI | 33 |
| 5.3 | Esempi di simulazione | 35 |
| 6 | Conclusioni | 38 |

Elenco delle figure

| | | |
|-----|---|----|
| 1.1 | Modello impianto | 2 |
| 2.1 | POU e chiamate | 12 |
| 3.1 | Controllore di posizione | 13 |
| 3.2 | Baie di uscita | 14 |
| 3.3 | Baia d'ingresso | 15 |
| 3.4 | Navetta | 16 |
| 3.5 | Movimentazione navetta-uscita A e navetta-uscita B . . | 18 |
| 3.6 | Movimentazione di recupero baia A e baia B | 19 |
| 3.7 | Variabili relative alla movimentazione delle baie A e B . | 20 |
| 3.8 | Variabili relative alla navetta | 20 |
| 4.1 | Consegna | 21 |
| 4.2 | Simulatore di posizione | 22 |
| 4.3 | Simulatore della Baie di uscita A e B | 24 |
| 4.4 | Simulatore movimentazioni navetta-uscite | 25 |
| 4.5 | Simulatore d'ingresso prodotti | 26 |
| 4.6 | Simulatore Baie di recupero | 27 |
| 4.7 | Variabili relative alla navetta | 28 |
| 4.8 | Variabili relative all'ingresso | 29 |
| 4.9 | Variabili relative alle baie d'uscita | 29 |
| 5.1 | Sistema Fermo | 31 |
| 5.2 | Scambio tra ingresso e navetta | 31 |
| 5.3 | Movimentazione verso A | 32 |
| 5.4 | Scambio con uscita A | 32 |
| 5.5 | Scambio con uscita A | 33 |
| 5.6 | Scambio ingresso-navetta | 35 |

ELENCO DELLE FIGURE

| | | |
|------|---|----|
| 5.7 | Scambio navetta-uscita A | 35 |
| 5.8 | Scambio navetta-uscita B | 36 |
| 5.9 | Scambio navetta-baia recupero A | 36 |
| 5.10 | Prelievo dalla baia di recupero A | 37 |

Introduzione

L'automazione industriale è la disciplina che studia le metodologie e le tecnologie che permettono il controllo di flussi di energia, di materiali e di informazioni necessari alla realizzazione di processi produttivi, senza che sia richiesto l'intervento dell'uomo.

Grazie all'automazione industriale si è passati da una produzione per lo più artigianale ad una produzione in serie, ciò è risultato molto importante per una serie di fattori.

In primo luogo, a differenza della produzione artigianale ove ogni pezzo risulta essere unico e mai perfettamente uguale agli altri, la produzione in serie ha permesso di avere prodotti riproducibili e sempre uguali nelle loro caratteristiche, fattore fondamentale se si vuole rendere ogni prodotto conforme a eventuali standard.

Inoltre con l'avvento dell'automazione industriale l'uomo ha potuto evitare tutti quei lavori considerati pericolosi o usuranti, che prima dell'automazione dei processi produttivi erano svolti e supervisionati esclusivamente dall'uomo. In definitiva quindi il processo di automazione ha permesso una produzione più sicura, economica e veloce senza andare a discapito della qualità dei prodotti.[3]

Il caso studio si è focalizzato su un particolare impianto di movimentazione merci, in cui il trasporto dei prodotti è stato affidato esclusivamente a delle rulliere, mentre l'uomo è stato relegato semplicemente al comando delle stesse e all'eventuale carico e scarico merci.

L'elaborato propone una logica di controllo e di simulazione per il suddetto impianto di movimentazione, utilizzando il software di sviluppo *Codesys*.

Capitolo 1

Descrizione dell'impianto

In questo capitolo viene introdotta una descrizione del processo da automatizzare, oggetto di questo elaborato. Oltre alla descrizione dell'impianto, verranno presentate anche le specifiche per il software di automazione e tutte le relative ipotesi di progetto.

1.1 Struttura dell'impianto e principio di funzionamento

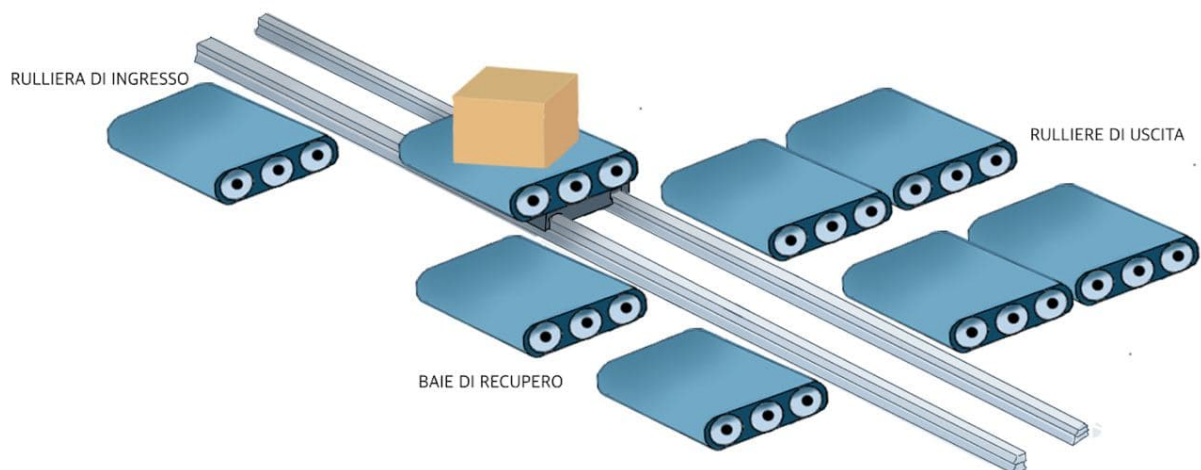


Figura 1.1: Modello impianto

L'impianto analizzato è composto da una serie di rulliere disposte come nella figura 1.1, in cui si ha:

- una navetta, composta da una rulliera incernierata ad un binario che la rende in grado di muoversi verso est e ovest;
- una rulliera d'ingresso, posta all'estrema sinistra del binario;
- due coppie di rulliere d'uscita, poste sulla parte destra del binario, ove ognuna delle quali è provvista di una terza rulliera di recupero posta di fronte, in grado di stipare un prodotto nel caso in cui la coppia risulti completamente satura.

Il normale funzionamento dell'impianto prevede che su richiesta di un sistema esterno la navetta deve posizionarsi dinanzi alla rulliera di ingresso e prelevarne il prodotto, dopodiché in base al valore di una variabile, la navetta si sposterà verso est fino all'uscita A se il valore di questa variabile risulterà falso altrimenti dovrà continuare a spostarsi fino all'uscita B se il valore della variabile risulterà vero.

Una volta posizionata in prossimità dell'uscita desiderata la navetta dovrà arrestarsi per consegnare il prodotto all'apposito nastro che, non appena ricevuto il pallet si interesserà di portarlo a nord verso l'altro nastro ove è allocato il sistema esterno per lo scarico dei prodotti.

Nel caso in cui l'uscita con cui la navetta dovrà effettuare la consegna risultasse completamente satura, la navetta dovrà preoccuparsi di movimentare il prodotto verso sud ove è situata la rulliera di recupero e cedere a lei il prodotto.

La rulliera di recupero dovrà essere immediatamente svuotata non appena l'uscita corrispondente non sarà più satura, quindi non appena il sistema esterno preleverà un prodotto dall'uscita lasciando un posto libero. È quindi la navetta a preoccuparsi di movimentarsi presso

la rulliera di recupero apposita, prelevare il prodotto e movimentarlo verso la corrispondente coppia d'uscita.

1.2 Ipotesi di progetto

La logica è stata implementata facendo riferimento alle seguenti ipotesi:

- L'ingresso dei prodotti è gestito da un sistema esterno che consegna il prodotto sulla rulliera d'ingresso e invia la richiesta alla navetta per chiederle di prelevare il pacco consegnato;
- Il prelievo dei prodotti dalle rulliere d'uscita è anch'esso effettuato da un sistema esterno;
- Ogni rulliera può al massimo contenere un solo prodotto alla volta;
- Tutte le fotocellule funzionano in logica non negata dando in uscita il valore TRUE se rilevano la presenza del prodotto e FALSE altrimenti.

1.3 Specifiche di controllo

Ogni rullo è dotato di motori che permettono la movimentazione del nastro.

La rulliera di ingresso si affaccia sul binario della navetta da sud e si interessa di caricare la merce sulla navetta, per questo è dotata solo di motori N_I che permettono la movimentazione del nastro solamente verso nord.

Le due coppie di rulli in uscita si affacciano sul binario della navetta

da nord e si interessano di prelevare il pacco dalla navetta e portarlo verso l'uscita, per questo anche loro sono dotati di motori, N_1A e N_2A per la prima uscita e N_1B e N_2B per la seconda uscita, che permettono esclusivamente la movimentazione del nastro verso nord.

I due rulli di recupero si affacciano sul binario della navetta da sud e sono dotati di motori in grado di invertire il loro senso di marcia, N_RA e N_RB per la movimentazione verso nord e S_RA e S_RB per la movimentazione verso sud, rispettivamente per il rullo di recupero A (RA) e quello di recupero B (RB), questo perché i rulli di recupero devono essere in grado sia di prelevare momentaneamente il prodotto dalla navetta, nel caso in cui la relativa uscita risulti saturata e sia di consegnare un prodotto sulla navetta per essere svuotate, quando la corrispettiva uscita risulterà avere almeno un posto libero.

La navetta è dotata di motori che consentono la movimentazione del nastro verso nord e sud, rispettivamente SH_N e SH_S, per permettere il carico e scarico dei prodotti dai vari rulliere e di motori che la permettono di traslare verso est e verso ovest lungo il binario, SH_E e SH_W.

Ogni rulliera è inoltre dotata di fotocellule in grado di rilevare se sul nastro è presente un prodotto. Si nota che così come nel caso dei motori, non tutti i rulli hanno le fotocellule poste nello stesso modo.

Il nastro della rulliera d'ingresso e delle due coppie di rulliere di uscita, compie movimentazioni esclusivamente verso nord, è quindi sufficiente una sola fotocellula per rilevare la presenza del prodotto e l'eventuale scambio dello stesso. Tali fotocellule prendono il nome di F_I per quella d'ingresso, F_1A e F_2A per la coppia di uscita A e F_1B e F_2B per la coppia di uscita B.

Il nastro della navetta e delle rulliere di recupero, compie movimentazioni sia verso nord che verso sud, per questo è stato necessario dotare

queste rulliere di fotocellule poste sia a nord che a sud del rullo, questo perchè l'implementazione della logica è stata fatta in modo tale che quando lo scambio del prodotto avviene da nord a sud la fotocellula interessata è quella a sud, mentre quando lo scambio avviene da sud a nord è quella a nord. Queste fotocellule sono state chiamate F_SHN e F_SHS per quelle a nord e a sud della navetta, F_RAS e F_RAN per quelle a nord e sud della rulliera di recupero A e infine F_RBN e F_RBS per quelle a nord a sud della rulliera di recupero B.

Sono inoltre presenti altre 3 variabili di controllo, una si interessa di individuare istante per istante la posizione della navetta (POS), la seconda è la variabile segnalatrice della richiesta da parte del sistema d'ingresso (NEW_ARRIVAL) e infine quella che si interessa di comunicare a quale uscite deve essere spedito il prodotto (DESTINATION).

Capitolo 2

Sviluppo del software

L'automazione dei processi all'interno di un impianto industriale è gestita da dispositivi di controllo, di cui i più diffusi sono i controllori a logica programmabile (PLC) che permettono di ricevere i segnali di input provenienti da sensori ed elaborare segnali di output per controllare gli attuatori.

La programmazione di un PLC può avvenire in diversi linguaggi tra quelli previsti dallo standard IEC 61131-3:

- Ladder Diagram (LD);
- Sequential Function Block (SFC);
- Function Block Diagram (FBD);
- Instruction List (IL);
- Structured Text (ST).

In questo elaborato la logica di controllo è stata implementata in *Codesys*, ambiente di sviluppo per la programmazione di applicazioni di controllo secondo lo standard industriale internazionale IEC61131-3.[2]

2.1 Variabili di ingresso e uscita

Visto che la logica dell'impianto è implementata insieme a quella di simulazione, tutte le specifiche di controllo sono state definite sia come

variabili di ingresso che come variabili d'uscita, questo perchè tutte quelle che sono ingressi per la logica di controllo, per la simulazione corrispondono alle uscite e analogamente quelle che per la logica di controllo sono uscite, per la simulazione sono ingressi.

La dichiarazione delle variabili è stata fatta in un foglio di variabili globali mantenendo la stessa nomenclatura usata prima per descrivere le specifiche di controllo.

- N_I: BOOL Motore per la movimentazione a nord del nastro d'ingresso;
- N_1A: BOOL Motore per la movimentazione a nord del primo nastro dell'uscita A;
- N_2A: BOOL Motore per la movimentazione a nord del secondo nastro dell'uscita A;
- N_1B: BOOL Motore per la movimentazione a nord del primo nastro dell'uscita B;
- N_2B: BOOL Motore per la movimentazione a nord del secondo nastro dell'uscita B;
- SH_N: BOOL Motore per la movimentazione a nord del nastro della navetta ;
- SH_S: BOOL Motore per la movimentazione verso sud del nastro della navetta ;
- SH_E: BOOL Motore per la movimentazione verso est della navetta;

- SH_W: BOOL Motore per la movimentazione verso ovest della navetta;
- N_RA: BOOL Motore per la movimentazione verso nord del nastro della rulliera di recupero A;
- S_RA: BOOL Motore per la movimentazione verso sud del nastro del rullo di recupero A;
- N_RB: BOOL Motore per la movimentazione verso nord del nastro della rulliera di recupero B;
- S_RB: BOOL Motore per la movimentazione verso sud del nastro della rulliera di recupero ;
- F_I: BOOL Fotocellula posta sulla rulliera d'ingresso;
- F_1A: BOOL Fotocellula posta sulla prima rulliera dell'uscita A;
- F_2A: BOOL Fotocellula posta sulla seconda rulliera dell'uscita A;
- F_1B: BOOL Fotocellula posta sulla prima rulliera dell'uscita B;
- F_2B: BOOL Fotocellula posta sulla seconda rulliera dell'uscita B;
- F_SHN: BOOL Fotocellula posta sulla parte nord della navetta;
- F_SHS: BOOL Fotocellula posta sulla parte sud della navetta;

- F_RAN: BOOL Fotocellula posta sulla parte nord della rulliera di recupero A;
- F_RAS: BOOL Fotocellula posta sulla parte sud della rulliera di recupero A;
- F_RBN: BOOL Fotocellula posta sulla parte nord della rulliera di recupero B;
- F_RBS: BOOL Fotocellula posta sulla parte sud della rulliera di recupero A;
- POS: INT Variabile che individua istante per istante la posizione della navetta;
- DESTINATION: BOOL Variabile che si interessa di capire se il prodotto dev'essere consegnato verso l'uscita A o verso l'uscita B;
- NEW_ARRIVAL: BOOL Variabile segnalatrice della richiesta da parte del sistema esterno.

Si nota che le variabili sono tutte dichiarate BOOL, eccezion fatta per la variabile POS che è definita INT, in quanto questa assume valori che possono andare da 1 a 3, in particolare vale 1 se il carrello si trova in prossimità della rulliera d'ingresso, vale 2 se si trova in corrispondenza dell'uscita A e vale 3 se si trova in corrispondenza dell'uscita B.

Per la sola simulazione sono state aggiunte ulteriori 4 variabili:

- CONSEGNA_PACCO_A: BOOL Variabile indicatrice della rimozione di un prodotto dall' uscita A;

- CONSEGNA_PACCO_B: BOOL Variabile indicatrice della rimozione di un prodotto dall'uscita B;
- CONSEGNA: BOOL Variabile indicatrice dell'arrivo di un prodotto sull'ingresso;
- AVVIO: BOOL Variabile che abilita la richiesta.

2.2 Organizzazione del Codice

Tutto il codice è stato realizzato con un approccio modulare, questo per rendere tutta la logica estendibile a possibili modifiche o ampliamenti dell'impianto stesso, ad esempio, con questo approccio sarà semplice aggiungere altre uscite o altri ingressi senza fare grosse modifiche al codice.

I moduli sono stati definiti su Codesys come programmi POU a se stanti e vengono attivati o in base allo stato delle variabili o in base allo stato in cui versano altre determinate POU, così facendo si è creato un approccio tipo master-slave, che fa sì che determinati moduli di programma si attivino solo se un altro modulo gli dà l'abilitazione a scattare.

La maggior parte della logica di controllo è programmata in SFC eccezion fatta per un modulo e qualche transizione scritta in Ladder (LD) o in Testo Strutturato (ST).

Inoltre per evitare conflitti, tutti i moduli del programma che si trovavano ad abilitare le stesse variabili, sono stati implementati in modo da lavorare su variabili d'appoggio.

I conflitti tra variabili nascono nel momento in cui 2 o più moduli di programma devono andare a scrivere sulla stessa variabile, anche se questa scrittura non risulta contemporanea.

Può succedere che mentre un SFC cerca di forzare il valore della variabile a TRUE, l'altro SFC tenti di forzare quella variabile a FALSE, questo accade perché durante il ciclo di scansione dell'algoritmo tutte le variabili su cui l'SFC andrà a lavorare vengono implicitamente messe a FALSE, quindi il secondo SFC potrebbe impostarmi il valore della variabile a FALSE anche se questo non è ancora partito e non è ancora scattata la fase che va a lavorare su quella variabile.

Per ovviare a ciò è stato realizzato un modulo POU in linguaggio Ladder, nel quale si sono implementate delle OR in modo da mettere in parallelo tutti i contatti relativi alle variabili d'appoggio che fanno capo alla stessa variabile vera. In questo modo l'uscita vera risulta abilitata quando almeno una delle variabili d'appoggio viene attivata dal rispettivo SFC.

Il codice relativo a questa POU sarà mostrato nei prossimi capitoli, in figura sono mostrate le POU della logica di controllo e della simulazione con le relative chiamate.

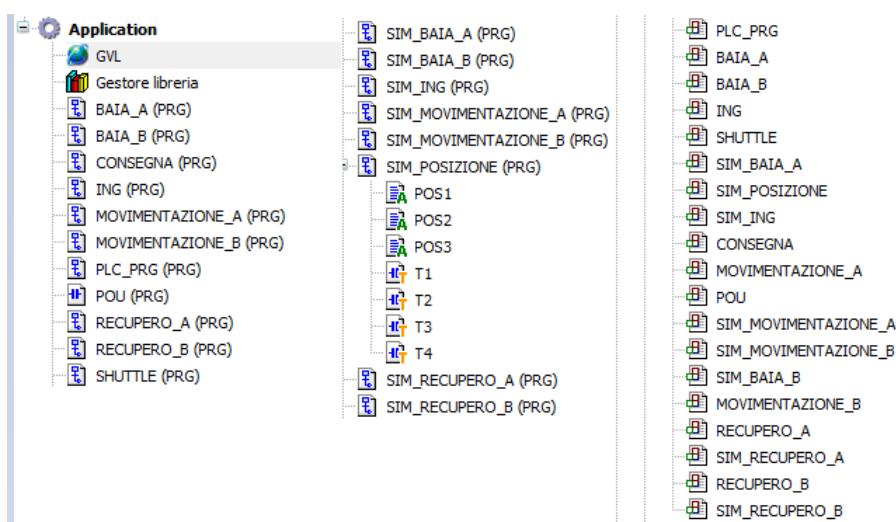


Figura 2.1: POU e chiamate

Capitolo 3

Logica di controllo

In questo capitolo verranno presentati i vari moduli di programma col quale si è costruita la logica di controllo.

3.1 Controllore di posizione

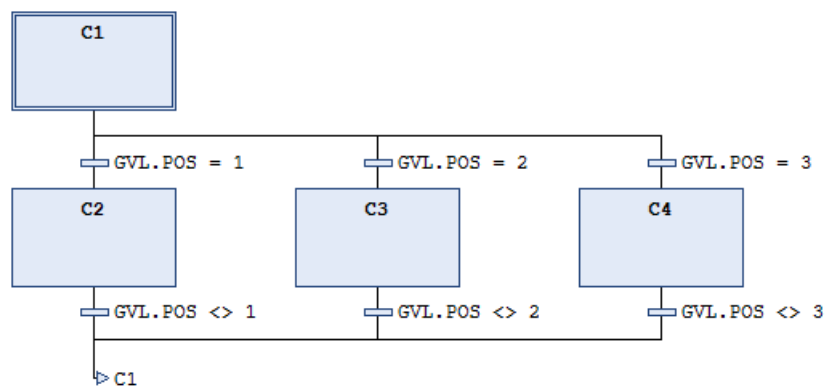


Figura 3.1: Controllore di posizione

Il controllore di posizione è l'SFC che si interessa esclusivamente di leggere la posizione in cui si trova la navetta e abilitare la relativa fase. In particolare se la navetta si trova in prossimità dell'ingresso (POS=1) scatterà la transizione che abiliterà C2, se invece la navetta si trova in prossimità dell'uscita A (POS=2) risulterà vera la condizione che abiliterà C3 oppure se la navetta è posizionata sull'uscita B (POS=3) risulterà verificata la condizione che abiliterà C4.

Così facendo, grazie al controllore di posizione gli altri SFC non andranno a leggere direttamente il valore della variabile POS, ma potranno

andare a vedere in quale stato si trova il controllore di posizione e da questo dedurre in che posizione si trova la navetta.

3.2 Baie di uscita

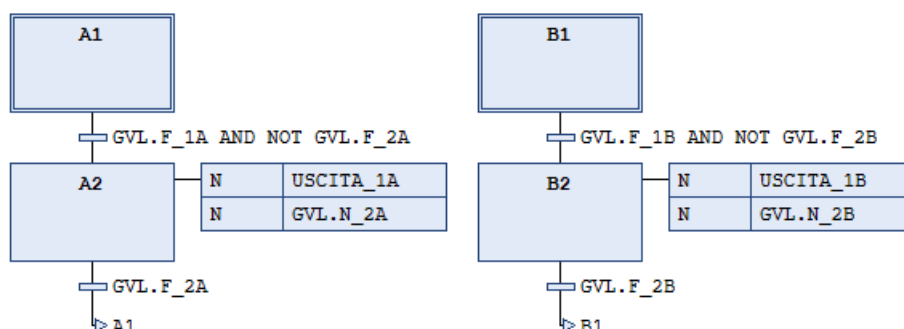


Figura 3.2: Baie di uscita

Quando sulla rulleira 1 di una delle due uscite viene posto un prodotto, questo dev'essere spinto fino alla rulliera 2, in figura 3.2 sono stati riportati gli SFC che si interessano di svolgere questa movimentazione.

Quando il prodotto arriva sulla rulliera di uscita A questo verrà rilevato dalla fotocellula F_1A e se allo stesso tempo la fotocellula F_2A del secondo rullo risulta FALSE, allora potrà scattare la prima transizione dell'SFC di sinistra che andrà ad abilitare i motori per spingere verso nord il prodotto, la movimentazione sarà arrestata non appena la fotocellula F_2A rileverà la presenza del pacco.

Se invece il prodotto viene consegnato sulla rulliera di uscita B sarà l'SFC di destra a rilevare il prodotto e movimentarlo se necessario, in maniera analoga a come descritto prima per la baia A.

L'attivazione dei motori dei motori delle prime rulliere è stata effettuata tramite una variabile d'appoggio (USCITA_1A, USCITA_1B),

questo perché sulla variabile scrivono diversi SFC, mentre il motore delle seconde rulliere viene attivato direttamente, visto che questo SFC è l'unico ad utilizzarla.

3.3 Baia d'ingresso

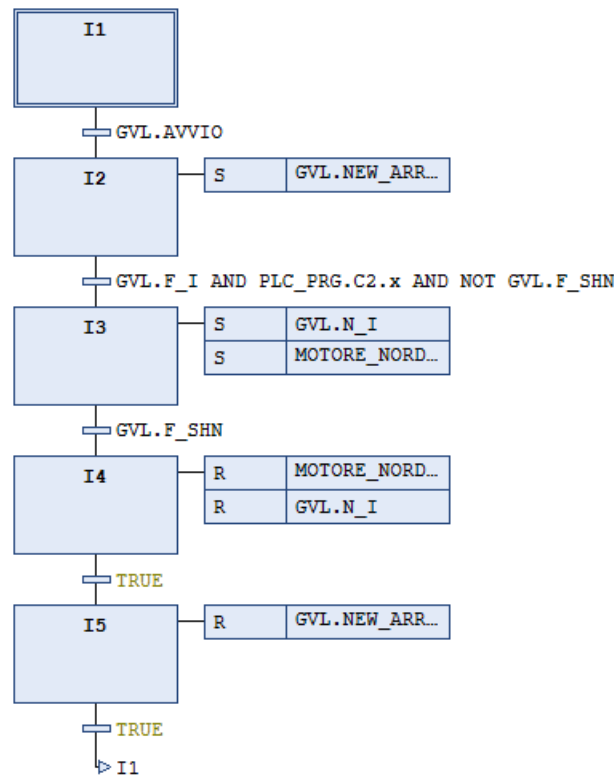


Figura 3.3: Baia d'ingresso

Una volta avviato il sistema, viene effettuata la richiesta di carico, ciò comporta l'attivazione di `NEW_ARRIVAL` (variabile segnalatrice della richiesta). A questo punto la navetta si sposta verso ovest fino a posizionarsi in corrispondenza dell'ingresso, risulterà attiva C2 dell'SFC in figura 3.1 e se è presente il prodotto da caricare, potrà

avvenire la movimentazione del carico dall'ingresso alla navetta. Alla fine della movimentazione la navetta risulta piena, si attiva di conseguenza la sua fotocellula e l'SFC spegnerà i motori che hanno compiuto la movimentazione disattivando la variabile NEW_ARRIVAL. Anche qui si è fatto uso della variabile d'appoggio esclusivamente per il nastro della navetta.

3.4 Navetta

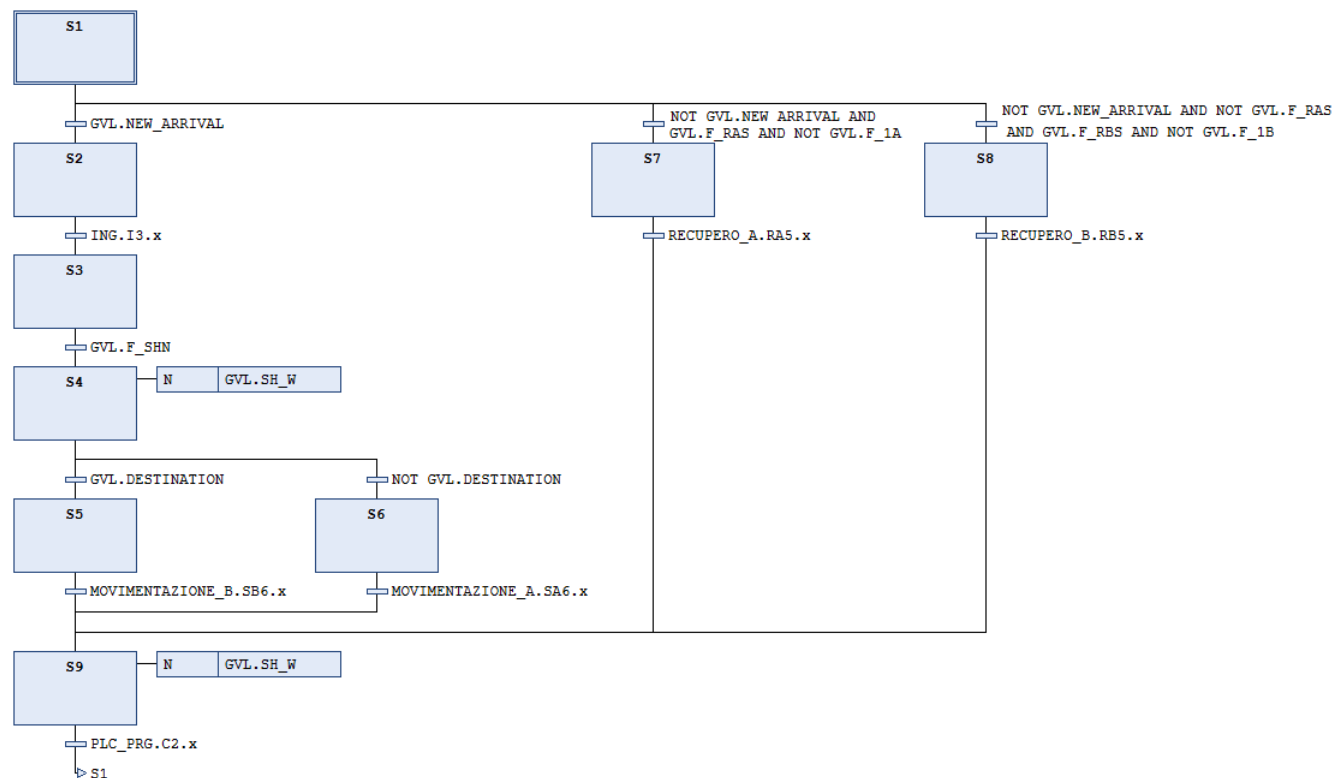


Figura 3.4: Navetta

Il principale compito di questo SFC è quello di andare ad attivare tutti gli altri che si interessano delle varie movimentazioni, facendo da

master per gli SFC in figura 3.5 e 3.6. Se la navetta viene richiesta all'ingresso ($\text{NEW_ARRIVAL} = \text{TRUE}$) l'SFC entra nel primo ramo, dopodiché in base a dove è destinato il prodotto si attiveranno le fasi: S5 se il prodotto deve arrivare in B ($\text{DESTINATION} = \text{TRUE}$), S6 se il prodotto deve arrivare in A ($\text{DESTINATION} = \text{FALSE}$).

All'attivazione di S5 corrisponderà l'attivazione dell'SFC che si occupa di movimentare e consegnare il prodotto verso l'uscita B e analogamente all'attivazione di S6 corrisponderà l'attivazione dell'SFC che si occupa di movimentare e consegnare il pacco verso l'uscita A.

Se invece non ho una richiesta da parte del sistema d'ingresso, ma ho una delle due rulliere di recupero piene, la navetta deve spostarsi per andarle a scaricare: Se ad essere piena è la rulliera di recupero A sarà vera la fotocellula F_RAS e l'SFC abiliterà la fase S7 a cui corrisponde l'attivazione dell'SFC che si interessa della movimentazione con la rulliera di recupero A, se ad essere piena è invece la rulliera di recupero B risulterà vera F_RBS e l'SFC abiliterà la fase S8 a cui corrisponde l'attivazione dell'SFC che adopera la movimentazione con la rulliera di recupero B.

Le transizioni sono state scritte in modo da andare e svuotare prima la baia di recupero A nel caso in cui risultino entrambe piene.

3.5 Movimentazioni A e B

Questi sono gli SFC che si interessano di movimentare i prodotti dalla navetta alle baie di uscita se sono vuote o alle rispettive baie di recupero se le uscite risultano piene.

Il modulo per la movimentazione verso A si attiva quando risulta vera la fase S6 dell'SFC in figura 3.4 durante la quale risulterà vera la prima transizione del programma che farà avviare il motore per andare

verso est. A questo punto se l'uscita A risulta libera, il prodotto viene movimentato sulla rulliera di uscita corrispondente, altrimenti i motori spingeranno il prodotto verso sud dove è situata la rulliera di recupero. Il modulo per la movimentazione verso B funziona in maniera analoga a quello della movimentazione verso A, ma si attiva quando risulta vera la fase S5 dell' SFC in figura 3.4 e movimenta il prodotto verso la rulliera B o la rispettiva baia di recupero.

Anche per questo SFC sono state utilizzate le variabili d'appoggio per tutte quelle variabili condivise da più programmi.

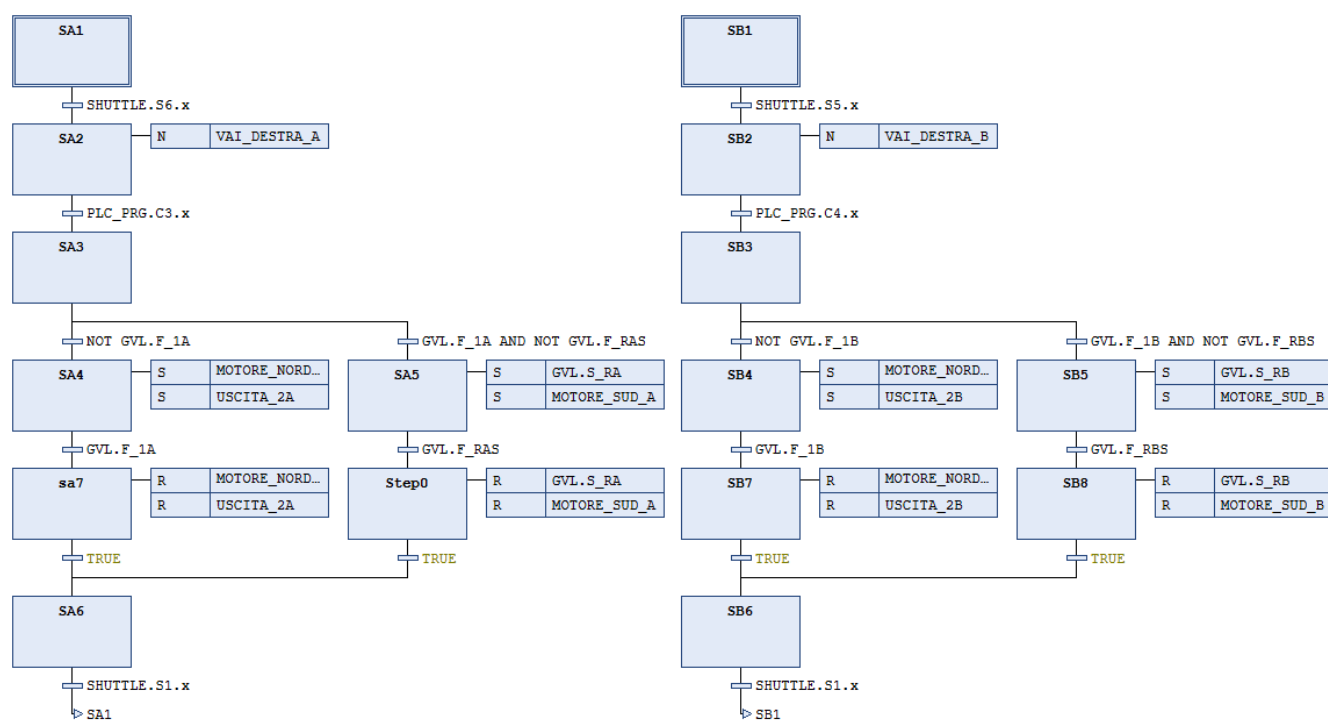


Figura 3.5: Movimentazione navetta-uscita A e navetta-uscita B

3.6 Baie di recupero A e B

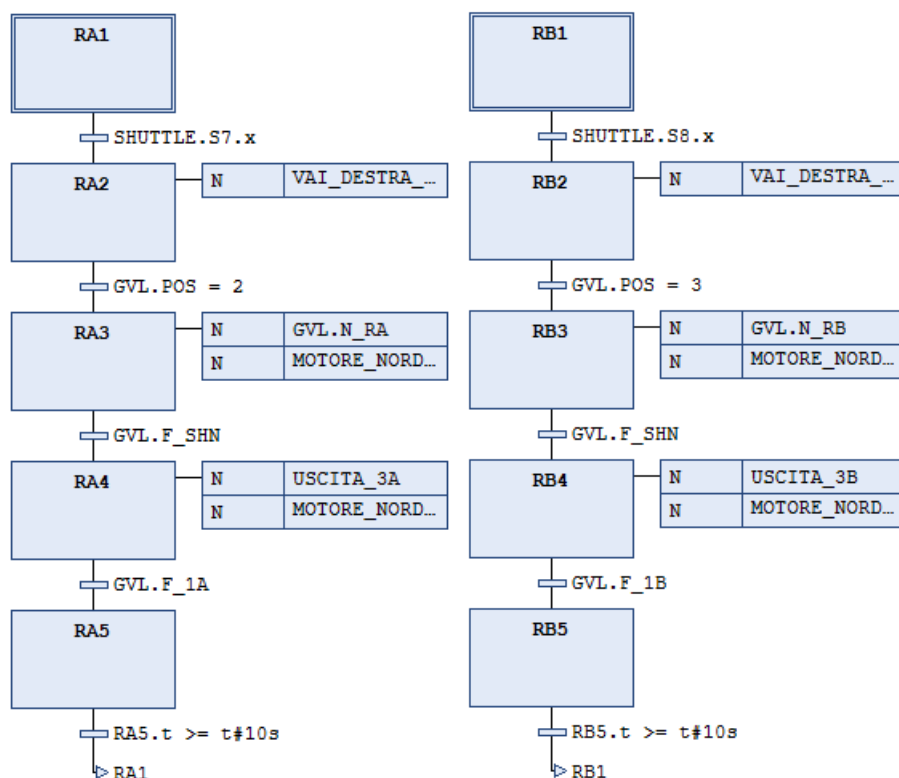


Figura 3.6: Movimentazione di recupero baia A e baia B

Quando le rulliere di recupero sono piene vanno svuotate non appena la rispettiva rulliera di uscita risulta libera.

In particolare se va svuotata la quella di recupero A risulta attiva la fase S7 dell' SFC in figura 3.4. Di conseguenza l' SFC relativo alla rulliera di recupero A potrà movimentare il carrello e prelevare il pacco da consegnare sull'uscita libera.

Se invece va svuotata quella di recupero B, risulta vera la fase S8 di 3.4 e sarà l'SFC di destra a scattare e a chiamare la navetta per prelevare il pacco.

3.7 Coordinamento delle variabili

Le variabili d'appoggio della logica di controllo sono state legate alle variabili globali attraverso il modulo Ladder mostrato in figura.

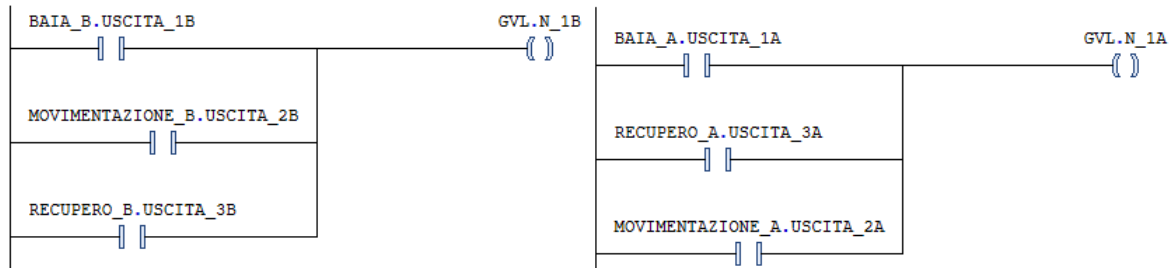


Figura 3.7: Variabili relative alla movimentazione delle baie A e B

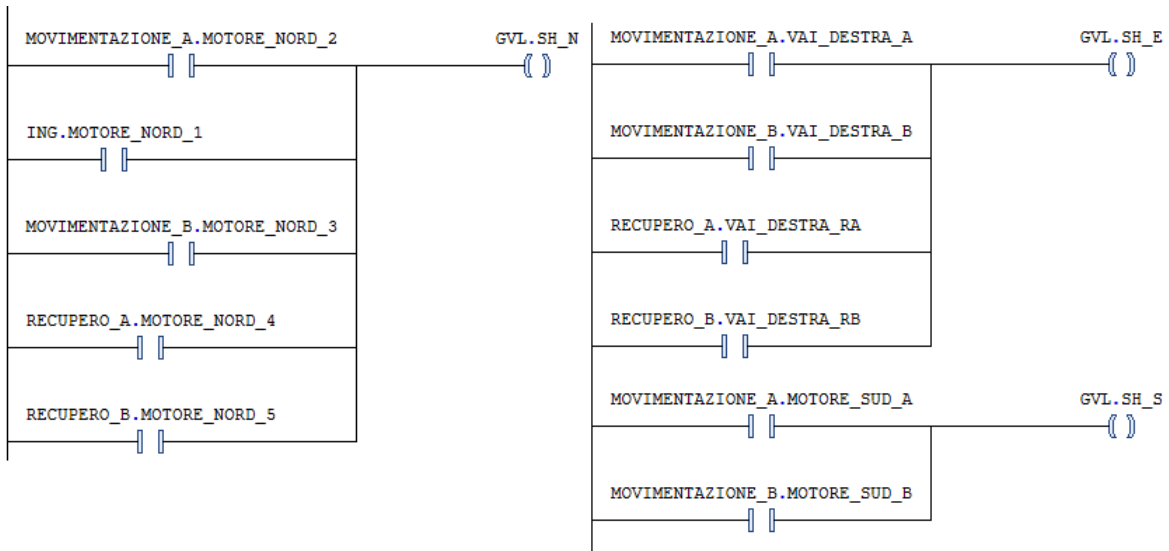


Figura 3.8: Variabili relative alla navetta

Capitolo 4

Logica di simulazione

La logica di simulazione è stata implementata come *Digital Twin* del impianto, ovvero come programma digitale in grado di fare le veci dell'impianto, leggendo le variabili indicatrici dello stato dei motori e scrivendo su quelle delle fotocellule.

Nei prossimi paragrafi saranno mostrati i moduli di programma con i quali è stato costruito il simulatore ove si nota che le variabili sono usate in modo duale: sulle transizioni ho i motori mentre nelle azioni ho le fotocellule.

4.1 Consegna pacco

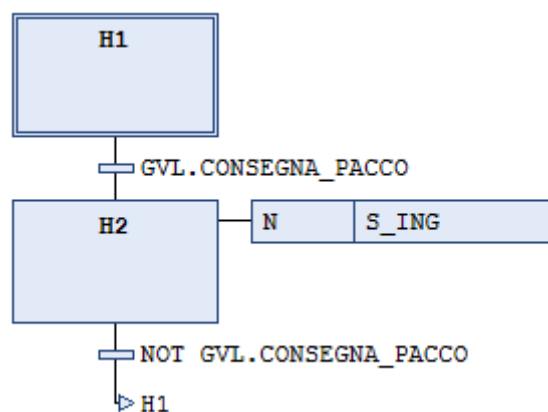


Figura 4.1: Consegna

Questo SFC si interessa semplicemente di rilevare se è stato consegnato un prodotto sulla rulliera di ingresso e attivarne la fotocellula.

4.2 Simulatore di posizione carrello

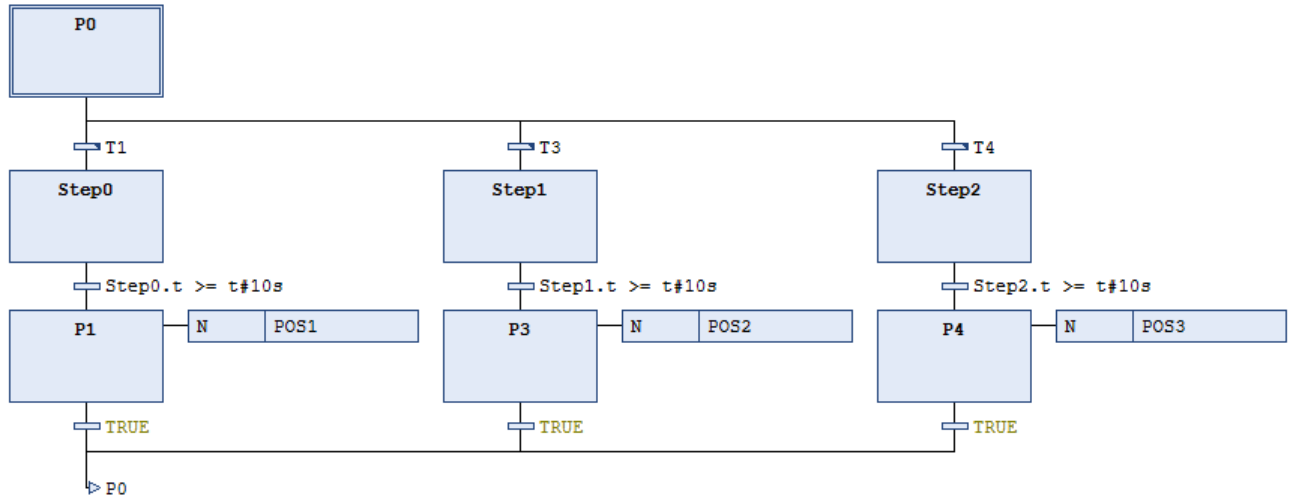


Figura 4.2: Simulatore di posizione

Il simulatore di posizione si interessa di scrivere sulla variabile di posizione per simulare il movimento del carrello verso est e verso ovest indicando al sensore dove è diretto il carrello.

Le transizioni sono scritte in Ladder e sono responsabili di abilitare la rispettiva fase in base alla movimentazione e alle richieste dei rulli. In particolare ho:

- T1 è definita come la OR tra la fase S9 dell'SFC navetta e la AND tra NEW_ARRIVAL e SH_W, questo è il caso in cui il carrello si sta muovendo verso ovest e ho la chiamata da parte dell'ingresso, cioè quando il carrello si sta movimentando verso la posizione 1;
- T3 è definita come la AND di SH_E e la OR tra F_RAS e NOT DESTINATION e rappresenta il caso in cui la navetta si sta

muovendo verso est da posizione 1 a posizione 2 per consegnare il prodotto all'uscita A o per andare a prelevare un prodotto dalla rulliera di recupero A;

- T4 è definita come la AND tra SH_E e la OR tra DESTINATION e la AND tra F_RBS e NOT F_RAS ed è infine il caso in cui il carrello si muove verso la posizione 3 per consegnare un prodotto all'uscita B o per prelevare un prodotto dalla rulliera di recupero B.

Le azioni invece sono state scritte in testo strutturato e non fanno altro che impostare la variabile POS in base a quale transizione è scattata e quindi a quale fase risulta attiva. POS1 imposta la variabile POS=1 e così via per le altre.

4.3 Simulatore delle baie di uscita A e B

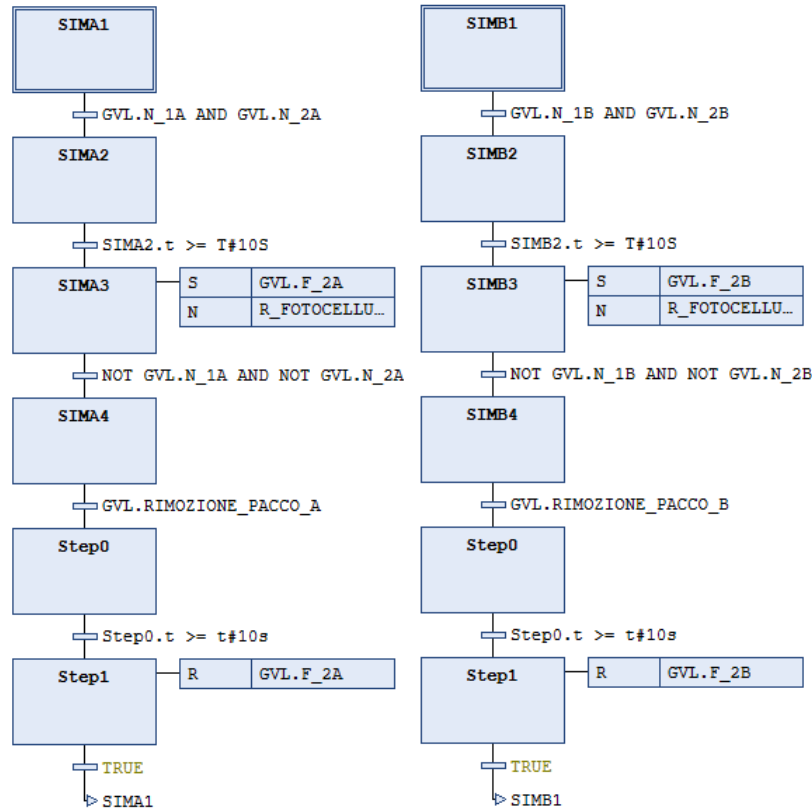


Figura 4.3: Simulatore della Baie di uscita A e B

Quando i rulli si attivano per spingere i prodotti dalla prima alla seconda rulliera di uscita i due SFC in figura rilevano questa movimentazione e si attivano per impostare la fotocellula della seconda rulliera di uscita e disattivare quello della prima. Inoltre si preoccupano anche di andare disattivare la fotocellula della seconda rulliera quando il sistema esterno va a prelevare il prodotto.

Se la movimentazione interessa la baia di uscita A scatterà l'SFC di sinistra altrimenti se la baia è interessata è la B scatterà quello di destra.

4.4 Simulatore navetta-baie d'uscita

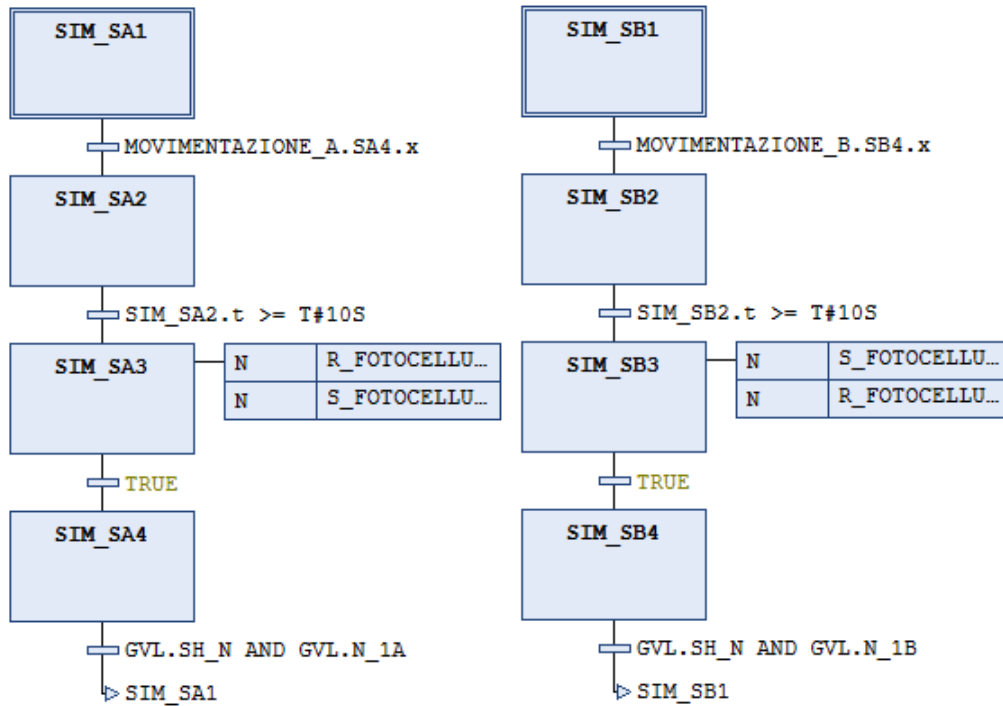


Figura 4.4: Simulatore movimentazioni navetta-uscite

I due SFC in figura si comportano in modo da simulare la movimentazione che avviene tra la navetta e le rulliere di uscita.

In particolare quando la navetta attiva i motori per scaricare il prodotto sulla prima rulliera di uscita l'SFC rileva questa movimentazione e va ad attivare la fotocellula della rulliera e a disattivare quella della navetta.

Se la movimentazione avviene tra Baia A e navetta si attiva l'SFC di sinistra, in caso contrario se la movimentazione avviene tra Baia B e navetta si attiva l'SFC di destra.

4.5 Simulatore d'ingresso prodotti

In risposta alla movimentazione per lo scambio di prodotti tra ingresso e navetta, l'SFC in figura va a leggere lo stato dei motori per percepire che il prodotto è stato ceduto dall'ingresso alla navetta.

A fine movimentazione l'SFC andrà ad attivare la fotocellula della navetta e a disattivare quella dell'ingresso.

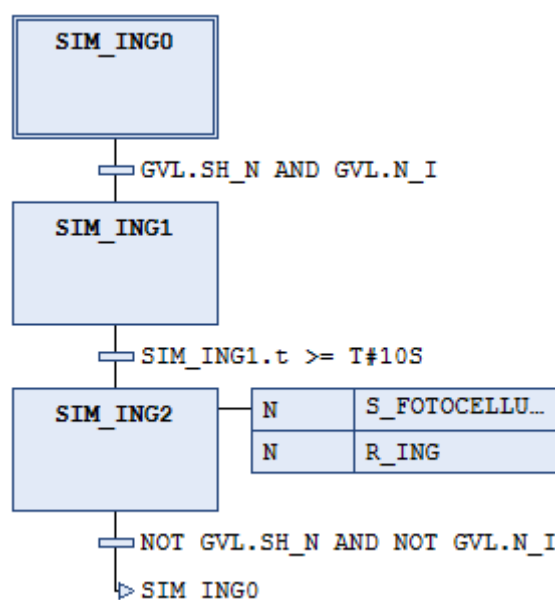


Figura 4.5: Simulatore d'ingresso prodotti

4.6 Simulatore baie di recupero

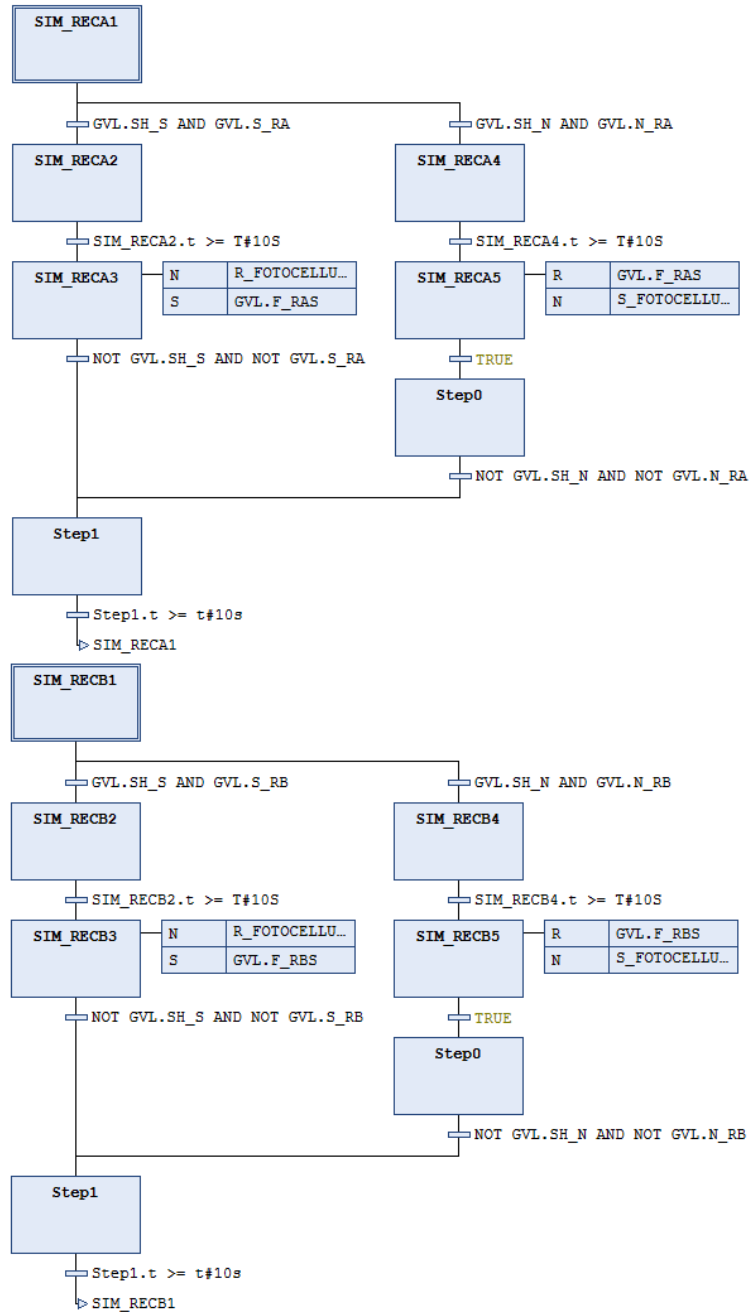


Figura 4.6: Simulatore Baie di recupero

In base alla movimentazione dei motori il simulatore in figura va a impostare le relative fotocellule.

Se l'SFC percepisce una movimentazione da navetta a rulliera di recupero andrà a disattivare la fotocellula della navetta per attivare quella della baia di recupero, a simulare che il prodotto è stato ceduto dalla navetta al rullo di recupero.

In caso contrario se la movimentazione avviene dalla rulliera di recupero alla navetta l'SFC andrà ad attivare la fotocellula della navetta e a disattivare quella della baia di recupero.

4.7 Coordinamento variabili

Così come è stato fatto per la logica di controllo, anche per la simulazione le variabili d'appoggio sono state legate alle variabili globali attraverso il modulo in Ladder.

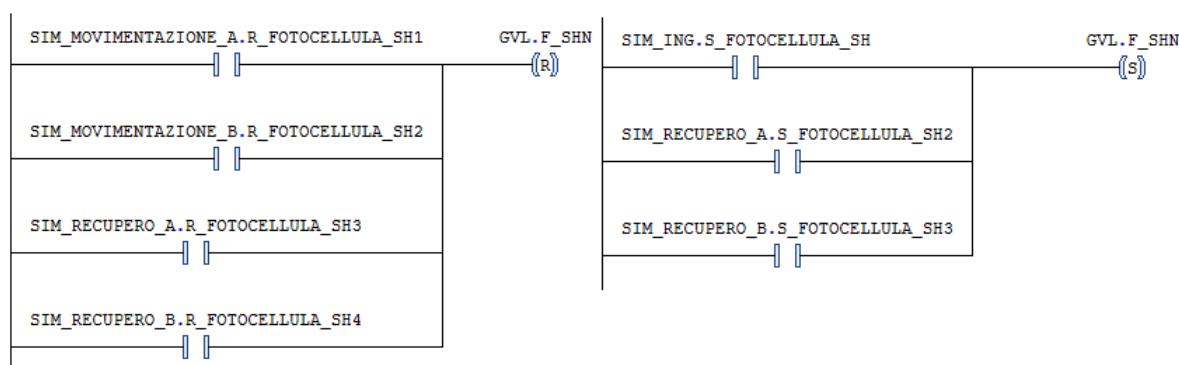


Figura 4.7: Variabili relative alla navetta

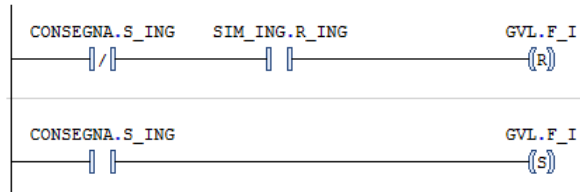


Figura 4.8: Variabili relative all'ingresso

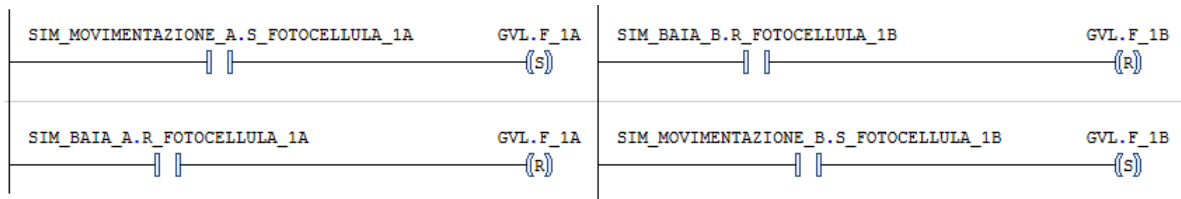


Figura 4.9: Variabili relative alle baie d'uscita

Per quanto riguarda le variabili della simulazione è stato usato un approccio Set-Reset per poter simulare al meglio il funzionamento delle fotocellule e evitare ogni tipo di conflitto tra le variabili delle fotocellule.

Capitolo 5

Validazione della logica

Il funzionamento del programma è stato validato sempre nell'ambiente di sviluppo Codesys facendo uso dei tool di visualizzazione che il software mette a disposizione.

5.1 Validazione in Codesys

La realizzazione di un simulatore in Codesys ha permesso di replicare il comportamento dell'impianto al livello di dettaglio richiesto per la validazione della logica di controllo.

Grazie al codice di simulazione presentato al capitolo precedente, per esempio, quando la logica di controllo aziona un'uscita come un motore, la simulazione risponderà di conseguenza, attivando la relativa uscita (fotocellula).

Così facendo si crea una reazione a catena in cui ad ogni azione della logica di controllo corrisponde una reazione della simulazione e ogni reazione della simulazione viene di conseguenza percepita dalla logica di controllo come ingresso abilitante che porterà poi il sistema in un nuovo stato.

Una prima validazione può essere fatta andando a visualizzare durante la simulazione lo stato delle variabili istante per istante.

Una volta lanciata la simulazione, dal foglio delle variabili si può visualizzare lo stato di ogni singola variabile istante per istante.

Così facendo si può monitorare l'andamento delle variabili e capire dove si trova il prodotto in base allo stato delle fotocellule, quali motori si

stanno movimentando e così via, in seguito è mostrato come esempio l'andamento delle variabili per una movimentazione dalla baia d'ingresso fino all'uscita A.

Sistema inizialmente fermo con carrello in corrispondenza dell'ingresso.






| | | |
|---|------|-------|
|  POS | INT | 1 |
|  N_I | BOOL | FALSE |
|  SH_N | BOOL | FALSE |
|  F_SHN | BOOL | FALSE |
|  F_I | BOOL | FALSE |

Figura 5.1: Sistema Fermo

Consegna del prodotto e movimentazione tra baia di ingresso e navetta, azione segnalata dall'attivazione della fotocellula dell'ingresso e azionamento dei motori SH_N e N_I.




| | | |
|--|------|------|
|  N_I | BOOL | TRUE |
|  SH_N | BOOL | TRUE |
|  F_I | BOOL | TRUE |

Figura 5.2: Scambio tra ingresso e navetta

Fine dello scambio ingresso-navetta e inizio movimentazione verso est per consegnare il prodotto all'uscita A.






| | | |
|---|------|-------|
|  SH_E | BOOL | TRUE |
|  N_I | BOOL | FALSE |
|  SH_N | BOOL | FALSE |
|  F_SHN | BOOL | TRUE |
|  F_I | BOOL | FALSE |

Figura 5.3: Movimentazione verso A

Carrello posizionato in prossimità della rulliera di uscita A per effettuare lo scambio, ho quindi il carrello in POS 2 e i motori attivi per la movimentazione.






| | | |
|---|------|-------|
|  POS | INT | 2 |
|  SH_E | BOOL | FALSE |
|  N_1A | BOOL | TRUE |
|  F_SHN | BOOL | TRUE |
|  SH_N | BOOL | TRUE |

Figura 5.4: Scambio con uscita A

A fine della movimentazione il carrello tornerà a sinistra e sarà poi la rulliera di uscita A a interessarsi di continuare a movimentare il prodotto verso nord.

5.2 Simulazione grafica: HMI

Al fine di creare un mezzo grafico per visualizzare il funzionamento dell'impianto è stata creata un'opportuna interfaccia uomo macchina (Human-Machine-Interface, HMI), in grado di visualizzare in maniera semplificata le movimentazioni dei motori e lo stato delle fotocellule. In particolare si è fatto uso della sezione visualization di Codesys per schematizzare l'impianto e associare ad ogni variabile una rappresentazione grafica.[1]

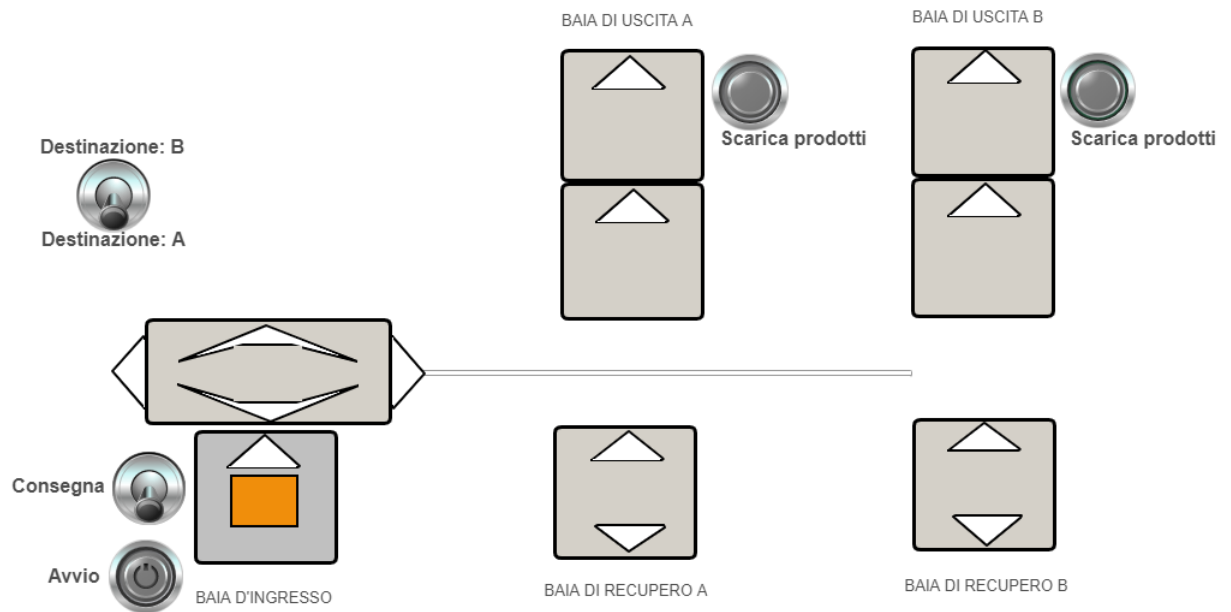


Figura 5.5: Scambio con uscita A

- I sistemi esterni che si interessano di consegnare e scaricare i prodotti sono stati rappresentati come interruttori o pulsanti,

che all'attivazione andranno rispettivamente a caricare prodotti sull'ingresso o a scaricare prodotti dall'uscita;

- L'input relativo alla destinazione del prodotto è stato anch'esso rappresentato tramite un interruttore che può essere commutato per andare verso l'uscita A o verso l'uscita B;
- La richiesta che va a chiamare la navetta per farle prelevare il prodotto consegnato in ingresso è rappresentata dal pulsante avvio;
- Ogni motore è rappresentato ponendo una frecce sul relativo rullo, orientatole nel verso in cui il motore abilita la movimentazione, quando il motore è abilitato la corrispondente freccia si colorerà di verde;
- Lo stato delle fotocellule viene sfruttato per tracciare i movimenti del prodotto in modo da far comparire l'icona di un pacco quando le fotocellule rilevano la presenza del prodotto;
- Il movimento della navetta è rappresentato dalla traslazione verso sinistra e destra del quadrato in figura dotato di 4 frecce e di un cursore in grado di muovere la figura così come fa la navetta.

In figura 5.5 è rappresentato il caso in cui ho il sistema fermo con un prodotto in ingresso pronto per essere prelevato, di seguito sono riportate altre casistiche per mostrare meglio il funzionamento del Digital Twin.

5.3 Esempi di simulazione

Movimentazione tra ingresso e navetta.

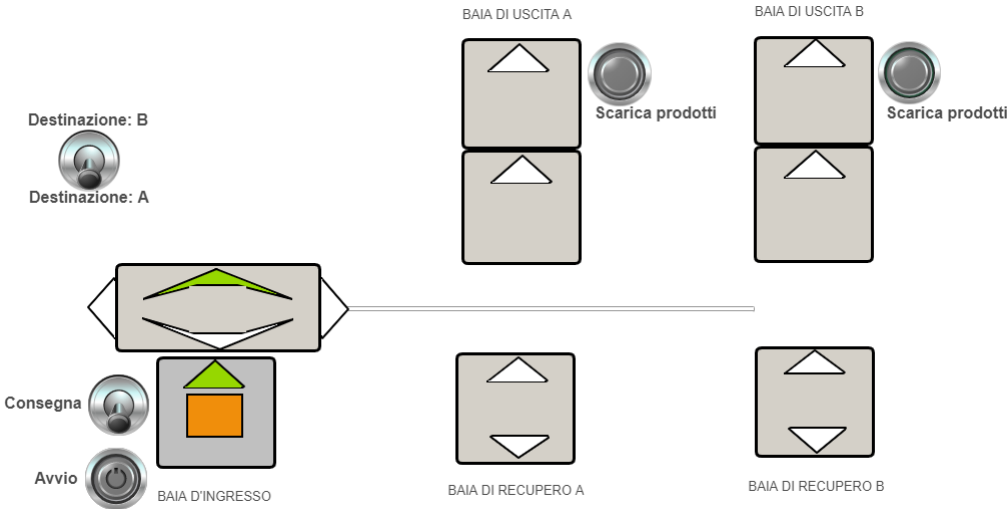


Figura 5.6: Scambio ingresso-navetta

Consegna del prodotto all'uscita A.

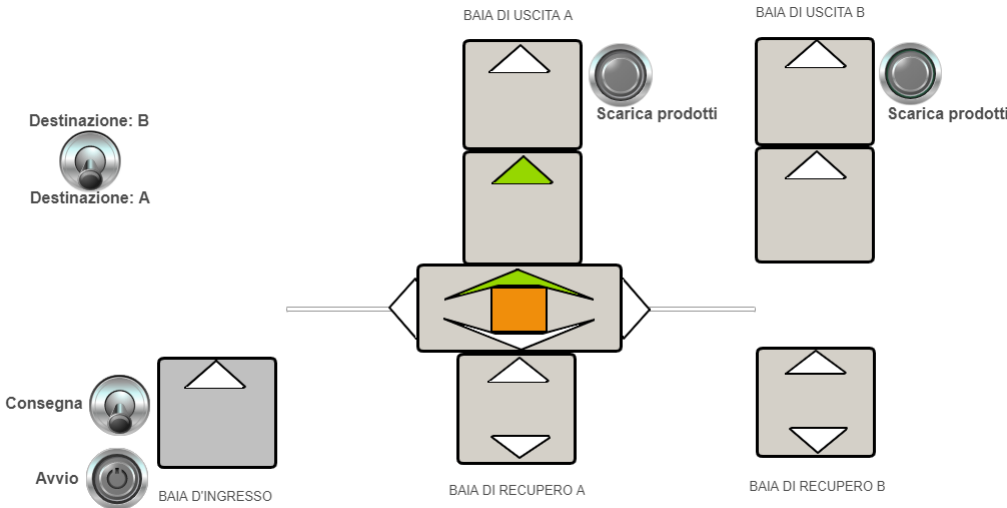


Figura 5.7: Scambio navetta-uscita A

Seconda consegna del prodotto all'uscita B.

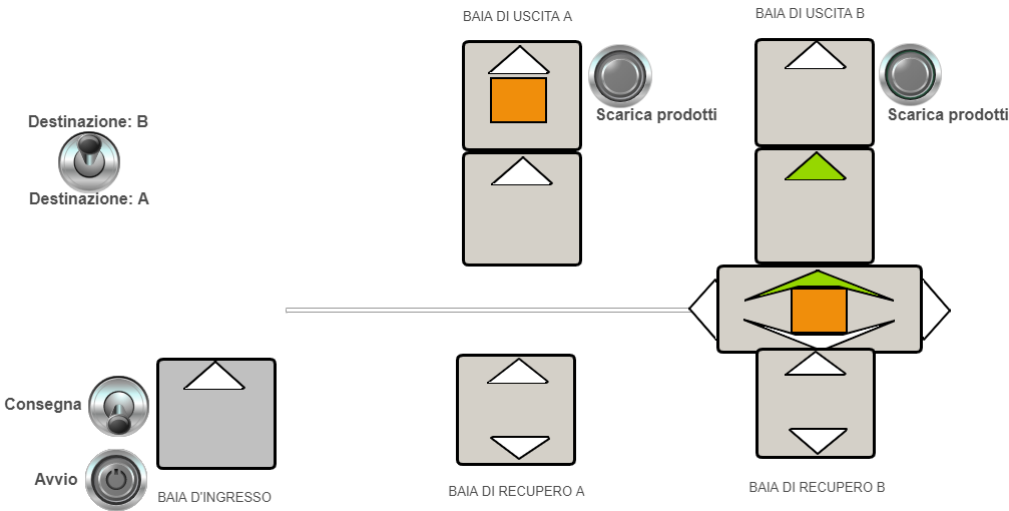


Figura 5.8: Scambio navetta-uscita B

Consegna del prodotto alla baia di recupero A quando la la relativa uscita è satura.

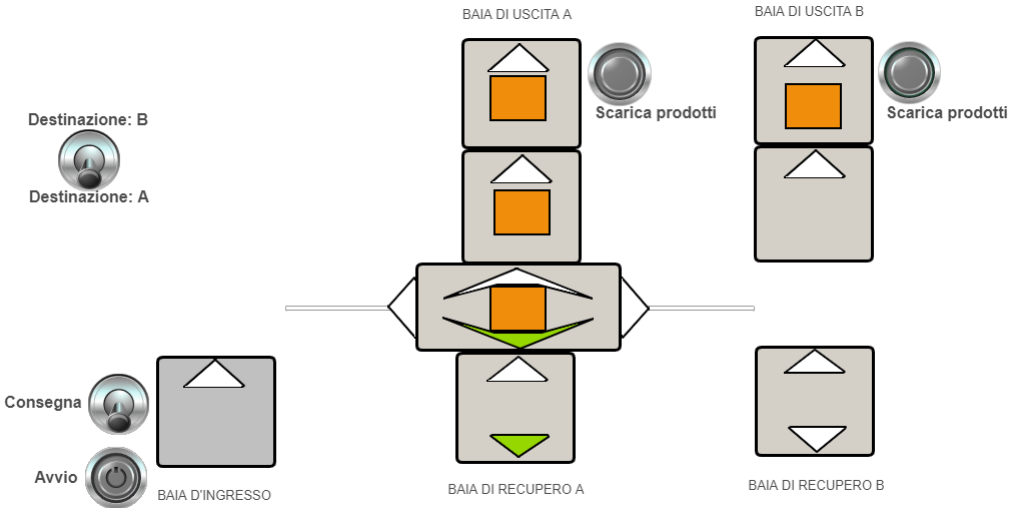


Figura 5.9: Scambio navetta-baia recupero A

Prelievo del prodotto dalla baia di recupero A nell'ipotesi che il sistema d'uscita abbia svuotato un posto dalla relativa uscita.

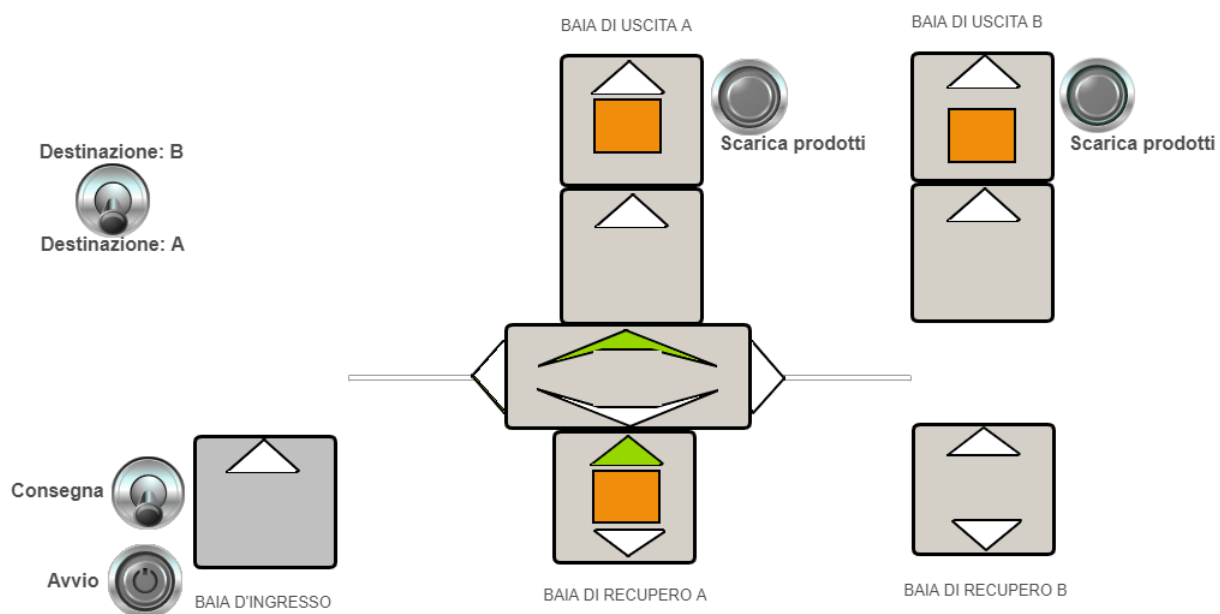


Figura 5.10: Prelievo dalla baia di recupero A

Capitolo 6

Conclusioni

Un moderno sistema di automazione può essere schematizzato come un insieme di dispositivi, tipicamente calcolatori, che si interfacciano tra di loro con lo scopo di realizzare determinate applicazioni per soddisfare determinati compiti.

Per adempiere a questi compiti ogni calcolatore va programmato in uno specifico linguaggio di programmazione ed è per questo che la realizzazione del software di controllo è una parte fondamentale del processo di automazione industriale.

Un importante considerazione da fare è che la necessità di realizzare un software per un impianto di automazione industriale può occorrere in qualsiasi momento.

Ciò che si intende è che la necessità di realizzare un software di controllo per un impianto industriale può occorrere sia in fase di progetto quando non si ha nulla di già costruito a livello hardware, ma va tutto progettato da zero a partire dalla logica di controllo per soddisfare delle specifiche commissionate da un eventuale cliente.

Oppure un'altra casistica che si può presentare è che la realizzazione di un software venga richiesta quando l'impianto a livello hardware esiste già, quindi bisogna realizzare un software che vada a soddisfare le specifiche andando a comandare tutti i dispositivi già esistenti a livello hardware.

Un'altra particolare casistica che si è osservata spesso in questo periodo è che il software di controllo venga richiesto per modificare impianti che già esistono e funzionano sia a livello hardware che software, ad esempio si pensi che ad inizio pandemia molte aziende hanno modifi-

cato le logiche di controllo degli impianti per modificare la loro linea di produzione per fornire prodotti utili ad arginare la situazione sanitaria corrente (mascherine, respiratori, filtri...), senza cambiare radicalmente l'hardware di questi impianti.

Oltre alla logica di controllo, spesso si sente il bisogno di realizzare anche una duale logica di simulazione per andare a validare il software di controllo.

Questo accade molto frequentemente, quando non si ha a disposizione un modello di impianto su cui andare a testare la logica che si è realizzata ed in questi casi software come Codesys si rivelano molto utili per la creazione di Digital Twin in grado di simulare l'impianto in modo da avere una piattaforma di test per andare a validare il codice.

In particolar modo, quando la logica di controllo risulta molto complessa, l'utilizzo di un simulatore per il test diventa indispensabile per andare a validare il corretto funzionamento di tutti i moduli del programma e per avere un interfaccia con cui l'operatore può interagire per monitorare l'evoluzione dell'impianto.

In definitiva con il crescente impiego di processi automatizzati, soprattutto in ambito industriale, l'importanza di sviluppare logiche di controllo efficienti e affidabili crescerà nel tempo e i Digital Twin ricopriranno un ruolo sempre più fondamentale nei processi di sviluppo.

Bibliografia

- [1] Tohid Alizadeh. Canale youtube.
<https://www.youtube.com/c/TohidAlizadeh>.
- [2] Codesys. Library documentation.
<https://help.codesys.com/webapp/documentation;product=LibDevSummary>.
- [3] P. Chiacchio e F. Basile. *Tecnologie Informatiche per l'Automazione*. McGraw-Hill, 2004.