Trofeo Smart Project

Portfolio progetti

OMRON EDUCATIONAL PROJECT

Trofeo Smart Project

Introduzione

Presentiamo in questa pubblicazione i dieci progetti finalisti dell'edizione 2021 del Trofeo Smart Project. I filmati e i programmi elaborati in Sysmac Studio di tutti i progetti sono consultabili e scaricabli dal sito industrial.omron.it previa registrazione come docente.

Il Trofeo Smart Project è una competizione che dà la possibilità a docenti e studenti di istituti tecnici , IPSIA e licei tecnologici di sfidarsi nella realizzazione di un progetto di automazione industriale. Giunto alla sua quattordicesima edizione, il Trofeo Smart Project Omron nasce con l'obiettivo di avvicinare le scuole tecniche e professionali al mondo dell'automazione industriale, in accordo con le direttive ministeriali che promuovono gli interventi di valorizzazione dell'istruzione e delle eccellenze.

L'iniziativa, patrocinata dal MI (Ministero dell'Istruzione) e sponsorizzata dalla fiera SPS Italia - Smart Production Solutions, è aperta agli studenti delle classi quarte e quinte delle scuole secondarie di secondo grado, supportati dal coordinamento dei rispettivi docenti. A partire dall'edizione **2020**, tutti i progetti di automazione industriale in concorso sono sviluppati utilizzando il software Sysmac Studio messo a disposizione gratuitamente per tutte le scuole che si iscrivono al concorso o che ospitano le Giornate Formative..

Dall'edizione **2021** sono stati inseriti due nuovi premi relativi al progetto con maggiori vocazioni ecologiche, in accordo all'agenda 2030, e al progetto con realizzazione pratica.
L'introduzione a settembre 2020 della **Omron Educational Smart Card** consente a tutte le scuole partecipanti di accumulare punti che, alla fine del triennio, si trasformeranno in possibilità di acquisto di prodotti laboratoriali.
Nel sito web industrial.omron.it vi è un'apposita sezione dove si trovano tutte le informazioni utili per l'iscrizione oltre ai progetti delle edizioni precedenti. Dal sito è anche possibile scaricare il Regolamento dello Smart Project.

Trofeo Smart Project

Come si articola

La partecipazione al Trofeo si articola in due fasi.

La **prima fase** prevede la scelta di un tema di automazione e la realizzazione del progetto presso la sede scolastica di appartenenza. Il docente coordinatore può coinvolgere in questa fase il numero di studenti che ritiene opportuno per formare il gruppo di lavoro. Interessante notare che l'attività preparatoria allo Smart Project può essere fatta rientrare nei *Percorsi per le competenze trasversali e per l'orientamento* (già Alternanza scuola-lavoro).

Gli elaborati sono quindi inviati a Omron che, mediante una commissione paritetica con il Ministero, seleziona i 10 progetti migliori. Vengono valutate, oltre alla correttezza esecutiva, anche le caratteristiche di completezza e di spendibilità del progetto in ambito didattico.

Parallelamente, tutte le coppie di studenti sostengono un **test di automazione**. Il risultato congiunto dei progetti e del test degli studenti determina l'accesso alla **fase finale** della manifestazione a Roma, presso la sede del MI.

Gli studenti sono chiamati a presentare il progetto realizzato davanti a una platea composta dai dirigenti del MI e di Omron oltre che da giornalisti del settore che provvederanno a valutarne esposizione ed efficacia comunicativa.

Sono premiati i primi 3 studenti e le prime 3 scuole classificate. In aggiunta ai due premi introdotti nell'edizione 2021, con l'edizione 2022 viene aggiunto un premio dedicato alla migliore **scuola esordiente.**

Le scuole finaliste non altrimenti premiate ricevono un kit di prodotti mentre tutte le scuole non finaliste che abbiano consegnato un progetto completo e funzionante ricevono dei punti spendibili in prodotti di automazione.

Una visita guidata alla scoperta dei tesori della città eterna completa il palinsesto delle due giornate romane, che vedono anche momenti rilassanti in compagnia della famosa cucina locale.

Sommario

Automatic Port

Il progetto nasce dall'idea di automatizzare lo smistamento dei container prima che il carico venga effettuato conseguendo maggiore efficienza

- Docente Coordinatore: Paolo Coppola
- Studenti: Abdelaziz Khater, Rajdeep Singh

IIS Benedetto Castelli - Brescia BS - Classe V

Ciclo di saldatura

Il sistema simula la saldatura su due lati di due boccole (la più piccola è detta anche tondino), poste in posizione ortogonale

- Docente Coordinatore: Angelo Pennuzzi
- Studenti: Simone Daraio, Fabio Olivieri, Mirco Sarli

G. Pentasuglia – Matera MT- Classe IV

Gestione di un impianto idroelettrico

l progetto consiste in un sistema in grado di controllare/gestire una centrale idroelettrica con turbine idrauliche.

- Docenti: Fabrizio Innocenzi, Paolo Scotton
- Studenti: Joel Cappellari, Alberto Franco

ITI Enrico Fermi – Bassano del Grappa VI - Classe V

Metal Plotter

Il Plotter, un incisore cartesiano per superfici metalliche, è stato ricablato e riprogrammato per essere controllato tramite un controllore industriale Omron.

- Docente Coordinatore: Giuliano Monti
- Studenti: Andrea Bendin, Giulio Gabbi, Matteo Marchioni

IITS Enrico Fermi di Modena MO - Classe V

Organic Jar Production System

La produzione di vasetti in bioplastica offre risparmio di risorse fossili possibilità di recupero alla fine del ciclo vitale del prodotto

- Docente Coordinatore: Roberto Biasci
- Studenti: Evis Daja, Angelo Guglielmi, Francesco Lettiero, Andrea Spadaccini, Thomas Tenerani, Giacomo Vaira

IIS Zaccagna di Carrara MS- Classe V

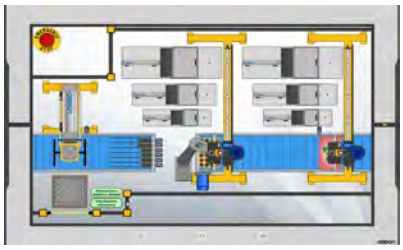
Sommario

Plant Logic Controller

P.L.C. è un progetto di serra 4.0 che nasce dall'idea di modernizzare e automatizzare il processo di crescita delle piante a livello industriale

- Docente Coordinatore: Sandro Gualdi
- Studenti: Gianluca Fregni, Cheng Hao Lin, Gabriele Torelli

ITI Leonardo Da Vinci di Carpi MO - Classi IV e V



Produzione e confezionamento cioccolatini

Il progetto è una linea di produzione di cioccolatini, dalla materia prima fino al confezionamento

- Docente coordinatore: Domenico Parisoli
- Studenti: Salvatore D'Amicis, Lorenzo Salerno, SimoneFerrari, Catalin Shopu, Adam Ibrahim, Alessandro Simonetti, Mattia Prandi, Matteo Truzzi, Mattia Saccheggiani, Simone Zuliani Venezia

IIS Nobili – Reggio Emilia RE - Classe V

SMART

Un progetto che affianca alla simulazione una realizzazione pratica volta a verificare tutte le variabili difficili da prevedere nel modello simulato

- Docente coordinatore: Claudio Ferrari
- Studenti: Francesco Annovi, Simone Cavani

IIS Fermo Corni – Modena MO - Classe V

Stepper delta robot

I progetto propone la realizzazione di un delta robot che possa essere controllato in manuale da un operatore o essere utilizzato per un sistema automatizzato tipo pick and place

- Docente Coordinatore: Bruno Biagini
- Studenti: Alessio Bruni, Fabio Calistri, Matteo Di Marzo, Samuele Giannini, Lorenzo Tondini

ITTS Fedi Fermi – Pistoia PT- Classe V

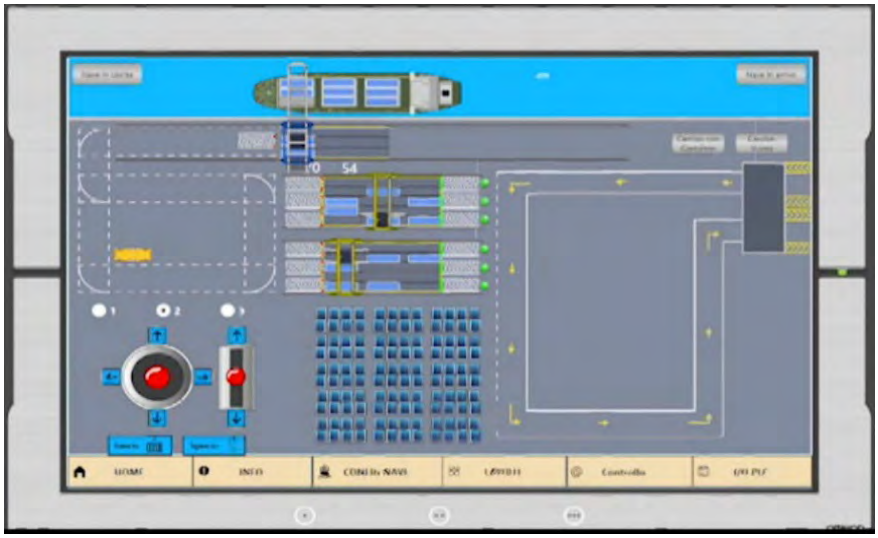
Tetracycle

Il progetto si ispira agli studi condotti dalla Suleyman Demirel University sul riciclo del Tetrapak, con l'obiettivo di renderli attuabili su scala industriale.

- Docente Coordinatore: Giuseppe Marti
- Studenti: Gabriele Leo, Federico Spada

IIS Castelli – Brescia BS - Classe V

Automatic Port



< Sommario

Il progetto nasce dall'idea di sviluppare l'automatismo di un processo commerciale, riguardante il trasporto dei container via mare automatizzando lo smistamento dei container che viene realizzato prima che il carico venga effettuato, consentendo alle navi di avere una maggiore efficienza durante il carico e lo scarico delle merci.

IIS Benedetto Castelli - Brescia - Classe V

- **Docenti**: Paolo Coppola (coordinatore), G. Trimarchi
- **Studenti:** Abdelaziz Khater, Rajdeep Singh

Sommario

Introduzione....3
Premessa....3
Obiettivi....3
Progetto....4
Descrizione....4
Ciclo di Lavoro....7
Motion Control....9
Pagine della simulazione....10
Pagina di benvenuto....10
Pagine di informazioni....10
Pannello di controllo....11
Configurazione Nave....13
Layout....15
Input-Output....17
Programmazione....18
Implementazioni future....18

Introduzione

Premesse

Il progetto "PORTO AUTOMATICO" nasce dall'idea di sviluppare l'automatismo di un processo commerciale, riguardante il trasporto dei container via mare (settore marittimo), con l'utilizzo delle navi. In precedenza le navi contenevano molteplici carichi più piccoli, tutti ammassati insieme in una stiva, ma ora lo smistamento dei container viene realizzato prima che il carico venga effettuato. Ciò consente alle navi di avere una maggiore efficienza durante il carico e lo scarico delle merci. L'idea nasce dalla volontà di progettare un sistema che sia in grado di svolgere in autonomia un compito complesso con efficienza, richiedendo spese minori. Infatti i container possono essere spostati per via aerea, ferroviera o stradale ma, di solito, ciò comporta spese maggiori rispetto alla via marittima. L'automazione del progetto prevede che le gru si muovano e sollevino i container automaticamente o manualmente. Un altro aspetto importante è quello della gestione dei due magazzini da parte dei robot, che hanno il compito di spostare i container dal magazzino al "terminal container" o viceversa, tutto in maniera automatica o controllata dall'operatore.

Per concludere, la scelta del progetto "PORTO AUTOMATICO" è legata anche alla volontà di rendere un sistema commerciale il più efficace e veloce possibile, in modo da ridurre al minimo l'intervento umano.

Obiettivi

Gli obiettivi sono:

- Dal punto di vista didattico, sfruttare al meglio le competenze acquisite dalle materie di indirizzo per realizzare un progetto che possa essere utilizzato come uno strumento di apprendimento multidisciplinare permetta il coinvolgimento di diversi indirizzi dell'istituto;
- Grazie al sistema di simulazione si potrà creare un processo di supervisione che possa diventare uno strumento di utilizzo per eventuali implementazioni, in collaborazione con operatori nel settore;
- La creazione di un ambiente di simulazione permette di ottimizzare il processo sia dal punto di vista delle tempistiche, sia in termini di consumi e costi.

Progetto

Dopo una fase iniziale di scambio di idee tra il nostro team e i docenti, è stata definita l'idea base del nostro progetto, ossia il processo automatizzato di un porto, mediante la stesura di un programma. Una volta presa la decisione, è stato necessario informarci sulle modalità di funzionamento di un porto e sui processi di lavorazione e gestione di esso. Reperite le informazioni necessarie e definiti gli aspetti indispensabili, si è proceduto all'organizzazione e allo sviluppo dell'intero progetto.
Per la realizzazione di una simulazione ottimale, è stato necessario prevedere un'integrazione interdisciplinare, che permettesse il coinvolgimento di molteplici settori e tecnologie. Tra le materie maggiormente interessate vi sono "Elettronica ed Elettrotecnica", per lo studio e le applicazioni degli azionamenti e della sensoristica; "Automazione", per l'utilizzo e la progettazione del controllore del sistema, la stesura del relativo algoritmo di controllo.

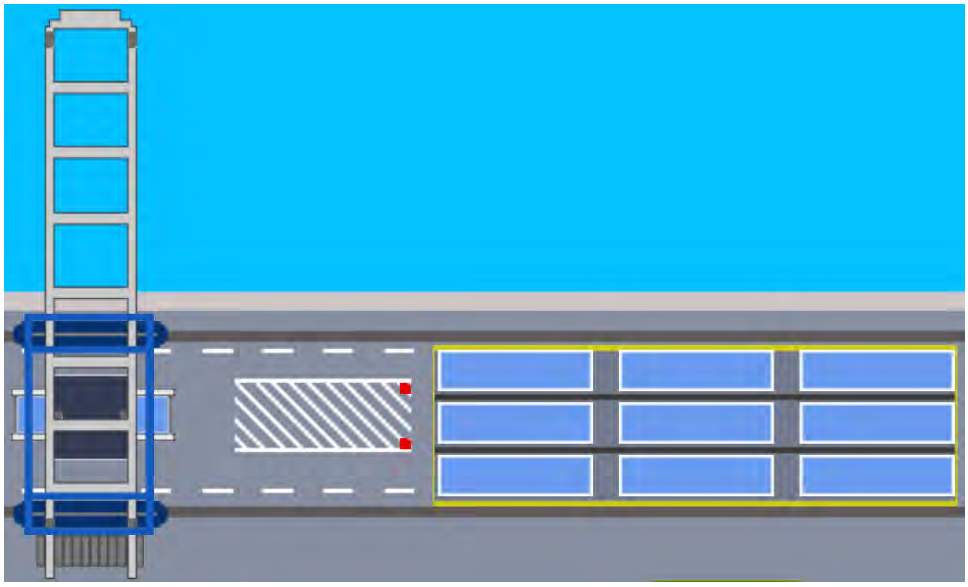
Descrizione

Il programma sviluppato ha come obiettivo principale l'automatizzazione del processo di trasporto, ovvero il carico e lo scarico dei container sulla nave negli appositi porti.
Per garantire maggiore flessibilità alla gestione del controllo del processo, la programmazione è stata implementata in due modalità, sia "Automatica" che "Manuale".

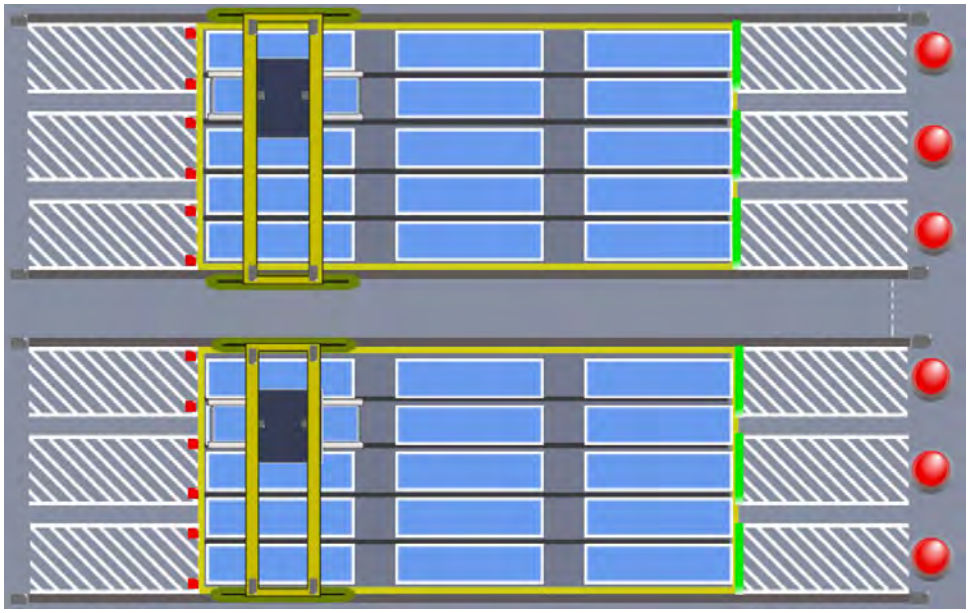
Modalità ***AUTOMATICA***:

FASE DI SCARICO DEI CONTAINER ➔ Una volta aver impostato la modalità automatica nella pagina di "controllo" e premuto il pulsante di "Start", il programma prevede la configurazione della nave, ovvero l'inserimento dei container sulla nave nelle apposite posizioni(su tre livelli), indicando il peso e la destinazione. Dopodiché bisogna indicare tutti i container da scaricare nel porto (nel nostro caso quello di Genova). Nella fase successiva bisogna simulare l'arrivo della nave al "terminal container" agendo sul pulsante "Nave in arrivo", in modo che la gru possa movimentarsi e procedere allo scarico dei container, automaticamente. Contemporaneamente, il robot si movimenta per spostarsi sulla piazzola, dove la gru posizionerà il primo container scaricato. Il robot trasporterà tale container nel magazzino destinato allo scarico. Questo è fornito di una gru che serve per agganciare il container, trasportato dal robot, e posizionarlo all'interno di esso. All'arrivo di un camion vuoto che si fermerà su una delle tre piazzole di sosta libera del magazzino, la gru posizionerà automaticamente il container sul rimorchio. Una volta fatto ciò, il camion sarà autorizzato ad uscire dal porto e il robot si movimenterà per ritornare sulla piazzola, per prendere gli altri container. Intanto gli altri container scaricati dalla nave verranno posizionati nel magazzino temporaneamente, in attesa del ritorno del robot.
Il sistema è anche in grado di gestire container destinati al porto di Genova e collocati ad un livello inferiore rispetto ai container destinati ad altri porti.

FASE DI CARICO DEI CONTAINER ➔ La fase di carico sulla nave avviene, inizialmente, con l'inserimento di un camion che trasporta un container nel porto, con peso e destinazione selezionati dall'operatore. Il camion si posizionerà su una piazzola di sosta libera del magazzino destinato al carico. La gru del magazzino prenderà tale container e lo posizionerà sul robot. Successivamente sarà compito di questo trasportare tale container sulla piazzola, in modo che la gru possa sollevarlo e caricarlo sulla nave. Tale processo si ripeterà per tutti i container da caricare.



MAGAZZINO TEMPORANEO CON LA PIAZZOLA DI SOSTA PER IL ROBOT (A SINISTRA)

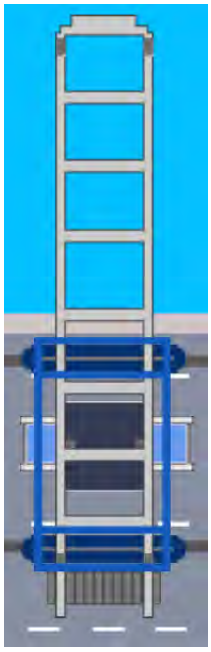


MAGAZZINO DESTINATO ALLO **SCARICO** DEI CONTAINER CON LE APPOSITE PIAZZOLE DI SOSTA PER I CAMION (STRISCE BIANCHE)

MAGAZZINO DESTINATO AL **CARICO** DEI CONTAINER CON LE APPOSITE PIAZZOLE DI SOSTA PER I CAMION (STRISCE BIANCHE)

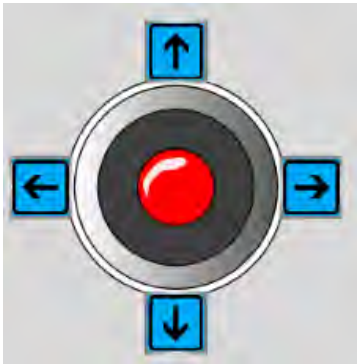
Modalità ***MANUALE***:

La modalità manuale è attivabile nella pagina di "controllo" tramite apposito selettore. Nella medesima pagina bisogna selazionare tramite i "RadioButton" la gru che si vuole movimentare. La gru (numero "1") principale (di carico e scarico dei container della nave) e le gru del magazzino (numero "2" e "3") si movimentano in base ai comandi manuali posti nell'HMI, ovvero i "joystick". Quindi in questà modalità il carico e scarico dei container non verrà più in modo automatico, ma manualmente. Le gru saranno movimentate dall'operatore mediante i joystick incluso l'aggancio e lo sgancio dei container.



Comandi:

- Permette di movimentare la gru verso destra;
- Permette di movimentare la gru a sinistra;
- Permette di movimentare il "braccio meccanico" della gru in avanti;
- Permette di movimentare il "braccio meccanico" della gru indietro;



- Permette di alzare il "braccio meccanico" della gru;
- Permette di abbassare il "braccio meccanico" della gru;

- **"Gancio"** ==> Invia il comando al "braccio meccanico" per agganciare il container;

- **"Sgancio"** ==> Invia il comando al "braccio meccanico" per sganciare il container;

Sopra i "joystick" sono presenti dei RadioButton per selezionare la gru che si desidera movimentare

Ciclo di lavoro

Il programma, come già accennato, offre due modalità di funzionamento dell'intero impianto ovvero la modalità "Automatica" e quella "Manuale", selezionabili tramite un selettore presente sul pannello di controllo. Questo permette di attuare un eventuale sviluppo introducendo nuove funzionalità nella modalità manuale. Quest'ultima modalità può essere usata per manovre durante attività di manutenzione. Scopo del progetto è quello di automatizzare le gru per risparmiare costi e ridurre il più possibile il lavoro manuale che risulterebbe meno efficace.

Il passaggio da una pagina all'altra nella modalità "Automatica" avviene attraverso l'utilizzo di un menù posto in basso alle pagine, questo ci permette di muoverci liberamente tra le diverse fasi di lavorazione dell'impianto.

Il ciclo completo prevede:

- La selezione della modalità di funzionamento nella pagina di "controllo";
- L'immissione dei container sulla nave (su non più di tre livelli, con il massimo di 9 container per un livello, e, di conseguenza, un massimo di 27 container);
- Il settaggio dei parametri (come peso e destinazione) dei container inseriti sulla nave nella pagina di configurazione;
- La selezione dei container da scaricare nel porto in questione;
- La pressione del pulsante di "Start";

- L'inserimento della nave configurata, in precedenza, tramite un pulsante;
- Il processo di scarico dei container (in modo automatico o manuale a seconda della funzionalità impostata);
- La pressione del pulsante "camion" per abilitare la movimentazione di questi;
- L'immissione di un camion vuoto per prendere il container scaricato (dopo il processo di scarico, come descritto in precedenza). Ripetizione di tale processo per tutti gli altri container scaricati;
- Uscita del camion;
- L'immissione del camion trasportante un container tramite l'apposito pulsante. Ripetizione di tale processo per tutti i container che si desiderano caricare;
- Il settaggio dei parametri (come peso e destinazione) del container inserito sul camion;
- Uscita del camion;
- Il processo di carico dei container (in modo automatico o manuale a seconda della funzionalità impostata);
- La pressione del pulsante "Nave in Uscita";

Quando il programma viene avviato, nel pannello di controllo la modalità di funzionamento è impostata di default su "Automatica" e i parametri riguardanti le gru risultano in una posizione di "0", ovvero di non operatività. Prima di avviare il ciclo si deve procedere al loro completo inserimento, la mancanza di un'informazione provocherebbe il malfunzionamento dell'impianto, solo quando tutti i parametri dei container vengono inseriti (dalla pagina di configurazione della nave) si può premere il pulsante di Start. Tali parametri possono essere modificati prima dell'avvio del ciclo, sempre nella pagina di configurazione.
Premendo lo Start - in modalità "Automatica" - partirà il ciclo completo con il movimento automatico delle gru.
Se invece viene premuto lo Start - in modalità "Manuale"- i movimenti delle gru vengono controllati da un operatore tramite i joystick.
La gestione del sistema avviene attraverso la presenza di finecorsa e fotocellule, poste lungo le estremità dei binari delle gru, sul braccio meccanico delle gru e sulle piazzole di sosta per il robot e i camion. Questo ci permette di conoscere la posizione assunta dal robot e dai camion, cosicchè la gru possa compiere le operazioni, come quella di posizionamento del container, nel modo più preciso ed efficiente possibile.

Il processo dell'impianto è stato effettuato mantenendo la gru principale e il robot in costante movimento, in modo tale da non allungare i tempi di trasporto e in modo da garantire un continua fase di scarico o carico dei container.

Motion Control

All'interno dell'impianto è stato deciso di introdurre un sistema di controllo della velocità. Si definisce Motion Control, l'insieme di tutte quelle tecnologie che permettono di governare i dispositivi in movimento di un sistema automatico. Questa tecnica viene particolarmente impiegata nelle linee automatizzate di processi industriali, in cui la coordinazione tra le varie macchine, presenti nell'impianto, e la gestione dei movimenti, è di estrema importanza.
In progetto ci si riferisce al controllo della velocità dei motori destinati alla movimentazioni delle gru. Questo sistema prevede l'impiego di un inverter, che attua il controllo di velocità, attraverso la variazione dei parametri di ampiezza e frequenza del proprio segnale di uscita.

Strutturalmente questo sistema si compone di nove inverter (Serie MX2) collegati mediante EtherCAT al PLC.
L'EtherCAT è una rete di campo che gestisce e regolamenta il passaggio delle informazioni tra PLC e altri dispositivi, in questo caso l'inverter impiegato per il controllo della velocità.
Fornendo i dati relativi al tempo di accelerazione, a quello di decelerazione (in secondi) e alla velocità di rotazione del motore (in Hertz), attraverso un blocco funzione situato nella sezione ladder del programma, l'inverter ci da in uscita un controllo di velocità.

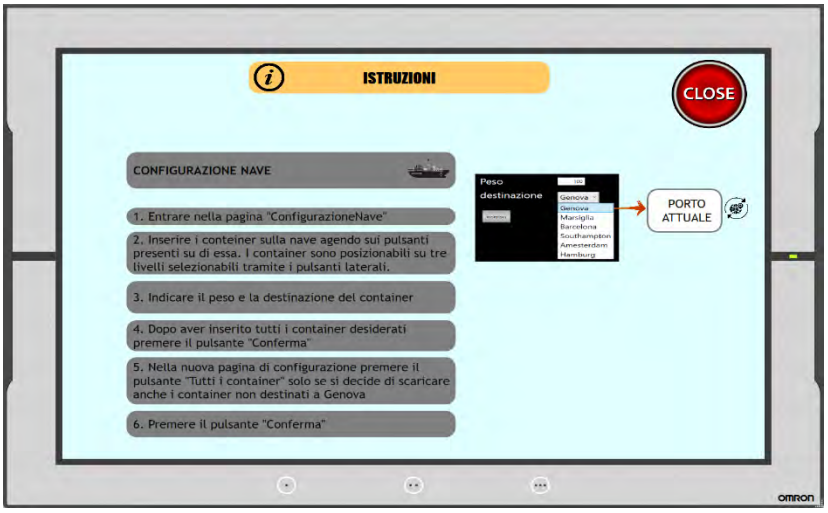
Adottando questa soluzione si avranno anche due importanti vantaggi, una maggiore sicurezza e una maggiore efficienza, infatti con questo sistema si evitano correnti di spunto elevate, nella fase di avviamento del motore, e si ha un minor consumo di energia elettrica da dover prelevare dalla rete di distribuzione.

Pagine della simulazione

Pagina di Benvenuto

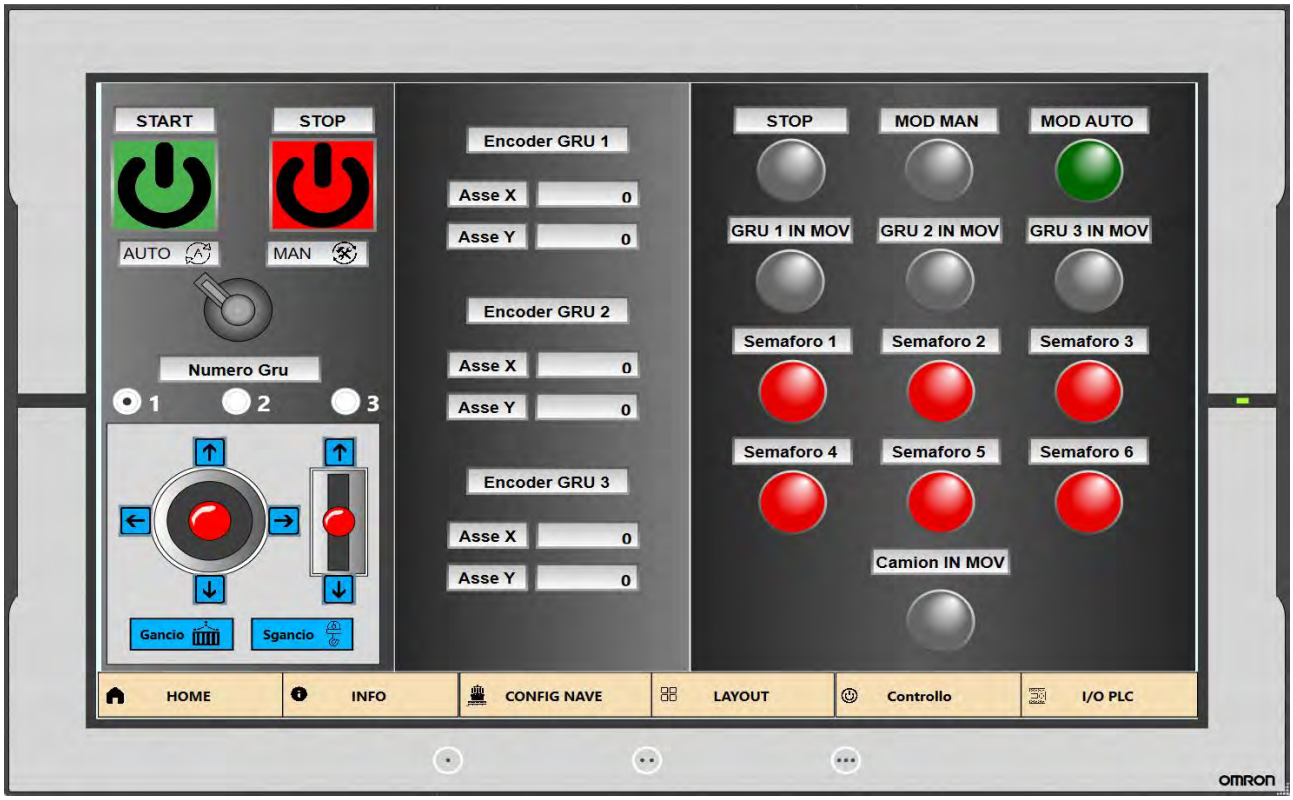
Pagina "home" del progetto (che è possibile saltare premendo il pulsante blu in basso a destra).

Pagine di informazioni

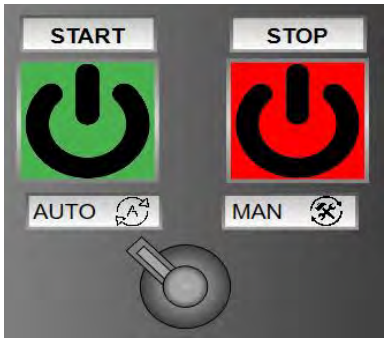


Nelle pagine delle Informazioni sono indicate le istruzioni necessarie al funzionamento del programma e quelle relative all'utilizzo del programma nelle due modalità, Automatica e Manuale. Nella seconda pagina è presente un elenco di 6 punti per fornire le istruzioni sulla modalità di configurazione della nave. In alto a destra è presente un tasto denominato "CLOSE" per chiudere le pagine iniziali di benvenuto e di informazioni. Se si preme tale pulsante, il programma ci porta nella "pagina di controllo".

Pannello di controllo

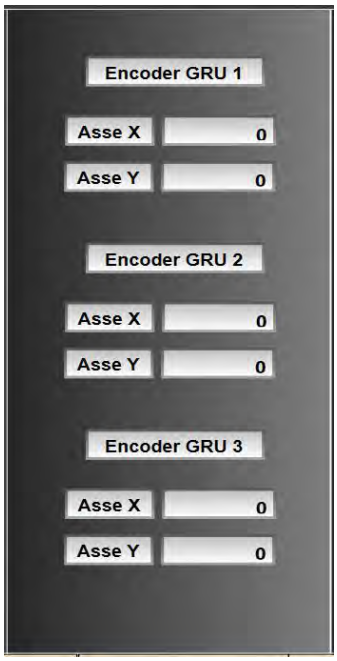


Nella pagina di controllo sono stati inseriti i "joystick" per la movimentazione delle gru, i selettori e pulsanti necessari al funzionamento del ciclo di lavoro e al suo settaggio. Inoltre sono presenti anche le informazioni riguardanti le posizioni delle tre gru, tramite gli appositi encoder. Infine ci sono le segnalazioni che servono ad indicare lo stato dei diversi parametri dell'impianto.

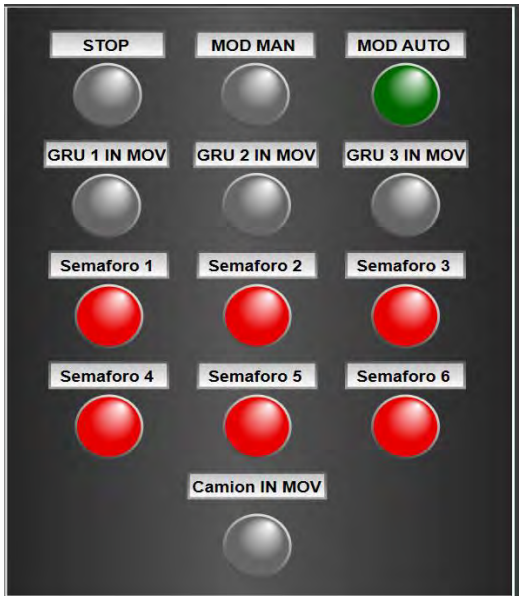


Il pulsante "START" serve per avviare il ciclo di lavoro, mentre "STOP" per fermarlo

Il selettore per la scelta della modalità di funzionamento dell'impianto, "Automatica" o "Manuale".



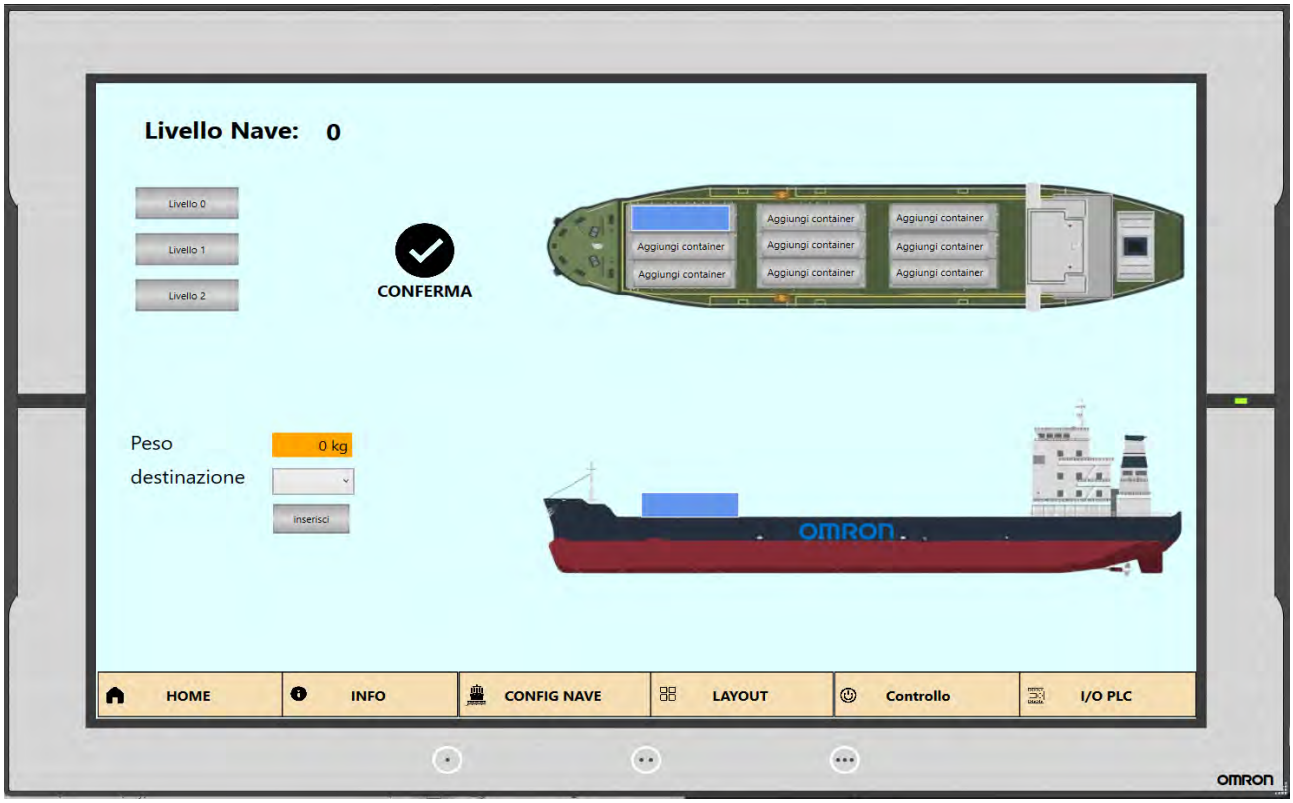
Questo "form" ci fornisce le informazioni sulla posizione delle tre gru. La posizione "0" è quella iniziale. L'asse X ci fornisce la posizione orizzontale, mentre l'asse Y quella verticale.



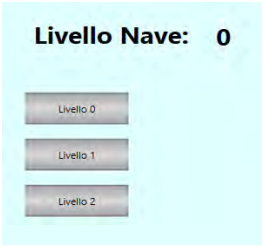
Le spie:

- "STOP" serve per indicare se è stato premuto il pulsante di "STOP";
- "MOD MAN" e "MOD AUTO" serve per indicare la modalità di funzionamento dell'impianto;
- "GRU 1 IN MOV", "GRU 2 IN MOV" e "GRU 2 IN MOV" serve per indicare se le gru sono in movimento;
- "Semaforo 1,2,3,4,5,6" per indicare ai camion di procedere all'uscita dal porto;
- "Camion IN MOV" serve per indicare se il camion è in movimento.

Configurazione Nave

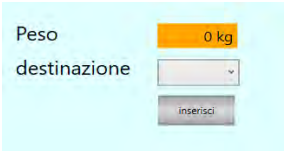


In questa pagina vengono inseriti i container indicando il peso e la destinazione. C'è la possibiltà di inserirli su 3 livelli diversi con un massimo di 9 container su ciascuno (quindi la nave può trasportare al massimo 3×9 = 27 container). Una volta fatto ciò, bisogna premere il tasto conferma.

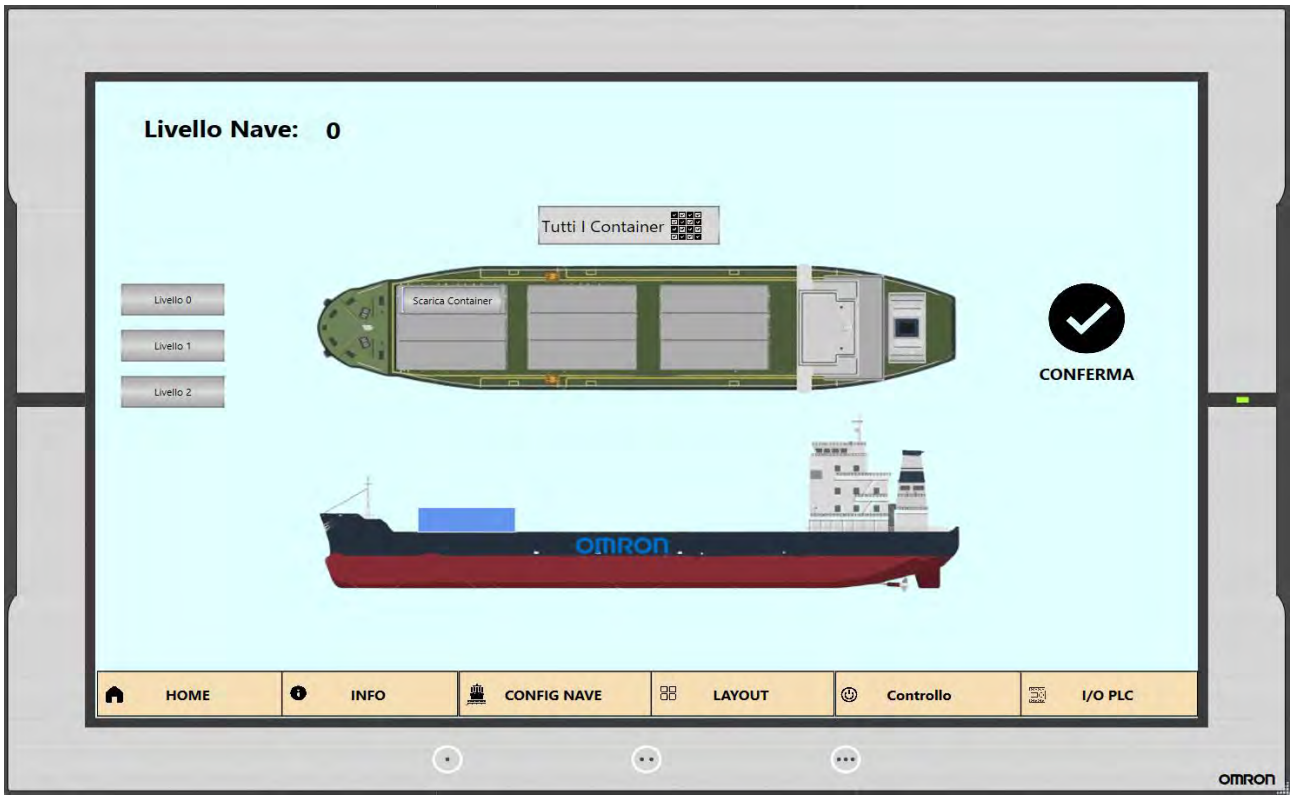


Questi pulsanti servono per selezionare il livello della nave sulla quale si desidera inserire i container

Prospettiva della nave dall'alto. Si possono inserire i container nella posizione desiderata premendo i pulsanti.

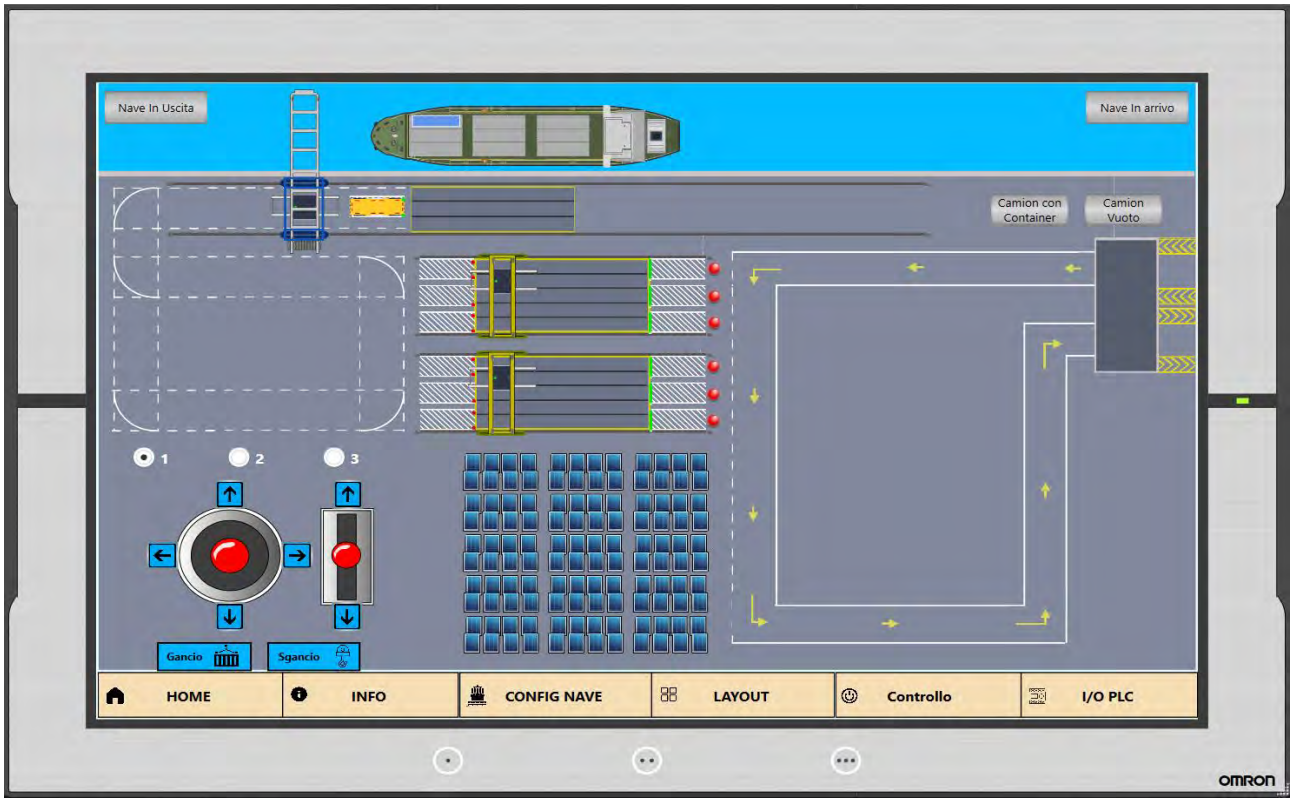


Inserire il peso e la destinazione del container. Una volta inseriti tutti i container desiderati, bisogna confermare tramite l'apposito pulsante.



Una volta aver confermato l'immissione dei container sulla nave, è possibile forzare lo scarico di un singolo container non destinato al porto di Genova o tutti i container presenti sulla nave tramite il pulsante "Tutti i Container". Per poter completare correttamente la procedura di configurazione è sempre necessario premere il pulsante "CONFERMA".

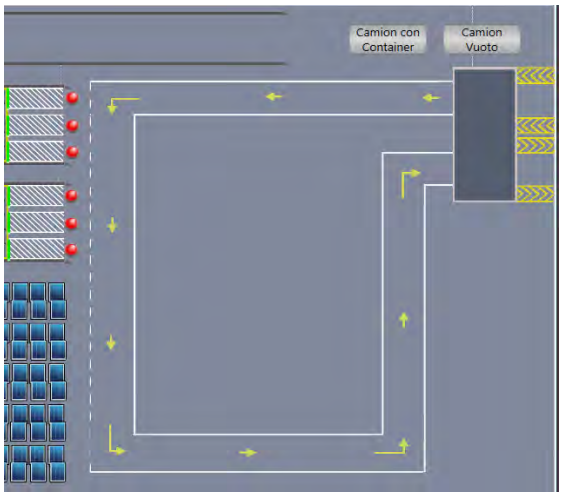
Layout



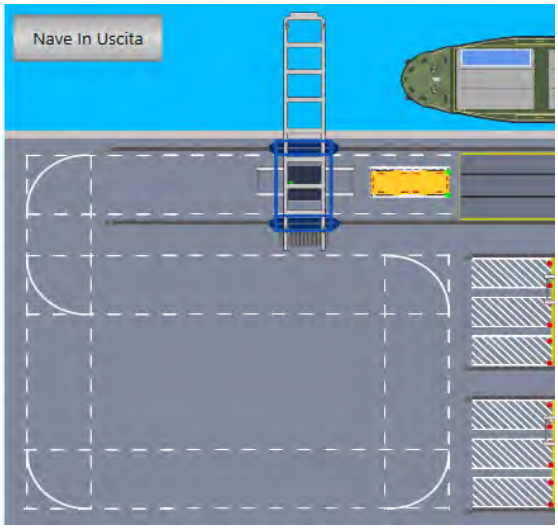
Questa è la pagina "LAYOUT", ovvero la vera e propria pagina dell'impianto realizzato. Qui è possibile avere una visuale completa del porto. I comandi di joystick presenti in basso a sinistra sono visibili solo in modalità manuale. È proprio in questa pagina che si gestisce l'entrata e l'uscita della nave e dei camion. Dopo aver premuto il pulsante di "START", il programma passa automaticamente in questa pagina per avere la gestione e la panoramica dell'impianto. Il robot ha una propria corsia per il percorso, segnata da linee bianche tratteggiate, i camion hanno una corsia delimitata da linee continue per un tratto. Inoltre sono presenti delle linee gialle per indicare la traiettoria dei camion.

Il pulsante "Nave in arrivo", posto in alto a destra, serve per inserire la nave. Sono presenti i pulsanti "Camion con Container" e "Camion Vuoto" per inserire un camion.

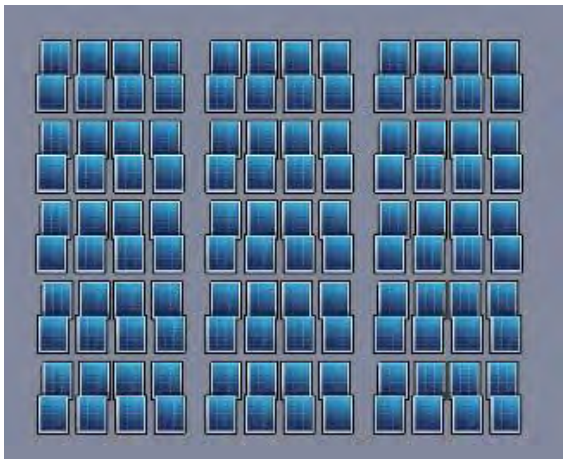
Il pulsante "Nave in Uscita", posto in alto a sinistra, serve per far uscire la nave.



Corsia per il percorso dei camion, con le piazzole di sosta presenti alla destra dei due magazzini, dotate di finecorsa e semafori.

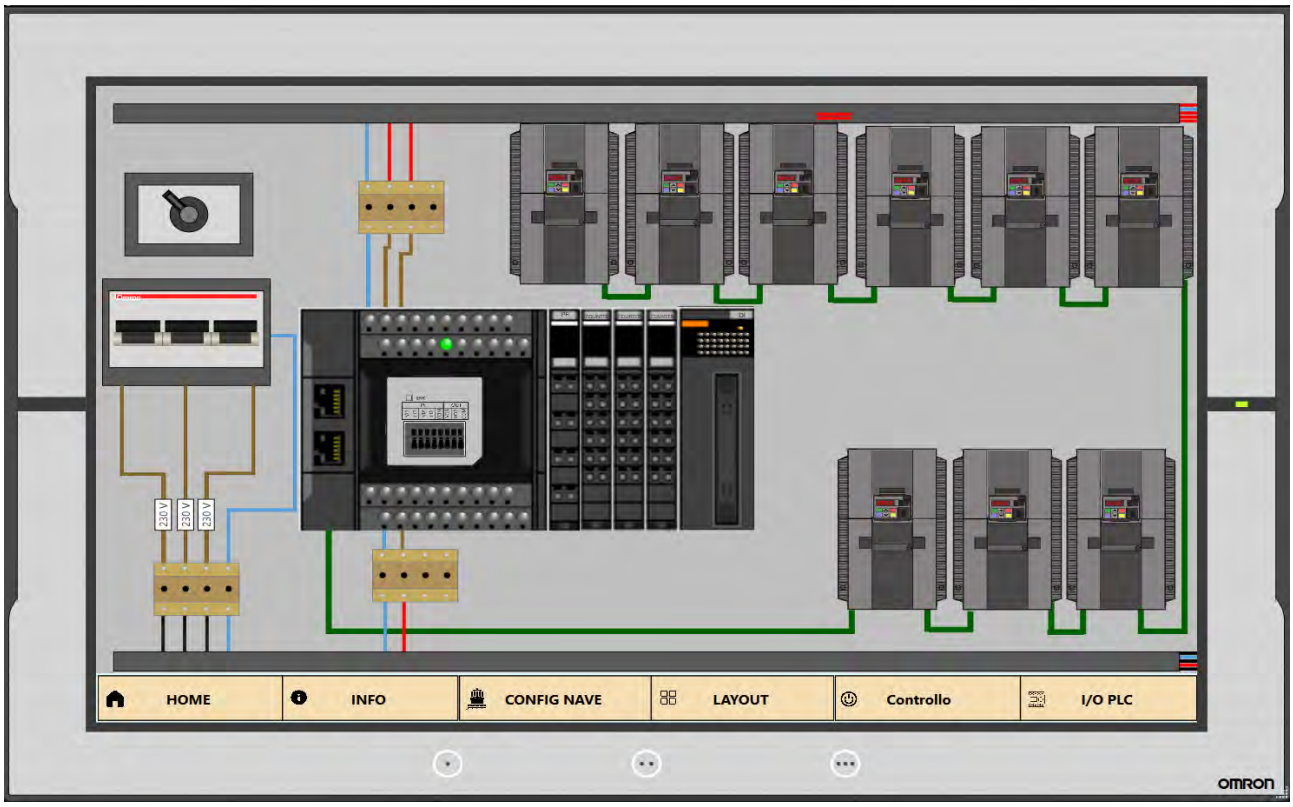


Corsia per il percorso del robot(di colore giallo), con le piazzole di sosta presenti alla sinistra dei due magazzini dotati di finecorsa.



Pannelli solari per sfruttare l'energia del sole (green) e trasformare questa energia in elettrica. Questi hanno un impatto positivo sull'ambiente in quanto non producono alcun tipo di inquinamento.

Input-Output



In quest'ultima pagina "Input-Output" viene rappresentato lo stato degli input e output digitali, gestiti dal controllore tramite l'accensione e lo spegnimento dei rispettivi led nel modulo di I/O.
Nella parte sinistra dello schermo viene mostrato lo schema di collegamento con la rete elettrica di distribuzione, nella parte destra quello della rete EtherCAT, con gli inverter MX2 e i servoazionamenti S1 adibiti al controllo dei motori nell'impianto automatizzato.

Come già accennato in precedenza, nella parte inferiore di ogni pagina, vi è una barra che permette il passaggio dalla pagina simulata ad un'altra, tramite la pressione dei relativi pulsanti durante l'esecuzione del ciclo di produzione.

Programmazione

Il programma è stato scritto in testo strutturato, ad eccezione della parte che gestisce l'inverter, realizzata nel linguaggio "Ladder". Sono state realizzate anche delle funzioni e un blocco funzioni per rendere più efficace il programma.

Specifiche tecniche dei dispositivi

- il controllore utilizzato è il PLC "NXP2-9024DT1";

- il dispositivo HMI è "15W101□-V1".

Implementazioni future

"PORTO AUTOMATICO" è un progetto incompleto in ambito didattico. Potrebbe essere migliorato e sviluppato mediante l'introduzione di una serie di accorgimenti e di funzionalità che non vengono pienamente considerate nell'impianto da noi realizzato.
Il progetto sviluppato da noi è una tipologia di impianto di trasporto costituito dalle sole fasi di lavorazione essenziali, per tale motivo si possono immaginare molte altre pagine aggiuntive per lo svolgimento. Purtroppo, per mancanza di tempo, non siamo riusciti a completare il progetto, come previsto. Per esempio, allo scopo di velocizzare il processo avevamo ideato di gestire più di un robot, oppure un'altra intenzione era quella di introdurrre un sistema automatico di sostituzione delle batterie scariche dei robot.
Inoltre per una gestione migliore del sistema, avevamo pensato di suddividere i container per le diverse tipologie dei materiali contenuti all'interno. Tutto sommato quindi, avevamo molte idee da realizzare, che, per motivi di tempo, non siamo riusciti ad introdurre nel progetto.

Ciclo di saldatura

< Sommario

Obiettivo era la realizzazione di un progetto di facile comprensione, semplice da replicare e didatticamente valido. Il sistema simula la saldatura su due lati di due boccole (la più piccola è detta anche tondino), poste in posizione ortogonale.

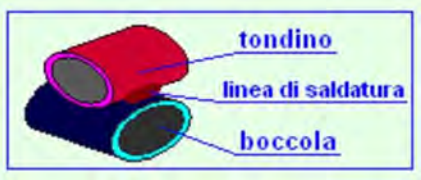
IIS G. Pentasuglia – Matera MT- - Classe IV

- **Docente coordinatore**: Angelo Pennuzzi
- **Studenti:** Simone Daraio, Fabio Olivieri, Mirco Sarli.

Gli elementi dell'automatismo

Attività svolta dall'automatismo

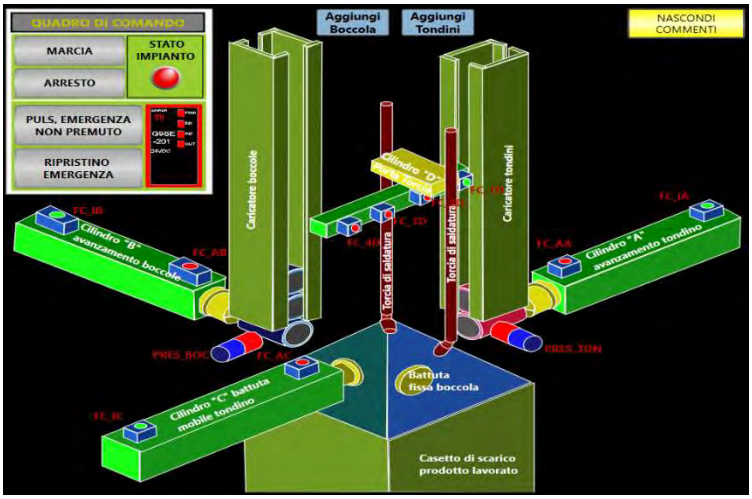
Il sistema simula la saldatura su due lati di due boccole (la più piccola è detta anche tondino), poste in posizione ortogonale, come riportato nella figura a destra



Elementi dell'automatismo

Gli elementi impiegati sono:

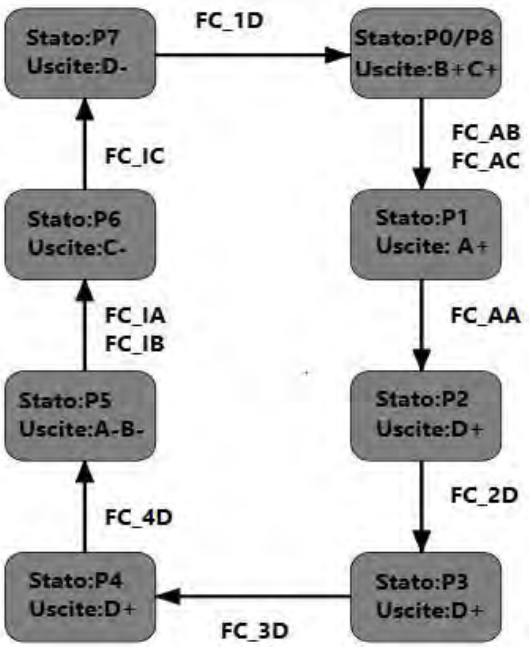
- due caricatori verticali adibiti rispettivamente al contenimento dei tondini e delle boccole
- un cilindro pneumatico "A" che spinge il tondino in posizione di saldatura
- un cilindro pneumatico "B" che spinge la boccola in posizione di saldatura
- un cilindro pneumatico "C" per la battuta mobile del tondino
- un cilindro pneumatico "D" per lo scorrimento delle torce di saldatura
- una battuta fissa per la boccola
- un PLC per la gestione della sequenza automatica



Descrizione del ciclo di lavoro dell'automatismo

Nella figura a destra viene visualizzata la sequenza del ciclo di lavoro. Nei rettangoli sono riportati i singoli stati del sistema e le uscite associate allo stato attivo. Le frecce orientate con la descrizione indicano la condizione che permette al sistema di passare allo stato successivo.
Se i sensori che rilevano la presenza boccola e la presenza tondino sono entrambi attivi ed è in marcia l'impianto, vengono eseguite le attività come di seguito riportato:

- avanzamento cilindri "B" e "C"
- avanzamento cilindro "A"
- avanzamento cilindro "D" con esecuzione della saldatura tra la posizione FC_2D e FC_3D
- ritorno cilindri "A" e "B"
- ritorno cilindro "C" con scarico per gravità del pezzo lavorato
- ritorno del cilindro "D"



Quadro di comando

La figura a destra rappresenta il quadro di comando attraverso il quale èpossibile:

- Attivare il pulsante di emergenza
- Avviare o interrompere il ciclo di lavoro.

Le spie luminose segnalano alcune condizioni dell'impianto:

- Le spie di segnalazione del Relè di Sicurezza indicano se è alimentato, lo stato del pulsante di emergenza e lo stato dei suoi contatti di uscita
- La spia luminosa "STATO IMPIANTO", se rossa, indica che il ciclo è fermo, se verde che il ciclo è in marcia.

Per poter portare l'impianto in marcia occorre prima rimuovere la condizione di EMERGENZA.
Se l'impianto non è in emergenza, premendo il pulsante di MARCIA l'impianto va in marcia e la spia luminosa a destra del pulsante si illumina di verde.
Se l'impianto è in marcia e si preme il pulsante di ARRESTO, l'impianto si ferma e la spia luminosa a destra del pulsante si illumina di rosso.

Descrizione della supervisione

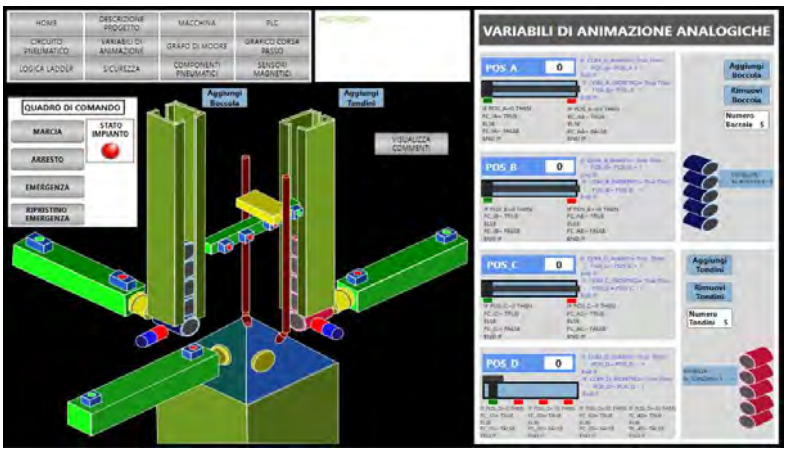
Tabella delle variabili utilizzate

NOME	TIPO	COMMENTO
COM_A_AVANTI	Boolean	Comando cilindro A avanti
COM_A_INDIETRO	Boolean	Comando cilindro A indietro
COM_B_AVANTI	Boolean	Comando cilindro B avanti
COM_B_INDIETRO	Boolean	Comando cilindro B indietro
COM_C_AVANTI	Boolean	Comando cilindro C avanti
COM_C_INDIETRO	Boolean	Comando cilindro C indietro
COM_D_AVANTI	Boolean	Comando cilindro D avanti
COM_D_INDIETRO	Boolean	Comando cilindro D indietro
SALDA	Boolean	Operazione di saldatura
FC_1D	Boolean	Fine corsa indietro cilindro D
FC_2D	Boolean	Posizione avvio saldatura
FC_3D	Boolean	Posizione di fine saldatura
FC_4D	Boolean	Fine corsa avanti cilindro D
FC_AA	Boolean	Fine corsa avanti cilindro A
FC_AB	Boolean	Fine corsa avanti cilindro B
FC_AC	Boolean	Fine corsa avanti cilindro C
FC_IA	Boolean	Fine corsa indietro cilindro A
FC_IB	Boolean	Fine corsa indietro cilindro B
FC_IC	Boolean	Fine corsa indietro cilindro C
N_BOCCOLE	Integer	Indica il numero di boccole nella pila
N_TONDINI	Integer	Indica il numero di tondini nella pila
POS_A	Integer	Stabilisce la posizione del cilindro "A”
POS_B	Integer	Stabilisce la posizione del cilindro "B”
POS_C	Integer	Stabilisce la posizione del cilindro "C”
POS_D	Integer	Stabilisce la posizione del cilindro "D”
POS_SCARICO	Integer	Posizione prodotto lavorato
POSIZ_INIZ	Boolean	Cilindri in posizione inizio ciclo
PRE_BOCC	Boolean	Rileva la presenza della boccola sul fondo della pila
PRE_TOND	Boolean	Rileva la presenza del tondino sul fondo della pila
PULS_ARRESTO	Boolean	Pulsante di arresto
PULS_MARCIA	Boolean	Pulsante di marcia
Emergenza	Boolean	Off= impianto in emergenza
STATO_0	Boolean	Avanzamento dei cilindri B e C
STATO_1	Boolean	Avanzamento del cilindro A
STATO_2	Boolean	Avanzamento del cilindro D senza operazione di saldatura
STATO_3	Boolean	Operazione di saldatura
STATO_4	Boolean	Cilindro d in movimento verso il finecorsa avanti
STATO_5	Boolean	Rientro dei cilindri A e B
STATO_6	Boolean	Rientro del cilindro C
STATO_7	Boolean	Ritorno del cilindro D nella posizione iniziale
STATO_8	Boolean	Ciclo di saldatura terminato
STATO_IMP	Boolean	On= impianto in marcia

Main page

All'avvio del programma si attiva la pagina principale dalla quale, tramite pulsanti, è possibile spostarsi sia sulla pagina di descrizione del sistema automatico che sulla pagina di simulazione del "ciclo di lavoro", delle "variabili di animazione" e del "menu pagine".

Ciclo di Lavoro e quadro di comando

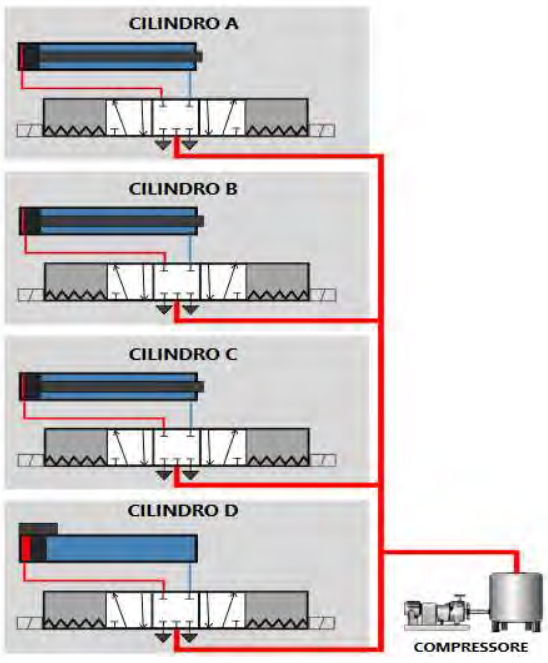


Cliccando sul pulsante MACCHINA della pagina principale si aprono contemporaneamente 3 pagine:
1) la pagina del "menu pagine"
2) la pagina che visualizza il ciclo di lavorazione
3) la pagina che visualizza le variabili di animazione analogiche.
Per portare il ciclo in esecuzione bisognaeseguire le operazioni sotto riportate:

- rimuovere la condizione diemergenza premendo il pulsante di RIPRISTINO EMERGENZA
- Inserire le boccole ed i tondini nei caricatori
- premere il pulsante MARCIA

Avviata la sequenza di lavoro nella sezione a destra si osserveranno i cambiamenti delle variabili che regolano i cilindri.

Circuito Pneumatico

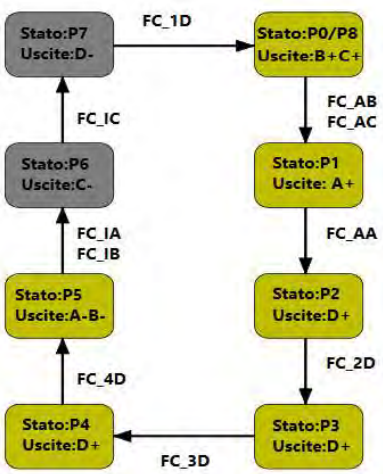


Alla pagina di simulazione del circuito pneumatico si arriva cliccando sul relativo pulsante posto nella pagina del "Menu Pagine".
Durante la fase di esecuzione del ciclo di lavoro, è possibile verificare la posizione delle valvole, lo stato delle linee inpressione o scarico e lo stato dei segnali elettrici. Le elettrovalvole utilizzate sono di tipo 5/3 con centri chiusi.

Grafo Stati

A tale pagina si arriva cliccando sul relativo pulsante posto nella pagina del “Menu Pagine”.
Durante l’esecuzione del ciclo di lavoro è possibile verificare lo stato del sistema:

- nei rettangoli colorati in verde sono riportati gli stati eseguiti
- l’ultimo rettangolo colorato è lo stato attuale del sistema
- le uscite riportate nei vari rettangoli sono le uscite che sono attive in quegli stati
- la freccia orientata indica la condizione che permette al sistema di passare allo stato successivo.

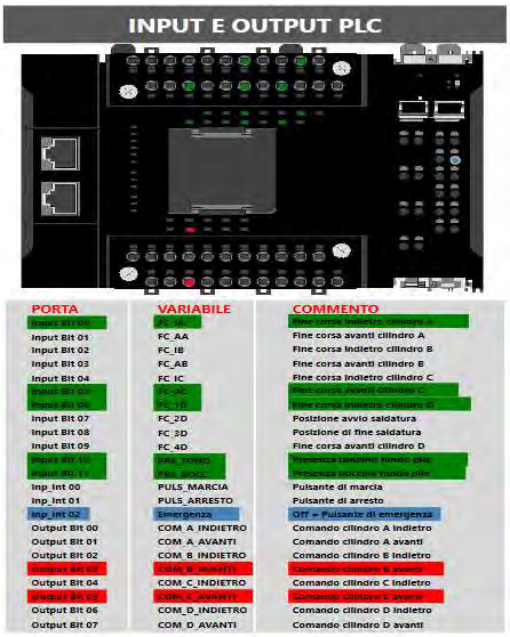


Input e Output PLC

A tale pagina si arriva cliccando sul pulsante PLC posto nella sezione in alto.
Durante l’esecuzione del ciclo di lavoro è possibile verificare lo stato e l’andamento nel tempo dei singoli segnali di input ed output:

- In alto, e si coloreranno di verde se attivi, ci sono gli ingressi dedicati ai finecorsa
- Sulla destra (sono blu se attivi) ci sono gli ingressi del PLC dedicati ai pulsanti di marcia, arresto e emergenza
- In basso (diventano rossi quando si attivano) ci sono le uscite dedicate ai movimenti dei cilindri

Gli stati degli ingressi sono quindi controllabili dalla tabella riportata sotto il plc: se la scritta sarà colorata l’uscita è attiva in quel momento.



Script di progetto

Testo Script	Commento

IF STATO_5 = TRUE AND POS_B = 16 THEN
N_BOCCOLE = N_BOCCOLE-1
END IF
	L'istruzione serve nell'animazione del ciclo di lavoro per simulare la discesa di una nuova boccola

IF STATO_5 = TRUE AND POS_A = 14 THEN
N_TONDINI = N_TONDINI -1
END IF
	L'istruzione serve nell'animazione del ciclo di lavoro per simulare la discesa di un nuovo tondino

IF POS_A=0 THEN
FC_IA= TRUE
ELSE
FC_IA= FALSE
END IF
 	
IF POS_A=65 THEN
FC_AA= TRUE
ELSE
FC_AA= FALSE
END IF
 	
IF POS_B=0 THEN
FC_IB= TRUE
ELSE
FC_IB= FALSE
END IF
 	
IF POS_B=76 THEN
FC_AB= TRUE
ELSE
FC_AB= FALSE
END IF
 	
IF POS_C=0 THEN
FC_IC= TRUE
ELSE
FC_IC= FALSE
END IF
 	
IF POS_C=9 THEN
FC_AC= TRUE
ELSE
FC_AC= FALSE
END IF
 	
FC_1D= TRUE
ELSE
FC_1D= FALSE
END IF
 	
IF POS_D=10 THEN
FC_2D= TRUE
ELSE
FC_2D= FALSE
END IF
 	
IF POS_D=20 THEN
FC_3D= TRUE
ELSE
	Gli subroutine riportati a sinistra sono eseguiti ad intervalli di 100 ms e permettono di determinare lo stato dei sensori e finecorsa, in funzione delle variabili intere e reali definite nell'HMI.

```
FC_3D= FALSE
END IF

IF POS_D=30 THEN
FC_4D= TRUE
ELSE
FC_4D= FALSE
END IF
```

```
IF  N_TONDINI >=1 THEN
PRE_TOND = TRUE
ELSE
PRE_TOND = FALSE
END IF

IF  N_BOCCOLE>=1 THEN
PRE_BOCC= TRUE
ELSE
PRE_BOCC= FALSE
END IF
```

```
IF  COM_A_AVANTI= TRUE AND POS_A<65 THEN
POS_A= POS_A + 1
END IF

IF  COM_A_INDIETRO= TRUE AND  POS_A>0 THEN
POS_A= POS_A - 1
END IF

IF  COM_B_AVANTI= TRUE AND POS_B<76 THEN
POS_B= POS_B + 1
END IF

IF  COM_B_INDIETRO= TRUE AND  POS_B>0 THEN
POS_B= POS_B - 1
END IF

IF  COM_C_AVANTI= TRUE AND POS_C<9 THEN
POS_C= POS_C + 1
END IF

IF  COM_C_INDIETRO= TRUE AND  POS_C>0 THEN
POS_C= POS_C - 1
END IF

IF  COM_D_AVANTI= TRUE AND POS_D<30 THEN
POS_D= POS_D + 1
END IF

IF  COM_D_INDIETRO= TRUE AND  POS_D>0 THEN
POS_D= POS_D - 1
 END IF

IF STATO_6= TRUE THEN
POS_SCARICO= POS_SCARICO+3
END IF

IF STATO_0 = TRUE AND STATO_1=FALSE THEN
POS_SCARICO= 0
END IF
```

Gli subroutine riportati a sinistra sono eseguiti ad intervalli di 100 ms e permettono di calcolare la posizione dei singoli componenti in movimento nella pagina ciclo di lavoro e circuito elettro- pneumatico, in funzione dei segnali di comando dei cilindri.

Descrizione del Programma PLC

Struttura hardware

Il processo automatico utilizza un PLC NX1P2-9024DT1. Sul master bus NX del PLC è stata inoltre inserita una scheda NX-ID3443 di ingressi digitali al fine di poter soddisfare il numero degli ingressi necessari per la gestione dell'impianto.

Per semplicità di visualizzazione lo schema ladder è stato suddiviso in diverse sezioni :

- Stato Impianto
- FTS
- FTU

Sezione: Stato Impianto

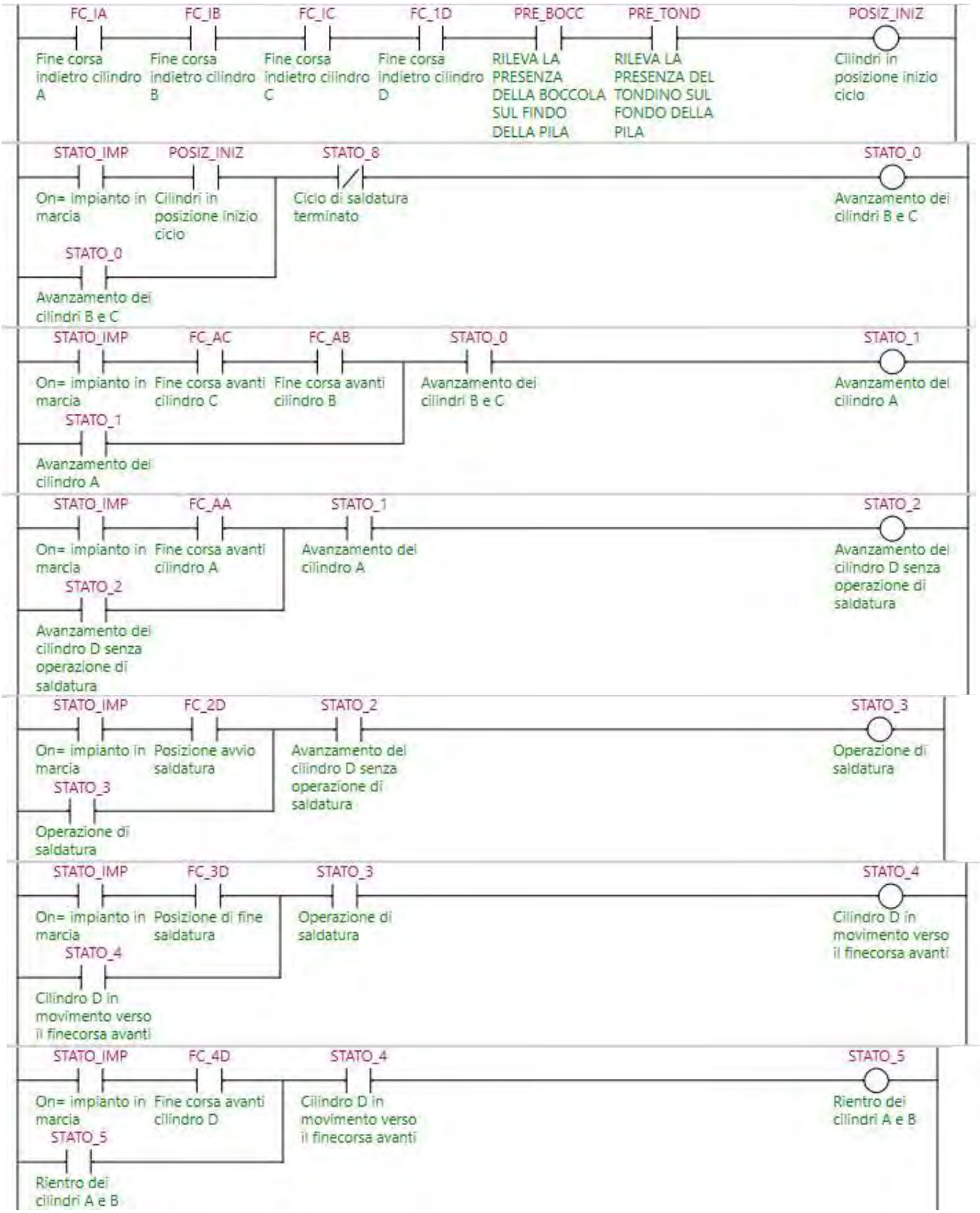
Nella prima RUNG possiamo osservare che l'impianto è nello stato attivo se si preme ilpulsante di marcia, mentre nonè attivo se il sistema è inemergenza, se si preme ilpulsante di stop oppure se è infase di reset.

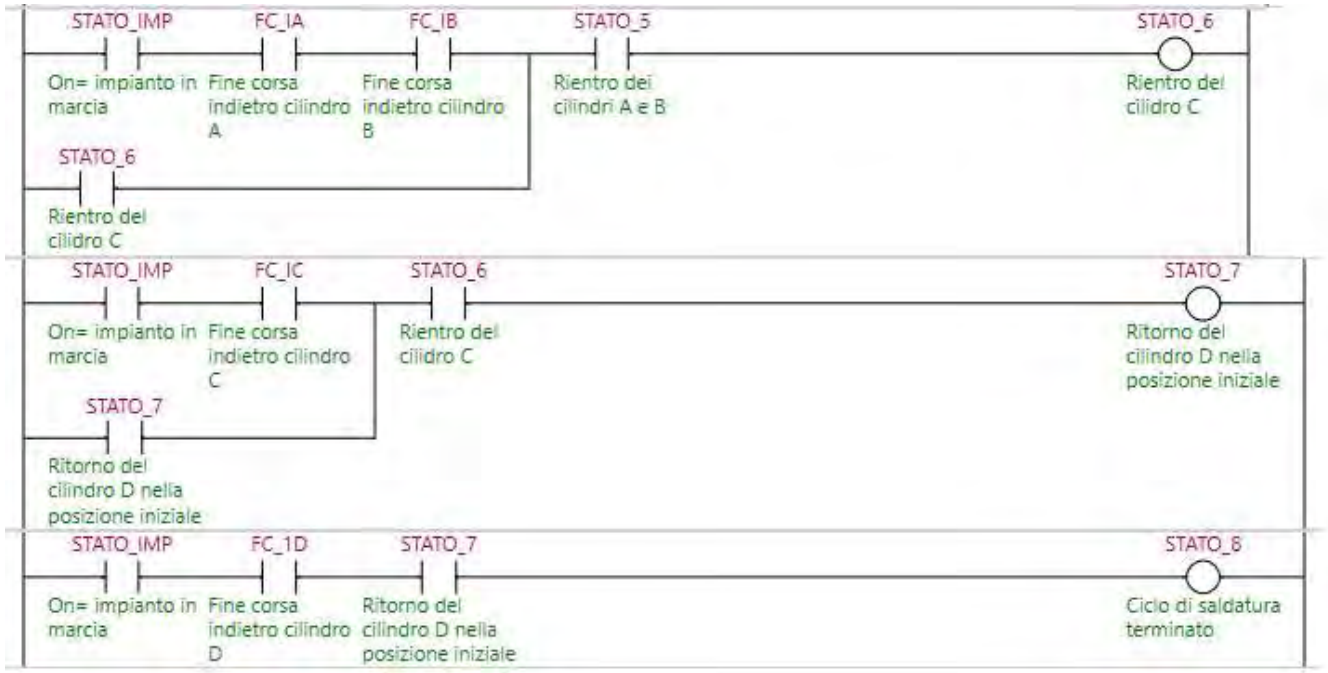
Sezione: FTS

Il FTS si compone di una serie di stati (posizioni) ed ognuno di essi è rappresentato da una RUNG.
Le memorie interne utilizzate, rappresentano ognuna uno stato del sistema.
Ognuna delle memorie utilizzate in questo programma è comandata dallo stato precedente, tramite un contatto normalmente aperto. In questo modo non si potrà passare a un determinato stato senza che sia attivato il precedente (solamente nel caso dello STATO_0 il contatto dello stato precedente, STATO_8, è di tipo normalmente chiuso poiché all'attivazione di esso si dovranno disattivare tutti gli altri stati).
Verificata la condizione sopra descritta, una RUNG si potrà attivare se il ciclo è in marcia (STATO_IMP = TRUE) e se si verifica la condizione di transizione dello stato del sistema.

Dalla seconda RUNG si può notare che il ciclo ritorna nello stato iniziale se si è attivata l'ultima RUNG della sezione (STATO_8)

La prima RUNG è utilizzata per stabilire se si è verificata la condizione iniziale che permette l'avvio della sequenza.

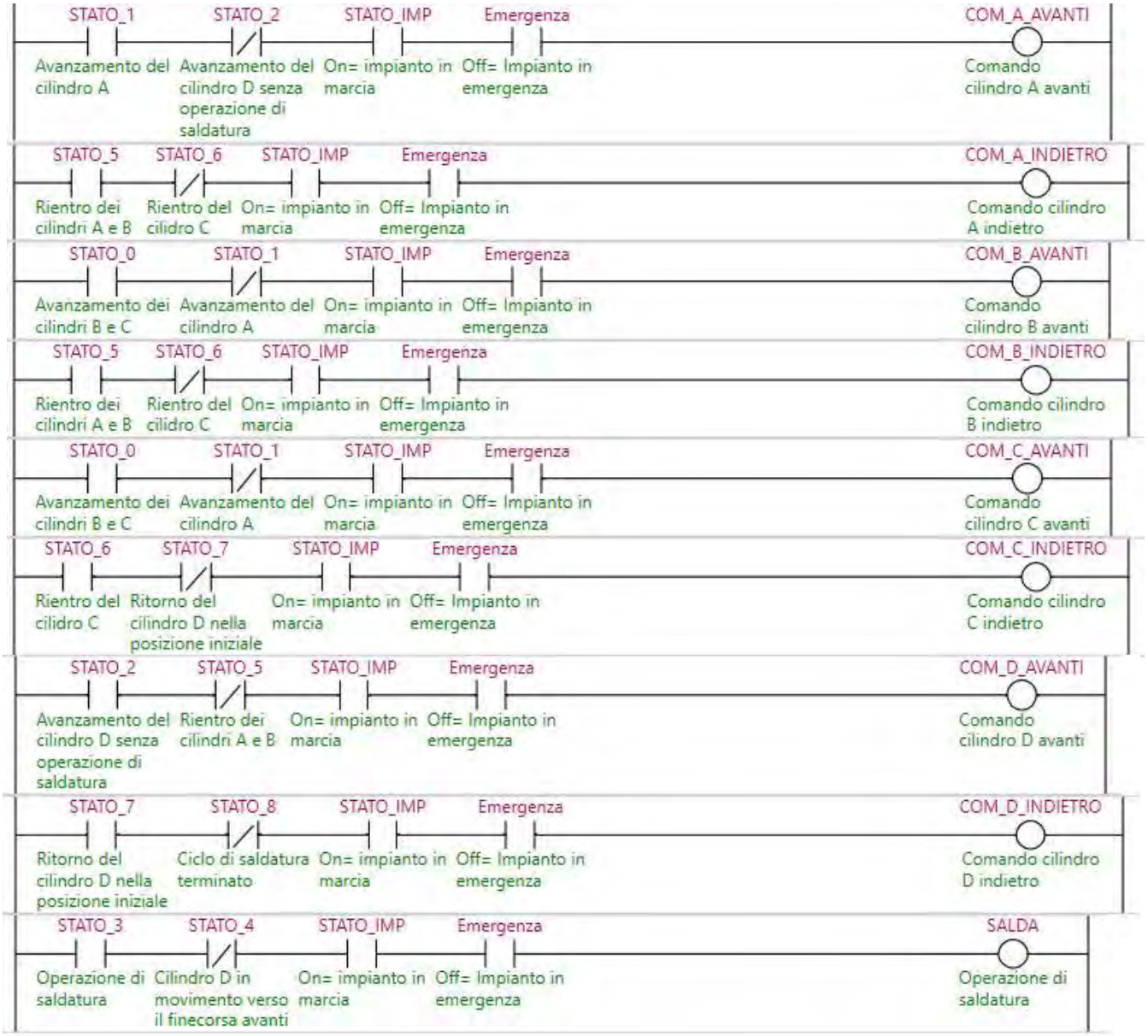

FC_IA
Fine corsa indietro cilindro A
FC_IB
Fine corsa indietro cilindro B
FC_IC
Fine corsa indietro cilindro C
FC_1D
Fine corsa indietro cilindro D
PRE_BOCC
RILEVA LA PRESENZA DELLA BOCCOLA SUL FINDO DELLA PILA
PRE_TOND
RILEVA LA PRESENZA DEL TONDINO SUL FONDO DELLA PILA
POSIZ_INIZ
Cilindri in posizione inizio ciclo
STATO_IMP
On= impianto in marcia
POSIZ_INIZ
Cilindri in posizione inizio ciclo
STATO_8
Ciclo di saldatura terminato
STATO_0
Avanzamento dei cilindri B e C
STATO_0
Avanzamento dei cilindri B e C
STATO_IMP
On= impianto in marcia
FC_AC
Fine corsa avanti cilindro C
FC_AB
Fine corsa avanti cilindro B
STATO_0
Avanzamento dei cilindri B e C
STATO_1
Avanzamento del cilindro A
STATO_1
Avanzamento del cilindro A
STATO_IMP
On= impianto in marcia
FC_AA
Fine corsa avanti cilindro A
STATO_1
Avanzamento del cilindro A
STATO_2
Avanzamento del cilindro D senza operazione di saldatura
STATO_2
Avanzamento del cilindro D senza operazione di saldatura
STATO_IMP
On= impianto in marcia
FC_2D
Posizione avvio saldatura
STATO_2
Avanzamento del cilindro D senza operazione di saldatura
STATO_3
Operazione di saldatura
STATO_3
Operazione di saldatura
STATO_IMP
On= impianto in marcia
FC_3D
Posizione di fine saldatura
STATO_3
Operazione di saldatura
STATO_4
Cilindro D in movimento verso il finecorsa avanti
STATO_4
Cilindro D in movimento verso il finecorsa avanti
STATO_IMP
On= impianto in marcia
FC_4D
Fine corsa avanti cilindro D
STATO_4
Cilindro D in movimento verso il finecorsa avanti
STATO_5
Rientro dei cilindri A e B
STATO_5
Rientro dei cilindri A e B


STATO_IMP
On= impianto in marcia
FC_1A
Fine corsa indietro cilindro A
FC_1B
Fine corsa indietro cilindro B
STATO_5
Rientro dei cilindri A e B
STATO_6
Rientro del cilidro C
STATO_6
Rientro del cilidro C
STATO_IMP
On= impianto in marcia
FC_1C
Fine corsa indietro cilindro C
STATO_6
Rientro del cilidro C
STATO_7
Ritorno del cilindro D nella posizione iniziale
STATO_7
Ritorno del cilindro D nella posizione iniziale
STATO_IMP
On= impianto in marcia
FC_1D
Fine corsa indietro cilindro D
STATO_7
Ritorno del cilindro D nella posizione iniziale
STATO_8
Ciclo di saldatura terminato

Sezione : Uscite

In questa sezione sono riportate le condizioni che attivano le uscite che comandano le elettrovalvole. Per quanto riguarda tutte le uscite si può osservare che:

- il contatto di "Emergenza" ne condiziona l'attivazione;
- l'uscita STATO_IMP = TRUE abilita i contatti associati agli stati (ciclo automatico)
- i comandi sono abilitati e disabilitati quando si raggiungono gli stati in cui essi devono funzionare (il contatto NA indica lo stato di avvio e quello NC lo stato di arresto)



Gestione di un impianto idroelettrico

< Sommario

l progetto consiste in un sistema in grado di controllare/gestire una centrale idroelettrica con turbine idrauliche.

l ragazzi hanno progettato e successivamente realizzato un programma per la gestione e il monitoraggio dei diversi componenti e parametri di una centrale adibita alla produzione di energia elettrica sfruttando fonti rinnovabili.

ITI Enrico Fermi – Bassano del Grappa VI - Classe V

- **Docenti:** Fabrizio Innocenzi, Paolo Scotton
- **Studenti:** Joel Cappellari, Alberto Franco

Sommario

1 Presentazione del progetto 5
1.1 Convenzioni 5
1.2 Struttura del programma lato PLC 6
1.3 Variabili e strutture 6
1.4 Richiami sulle macchine idrauliche motrici 7
1.5 Gestione delle turbine 8
1.5.1 Aspetti generali 8
1.5.2 Inizializzazione 9
1.5.3 Funzionamento della regolazione PID 9
1.5.4 Manutenzione 10
1.5.5 Emergenza 12
1.6 Gestione dello sgrigliatore 13
1.6.1 Gestione della movimentazione lungo l’asse X lato PLC 14
1.6.2 Gestione della movimentazione lungo l’asse Y lato PLC 14
2 Grafica del progetto 15
2.1 Livelli di accesso 15
2.2 Menù IMPOSTAZIONI 16
2.2.1 IMPOSTAZIONI IMPIANTO 16
2.2.2 IMPOSTAZIONI GRIGLIE 17
2.3 Menù RENDIMENTI 20
2.4 Menù TURBINE 21
2.4.1 Menù TURBINE: visualizzazione grafica della simulazione 22
2.4.2 Menù TURBINE: parametri numerici 23
2.5 Pop-up PARAMETRI SIMULAZIONE 24
2.6 Menù GRIGLIE 26
2.6.1 Generale Griglie 26
2.6.2 Griglie: singole griglie 29
2.6.3 Movimentazione dello sgrigliatore in HMI 31
2.6.4 Griglie: circuito oleodinamico sgrigliatore 31
2.7 Menù CONTROLLO 32
2.7.1 Controllo: MONITORAGGIO IMPIANTO 33
2.7.2 Controllo: Rendimenti Turbine 34
2.7.3 Calcolo dei rendimenti: implementazione della funzione *Calc_Rendimenti* 35
2.7.4 Rendimenti: determinazione del valore X e richiamo della funzione *Calc_Rendimenti* 36
2.7.5 Cilindri che muovono le pale statoriche 37

2.8 Menù SCHEMA 38
2.9 Menù PRODUZIONE 39
2.9.1 Calcolo dell’energia prodotta e del guadagno. 40
2.9.2 Calcolo CO_2 e CH_4 risparmiati 40
2.10 Menù RICETTE 41
2.11 Menù ALLARMI 42
3 Impostazione dell’impianto Ethercat 43
3.1 Impianto Ethercat 43
3.2 Nodo 1 - E001 43
3.3 Nodo 2 – E002 43
3.3.1 Grandezze misurate nella scheda NX-AD4208 44
3.3.2 Grandezze misurate nelle schede NX-ECS212 45
3.3.3 Grandezze misurate nelle schede NX-EC0222 46
3.4 Nodo 3 – ECC203 46
3.4.1 Grandezze misurate nelle schede NX-ECS212 47
4 Rack CPU 49
5 Difficoltà riscontrate 50
5.1 Lato PLC 50
5.2 Lato HMI 51
6 Possibili sviluppi futuri 53
7 Utilità didattica 54
8 Ringraziamenti 55
9 Guide rapide 56
9.1 Avvio della simulazione 56
9.2 Regolare i parametri della simulazione (precisione e velocità della simulazione) 57
9.3 Impostare una operazione di pulizia automatica delle griglie 57
10 Indice delle figure 58
11 Indice delle tabelle 60

1 Presentazione del progetto

Il progetto si propone di fornire uno strumento per la gestione dei diversi componenti di una centrale di produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili. Nello specifico, è stato progettato un sistema di controllo/gestione di una centrale idroelettrica con turbine idrauliche.

Gli aspetti sviluppati sono sostanzialmente due: da una parte è stata progettata la gestione vera e propria delle turbine idrauliche, come specificato nel seguito; dall’altra sono stati implementati gli aspetti legati alla gestione della manutenzione delle griglie poste a protezione delle canalizzazioni forzate, necessaria per garantire il costante e corretto flusso di acqua alle turbine.

Lo scopo principale della parte relativa alla gestione delle turbine è stato quello di fornire uno strumento in grado di regolare in automatico la portata di acqua in ciascuna girante e che fosse in grado di seguire eventuali fluttuazioni dovute a cause esterne non controllabili, quali:

- variazione della potenza elettrica richiesta dall’utenza;
- variazione delle quote dei bacini (superiore e inferiore);
- eventuali occlusioni delle griglie poste a monte delle canalizzazioni forzate.

Per simulare queste variazioni, infatti, sono stati specificatamente introdotti alcuni elementi per la variazione (da simulare in manuale) sia delle quote attuali dei due bacini, sia del grado di occlusione di ciascuna delle griglie presenti nell’impianto (ne sono previste, in automatico, una per ogni turbina)

La tipologia di regolazione verso la quale ci si è orientati è stata quella Proporzionale, Integrativa e Derivativa (regolazione di tipo PID).

Con la parte relativa alla gestione della manutenzione delle griglie si è voluto fornire, invece, uno strumento che fosse in grado di gestire uno sgrigliatore che effettuasse la pulizia di ogni griglia. Lo sgrigliatore è stato concepito come un cilindro oleodinamico in grado di movimentare un rastrello lungo un asse verticale, quando in corrispondenza della griglia da pulire, e mosso in direzione orizzontale tramite un motore elettrico.

Le modalità con cui poter prevedere il programma di pulizia sono due:

- in automatico in funzione del grado di occlusione letto dal controllore (impostabile manualmente tramite specifiche interfacce utente);
- in manuale, selezionando le specifiche griglie da pulire.

È prevista, inoltre, la possibilità di muovere orizzontalmente lo sgrigliatore tramite JOG.

Il numero di turbine impostabili, e di conseguenza di griglie per le condotte forzate, va da un minimo di 1 ad un massimo di 6 (impostato per default pari a 6).

1.1 Convenzioni

In questa relazione si useranno le MAIUSCOLE per fare riferimento alle pagine, sezioni o pulsanti del programma Sysmac Studio ed il *corsivo* per le variabili.

Il controllore è identificato con l’acronimo “PLC” mentre la parte grafica con “HMI”.

In HMI, inoltre, per convenzione i pulsanti presentano il testo nero se non premuti, bianco se premuti.

1.2 Struttura del programma lato PLC

Come visibile dall’explorer multivista lato PLC (*Fig. 1 - Eplorer Multivista PLC*), il progetto risulta strutturato in quattro programmi, a loro volta suddivisi in diverse sezioni:

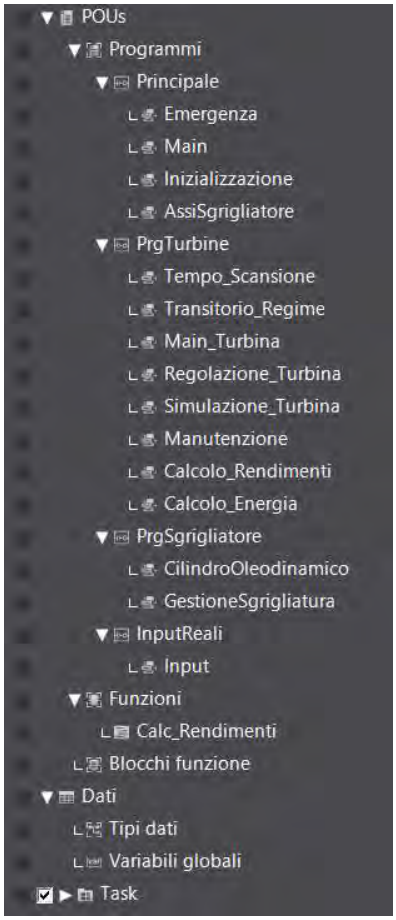


Fig. 1 - Eplorer Multivista PLC

PRINCIPALE

In questa parte del programma sono contenute le sezioni relative alla determinazione delle grandezze di riferimento, calcolate a partire dai dati di input, alla gestione del comando “Emergenza”, alla gestione della movimentazione degli assi dello sgrigliatore.

PRGTURBINE

È la parte del programma in cui sono contenute le sezioni relative alla movimentazione delle valvole a farfalla che controllano l’ingresso dell’acqua nello statore, alla regolazione PID dell’angolo statorico delle turbine, alla determinazione della portata alle giranti e della velocità di rotazione degli alberi, alla disattivazione/attivazione delle turbine per consentire una eventuale manutenzione, al calcolo dei rendimenti per interpolazione di dati da inserire in fase di input, al calcolo dell’energia totale prodotta dall’impianto.

PRGSGRIGLIATORE

Sono contenute in questa parte le sezioni relative alla gestione delle operazioni di pulizia delle griglie (quando e se effettuare la pulizia), sia relativamente all’asse X dello sgrigliatore, ovvero alla movimentazione per arrivare in corrispondenza di ciascuna griglia, sia relativamente all’asse Y, ovvero relativamente alla movimentazione del cilindro oleodinamico.

INPUTREALI

Vi è contenuta una sezione in cui si evidenzia solo come potrebbero essere trattate le variabili impostate nelle schede di ingresso e uscita per essere riconducibili a quelle trattate nel codice. Questo programma non viene elaborato.

1.3 Variabili e strutture

In questa sezione si intende fornire una prima panoramica delle variabili principali utilizzate all’interno del codice. Per le altre, si rimanda al codice.

Il programma si trova a gestire un numero di turbine variabile da un minimo di 1 ad un massimo di 6. Il numero di turbine è un valore che viene inserito tramite interfaccia utente e viene memorizzato nella variabile *N_TurbineImpostato* di tipo UINT.

Per far riferimento alla specifica turbina indicizzata, è stato necessario creare una variabile di indice. Tale variabile è *RefTurbina*, anch’essa di tipo UINT.

Nelle diverse sezioni del codice, ogni volta che si rende necessario ripetere una operazione per tutte le turbine presenti nell’impianto, viene reiterato il codice con riferimento ad uno specifico array indicizzato con *RefTurbina* che varia da 1 a *N_TurbineImpostato*.

Di particolare importanza per la comprensione del codice, nonché per snellire le singole linee di comando in fase di scrittura, sono le strutture. A titolo di esempio, si riportano nel seguito quelle principali.

strCampoValori (*Fig. 2 – strCampoValori*)

Fanno riferimento a questa struttura tutte quelle grandezze che hanno valori di set, attuali, minimi e massimi, attuali.

A titolo di esempio, si considerino le quote dei bacini superiore e inferiore, le portate di acqua delle singole turbine, le potenze elettriche, etc.

strCampoValori	STRUCT
Set	REAL
Attuale	REAL
Max	REAL
Min	REAL
Nom	REAL

Fig. 2 – strCampoValori

strTurbina (*Fig. 3 – strTurbina*)

La struttura strTurbina contiene tutte quelle variabili che si ripetono per ciascuna turbina dell’impianto e che servono alla loro caratterizzazione o controllo.

strTurbina	STRUCT
Ready	BOOL
Active	BOOL
RotazioneGirante	REAL
VelocitaAlbero	REAL
Rend_Elettrico	REAL
Rend_Globale	REAL
Rend_Idraulico	REAL
Energia	REAL

Fig. 3 – strTurbina

strSgrigliatore (*Fig. 4 – strSgrigliatore*)

In questo caso l’utilità della struttura sta nella funzione di contenitore che essa svolge.

A differenza delle turbine, che possono arrivare fino ad un massimo di 6, lo sgrigliatore è uno solo. Non sono presenti pertanto variabili indicizzate (del tipo “*variabile[indice].membro*”) che si riferiscono a membri di questa struttura.

Nel caso dello sgrigliatore, quindi, si è optato per la costruzione di una struttura annidata in ROOT, con il solo scopo di creare un contenitore in cui far ricadere tutte le variabili che fanno riferimento all’oggetto “sgrigliatore”.

Nella figura di fianco è riportata un’immagine della struttura annidata in cui sono visibili le diverse strutture che ne fanno parte. A titolo di esempio, la struttura *strSgrigliatore_X* è espansa per mostrare i diversi membri che ne fanno parte.

root ▸ nsSgrigliatore

Strutture | Union | Enumerazione

Nome	Tipo di base
▸ strSgrigliatore	STRUCT
▾ strSgrigliatore_X	STRUCT
Pos_Attuale	REAL
Pos_Set	LREAL
Move	BOOL
Done	BOOL
Home	BOOL
Stop	BOOL
Reset	BOOL
PowerOn	BOOL
Homing_Save	BOOL
Vel_Set	REAL
Vel_Attuale	REAL
Pos_HMI	REAL
▸ strSgrigliatore_Y	STRUCT
▸ strSgrigliatore_input	STRUCT
▸ strSgrigliatore_PLC_Only	STRUCT

Fig. 4 – strSgrigliatore

1.4 Richiami sulle macchine idrauliche motrici

Vengono richiamate in questa sezione alcune delle formule utilizzate nel codice.

Per il calcolo della potenza elettrica generata dalle turbine o richiesta all’impianto, si parte dalla potenza idraulica disponibile e si tiene conto delle perdite idrauliche, nell’alternatore e nelle condotte tramite i rispettivi rendimenti.

$$P_i[W] = \rho \cdot g \cdot Q \cdot \Delta H$$

$$P_e = P_i \cdot \eta_{idraulico} \cdot \eta_{elettrico} \cdot \eta_{impianto}$$

In cui:

- P_i: potenza idraulica disponibile [W];
- P_e: potenza elettrica [W];
- ρ: densità del liquido [kg/m^3];
- g: accelerazione di gravità [m/s^2];
- Q: portata volumetrica [m^3/s];
- ΔH: salto utile [m];
- η: rendimenti.

Le portate vengono ricavate a partire dalle stesse formule.

Il numero di giri al minuto compiuti dall’alternatore, e quindi dalla girante della turbina al quale è calettato, è legato alla frequenza della corrente prodotta ed al numero di coppie polari dell’alternatore dalla relazione:

$$n\left[\frac{giri}{min}\right] = \frac{60 \cdot f}{p}$$

In cui:

- f: frequenza della corrente prodotta [Hz];
- p: numero di coppie polari dell’alternatore.

1.5 Gestione delle turbine

1.5.1 Aspetti generali

Per comprendere la struttura alla base della parte relativa alla gestione delle turbine è necessario considerare gli aspetti fondamentali, riportati di seguito:

- il programma gestisce un impianto idroelettrico con turbine idrauliche in grado di erogare una determinata potenza totale, specificata in fase di avvio del programma nella pagina IMPOSTAZIONI IMPIANTO. All’interno del programma, questo valore rappresenta il target da inseguire;
- la potenza che ciascuna turbina eroga viene gestita/controllata attraverso la regolazione della relativa portata che, a sua volta, viene controllata attraverso la regolazione dell’angolo statorico. Nel programma, questo valore rappresenta il valore che viene gestito tramite regolazione PID;
- la velocità di rotazione delle giranti è direttamente legata alla frequenza della corrente alternata prodotta dall’alternatore, che per la rete Nazionale è pari a 50 Hz, ed al numero di coppie polari di cui gli alternatori sono composti. Le velocità di rotazione delle giranti sono pertanto dei valori che non possono variare in fase di funzionamento a regime, condizione in cui la centrale può essere connessa alla rete di distribuzione.

In base a quanto sopra specificato, è possibile schematizzare nel modo seguente la struttura della parte del programma relativa alla gestione delle turbine:

- inserimento del valore di potenza nominale totale dell’impianto. Da questo valore viene determinato anche il valore di potenza massimo erogabile, pari al 110% del valore nominale (per tener conto della necessità di coprire eventuali fluttuazioni della potenza richiesta);
- calcolo della potenza che ciascuna turbina deve erogare (semplicemente dividendo la potenza totale richiesta per il numero di turbine presenti nell’impianto, salvo in caso di manutenzione per cui si rimanda al paragrafo specifico);
- determinazione dell’angolo statorico di ciascuna turbina, idoneo a garantire la portata utile per generare la potenza richiesta. Questo calcolo viene effettuato prendendo in considerazione i dati di impianto (salto utile, grado di occlusione delle griglie sulle condotte forzate, rendimenti);
- determinazione della portata attuale di ciascuna turbina e confronto con il valore di target. La portata attuale viene determinata in proporzione rispetto al valore massimo, che corrisponde all’angolo statorico massimo (impostato di default pari a 90°), secondo la formula:
  $Q_{attuale} / \alpha_{attuale} = Q_{max} / \alpha_{max}$
- implementazione della regolazione PID per gestire le variabilità dei dati di input (transitori di accensione o spegnimento di turbine, cambiamenti nel salto utile o nel grado occlusione griglie, messa in manutenzione di una o più turbine, variazioni della potenza elettrica richiesta dalla rete).

1.5.2 Inizializzazione

Per il corretto funzionamento del programma è necessario inizializzare alcune variabili assegnando loro dei valori di partenza (si veda ad esempio il paragrafo relativo al menù RENDIMENTI). Questa operazione è svolta nella sezione INIZIALIZZAZIONE del programma MAIN.

1.5.3 Funzionamento della regolazione PID

Il funzionamento di una turbina idraulica può essere schematizzato come segue:

- l’acqua dalla condotta forzata attraversa le pale statoriche della turbina;
- il grado di apertura delle pale statoriche, caratterizzato dall’angolo statorico, determina quanta acqua arriva alla girante;
- la regolazione dell’angolo statorico comporta una regolazione della portata d’acqua e quindi della potenza prodotta dalla turbina.

È necessario pertanto definire per portata ed angolo statorico sia dei valori di set, che rappresentano i target da inseguire, sia dei valori attuali, che rappresentano i valori istantanei di funzionamento.

Il PID controlla l’errore tra portata di set e portata attuale $E=Q_{set}-Q_{att}$ (*Errore[RefTurbina]:=Portata[RefTurbina].Set- Portata[RefTurbina].Attuale)* e regola l’angolo statorico di set delle turbine (sezione REGOLAZIONE_TURBINA nel programma PRGTURBINE).

Nella sezione SIMULAZIONE_TURBINA viene modificato l’angolo statorico attuale affinché esso insegua l’angolo statorico di set regolato. Ad una variazione dell’angolo statorico attuale corrisponde una variazione della portata attuale in turbina e quindi una variazione dell’errore controllato tramite PID. Il processo si reitera fino a far tendere l’errore a zero.

La portata attuale può variare anche in funzione del grado di occlusione delle griglie.

La portata di set, altro parametro che definisce l’errore, viene inizializzata al valore nominale, ma può subire variazioni dovute a diversi fattori quali:

- variazione del salto utile, dovuta ad una variazione delle quote dei bacini superiore e inferiore;
- variazione della potenza elettrica richiesta;
- messa in manutenzione di una o più turbine.

Ognuna di queste cause è in grado di provocare una variazione in Q_{set} e di conseguenza nell’errore, facendo intervenire il PID che tende a reagire alle variazioni.

Si è deciso arbitrariamente di far intervenire la regolazione PID quando l’errore relativo (errore/Q_{set}) è inferiore al 15%. Al di sopra di questo valore, ovvero quando ci si trova in condizioni transitorie quali ad esempio l’avvio delle turbine, l’angolo statorico viene aumentato senza regolazione per step definiti ad ogni intervallo della scansione. Questa circostanza rende l’avvio, ovvero la fase transitoria in cui una regolazione sarebbe inutile, più rapido.

La regolazione PID stessa può essere modificata in precisione attraverso uno slider presente nel pop-up, visibile alla pressione del tasto F1 da uno dei menù TURBINE o dal menù SCHEMA in HMI. Lo slider consente di modificare la variabile *StepAzionamento* che corrisponde alla quantità di cui si aumenta o decrementa l’angolo statorico durante la regolazione, come evidenziato nel codice riportato in *Fig. 5 - variabile StepAzionamento*.

```
5  FOR RefTurbina:=1 TO N_TurbineImpostato DO
6    IF Regime[RefTurbina]=TRUE then
7      //Incremento dell'angolo statorico
8      IF AngoloStatorico[RefTurbina].Set > AngoloStatorico[RefTurbina].Attuale THEN
9        AngoloStatorico[RefTurbina].Attuale := AngoloStatorico[RefTurbina].Attuale + StepAzionamento;
10     END_IF;
11     //Decremento dell'angolo statorico
12     IF AngoloStatorico[RefTurbina].Set < AngoloStatorico[RefTurbina].Attuale THEN
13       AngoloStatorico[RefTurbina].Attuale := AngoloStatorico[RefTurbina].Attuale - StepAzionamento;
14     END_IF;
15   END_IF;
16 END_FOR;
```

Fig. 5 - variabile StepAzionamento

Il funzionamento del PID si riesce ad apprezzare in diverse pagine dell’HMI:

- nel menù TURBINE: se una o più turbine vengono messe in manutenzione, la velocità delle restanti varia per ripristinare le condizioni di funzionamento a numero di giri ottimali;
- nel menù CONTROLLO: se viene impostata una operazione di pulitura nella pagina relativa alle griglie. In questo caso infatti, ogni volta che lo sgrigliatore pulisce una griglia, interviene il PID poiché varia la portata d’acqua che arriva alla girante (e di conseguenza varia l’errore controllato dal PID). Ciò è evidenziato dalle velocità indicate nei riquadri delle singole turbine, che variano di conseguenza.

È possibile apprezzare la regolazione PID guardando i valori relativi ai numeri di giri delle turbine, che tendono al valore indicato (calcolato) nella pagina impostazioni impianto.

1.5.4 Manutenzione

Le operazioni indicate in questo paragrafo fanno riferimento alla sezione MANUTENZIONE del programma PRGTURBINE.

Fig. 6 - Tasto MANUTENZIONE TURBINA

Il programma prevede la possibilità di disattivare una o più turbine, anche contemporaneamente, per il tempo necessario per permettere eventuali interventi manutentivi per poi riattivarle in un secondo momento, terminate le attività necessarie. Il comando di messa in manutenzione e di successiva riattivazione è subordinato alla pressione del tasto MANUTENZIONE TURBINA (*Fig. 6 - Tasto MANUTENZIONE TURBINA*), che si trova nelle pagine del menù TURBINE.

Nella simulazione si è velocizzata la messa in manutenzione per non allungare troppo i tempi di attesa. La velocità di simulazione può essere variata da un pop-up visibile dalle finestre del menù TURBINE tramite il tasto F1 (*Fig. 30 – tasto F1*).

La pressione del tasto per la messa in manutenzione comporta la comparsa della seguente finestra di avviso:

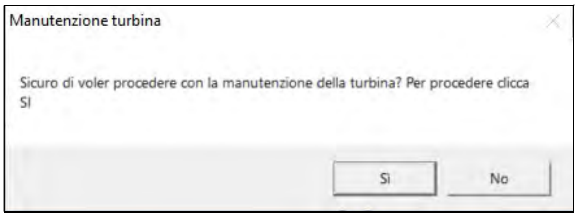


Fig. 7 - messaggio di avviso "Manutenzione turbina"

per procedere è sufficiente confermare cliccando sul tasto “sì”.

Per disattivare lo stato di manutenzione e quindi attivare nuovamente una turbina è necessario premere lo stesso tasto MANUTENZIONE TURBINA premuto per la disattivazione. Questa volta il messaggio di avviso sarà relativo alla riattivazione, come mostrato nella figura seguente:

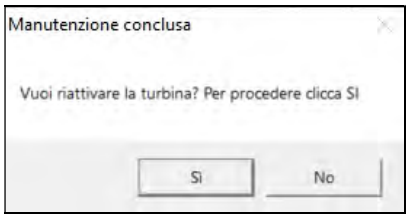


Fig. 8 - messaggio di avviso "Manutenzione conclusa"

<u>Nota:</u>

Le due finestre riportate nelle immagini precedenti non sono visibili nel video di presentazione del progetto per motivi legati all’acquisizione video.

La disattivazione di una o più turbine comporta, nel codice, due aspetti di particolare importanza:

- la variazione istantanea del numero di turbine impostate come “ready”, quindi pronte a produrre;
- il calo rapido della portata d’acqua alla turbina disattivata (o alle turbine disattivate), che scende improvvisamente a zero partendo da un valore finito.

Se non si tenesse conto di questi aspetti, nel codice si verificherebbe la condizione per cui la potenza totale richiesta dall’impianto dovrebbe essere prodotta dalle restanti turbine, per di più improvvisamente. Una situazione di questo tipo non sarebbe realistica perché da una parte comporterebbe un funzionamento “fuori soglia” per le restanti turbine, che si troverebbero a lavorare in condizioni per cui non sono progettate, dall’altra la variazione delle portate non terrebbe conto delle inevitabili inerzie legate all’impianto.

Il problema legato alla messa in manutenzione di una o più turbine ed alla loro successiva riattivazione sta, quindi, nella variazione improvvisa e di notevole entità della portata di set delle restanti turbine, che devono ridistribuire velocemente la potenza da produrre ma non possono eccedere la potenza massima, impostata pari al 110% di quella nominale (valore arbitrario, ma comunque verosimile per simulare situazioni reali)

Si presenta quindi un duplice problema: da una parte nasce l’esigenza di limitare la potenza massima richiesta alle turbine, in modo che essa non ecceda quella massima per cui sono state dimensionate, dall’altra il riassetto verso le nuove condizioni di target non può/deve essere improvviso, ma progressivo.

Per ovviare al problema relativo alla potenza, è stata implementata una variabile di appoggio con funzione di nuovo riferimento (*PotenzaRiferimento*), che viene posta uguale alla minore tra le due grandezze:

- Potenza elettrica totale di set / numero turbine attivo;
- Potenza elettrica totale massima / numero turbine impostato;

essendo la seconda una quantità fissa e da non superare per garantire il funzionamento corretto delle turbine. Contestualmente al calcolo di questo nuovo riferimento, viene anche creata una variabile (*Delta*) che fornirà lo step da aggiungere/sottrarre alle potenze per simulare la progressività della variazione (il cui valore è una percentuale arbitraria del rapporto tra potenza elettrica totale di set e numero di turbine impostato). Nella figura che segue viene riportata la parte di codice descritta precedentemente.

Fig. 9 - rung 0 sezione Manutenzione

Poiché il numero di turbine è una quantità che compare a denominatore, durante la disattivazione si verifica sempre che il rapporto *PotenzaElettricaTotale.Max/N_TurbineImpostato* sia la quantità più piccola (*N_TurbineImpostato* > *N_turbine*). Durante questa fase, quindi, la potenza delle turbine rimaste attive sarà aumentata di *Delta* fino al nuovo riferimento, mentre quella in disattivazione sarà diminuita di *Delta* fino a tendere a zero e quindi fermarsi.

In fase di riattivazione, invece, gli scenari possono cambiare in base a quante turbine erano state disattivate in precedenza ed in funzione del numero di turbine totali di cui l’impianto è composto. Il programma quindi verifica la condizione relativa alla *PotenzaRiferimento* e reagisce di conseguenza, sommando o sottraendo Delta a seconda che il nuovo riferimento sia maggiore o minore della potenza di set precedente.

1.5.5 Emergenza

Il programma prevede la possibilità di arrestare manualmente tutto l’impianto al verificarsi di ipotetiche condizioni di emergenza. L’emergenza viene impostata alla pressione del tasto rosso a sfondo giallo “EMERGENZA”, riportato in *Fig. 10 - Tasto EMERGENZA*, raggiungibile dalle pagine del menù TURBINE e del menù GRIGLIE. Il tasto EMERGENZA è un *toggle button*, pertanto resta impegnato una volta premuto.

Fig. 10 - Tasto EMERGENZA

Nella realtà, come previsto dalla normativa vigente, il pulsante EMERGENZA deve corrispondere ad un contatto NC, ma nella simulazione abbiamo dovuto considerarlo NA.

Gli effetti della pressione del tasto EMERGENZA sono implementati nella sezione EMERGENZA del programma PRINCIPALE.

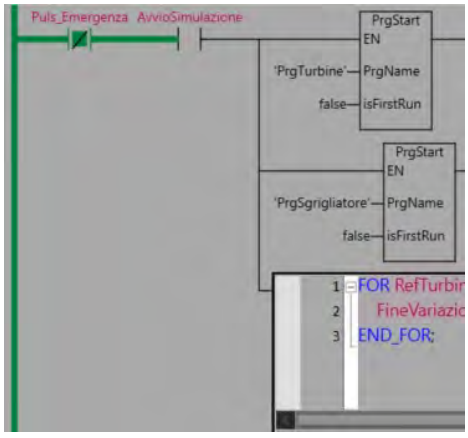


Fig. 11 - contatto Puls_Emergenza NC

Dal punto di vista dell’implementazione del codice, l’emergenza ha i seguenti effetti:

- disabilita l’esecuzione del programma PRGTURBINE;

- disabilita l’esecuzione del programma PRGSGRIGLIATORE;
- pone a FALSE tutte le variabili *Turbine[RefTurbina].Ready;*
- resetta le modalità di pulizia (manuale e automatica) dello sgrigliatore.

Le conseguenze della condizione *Turbine[RefTurbina].Ready:=FALSE* sono implementate, invece, nella sezione TRANSITORIO_REGIME di PRGTURBINE e comportano fondamentalmente il bypass della regolazione PID e la diminuzione degli angoli statorici, che gradualmente tendono a zero, fino all’arresto completo delle giranti (portata nulla).

Per il riavvio della simulazione delle turbine è necessario:

- disimpegnare il tasto emergenza, il cui contatto NC è posto in serie ad *AvvioSimulazione* (*Fig. 11 - contatto Puls_Emergenza NC*);
- premere nuovamente il tasto AVVIO SIMULAZIONE;
- agire singolarmente sulle turbine, riattivandole attraverso il relativo tasto MANUTENZIONE raggiungibile dal menù TURBINE.

Nota:

Come ulteriore condizione di sicurezza, dopo aver premuto il pulsante EMERGENZA, il sistema permette il ripristino delle normali condizioni di funzionamento dell’impianto solo dopo la completa chiusura delle valvole a farfalla. Durante questo transitorio, il pulsante di emergenza risulta interdetto al riarmo e sotto di esso compare la scritta “finché le valvole non sono completamente chiuse non è possibile ripristinare l’emergenza”.

La pressione del tasto EMERGENZA comporta il contestuale arresto di tutte le operazioni di pulizia delle griglie.

Per il riavvio dello sgrigliatore è necessario:

- disimpegnare il tasto emergenza;
- premere il tasto AVVIO SIMULAZIONE;
- premere il tasto RIPRISTINO MOTORE;
- lanciare il programma di pulizia richiesto (automatico, manuale o movimentazione tramite JOG).

1.6 Gestione dello sgrigliatore

Si è ipotizzato un unico sgrigliatore composto da un rastrello movimentato verticalmente tramite un cilindro oleodinamico ed in grado di spostarsi orizzontalmente tra le diverse griglie (in numero pari al numero di turbine introdotto).

La gestione dello sgrigliatore riguarda, pertanto, il pilotaggio della movimentazione dei due assi:

- asse x: comandato tramite motore elettrico;
- asse y: pilotato tramite una elettrovalvola 4/3 bistabile.

Le modalità di pulizia delle griglie previste sono:

- automatico: vengono pulite tutte e sole le griglie che presentano un grado di occlusione superiore ad un valore limite, impostabile lato HMI. Quando è selezionata questa modalità operativa, le operazioni di pulizia delle griglie vengono ripetute automaticamente se viene rilevato un grado di sporcizia superiore al limite impostato;
- manuale: vengono pulite tutte e sole le griglie selezionate lato HMI. Le operazioni di pulizia in manuale non si ripetono in automatico, ma devono essere selezionate ogni volta.

1.6.1 Gestione della movimentazione lungo l’asse X lato PLC

La movimentazione lungo l’asse x viene pilotata attraverso un motore elettrico. Il PLC comanda il motore fornendo le informazioni relative alla griglia da pulire, in base al grado di occlusione ed in base alla posizione della griglia (input inserito lato HMI). Se la singola griglia presenta un valore inferiore al valore limite impostato (o, in modalità manuale, qualora la griglia non fosse selezionata), lo sgrigliatore la ignora e passa direttamente alla successiva.

Durante le operazioni di pulizia delle griglie, è interdetta la possibilità di variare il grado di occlusione.

1.6.2 Gestione della movimentazione lungo l’asse Y lato PLC

La pompa che manda il fluido alle camere del cilindro oleodinamico si attiva non appena lo sgrigliatore riceve l’input per muoversi orizzontalmente. Quando esso si trova in corrispondenza di una griglia da pulire, l’elettrovalvola 4/3 riceve l’input per commutare ed il cilindro effettua la corsa di discesa. La pulizia vera e propria è prevista in fase di salita (pertanto in salita è prevista una velocità verticale inferiore), che avviene non appena viene impegnato il finecorsa 1 (posto in corrispondenza della quota inferiore) del cilindro, che fornisce l’impulso per la commutazione dell’elettrovalvola.

Appena iniziata la fase di discesa del cilindro, il motore che comanda il movimento orizzontale già riceve il target relativo alla posizione della griglia successiva che deve pulire. Al termine delle operazioni di pulizia della singola griglia, ovvero quando viene impegnato il finecorsa 0, lo sgrigliatore riprende la corsa verso la successiva griglia da pulire.

La posizione delle griglie, che insieme al grado di ostruzione delle stesse rappresenta uno degli input per il motore, è inserita in HMI.

2 Grafica del progetto

Nella figura che segue viene riportata la schermata HOME del progetto. Dal punto di vista grafico essa si compone di dieci menù principali, individuati da altrettanti esagoni.

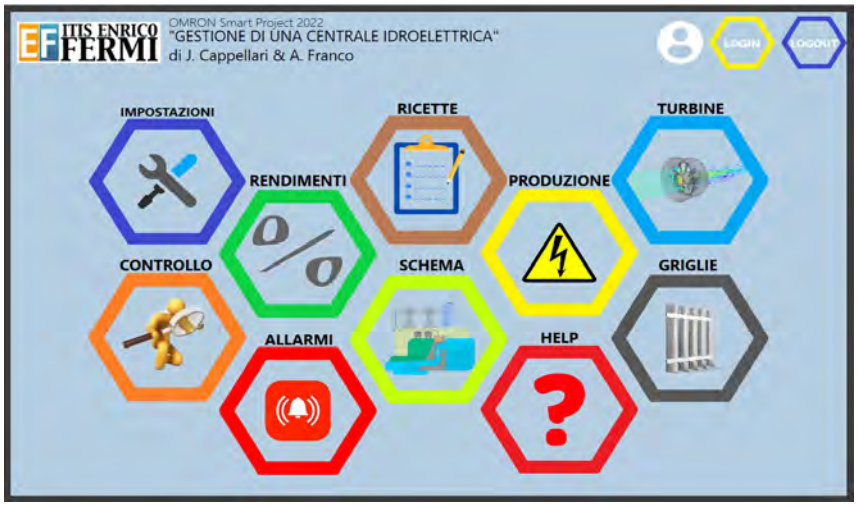


Fig. 12 - menù HOME

Nella figura riportata di fianco (*Fig. 13 - tasto HOME*) è rappresentato il tasto HOME che, salvo rare eccezioni, è presente in alto a sinistra in tutte le pagine e che rimanda al menù HOME nella figura precedente (*Fig. 12 - menù HOME*).

Fig. 13 - tasto HOME

In molte pagine è presente il tasto in *Fig. 14 - tasto HELP*. Questo tasto rimanda alla pagina di HELP relativa al menù in cui si trova.

Fig. 14 - tasto HELP

2.1 Livelli di accesso

Sono stati impostati due livelli di accesso: “Supervisore” ed “Operatore”.

L’operatore troverà disabilitate tutte quelle impostazioni modificabili dal solo “Supervisore” e che si trovano nella pagina principale del menù IMPOSTAZIONI, di cui al paragrafo seguente, quali: il numero di turbine idrauliche presenti nell’impianto e l’angolo massimo di rotazione delle palette statoriche (impostato di default pari a 90°); le quote nominali, massime e minime dei bacini superiore e inferiore; il numero di coppie polari dell’alternatore e la potenza elettrica nominale (in kW) da gestire.

Per poter accedere con l’account “Supervisore” è necessario effettuare il login (*Fig. 15 - tasto LOGIN*) con le seguenti credenziali di accesso:

- User: **SPR**
- Password: **Omron2022**

Fig. 15 - tasto LOGIN

2.2 Menù IMPOSTAZIONI

Nel menù IMPOSTAZIONI (*Fig. 16 - tasto menù IMPOSTAZIONI*) vengono inseriti i dati di partenza, relativi all’impianto ed alle griglie. Rappresenta quindi il primo menù che è necessario visitare in fase di primo avvio del programma. In esso è presente, inoltre, il tasto per l’avvio della simulazione (*Fig. 17 - Tasto AVVIA SIMULAZIONE*).
Il menù IMPOSTAZIONI si compone a sua volta di due pagine:

- IMPOSTAZIONI IMPIANTO;
- IMPOSTAZIONI GRIGLIE.

Fig. 16 - tasto menù IMPOSTAZIONI

Fig. 17 - Tasto AVVIA SIMULAZIONE

2.2.1 IMPOSTAZIONI IMPIANTO

Nella figura che segue è riportato il menù IMPOSTAZIONI IMPIANTO, come appare una volta effettuato l’accesso con le credenziali di “Supervisore”. Le caselle per la variazione dei dati, impostati di default come visibile nella figura, sono tutte disabilitate quando si effettua l’accesso come “Operatore”.

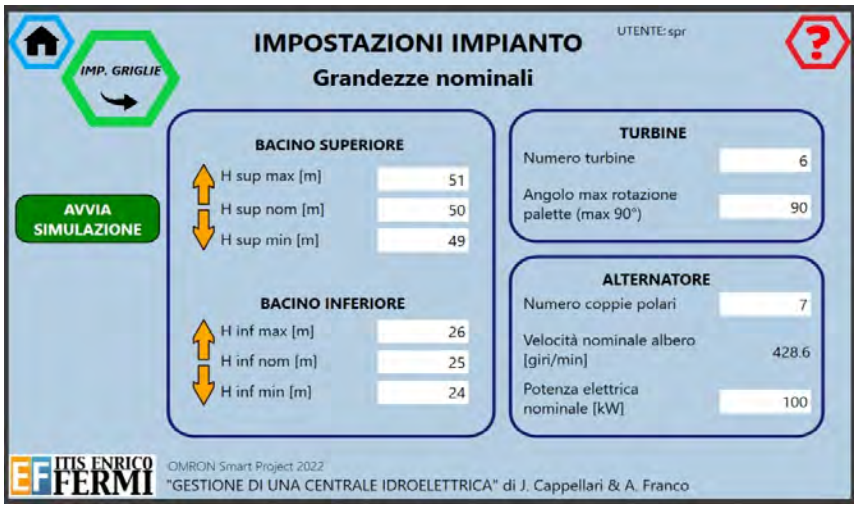


Fig. 18 - menù IMPOSTAZIONI IMPIANTO

Come evidenziato nella figura, il menù è suddiviso in tre sezioni, riferendosi ciascuna alle diverse parti dell’impianto che, in ordine da sinistra a destra sono: i bacini superiore e inferiore, le turbine, l’alternatore. Per ognuno di questi componenti devono essere specificati in questo menù i valori nominali, ovvero i dati di progettazione, che una volta avviata la simulazione non possono essere modificati.

Nel seguito vengono riportate le grandezze indicate in figura con il relativo significato:

Tabella 1 - Grandezze nel menù IMPOSTAZIONI

sezione BACINI	
H sup	Altezza del livello dell'acqua del bacino superiore sul livello del mare (slm).
H inf	Altezza del livello dell'acqua del bacino inferiore slm.
max e min	Livelli massimi e minimi raggiungibili. Nella simulazione si impone che livelli massimi e minimi non differiscano oltre il 5% del salto utile dove per "salto utile" si intende la differenza tra i dislivelli dei 2 bacini.
nominali	Valori di progetto, quelli in base ai quali è stato progettato l'impianto. Una volta impostati non vanno più modificati. Per variare i livelli dei bacini si userà un'altra finestra nella quale si varieranno i livelli attuali per verificare come reagisce l'impianto: questa finestra è raggiungibile attraverso il tasto F1, sia dalle pagine “Turbine” sia dalla pagina “Schema”, in cui viene riportata una rappresentazione schematica e semplificata dell’intero impianto.

sezione TURBINE	
N. turbine	Indica il numero di turbine dell'impianto. Non deve essere variato una volta avviata la simulazione. Per variare il numero di turbine funzionanti (è un altro parametro) si agisce dalle pagine "Turbine" attivando/disattivando la manutenzione. Il numero di turbine impostato in questa sezione è il responsabile del numero di turbine e di griglie visibili durante la simulazione. Il valore impostabile va da un minimo di 1 ad un massimo di 6 turbine idrauliche.
Angolo massimo rotazione palette	Apertura massima consentita alle pale statoriche. Generalmente 90° ma è impostabile tra 45 e 90 gradi. Le palette statoriche sono le pale che indirizzano l'acqua nella maniera ottimale alla turbina e regolano la portata d'acqua.

sezione ALTERNATORE	
N coppie polari	Numero di coppie polari presenti nell’alternatore. In base al valore impostato in questa casella e alla formula riportata al paragrafo “Richiami sulle macchine idrauliche motrici” si ha la velocità di riferimento dell'albero che compare calcolato automaticamente nel riquadro sottostante.
Potenza elettrica nominale	Rappresenta la potenza elettrica di progetto di TUTTO l'impianto. Anche questa grandezza non va cambiata dopo aver avviato la simulazione.

Per quanto riguarda le quote massime e minime di entrambi i bacini superiore e inferiore, il programma consente in automatico l’inserimento di valori entro un range pari a ±5% del valore nominale. Questo limite è stato imposto per garantire una simulazione più possibile rispondente ad una ipotetica situazione reale (la percentuale del 5% è stata scelta arbitrariamente).

Lato HMI, inoltre, il programma controlla che siano stati inseriti tutti i valori necessari nella pagina IMPOSTAZIONI IMPIANTO prima di permettere l’avvio della simulazione.

I due aspetti appena illustrati sono implementati nella subroutine *CalcoloValoriMinMax* in *CalcoloValori* lato HMI, che viene richiamata ad intervalli di 100 ms.

Si richiama infine l’attenzione sul valore relativo alla velocità nominale dell’albero motore. Questo valore è calcolato in automatico dal programma e dipende dal numero di coppie polari dell’alternatore e dalla necessità di produrre una corrente alternata con frequenza di 50 Hz, per poter essere immessa nella rete di distribuzione. In fase di simulazione, il compito della regolazione PID sarà proprio quello di regolare la portata di acqua alle turbine per consentire di mantenere la rotazione del corrispondente albero al valore nominale indicato.

2.2.2 IMPOSTAZIONI GRIGLIE

È possibile accedere a questo menù esclusivamente dal menù precedente, tramite la pressione del tasto “IMP. GRIGLIE” (*Fig. 19 - tasto menù IMPOSTAZIONI GRIGLIE*) posizionato in alto a sinistra nella pagina riportata in *Fig. 18 - menù IMPOSTAZIONI IMPIANTO.*

Fig. 19 - tasto menù IMPOSTAZIONI GRIGLIE

Nella figura che segue è raffigurato il menù IMPOSTAZIONI GRIGLIE come appare al primo accesso alla pagina. A differenza del menù precedente, le caselle per la variazione dei dati sono tutte modificabili tramite entrambi i livelli di accesso “Supervisore” ed “Operatore”.

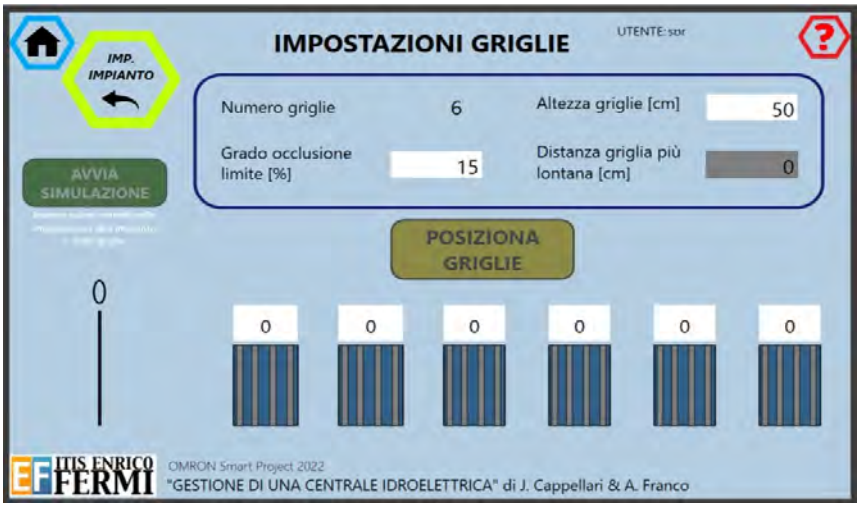


Fig. 20 - menù IMPOSTAZIONI GRIGLIE

Di particolare rilevanza è il tasto POSIZIONA GRIGLIE, che nell’immagine precedente risulta disabilitato e che viene abilitato solo una volta completato l’inserimento della posizione in X (espressa in cm) di tutte le griglie presenti nell’impianto. La posizione in X è riferita all’asse dello sgrigliatore, quando esso si trova nella posizione iniziale (prima della prima griglia).

Il tasto AVVIO SIMULAZIONE (*Fig. 17 - Tasto AVVIA SIMULAZIONE*) è subordinato all’inserimento dei valori relativi alle posizioni, nonché al posizionamento tramite POSIZIONA GRIGLIE. La figura mostra la pagina con i campi riempiti, dopo aver posizionato le griglie attraverso il tasto POSIZIONA GRIGLIE.

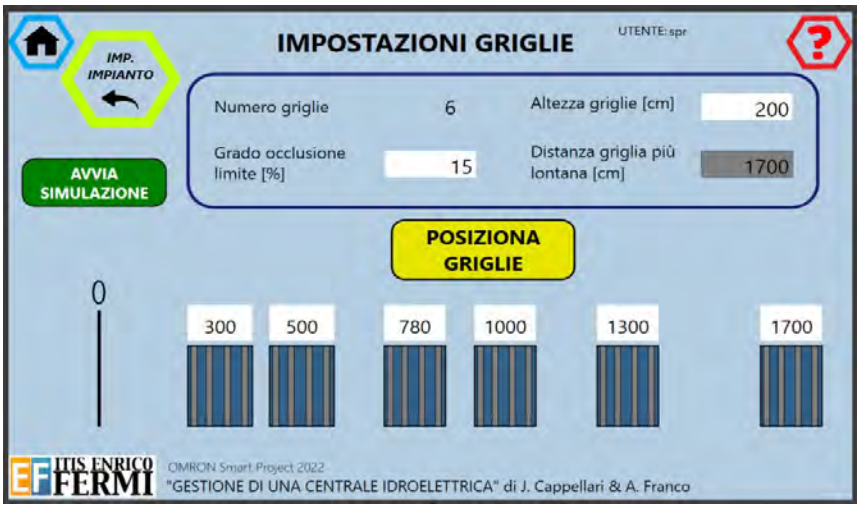


Fig. 21 - menù IMPOSTAZIONI GRIGLIE con esempio di griglie posizionate

Nella pagina, le griglie vengono disposte visivamente in proporzione alla relativa distanza dallo zero secondo la relazione:

$$X_{Reale} : X_{RealeMassima} = X_{Grafica} : X_{GraficaMassima}$$

Da cui si ottiene il valore della $X_{Grafica}$:

$$X_{Grafica} = (X_{Reale} * X_{GraficaMassima}) / X_{RealeMassima}$$

Nella tabella sottostante viene riportato il significato delle grandezze riportate nella relazione precedente, nonché la relativa variabile associata nel codice:

Tabella 2 - Variabili per riposizionamento griglie

Grandezza	Variabile	Significato
X_{Reale}	*Griglia(n).Posizione*	Distanza reale in cm della singola griglia rispetto all’asse dello sgrigliatore.
$X_{RealeMassima}$	*d_max*	Distanza reale dell’ultima griglia rispetto all’asse dello sgrigliatore, espressa in cm. Corrisponde alla distanza massima, che nella pagina viene riportata in automatico nella casella di testo “Distanza griglia più lontana [cm]”.
$X_{Grafica}$	*Griglia(n).Posizione_HMI*	Distanza in pixel del “left” della singola griglia dal bordo pagina.
$X_{GraficaMassima}$	1055	Distanza in pixel del “left” dell’ultima griglia. Indipendentemente dal numero di griglie presenti nell’impianto, l’ultima griglia viene posizionata sempre nella stessa posizione, pertanto questo valore è fisso e ricavabile dalla grafica. Il valore è pari a 1055.

Il posizionamento è computato tramite la subroutine “VisualizzaGriglie” della pagina IMPOSTAZIONI GRIGLIE, che viene richiamata alla pressione del tasto POSIZIONA GRIGLIE.

Il valore di 1055 tiene conto di diversi aspetti:

- l’asse dello sgrigliatore, ovvero l’origine degli spostamenti lungo X, è graficamente posizionato ad 85 pixel dal bordo sinistro della finestra;
- qualunque sia l’ultima griglia, essa avrà sempre il proprio bordo sinistro posto a 1140 pixel dal lato sinistro della finestra;
- le griglie hanno una dimensione in X pari a 100 pixel;
- le griglie vengono inizialmente posizionate in modo che il proprio “left” sia a 85 pixel dal bordo sinistro della finestra, ovvero coincidente con l’origine dell’asse X. Questo posizionamento di partenza è necessario poiché il comando *move* nella grafica, che viene utilizzato per spostare le griglie, è relativo alla posizione precedente dell’oggetto che si intende spostare;
- dalla posizione di cui al punto precedente viene implementato uno spostamento tramite il comando *move* pari a *Griglia(n).Posizione_HMI,* che corrisponde a $X_{Grafica}$.

Nell’immagine che segue vengono indicate le grandezze descritte precedentemente, nel caso di posizionamento della seconda griglia di quattro totali.

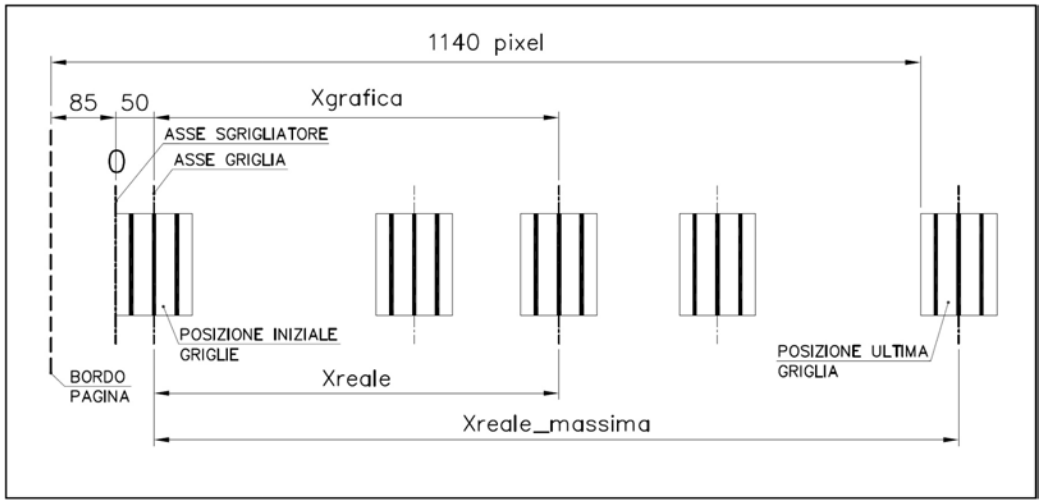


Fig. 22 - posizionamento delle griglie

Nella pagina è necessario specificare inoltre (*Fig. 23 - impostazione altezza griglie e grado occlusione massimo*):

- l’altezza delle griglie, valore necessario per la movimentazione lungo l’asse verticale dello sgrigliatore durante le operazioni di pulizia. Questo valore sarà uguale per tutte le griglie;
- il grado massimo di occlusione, oltre il quale lo sgrigliatore procede alle operazioni di pulizia in automatico indicato in percentuale rispetto alla superficie totale della griglia. Si è deciso di imporre un limite massimo al grado di occlusione limite, che non può essere maggiore del 20%.

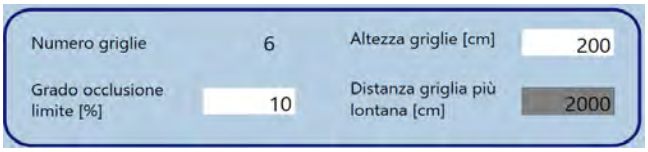


Fig. 23 - impostazione altezza griglie e grado occlusione massimo

2.3 Menù RENDIMENTI

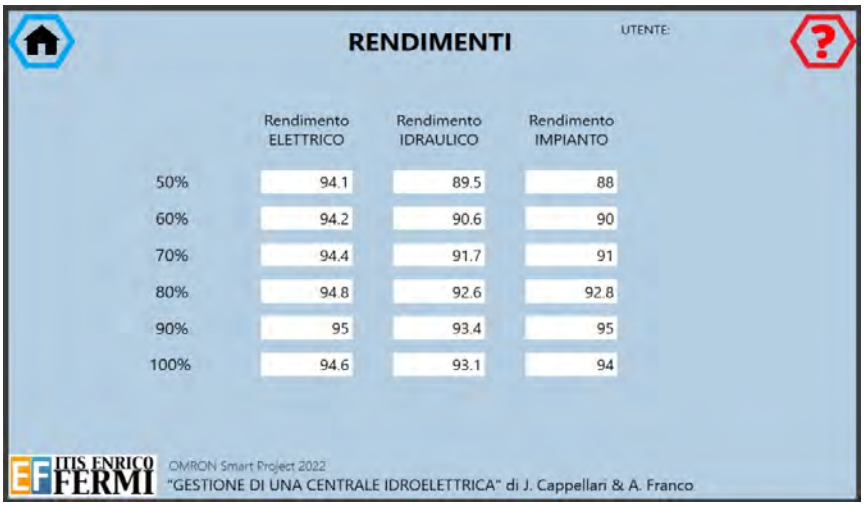


Fig. 24 - menù RENDIMENTI

È possibile accedere a questo menù (*Fig. 24 - menù RENDIMENTI*) attraverso l’icona rappresentata nella figura di fianco (*Fig. 25 - tasto menù RENDIMENTI*).

Fig. 25 - tasto menù RENDIMENTI

Nel menù RENDIMENTI è possibile inserire/modificare i valori dei rendimenti (elettrico, idraulico, di impianto) per determinati valori assunti dal rapporto tra portata attuale e portata massima, come di seguito specificato.

In generale, il calcolo della potenza elettrica generata tramite turbine idrauliche passa attraverso la conoscenza del rendimento globale (“Richiami sulle macchine idrauliche motrici”):

$$\eta_{globale} = \eta_{elettrico} * \eta_{idraulico} * \eta_{impianto}$$

determinato a sua volta a partire dalla conoscenza dei seguenti rendimenti parziali:

- elettrico ($\eta_{elettrico}$): tiene conto delle perdite nell’alternatore;
- idraulico ($\eta_{idraulico}$): tiene conto delle perdite nelle turbine;
- dell’impianto ($\eta_{impianto}$): tiene conto delle perdite diffuse, presenti nell’impianto in generale (perdite introdotte dalle condotte, dalle griglie, etc).

Il dato relativo ai rendimenti è quindi fondamentale per determinare la relazione tra potenza elettrica prodotta e potenza idraulica disponibile, ovvero, nel caso specifico, per determinare la portata d’acqua alle giranti per garantire l’erogazione della potenza elettrica richiesta (§1.5.3).

Il valore dei rendimenti, tuttavia, non è costante per tutti i regimi di funzionamento delle turbine, ma dipende in larga parte dalla velocità con cui il fluido attraversa i vari componenti dell’impianto (si pensi alle perdite introdotte nella girante ed a quelle nelle condotte forzate). Un calcolo rigoroso, quindi, passa attraverso la conoscenza delle curve dei tre rendimenti in funzione di un parametro legato alla velocità del fluido, come la portata.

Nella simulazione si è tenuto conto di questa circostanza, approssimando le curve dei rendimenti per interpolazione lineare a partire da valori di riferimento in corrispondenza di specifici valori del rapporto tra portata attuale (Q_{att}) e portata massima (Q_{max}). Questi valori di riferimento possono essere inseriti in questo menù e vengono memorizzati nella matrice *ArrayRendimenti*, definita come ARRAY[1..6, 1..4] con membri tipo REAL. Nella prima colonna sono contenuti i valori del rapporto Q_{att}/Q_{max} in corrispondenza dei quali vanno inseriti i valori di riferimento dei tre rendimenti, che vengono a loro volta memorizzati nelle colonne #2, #3, #4.

Nella tabella che segue viene riproposta la matrice ArrayRendimenti (evidenziata con le celle a sfondo grigio), come si presenta in fase di avvio del programma con i valori iniziali impostati di default.

Tabella 3 - matrice ArrayRendimenti

#1	#2	#3	#4
$X = Q_{att}/Q_{max}$	**$\eta_{elettrico}$**	**$\eta_{idraulico}$**	**$\eta_{impianto}$**
0.5	*94.1*	*89.5*	*88*
0.6	*94.2*	*90.6*	*90*
0.7	*94.4*	*91.7*	*91*
0.8	*94.8*	*92.6*	*92.8*
0.9	*95*	*93.4*	*95*
1	*94.6*	*93.1*	*94*

Si precisa che, prima di avviare la simulazione, è necessario inserire valori di riferimento diversi dal valore nullo per i tre rendimenti, pena la presenza di un rapporto indeterminato (nel calcolo della portata, il rendimento compare a denominatore). Il programma inserisce di default i valori riportati nella tabella precedente.

Per il dettaglio del calcolo dei rendimenti, si rimanda alla relativa pagina sotto il menù CONTROLLO.

2.4 Menù TURBINE

Cliccando sull’icona raffigurata in *Fig. 26 - tasto menù TURBINE* è possibile accedere al menù TURBINE. Questo menù è composto da un minimo di 1 fino ad un massimo di 3 pagine, ciascuna delle quali contiene al massimo la rappresentazione di 2 delle *N_TurbineImpostato* turbine di cui l’impianto è composto.

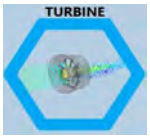


Fig. 26 - tasto menù TURBINE

Il menù TURBINE nasce inizialmente come menù di consultazione, in cui vengono riportati graficamente e numericamente i risultati delle operazioni svolte lato controllore. Durante lo sviluppo del programma tuttavia, si è reso necessario implementare anche alcuni aspetti legati al controllo dell’impianto.

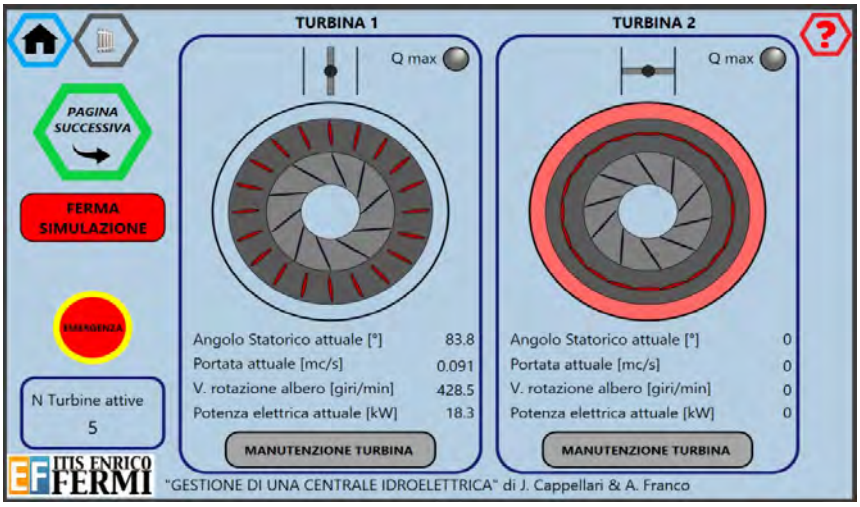


Fig. 27 - menù TURBINE

Nella pagina è possibile infatti:

Tabella 4 - azioni pulsanti menù TURBINE

Azione	Tasto
avviare/fermare la simulazione	*Fig. 17 - Tasto AVVIA SIMULAZIONE*
disattivare ogni singola turbina per eventuali operazioni di manutenzione ordinaria o straordinaria	*Fig. 28 - Tasto MANUTENZIONE TURBINA*
mettere l’impianto in stato di emergenza, ovvero disattivare contemporaneamente tutte le turbine	*Fig. 29 - Tasto Emergenza*
regolare alcuni parametri di funzionamento dell’impianto	Premendo il tasto F1 compare uno specifico pop-up che permette la modifica in tempo reale di alcuni parametri della simulazione.

Per il dettaglio sul funzionamento delle operazioni precedenti si rimanda ai relativi paragrafi.

Dal punto di vista della visualizzazione delle informazioni, si hanno principalmente due livelli: uno grafico ed uno numerico.

2.4.1 Menù TURBINE: visualizzazione grafica della simulazione

Da un punto di vista degli aspetti grafici, in questa pagina sono stati simulati diversi componenti dell’impianto. Con riferimento alla *Fig. 27 - menù TURBINE* a partire dall’alto e procedendo verso il basso troviamo i componenti descritti nel seguito.

2.4.1.1 Valvola di adduzione dell’acqua

Ogni turbina è dotata di una propria valvola a farfalla, che regola l’ingresso o l’interdizione dell’acqua alle pale statoriche. Le valvole di adduzione sono gli elementi che consentono o negano il flusso di acqua dalle condotte forzate alle turbine. Queste valvole vengono aperte una prima volta in fase di avvio della simulazione e vengono chiuse nel momento in cui, ad esempio, si avvia la manutenzione.

L’introduzione di questo componente è necessaria per simulare la variazione della portata di acqua in turbina durante quelle fasi in cui la regolazione tramite PID non ha motivo di intervenire, ovvero in quelle fasi in cui è necessario fermare una turbina (il target è zero) o negli istanti immediatamente successivi a quando la stessa viene riattivata (non avrebbe senso far intervenire il PID quando ci si trova molto distanti dal target). Queste circostanze si verificano durante le operazioni di messa in manutenzione delle turbine e quando l’impianto viene messo in emergenza.

In fase di disattivazione di ciascuna turbina, quindi, viene bypassata la regolazione PID e la portata relativa attuale (variabile *Portata[RefTurbina].Attuale*) viene fatta coincidere con la minore tra la portata di acqua attraverso la valvola di adduzione e la portata attraverso le pale statoriche. Questa scelta è stata dettata dal fatto che non si conosce a priori quale tra valvola a farfalla o pale statoriche abbia maggiori effetti sulla sezione di passaggio dell’acqua.

In fase di riavvio di una turbina, si è deciso arbitrariamente di far intervenire nuovamente la regolazione quando l’apertura della valvola a farfalla supera i 20°.

La simulazione degli aspetti descritti sopra viene effettuata lato controllore nel programma PRGTURBINE, sezione TRANSITORIO_REGIME.

2.4.1.2 Turbine: giranti e pale statoriche

Immediatamente al di sotto della valvola di adduzione, sono presenti i blocchi che rappresentano schematicamente le singole turbine, composte dagli statori e dalle giranti.

Gli statori sono caratterizzati dalle pale statoriche, le quali ruotano attorno al proprio asse in relazione all’angolo statorico attuale (*AngoloStatorico[RefTurbina].Attuale*), fornendo una prima rappresentazione grafica della regolazione. Ogni angolo statorico è caratterizzato da una variabile gestita direttamente dal controllore che viene semplicemente letta lato HMI.

I blocchi centrali, che rappresentano le giranti delle specifiche turbine, ruotano attorno al proprio centro ciascuno in funzione della relativa variabile *Turbina(RefTurbina).RotazioneGirante.* Queste variabili, e quindi la simulazione della rotazione delle giranti, sono gestite direttamente lato HMI attraverso la subroutine *Turbine.AnimazioniTurbine* richiamata ad intervalli di 100 ms.

Nella *Fig. 27 - menù TURBINE* è rappresentata la situazione in cui l’impianto è composto da 6 turbine, una delle quali è in manutenzione (la n.2 in figura).

2.4.2 Menù TURBINE: parametri numerici

Immediatamente al di sotto del blocco composto da statore e girante, vengono riportati i valori attuali dei parametri principali relativi alle turbine. Questi valori sono:

- angolo statorico attuale [°]: rappresenta il valore attuale assunto dall’angolo di apertura delle pale statoriche. È il parametro regolato tramite PID;
- portata attuale [m^3/s]: legato al parametro precedente, rappresenta la portata di acqua che attraversa la girante;
- velocità di rotazione dell’albero della girante [giri/min]: è uno dei parametri fondamentali per il corretto funzionamento dell’impianto, poiché è direttamente collegato alla frequenza della corrente

alternata prodotta dall’alternatore. Il suo valore deve essere fisso ed il più possibile stabile, per consentire l’allaccio alla rete di distribuzione;

- potenza elettrica attuale [kW]: rappresenta la quota parte di potenza prodotta dalla singola turbina, rispetto alla totale per cui l’impianto è stato dimensionato. In condizioni di funzionamento standard (al di fuori dei casi in cui una o più turbine di trovano in stato di manutenzione) questo valore tende al valore ottenuto dividendo la potenza nominale totale per il numero di turbine presenti nell’impianto.

La tabella che segue riporta le variabili relative ai parametri appena illustrati ed il dispositivo in cui essi vengono gestiti/implementati.

Tabella 5 - parametri numerici menù TURBINE

Parametro	Variabile	Gestione
angolo statorico attuale	*AngoloStatorico[RefTurbina].Attuale*	PLC
portata attuale	*Portata[RefTurbina].Attuale*	PLC
vel. rotazione girante	*Turbina(RefTurbina).RotazioneGirante*	HMI
potenza elettrica attuale	*PotenzaElettrica[RefTurbina].Attuale*	PLC

2.5 Pop-up PARAMETRI SIMULAZIONE

Rappresenta un pop-up di particolare importanza per poter apprezzare il comportamento del sistema di gestione dell’impianto al variare di alcuni dei parametri caratteristici di funzionamento.

Nella gestione di un impianto reale, il programma si troverebbe a dover compensare le inevitabili variazioni di grandezze che rappresentano alcune delle sue variabili di input. Tali variazioni, dovute a cause esterne, possono essere sia di natura ambientale, come la variazione delle quote dei bacini, legate ad esempio alla piovosità stagionale, o alla presenza di detriti che ostruiscono le griglie a monte delle condotte forzate, sia di natura antropica come potrebbe essere la variazione della richiesta di energia alla rete.

Per poter simulare la variazione di queste variabili, è stato introdotto un apposito menù a comparsa in cui è possibile controllare e modificare in tempo reale alcuni dei parametri caratteristici dell’impianto. Il menù appare sotto forma di pop-up e può essere raggiunto attraverso il tasto F1 (cerchiato in rosso nella *Fig. 30 – tasto F1*) solo dalle seguenti pagine del programma:

- pagine menù TURBINE;
- pagina MONITORAGGIO IMPIANTO;
- pagina menù SCHEMA IMPIANTO.

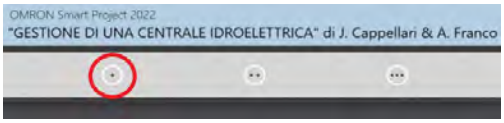


Fig. 30 – tasto F1

Il menù appare come rappresentato in *Fig. 31 - pop-up PARAMETRI SIMULAZIONE*:

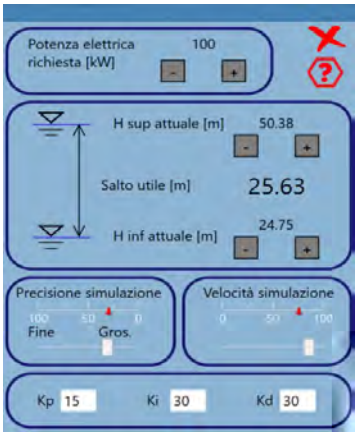


Fig. 31 - pop-up PARAMETRI SIMULAZIONE

Il pop-up risulta suddiviso in diverse sezioni, come specificato nella tabella che segue.

Tabella 6 - sezioni pop-up PARAMETRI SIMULAZIONE

Sezione	Variabili modificate	Grandezza simulata
Potenza elettrica richiesta [kW]	*PotenzaElettricaTotale.Set*	Simula una variazione nella richiesta, da parte dell’utenza, della potenza elettrica prodotta dalla centrale. Per variare il valore, il cui step di incremento/decremento è fissato pari a 1/500 della potenza nominale impostata in IMPOSTAZIONI IMPIANTO, è sufficiente agire sui tasti - e +. La modifica avviene rispettivamente tramite le azioni *DecreaseVariable* o *IncreaseVariable* associate ai tasti precedenti.
Salto utile [m]	*Quota_BacinoSuperiore.Attuale* *Quota_BacinoInferiore.Attuale*	In questa sezione è possibile simulare un aumento/decremento delle quote (s.l.m.) dei bacini superiore e inferiore. Il salto utile varierà di conseguenza, essendo calcolato come la differenza tra i due valori precedenti. Per poter modificare i valori dei bacini, il cui step di incremento/decremento è fissato pari all’0,005% del salto utile, è sufficiente agire sui tasti - e +. In ogni caso, non è possibile superare i limiti superiori e inferiori imposti alle quote dai valori massimi e minimi dei due bacini (quote impostate in IMPOSTAZIONI IMPIANTO). La modifica avviene rispettivamente tramite le azioni *DecreaseVariable* o *IncreaseVariable* associate ai tasti precedenti.
Precisione simulazione	*StepAzionamento*	La variazione della precisione della simulazione agisce direttamente sulle variazioni effettuate dal PID (§1.5.3). La regolazione avviene tramite slider. Ad una regolazione FINE corrispondono step minori che consentono una regolazione più precisa, ma una dilatano i tempi della simulazione lenta. Ad una regolazione GROSSOLANA corrispondono step maggiori e quindi una regolazione meno precisa ma più rapida.
Velocità di simulazione	*tempoHMI (HMI)* *PID.TempoScansione (PLC)*	La velocità di simulazione interviene direttamente sul tempo di scansione della simulazione. Lo slider infatti modifica la variabile di input *tempoHMI* ripresa dal PLC come input per impostare la variabile *TimerScansione.Q* in uscita dall’istruzione TON (sezione TEMPO_SCANSIONE del programma PRGTURBINE). La variabile tempoHMI è un *long integer* che corrisponde al tempo in nanosecondi. Essa viene convertita dal PLC come variabile di tipo *time* da inserire nel “set time” (PT) dell’istruzione TON.
Kp, Ki, Kd	*PID.Kp* *PID.Ki* *PID.Kd*	In questi campi è possibile modificare direttamente i coefficienti utilizzati nelle correzioni proporzionale, integrativa, derivativa della regolazione lato controllore.

Nota:

In fase di avvio della simulazione, si consiglia di impostare la precisione su GROSSOLANA e di aumentare al massimo la velocità di simulazione, per accelerare il raggiungimento delle condizioni di funzionamento a regime. Quando in prossimità della velocità target, si consiglia di portare lo slider relativo alla precisione di simulazione in corrispondenza della regolazione FINE, per consentire al PID aggiustamenti minimi e quindi di raggiungere la velocità target con precisione del decimo. Mantenere una regolazione grossolana comporta l’oscillazione costante del valore della velocità attorno al valore ottimale, che non può mai essere raggiunto.

2.6 Menù GRIGLIE

Il menù griglie è composto a sua volta da tre sotto menù:

- Generale Griglie: è la pagina alla quale si accede direttamente premendo il tasto GRIGLIE e dalla quale è possibile accedere anche alle pagine successive;
- Griglie: come per le turbine, questo sotto menù è composto da un minimo di 1 pagina, fino ad un massimo di 3 e contiene le singole griglie nello specifico;
- Sgrigliatore: è la pagina in cui è visibile la simulazione del circuito oleodinamico del cilindro dello sgrigliatore.

Fig. 32 - Tasto menù GRIGLIE

Nel seguito vengono illustrati i singoli sotto menù più in dettaglio.

2.6.1 Generale Griglie

Nel menù GENERALE GRIGLIE viene presentato nella sua interezza il sistema di gestione della pulizia delle griglie dell’impianto, in cui compaiono sia lo sgrigliatore che le griglie, il cui riposizionamento avviene in analogia a quanto indicato nel paragrafo (§2.2.2).

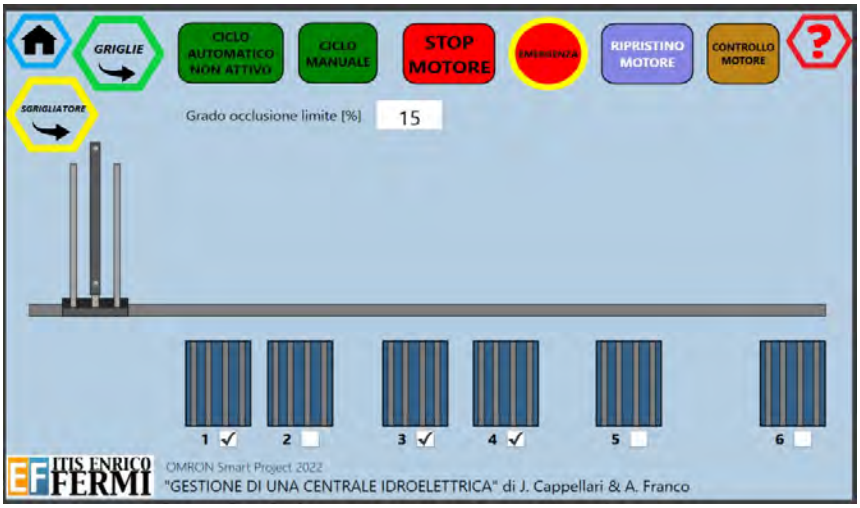


Fig. 33 - menù GENERALE GRIGLIE

Nel menù GENERALE GRIGLIE è possibile:

- impostare le operazioni di pulizia delle griglie (automatico o manuale);
- seguire la simulazione della movimentazione dello sgrigliatore, per avere una informazione visiva su dove esso si trovi istante per istante;
- movimentare manualmente lo sgrigliatore lungo l’asse orizzontale;
- modificare il grado di occlusione limite delle griglie;
- mettere l’impianto in emergenza attraverso l’apposito tasto (per l’emergenza si rimanda allo specifico paragrafo).

2.6.1.1 Pulizia delle griglie: ciclo automatico

La pulizia delle griglie tramite il ciclo automatico prevede che lo sgrigliatore gestisca in modo autonomo le operazioni di pulizia delle griglie, qualora il relativo grado di occlusione sia maggiore del limite massimo, impostato di default ad un livello pari al 15% ma modificabile in questa stessa pagina o nel menù IMPOSTAZIONI GRIGLIE (*Fig. 20 - menù IMPOSTAZIONI GRIGLIE*).

Il grado di occlusione di ciascuna griglia, che nella realtà dipende da fattori ambientali ed è del tutto random, può essere simulato per ciascuna griglia nell’apposito menù GRIGLIE, come si vedrà nel relativo paragrafo.

La pressione del tasto per il lancio delle operazioni di pulizia in automatico mantiene lo sgrigliatore pronto ad effettuale le operazioni richiesta, non appena venga superato il limite impostato.

Nella figura *Fig. 34 - menù GENERALE GRIGLIE con Ciclo Automatico attivo* è illustrato lo sgrigliatore, mentre sta eseguendo le operazioni di pulitura in modalità automatica in corrispondenza della seconda griglia.

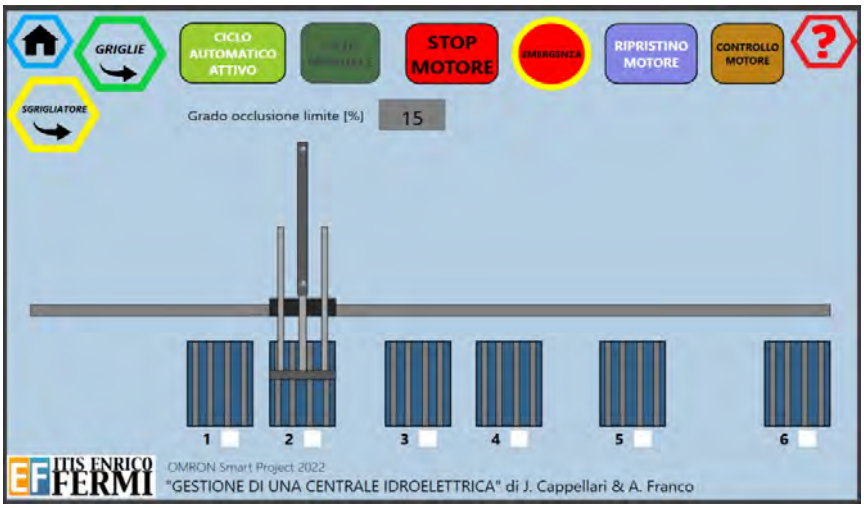


Fig. 34 - menù GENERALE GRIGLIE con Ciclo Automatico attivo

Il ciclo automatico resta attivo fintanto che non viene deselezionato il relativo tasto.

2.6.1.2 Pulizia delle griglie: ciclo manuale

Il programma prevede la possibilità di poter avviare le operazioni di pulizia delle griglie in modalità manuale, qualora si presenti la necessità di dover procedere indipendentemente dal grado di occlusione di una o più griglie.

La modalità manuale prevede che non sia attiva la modalità automatica e che siano selezionate le griglie per cui è richiesta la pulizia. La selezione può essere fatta direttamente da questa pagina, ma anche dalle pagine che mostrano le singole griglie (menù GRIGLIE). La selezione avviene cliccando sulle caselle bianche presenti sotto ciascuna griglia, che una volta selezionate mostreranno il simbolo di spunta.

La successiva *Fig. 35 - menù GENERALE GRIGLIE con Ciclo Manuale attivo* mostra lo sgrigliatore durante le operazioni di pulizia in manuale della griglia 2. Nella figura i segni di spunta evidenziano come le griglie che saranno pulite sono le numero 2, 4, 5.

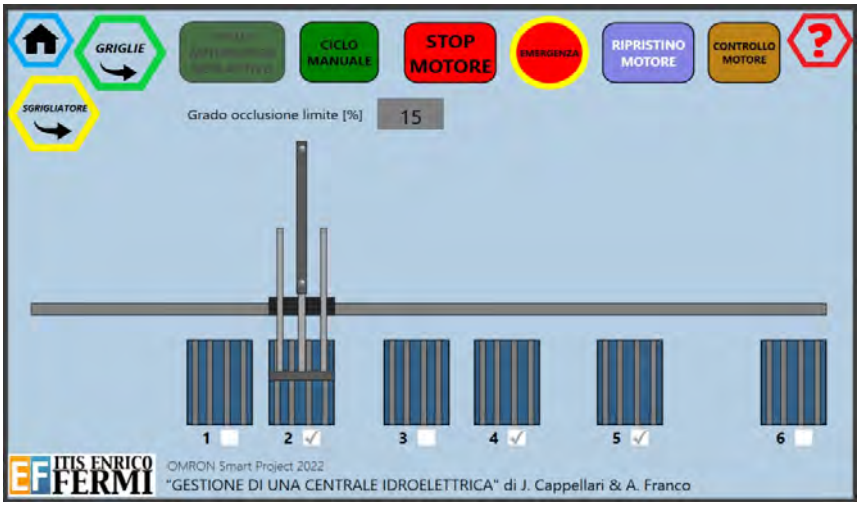


Fig. 35 - menù GENERALE GRIGLIE con Ciclo Manuale attivo

Il ciclo manuale non resta attivo, ma deve essere lanciato specificatamente ogni volta.

2.6.1.3 Pulizia delle griglie: movimentazione manuale dello sgrigliatore

Durante la pulizia, sia in modalità automatica che manuale, è possibile fermare la movimentazione orizzontale dello sgrigliatore. Tale possibilità è stata implementata per scongiurare potenziali guasti al sistema, in considerazione di eventuali impedimenti lungo la traiettoria dello sgrigliatore.

Per fermare la movimentazione è sufficiente premere il tasto STOP MOTORE (*Fig. 36 - tasto STOP MOTORE*).

Per riavviare la movimentazione è necessario disimpegnare il tasto STOP MOTORE e successivamente premere il tasto RIPRISTINO MOTORE (*Fig. 37 - tasto RIPRISTINO MOTORE*).

Fig. 36 - tasto STOP MOTORE

Fig. 37 - tasto RIPRISTINO MOTORE attivo

Fig. 38 - tasto RIPRISTINO MOTORE disattivo

Fig. 39 - tasto CONTROLLO MOTORE

Quando attivato, il tasto RIPRISTINO MOTORE appare con testo bianco, altrimenti presenta il testo in colore nero.

È possibile, inoltre, movimentare manualmente lo sgrigliatore lungo l'asse orizzontale tramite JOG, attraverso un apposito menù a comparsa (*Fig. 40 - pop-up CONTROLLO MOTORE*) a cui si accede tramite il tasto CONTROLLO MOTORE (*Fig. 39 - tasto CONTROLLO MOTORE*).

Fig. 40 - pop-up CONTROLLO MOTORE

Come evidenziato nella *Fig. 40 - pop-up CONTROLLO MOTORE* per poter movimentare lo sgrigliatore lungo il proprio asse X è necessario che siano attivati sia il tasto RIPRISTINO MOTORE, che il tasto MOTORE IN COPPIA. In queste condizioni, si può movimentare lo sgrigliatore in avanti o in dietro semplicemente mantenendo premuti i relativi tasti.

Dopo la movimentazione manuale si consiglia di premere il tasto POSIZIONE ZERO, posto al centro del pop-up, per riportare lo sgrigliatore nella posizione corrispondente allo zero.

È possibile, inoltre, riportare lo sgrigliatore nella posizione di HOME semplicemente premendo il tasto POSIZIONE ZERO, indipendentemente dalla posizione in cui si trova.

2.6.2 Griglie: singole griglie

Si accede a questo menù direttamente dal menù precedente, cliccando sull'icona che riporta la dicitura GRIGLIE (*Fig. 41 - tasto menù singole GRIGLIE*).

Fig. 41 - tasto menù singole GRIGLIE

Il menù è composto da un massimo di tre pagine, ciascuna delle quali contiene la rappresentazione schematica di un massimo di due griglie.

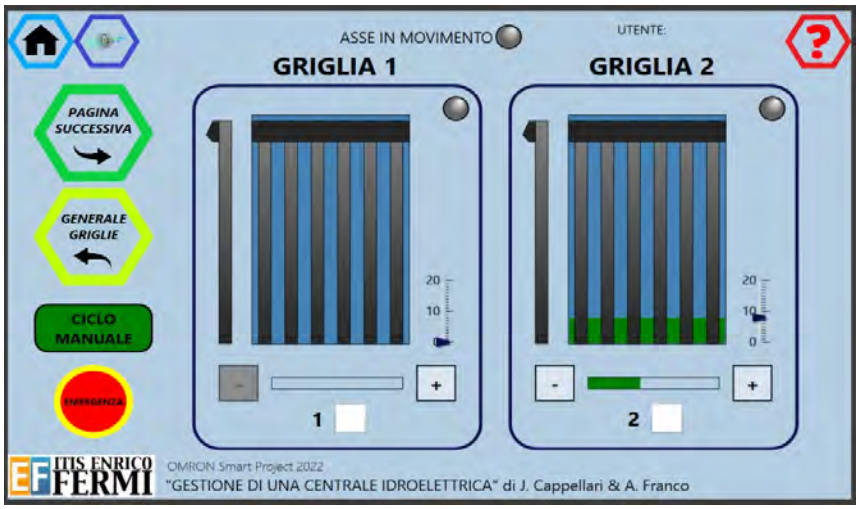


Fig. 42 - menù GRIGLIE con griglia pulita

Sono presenti inoltre:

- il tasto PAGINA SUCCESSIVA (pagine 1 e 2);
- il tasto GENERALE GRIGLIE che consente di tornare al menù precedente (pagina 1);
- il tasto PAGINA PRECEDENTE (per le pagine 2 e 3);
- il tasto CICLO MANUALE per l'avvio di un ciclo di pulizia manuale, una volta selezionate le caselle relative alle griglie che si desidera pulire (contrassegnate dal segno di spunta in corrispondenza della casella);
- il tasto per la visualizzazione del menù TURBINE;
- il pulsante di EMERGENZA;
- una spia ASSE IN MOVIMENTO, che lampeggia per segnalare che lo sgrigliatore è in fase di movimentazione.

In questo menù è possibile:

- visualizzare le singole griglie ed il corrispondente grado di occlusione;

- modificare il grado di occlusione attuale di ciascuna griglia, agendo sui tasti e . All’aumentare dell’occlusione di ogni griglia, essa presenterà un rettangolo colorato in proporzione alla percentuale di occlusione (verde fino al 9%, arancione dal 10% fino al 19%, rosso pari al 20%). Raggiunta la percentuale pari a quella impostata come limite (*Grado occlusione limite [%]*), il sistema invia in automatico un messaggio di allarme (*Fig. 43 - allarme GRIGLIA SPORCA OLTRE I LIMITI*), che viene memorizzato nel menù ALLARMI. Per proseguire è sufficiente premere in corrispondenza del tasto verde ACKNOWLEDGE;

Fig. 43 - allarme GRIGLIA SPORCA OLTRE I LIMITI

- seguire visivamente la simulazione della fase di pulizia. Quando lo sgrigliatore sta eseguendo la pulizia della specifica griglia, infatti, la barra orizzontale che simula il rastrello si muove verticalmente. Durante la fase di risalita, che corrisponde alla fase in cui il rastrello effettivamente opera la pulizia della griglia, il rettangolo colorato che simula il grado di occlusione va progressivamente scomparendo. In *Fig. 44 - fase di pulizia della GRIGLIA 1* è possibile vedere come si presenta la GRIGLIA 1 durante la fase di pulizia.

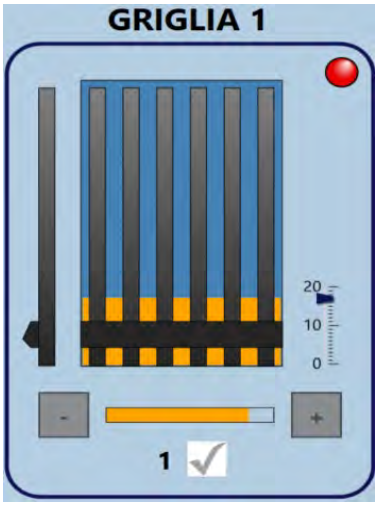


Fig. 44 - fase di pulizia della GRIGLIA 1

Nella *Fig. 45 - menù GRIGLIE con griglie sporche* viene illustrato come si presenta il menù con le due griglie sporche, con diversi gradi di occlusione.

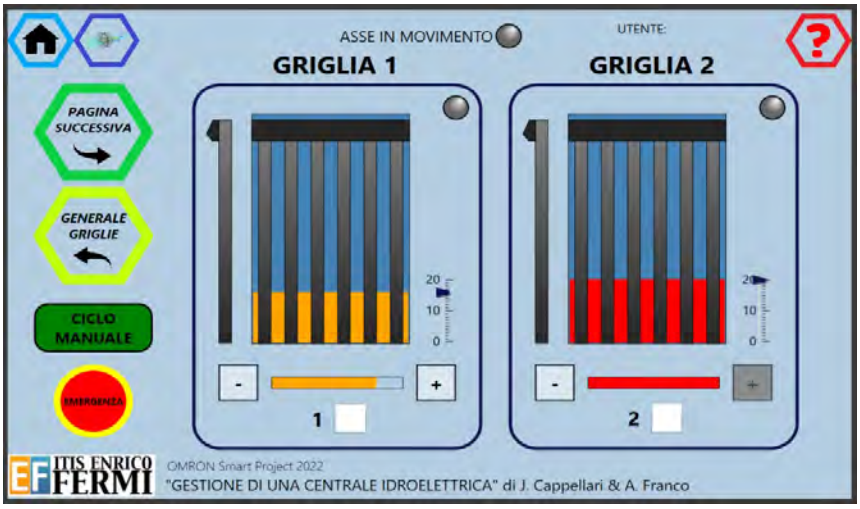


Fig. 45 - menù GRIGLIE con griglie sporche

2.6.3 Movimentazione dello sgrigliatore in HMI

Nei due menù appena illustrati, si è fatto riferimento alla movimentazione orizzontale e verticale dello sgrigliatore. Le movimentazioni sono gestite direttamente tramite il controllore, le cui variabili globali vengono lette in HMI, dove vengono riadattate proporzionalmente per tener conto delle dimensioni (fisse) delle griglie nella parte grafica. Il riadattamento proporzionale viene implementato nella subroutine globale *MovimentiSgrigliatore*, lato HMI e tiene conto dei seguenti aspetti:

- lungo l'asse X, le griglie sono posizionate come già visto nel paragrafo menù IMPOSTAZIONE GRIGLIE (§2.2.2);
- in GENERALE GRIGLIE, il rastrello dello sgrigliatore deve coprire una distanza corrispondente a 180 pixel;
- nei menù GRIGLIE, il rastrello dello sgrigliatore deve coprire una distanza corrispondente a 330 pixel.

2.6.4 Griglie: circuito oleodinamico sgrigliatore

Dal menù GENERALE GRIGLIE tramite l'icona in *Fig. 46 - tasto SGRIGLIATORE* si accede alla pagina relativa allo schema del circuito oleodinamico, che controlla il cilindro verticale dello sgrigliatore.

Fig. 46 - tasto SGRIGLIATORE

Il circuito è controllato tramite una valvola 4/3 bistabile, che regola il flusso di fluido da e verso le due camere del cilindro. La *Fig. 47 - menù CIRCUITO OLEODINAMICO SGRIGLIATORE* mostra il sistema in condizioni di riposo, in cui lo sgrigliatore si trova in corrispondenza della posizione X=0.

Quando lo sgrigliatore è in fase di movimentazione lungo X, la valvola 4/3 si trova nella stessa configurazione indicata in *Fig. 47 - menù CIRCUITO OLEODINAMICO SGRIGLIATORE: home*. La movimentazione tuttavia è evidenziata dal campo *Posizione X [cm],* che varia istante per istante proporzionalmente alla posizione assunta dallo sgrigliatore, e dalla spia di fianco alla pompa che diventa rossa, a segnalare che la essa è in funzione.

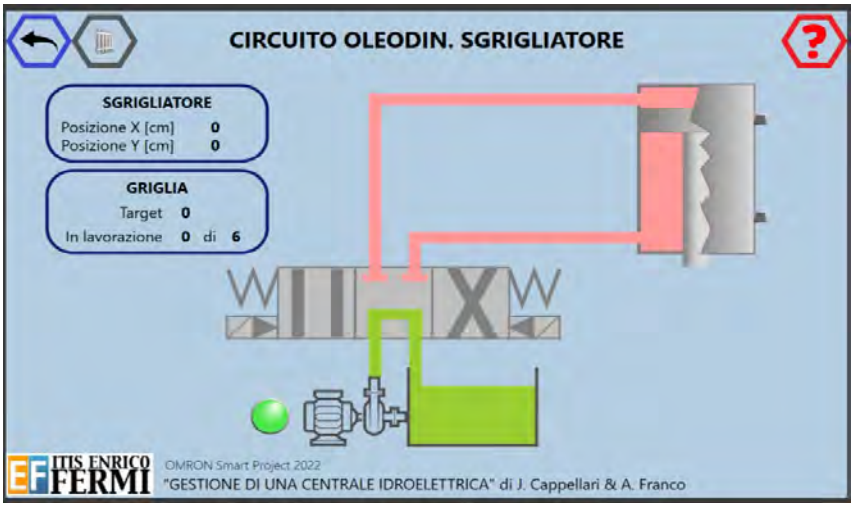


Fig. 47 - menù CIRCUITO OLEODINAMICO SGRIGLIATORE: home

Quando lo sgrigliatore raggiunge la griglia target da pulire, la valvola commuta per alimentare la camera positiva del cilindro e consentirne la discesa. Impegnato il finecorsa FC_1, la valvola commuta nuovamente per alimentare la camera negativa del cilindro, che quindi inverte la corsa. La *Fig. 48 - menù CIRCUITO OLEODINAMICO SGRIGLIATORE: discesa del cilindro* mostra la configurazione durante la fase di discesa, in corrispondenza della pulizia della griglia n.3 di 6 (come evidenziato nella casella GRIGLIA).

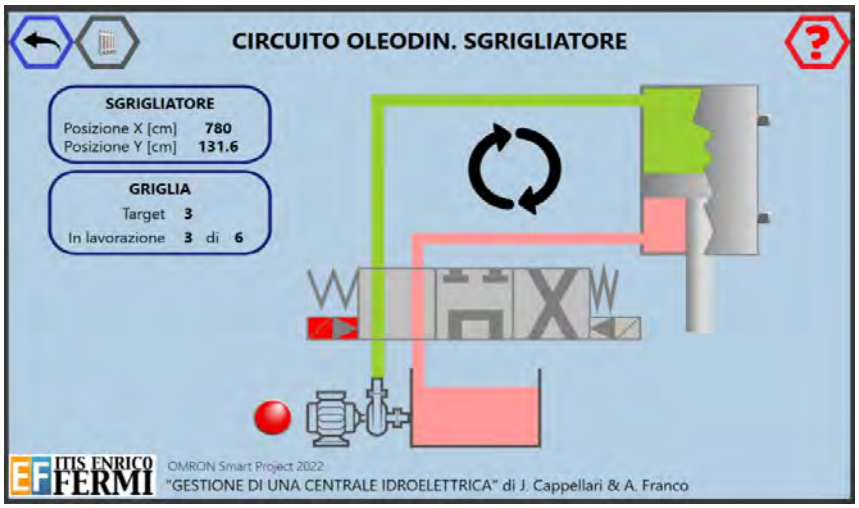


Fig. 48 - menù CIRCUITO OLEODINAMICO SGRIGLIATORE: discesa del cilindro

Le animazioni presenti in questa pagina sono gestite nella subroutine globale Griglie.*Animazioni_EV*. La subroutine riceve in input le informazioni dal PLC relative al comando di discesa o risalita del cilindro e le converte in informazioni grafiche per l’elettrovalvola, che viene traslata di ± 118 pixel. Nella stessa subroutine viene implementata anche la rotazione delle frecce.

2.7 Menù CONTROLLO

Il menù controllo permette di accedere alle seguenti pagine:

- MONITORAGGIO IMPIANTO;
- RENDIMENTI TURBINE;
- CIRCUITO OLEODINAMICO SGRIGLIATORE (già illustrato in precedenza);
- CILINDRI CHE MUOVONO LE PALE STATORICHE.

2.7.1 Controllo: MONITORAGGIO IMPIANTO

Dalla pagina HOME premendo il tasto in *Fig. 49 - tasto menù CONTROLLO* si accede direttamente alla pagina MONITORAGGIO IMPIANTO.

Fig. 49 - tasto menù CONTROLLO

La figura *Fig. 50 - menù MONITORAGGIO IMPIANTO* rappresenta la pagina di monitoraggio, come si presenta in condizioni di funzionamento a regime, con 6 turbine presenti nell’impianto, nessuna delle quali in stato di manutenzione e con sgrigliatore fermo.

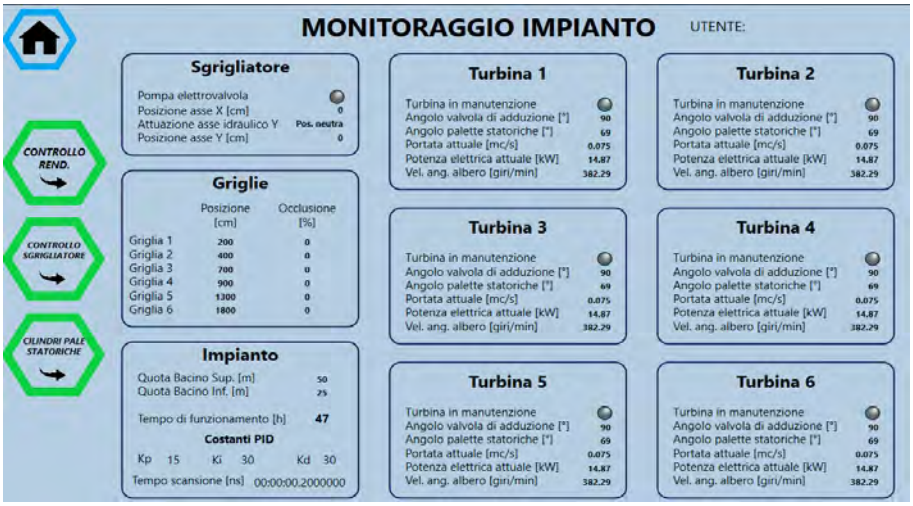


Fig. 50 - menù MONITORAGGIO IMPIANTO

È possibile vedere che la pagina è composta da diverse sezioni come riportato nella tabella seguente.

Tabella 7 - sezioni menù CONTROLLO IMPIANTO

Sezione	Descrizione
Sgrigliatore	La sezione riporta le informazioni fondamentali relative allo sgrigliatore quali la posizione in X e Y, l’azionamento della pompa del circuito oleodinamico (verde se in funzione) e le informazioni relative all’elettrovalvola (“*posizione neutra*” per elettrovalvola in posizione centrale, “*discesa*” quando l’elettrovalvola comanda la camera positiva del cilindro, “*risalita*”, quando comanda la camera negativa).
Griglie	Riporta le informazioni relative alla posizione in X delle griglie, nonché il relativo grado di occlusione attuale. Quest’ultimo varia progressivamente durante le operazioni di pulizia della relativa griglia. Quando non presenti nell’impianto, le griglie sono scritte in grigio.
Impianto	Evidenzia quelle informazioni inerenti all’impianto e alla simulazione. Vengono quindi riassunte qui le informazioni relative alle quote attuali dei bacini superiore e inferiore, il tempo totale della simulazione (per indicazioni dettagliate si rimanda al paragrafo relativo al menù PRODUZIONE), il valore impostato per le costanti della regolazione PID e del tempo di scansione.
Turbina	L’impianto permette la gestione di un massimo di 6 turbine, pertanto in questa pagina sono presenti altrettante sezioni che riportano le informazioni fondamentali sullo stato di funzionamento attuale di ciascuna turbina di cui l’impianto è composto. Qualora l’impianto gestisca un numero inferiore di turbine, le ultime sezioni saranno barrate ad evidenziarne l’assenza. Immediatamente al di sotto dell’informazione relativa al numero di turbina, è presente una spia luminosa relativa allo stato di manutenzione. Essa è: • spenta (colore grigio) se la turbina è presente e in attività;

	• accesa (colore rosso) se la turbina è in stato di manutenzione, ovvero disattivata e quindi non partecipe alla produzione di energia elettrica. Le informazioni riportate in ciascuna sezione sono relative ai valori attuali di: • angolo della valvola di adduzione dell’acqua alla turbina; • angolo delle palette statoriche; • portata attuale; • potenza elettrica attuale; • velocità angolare dell’albero.

Nell’immagine che segue è riportato un esempio di come si presenta il menù di un impianto per la gestione di 5 turbine, una delle quali (la n.4) si trova in manutenzione, quando è stato lanciato un ciclo di pulizia e lo sgrigliatore si trova in corrispondenza della griglia n.1.

Fig. 51 - menù MONITORAGGIO IMPIANTO con turbina in manutenzione e sgrigliatore in movimento

<u>Nota:</u>

Questa sezione è di particolare importanza perché permette non solo di monitorare l’impianto nella sua interezza, ma principalmente perché consente di apprezzare gli effetti della regolazione PID. La visione contemporanea di tutte le turbine, delle griglie pertinenti con il relativo grado di occlusione e dello sgrigliatore permette di verificare con immediatezza le regolazioni che il controllore opera per compensare variazioni esterne quali il cambiamento del grado di occlusione di una griglia. Infatti, dopo aver aumentato il grado di occlusione di una o più griglie (dal menù GRIGLIE) e lanciato una delle operazioni di pulizia (dal menù GENERALE GRIGLIE), è possibile tornare in questa pagina e leggere istante per istante come varia la velocità delle turbine al procedere delle operazioni di pulizia. A pulizia terminata, la velocità di rotazione di ciascuna turbina tenderà di nuovo al valore ottimale, come riportato nel menù IMPOSTAZIONI IMPIANTO.

2.7.2 Controllo: Rendimenti Turbine

In questa pagina del menù CONTROLLO, è possibile visualizzare il valore attuale dei diversi rendimenti delle singole turbine, nonché quello globale come definito in precedenza. I valori riportati in questa pagina sono determinati per interpolazione lineare a partire dai dati introdotti nel menù RENDIMENTI, come visto nello specifico paragrafo (Menù RENDIMENTI).

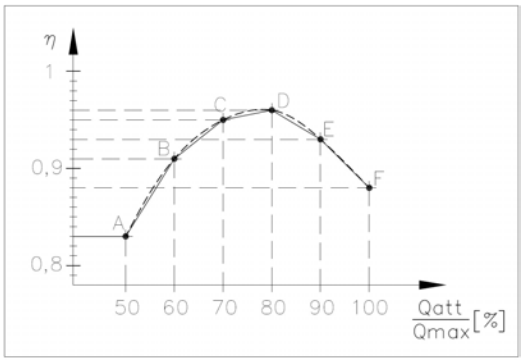


Fig. 52 – approssimazione della curva del rendimento

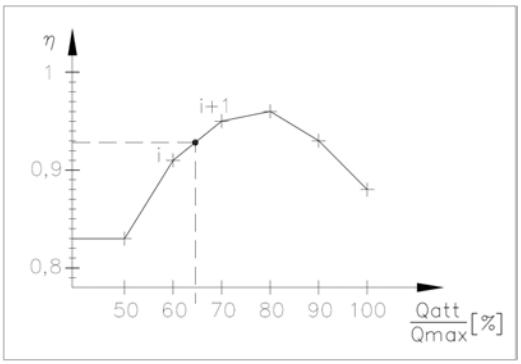


Fig. 53 - interpolazione lineare tra due valori

Nella *Fig. 52 – approssimazione della curva del rendimento* sono evidenziati quali sono i valori del rapporto tra le portate (percentuali relative al 50%, 60%, 70%, 80%, 90%, 100%) per i quali l'operatore inserisce i valori di riferimento del rendimento (ordinate). La stessa figura evidenzia, inoltre, come la curva reale (tratteggiata) venga approssimata da una spezzata caratterizzata da segmenti tra i valori di riferimento, quando viene eseguita una interpolazione lineare tra i punti.

Si è deciso di non considerare il rendimento per valori del rapporto Q_{att}/Q_{max} inferiori al 50% perché poco rappresentativi. Al di sotto di questa soglia, il codice attribuisce in automatico il rendimento inserito relativamente al rapporto Q_{att}/Q_{max} pari al 50%.

Nella *Fig. 53 - interpolazione lineare tra due valori* è illustrato graficamente, a titolo di esempio, il valore Y che si ottiene dal calcolo del rendimento in corrispondenza di un valore del rapporto $X = Q_{att}/Q_{max}$ compreso tra il 60% ed il 70%.

È necessario calcolare il $\eta_{globale}$ per ciascuna nelle turbine di cui l'impianto è composto (pari a *N_TurbineImpostato*). A tal proposito si evidenzia che:

- $\eta_{elettrico}$ e $\eta_{idraulico}$ sono specifici per ciascuna turbina;
- $\eta_{impianto}$ è relativo a tutto l'impianto.

Nel codice, di seguito proposto, verrà implementato quindi un ciclo FOR per il calcolo dei primi due rendimenti.

Il procedimento per il calcolo del rendimento può essere schematizzato come segue:

- implementazione della funzione Calc_Rendimenti (§2.7.3);
- determinazione del valore X e richiamo della funzione *Calc_Rendimenti* (§2.7.4).

2.7.3 Calcolo dei rendimenti: implementazione della funzione *Calc_Rendimenti*

Poiché il procedimento per il calcolo del valore per interpolazione lineare si ripete identico per i tre rendimenti, ci si è orientati verso l'implementazione di una funzione specifica (*Calc_Rendimenti*).

Il procedimento per il calcolo dei rendimenti può essere suddiviso nei seguenti passaggi:

- la funzione riceve come input il valore $X = Q_{att}/Q_{max}$;
- il valore X viene confrontato con i valori specificati nella colonna #1 della matrice *ArrayRendimenti*, che rappresentano le ascisse in corrispondenza delle quali vanno inseriti i valori di riferimento (50%, 60%, 70%, 80%, 90%, 100%);
- la funzione restituisce come output il valore Y, calcolato secondo la formula (equazione di una retta per due punti):

$$Y = \frac{(X - X_i) * (Y_{i+1} - Y_i)}{(X_{i+1} - X_i)} + Y_i$$

in cui le Y_i e Y_{i+1} sono i valori memorizzati rispettivamente nelle colonne #2, #3, #4 della matrice *ArrayRendimenti* (*Tabella 3 - matrice ArrayRendimenti* riproposta sotto per comodità).

La formula per il calcolo della Y è stata ricavata a partire dalla proporzione:

$$(X - X_i) : (X_{i+1} - X_i) = (Y - Y_i) : (Y_{i+1} - Y_i)$$

Nella *Fig. 54 - interpolazione con variabili nel codice* viene riproposto graficamente il procedimento di interpolazione lineare con riferimento alle variabili utilizzate nel codice. Con queste variabili, le formule viste precedentemente diventano:

$$(X - X_0) : (X_1 - X_0) = (Y - Y_0) : (Y_1 - Y_0)$$

da cui:

$$Y = \frac{(X - X_0) * (Y_1 - Y_0)}{(X_1 - X_0)} + Y_0$$

#1	#2	#3	#4
$X = Q_{att}/Q_{max}$	**$\eta_{elettrico}$**	**$\eta_{idraulico}$**	**$\eta_{impianto}$**
0.5	*94.1*	*89.5*	*88*
0.6	*94.2*	*90.6*	*90*
0.7	*94.4*	*91.7*	*91*
0.8	*94.8*	*92.6*	*92.8*
0.9	*95*	*93.4*	*95*
1	*94.6*	*93.1*	*94*

Tabella 3 - matrice ArrayRendimenti

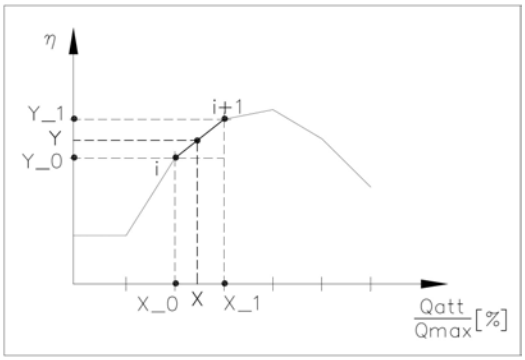


Fig. 54 - interpolazione con variabili nel codice

Nel riquadro sottostante viene riproposto il codice utilizzato per la funzione *Calc_Rendimenti*, in cui il ciclo FOR viene reiterato per coprire i cinque intervalli in cui l’asse delle ascisse risulta suddiviso ad opera dei sei valori riportati nella colonna #1 della matrice.

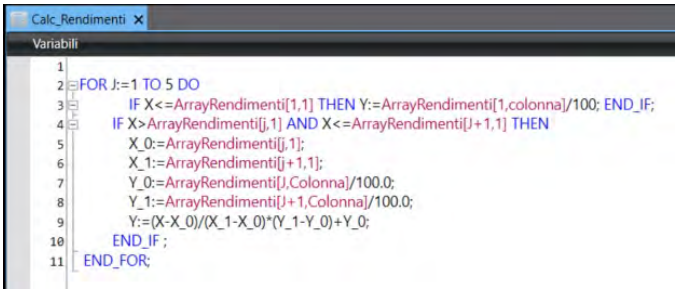


Fig. 55 - funzione Calc_Rendimenti

2.7.4 Rendimenti: determinazione del valore X e richiamo della funzione *Calc_Rendimenti*

Come specificato in precedenza, i rendimenti elettrico ed idraulico sono caratteristici di ogni turbina, mentre il rendimento di impianto caratterizza l’impianto nella sua interezza. Per questo motivo, sarà necessario calcolare:

- una $X = Q_{att}/Q_{max}$ specifica per ciascuna turbina presente nell’impianto, a partire dai valori delle singole portate attuali e massime (*Portata[RefTurbina].Attuale, Portata[RefTurbina].Max*);

- una X globale per l’intero impianto, ottenuta a partire dalla somma delle portate attuali (*PortataTotale.Attuale*) e dalla somma delle portate massime (*PortataTotale.Max*) di tutte le turbine dell’impianto.

La funzione *Calc_Rendimenti* sarà richiamata:

- una sola volta per il calcolo di $\eta_{impianto}$;
- n volte (con n pari a *N_TurbineImpostato*) per il calcolo sia di $\eta_{elettrico}$ che $\eta_{idraulico}$.

Il calcolo dei tre rendimenti $\eta_{impianto}$, $\eta_{elettrico}$, e $\eta_{idraulico}$ e quindi di $\eta_{globale}$ è eseguito dal controllore sotto il programma *PRGTURBINE*, sezione *Calcolo_Rendimenti*.

Si riporta per completezza uno stralcio del programma relativo al calcolo dei rapporti delle portate (*Fig. 56 - calcolo dei rapporti tra le portate X*):

```
PortataTotale.Attuale:=0;
PortataTotale.Max:=0;
PotenzaElettricaTotale.Attuale:=0;
FOR RefTurbina:=1 TO N_TurbineImpostato DO
    PortataTotale.Attuale:=PortataTotale.Attuale+Portata[RefTurbina].Attuale;
    PortataTotale.Max:=PortataTotale.Max+Portata[RefTurbina].Max;
    PotenzaElettricaTotale.Attuale:=PotenzaElettricaTotale.Attuale+PotenzaElettrica[RefTurbina].Attuale;
    RapportoPortata[RefTurbina]:=Portata[RefTurbina].Attuale/Portata[RefTurbina].Max;
END_FOR;
RapportoPortateTotali:=PortataTotale.Attuale/PortataTotale.Max;
```

Fig. 56 - calcolo dei rapporti tra le portate X

e al richiamo della funzione *Calc_Rendimenti* (*Fig. 57 - richiamo della funzione Calc_Rendimenti in ST*), rimandando al paragrafo precedente per la struttura della funzione stessa:

```
TimerScansione.Q
Calc_Rendimenti(X:=RapportoPortateTotali, Colonna:=UINT#4, Y=>Impianto.Rend_Impianto);
FOR RefTurbina:=1 TO N_TurbineImpostato DO
    Calc_Rendimenti(X:=RapportoPortata[RefTurbina], Colonna:=uint#2, Y=>Turbina[RefTurbina].Rend_Elettrico);
    Calc_Rendimenti(X:=RapportoPortata[RefTurbina], Colonna:=uint#3, Y=>Turbina[RefTurbina].Rend_Idraulico);
    Turbina[RefTurbina].Rend_Globale:=Turbina[RefTurbina].Rend_Elettrico*Turbina[RefTurbina].Rend_Idraulico*Impianto.Rend_Impianto;
END_FOR;
```

Fig. 57 - richiamo della funzione Calc_Rendimenti in ST

Si riporta, infine, una applicazione dei rendimenti per il calcolo delle portate d’acqua alle giranti (programma *PRGTURBINE*, sezione *Main_Turbina*).

```
TimerScansione.Q
FOR RefTurbina:=1 TO N_TurbineImpostato DO
    Turbina[RefTurbina].Rend_Globale:=Turbina[RefTurbina].Rend_Elettrico*Turbina[RefTurbina].Rend_Idraulico*Impianto.Rend_Impianto;
IF Portata[RefTurbina].Attuale<>0 THEN Turbina[RefTurbina].Active:=TRUE; END_IF;
    Portata[RefTurbina].Set := PotenzaElettrica[RefTurbina].Set/(9.81*SaltoUtile.Attuale*Turbina[RefTurbina].Rend_Globale);
IF Portata[RefTurbina].Set>=Portata[RefTurbina].Max THEN Portata[RefTurbina].Set:=Portata[RefTurbina].Max; END_IF;
END_FOR;
```

Fig. 58 -rendimento nel calcolo delle portate

2.7.5 Cilindri che muovono le pale statoriche

In queste pagine si sono inseriti gli stati dei cilindri oleodinamici che azionano le pale statoriche. Questo aspetto non è stato approfondito causa mancanza di tempo (infatti sono assenti i finecorsa) però si può vedere lo stato della valvola e la posizione dei cilindri (*Fig. 59 - cilindri delle pale statoriche*). Cliccando sul pulsante F1 dell’NA è possibile variare la regolazione come si effettua nelle pagine delle turbine.

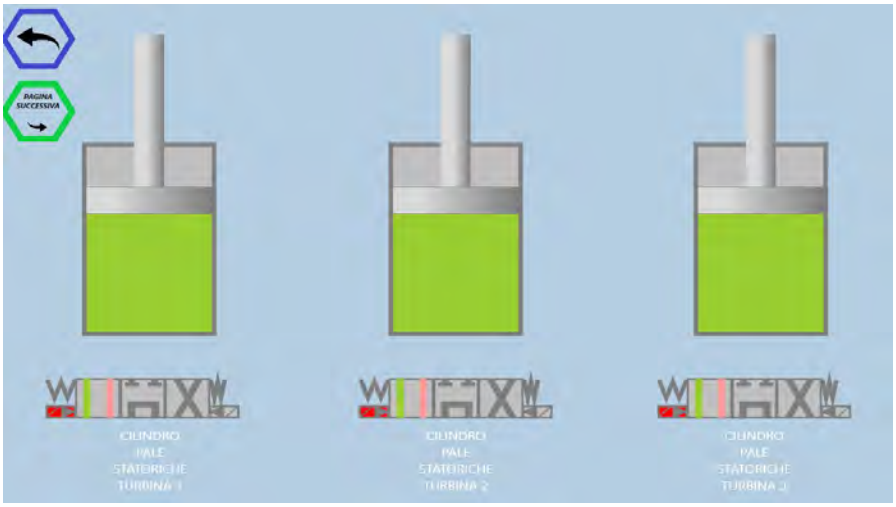


Fig. 59 - cilindri delle pale statoriche

2.8 Menù SCHEMA

Il tasto in *Fig. 60 - tasto menù SCHEMA* presente nella schermata HOME rimanda alla pagina contenente la rappresentazione schematica di una sezione dell’impianto, fatta in corrispondenza di una canalizzazione forzata di una turbina.

Fig. 60 - tasto menù SCHEMA

Il menù ha un duplice scopo:

- consentire la variazione dei valori attuali dei bacini superiore e inferiore, sia premendo i tasti - e + (*Fig. 61 - variazione quota attuale bacino superiore* e *Fig. 62 - variazione quota attuale bacino inferiore*), che tramite il pop-up PARAMETRI SIMULAZIONE che compare alla pressione del tasto F1 (*Fig. 30 – tasto F1*);
- permettere una visualizzazione a scopo didattico del percorso compiuto dall’energia, che da idraulica (flusso di acqua) viene convertita in meccanica (rotazione della girante) ed infine in elettrica (alternatore) per poi essere inviata agli utilizzatori.

Fig. 61 - variazione quota attuale bacino superiore

Fig. 62 - variazione quota attuale bacino inferiore

Nello schema compare l’indicazione di raggiungimento dei valori limite impostati in IMPOSTAZIONI IMPIANTO, quando le quote attuali dei bacini superiore e inferiore raggiungono uno dei limiti massimo o minimo. La FIGURA mostra lo schema quando sono raggiunti il limite superiore del bacino superiore ed il limite inferiore del bacino inferiore.

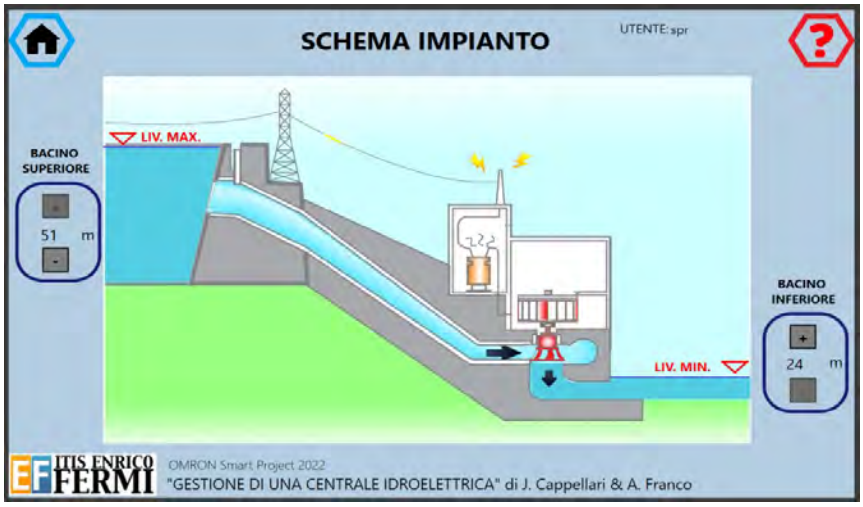


Fig. 63 - menù SCHEMA IMPIANTO

La variazione delle quote lato HMI agisce direttamente sulle relative variabili globali definite nel PLC. La simulazione grafica della variazione dei livelli dei bacini è computata a partire dalle variabili relative alle quote attuali, che vengono adattate per corrispondere graficamente ai livelli massimi e minimi dei due bacini.

Le operazioni di adattamento vengono svolte tramite la subroutine (di pagina) *adattamento_quote_bacini*. Nella stessa subroutine viene implementato un contatore da 0 a 3, utilizzato per simulare la movimentazione dei diversi componenti (frecce per flusso di acqua, girante, alternatore, corrente elettrica).

2.9 Menù PRODUZIONE

La pressione del tasto PRODUZIONE (*Fig. 64 - tasto menù PRODUZIONE*) permette di aprire la pagina PRODUZIONE ELETTRICA. La pagina riporta tutte quelle informazioni legate all'energia prodotta dall'impianto nell'arco del suo funzionamento.

Fig. 64 - tasto menù PRODUZIONE

Per permettere di apprezzare valori significativi relativamente alle grandezze riportate nel menù PRODUZIONE e legate all'energia prodotta dall'impianto (ricavi, Kg di CO_2 e m^3 di CH_4 risparmiati) si è scelto di far corrispondere un'ora reale ad un tempo di ciclo. In questo modo le grandezze che risentono del tempo hanno modo di crescere più velocemente.

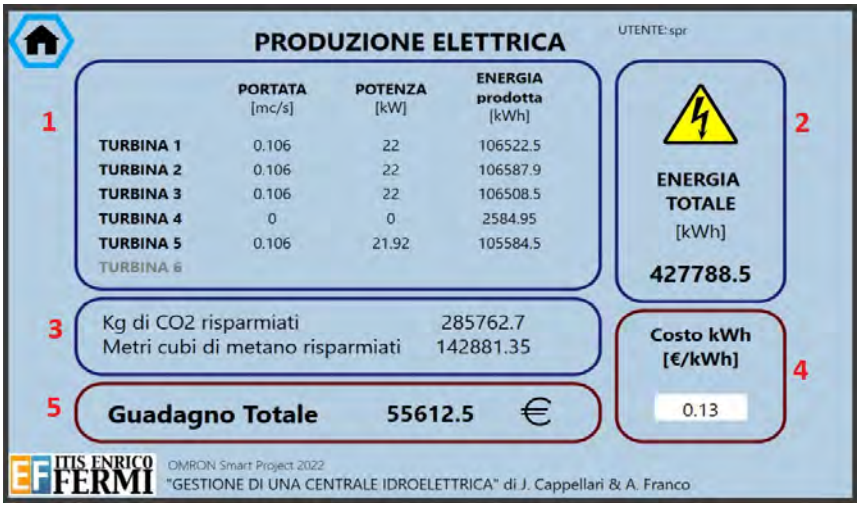


Fig. 65 - menù PRODUZIONE

L’immagine precedente (*Fig. 65 - menù PRODUZIONE*) riporta la pagina PRODUZIONE ELETTRICA per un impianto composto da 5 turbine. La numerazione delle singole sezioni, aggiunta successivamente è relativa alla tabella che segue.

Tabella 8 - contenuto pagina PRODUZIONE ELETTRICA

Sezione	Contenuto
1	Contiene le informazioni relative a ciascuna turbina di cui l’impianto è composto ovvero: portata, potenza ed energia prodotta.
2	È il riquadro relativo alla produzione globale di energia in kWh prodotta dall’intero impianto durante il tempo in attività.
3	In questa sezione sono presenti le informazioni relative al risparmio in termini ecologici. Per m^3 di metano risparmiati si intende la quantità di CH_4 che sarebbe stato necessario impiegare per produrre la stessa energia in kWh. Analogamente, per Kg di CO_2 risparmiati si intende la quantità di anidride carbonica che sarebbe stata immessa in atmosfera se gli stessi kWh fossero stati prodotti tramite l’impiego di combustione fossile.
4	Nella casella costo kWh è possibile inserire il costo da proporre per la vendita di ogni kWh al distributore nazionale. Il campo è riempito di default con il valore di 0,13 €/kWh.
5	Riporta il guadagno complessivo generato dall’impianto.

2.9.1 Calcolo dell’energia prodotta e del guadagno.

Il calcolo dell’energia delle singole turbine e quindi della totale viene fatto direttamente dal controllore nella sezione CALCOLO_ENERGIA del programma PRGTURBINE.

L’energia prodotta da ciascuna turbina è ottenuta semplicemente sommando ogni ciclo (quindi ogni ora per quanto precedentemente detto) il prodotto della potenza attuale in kW per il tempo di ciclo (corrispondente ad un’ora di funzionamento).

L’energia totale viene calcolata come somma dell’energia prodotta da ciascuna turbina.

Il calcolo del guadagno totale viene svolto direttamente in HMI come semplice moltiplicazione del valore immesso nella casella costo kWh per l’energia totale prodotta.

2.9.2 Calcolo CO_2 e CH_4 risparmiati

Il calcolo viene svolto direttamente in HMI moltiplicando il valore dell’energia totale prodotta per opportuni coefficienti, riportati nella tabella di fianco.

Tabella 9 - coefficienti per calcolo risparmio

Grandezza	Coefficiente
Kg CO_2	0,668
m^3 CH_4	0,334

Per il calcolo dei coefficienti riportati nella precedente (*Tabella 9 - coefficienti per calcolo risparmio*) ci si è avvalsi dei dati ricavati dalla tabella riportata in *Fig. 66 – estratto tabella parametri standard* nazionali, poiché la più aggiornata che è stato possibile reperire nella rete (Fonte: *EU ETS - Emission Trading Scheme dell'Unione europea*; Sito: *https://www.ets.minambiente.it/News#248-pubblicazione-parametri-standard-nazionali-anno-2021*).

Tabella parametri standard nazionali

Coefficienti utilizzati per l'inventario delle emissioni di CO2 nell'inventario nazionale UNFCCC (media dei valori degli anni 2018-2020). Tali dati possono essere utilizzati per il calcolo delle emissioni dal 1 Gennaio 2021 al 31 Dicembre 2021.

PARAMETRI STANDARD[1] - COMBUSTIBILI/MATERIALI					
Combustibile/Materiale	Unità di misura utilizzata per consumo di combustibile	Fattore Emissione[2] (tCO_2/Un. di misura quantità)	Coefficiente Ossidazione	PCI	Unità di Misura PCI
Gas naturale (metano)	1000 $Stdm^3$	1,983	1	8,427	Mcal/$Stdm^3$
	TJ	56,212	1	35,281	GJ/1000 $Stdm^3$

Fig. 66 – estratto tabella parametri standard nazionali

Il dato di partenza è rappresentato dal PCI (*potere calorifico inferiore*) del metano che, da tabella, è stabilito pari a (ultima colonna di *Fig. 66 – estratto tabella parametri standard* nazionali):

$$35{,}281\ \text{GJ}/1000\ \text{m}^3$$

ovvero in kJ:

$$35281\ \text{kJ}/\text{m}^3$$

Poiché 1 kJ = (1/3600) kWh, si ottiene per il PCI del metano il valore:

$$\text{PCI} = 9{,}8\ \text{kWh}/\text{m}^3$$

Per l'ipotetico impianto a gas, è stato ipotizzato un rendimento pari al 30%, che significa impiegare circa 3,3kWh termici per produrre 1 kWh elettrico ($E_{elettrica} = E_{termica} * \eta_{impianto}$).

Per ottenere quanti m^3 di metano sono necessari per produrre 1 kWh elettrico è sufficiente dividere l'energia termica necessaria per il PCI del combustibile:

$$1\ \text{kWh}_{\text{elettrico}} = \frac{3{,}3}{9{,}8}\ \text{m}^3 \approx 0{,}334\ \text{m}^3{}_{\text{CH}_4}$$

Per il calcolo dei Kg di CO_2 prodotti, a partire dai m^3 di CH_4 da impiegare, è sufficiente leggere dalla tabella in *Fig. 66 – estratto tabella parametri standard nazionali* il dato relativo al *fattore di emissione.* In corrispondenza della colonna contenente tale informazione, si ricava che 1000 m^3 di metano producono 1,983 tonnellate di anidride carbonica, ovvero in altri termini:

$$1\ \text{m}^3\ \text{di}\ CH_4\ \text{produce}\ 1{,}983\ \text{Kg di}\ CO_2$$

Approssimando il dato precedente all'unità più vicina, otteniamo le seguenti corrispondenze:

$$1\ \text{kWh}_{\text{elettrico}} \rightarrow 0{,}334\ \text{m}^3\ \text{di}\ CH_4 \rightarrow 0{,}668\ \text{Kg di}\ CO_2$$

2.10 Menù RICETTE

Il tasto *Fig. 67 - tasto menù RICETTE nella schermata HOME* permette di accedere alla pagina relativa alla gestione delle ricette.

Fig. 67 - tasto menù RICETTE

È possibile create dei pacchetti preimpostati che contengono le informazioni relative a:

- costanti utilizzate nella regolazione PID;
- valori di riferimento per i rendimenti elettrico, idraulico, di impianto.

Questi pacchetti vengono gestiti direttamente nel menù RICETTE, che ne consente la creazione, cancellazione ed il trasferimento al controllore.

La *Fig. 68 - menù RICETTE* mostra come si presenta il menù RICETTE a simulazione avviata. In questa configurazione, il trasferimento al controllore, che si trova in fase di elaborazione, è interdetto.

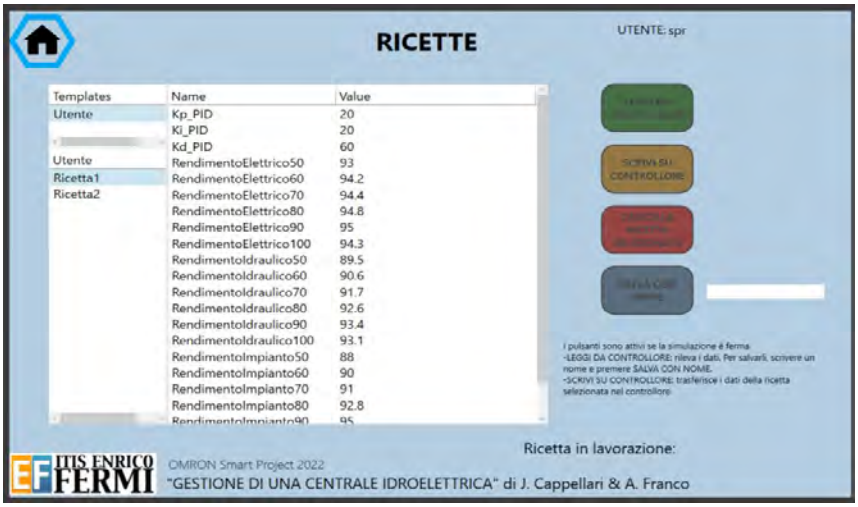


Fig. 68 - menù RICETTE

2.11 Menù ALLARMI

Si accede al menù ALLARMI direttamente dalla schermata HOME, premendo il tasto in *Fig. 69 - tasto menù ALLARMI*.

Fig. 69 - tasto menù ALLARMI

Il programma crea un record delle notifiche relative al raggiungimento delle condizioni di ostruzione limite di ogni griglia presente nell’impianto. Questi record vengono memorizzati e sono visibili nel menù ALLARMI. La *Fig. 70 - menù ALLARMI* mostra la situazione in cui due griglie hanno raggiunto il grado di ostruzione limite, come inserito nelle pagine di impostazione.

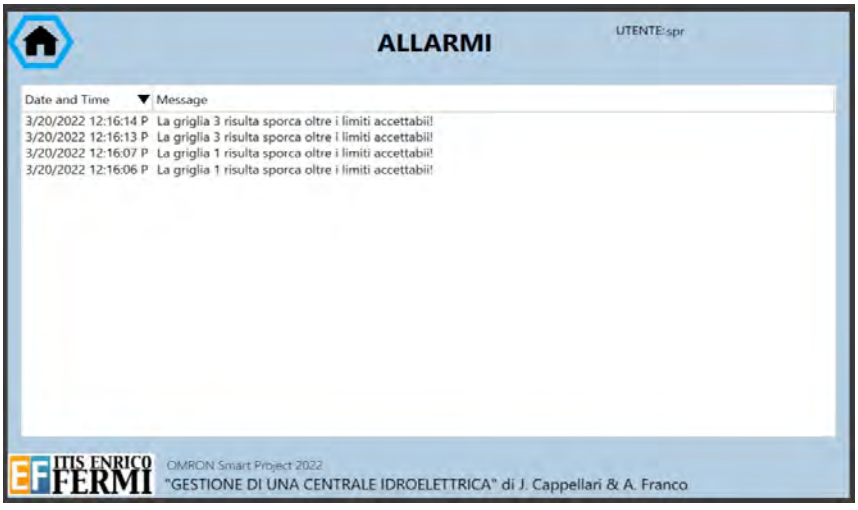


Fig. 70 - menù ALLARMI

3 Impostazione dell’impianto Ethercat

Si è voluto immaginare una bozza della configurazione delle schede di acquisizione dati: si parla di “bozza” perché si sono prese in considerazione le grandezze principali tralasciando quei controlli di parametri che sono presenti in un impianto idroelettrico quali le temperature nelle bronzine, le pressioni nelle condotte e nelle turbine, etc. Le grandezze fisiche che sono state considerate a titolo di esempio sono:

- Le portate dell’acqua denominate “input_portata_” con alla fine riportato il numero di turbina (esempio input_portata_1, input_portata_2, etc.).
- Le velocità degli alberi denominate “input_rpm_” + il numero della turbina (input_rpm_1, input_rpm_2, etc.).
- I livelli dei bacini denominati “H_BacinoSup” e “H_BacinoInf”
- Le rotazioni delle pale statoriche denominate “Angolo_” + il numero della turbina (Angolo_1, Angolo_2, etc.).
- Gli intasamenti delle griglie indicati con”EncGriglia_” + il numero della turbina (EncGriglia_1, EncGriglia_2, etc.).

Queste variabili sono poi trasformate opportunamente nelle variabili utilizzate nel programma.

3.1 Impianto Ethercat

In *Fig. 71* si può vedere l’impianto Ethercat utilizzato.

Fig. 71 – Impianto Ethercat

3.2 Nodo 1 - E001

In questo nodo è stata inserita la scheda relativa al motore elettrico che trasla orizzontalmente lo sgrigliatore: è stato considerato un motore da 3kW e un encoder assoluto.

3.3 Nodo 2 – E002

Il nodo 2 si sviluppa come visibile in *Fig. 72* in cui sono stati inseriti 2 schede da input analogici con ingressi a corrente e ingressi a tensione a scopo puramente didattico.

Fig. 72 – Nodo 2

3.3.1 Grandezze misurate nella scheda NX-AD4208

NX-AD4208				
Ch1 Analog Input Value	Value of analog input 1	R	INT	Input_portata_1
Ch2 Analog Input Value	Value of analog input 2	R	INT	Input_portata_2
Ch3 Analog Input Value	Value of analog input 3	R	INT	Input_portata_3
Ch4 Analog Input Value	Value of analog input 4	R	INT	Input_portata_4
Ch5 Analog Input Value	Value of analog input 5	R	INT	Input_portata_5
Ch6 Analog Input Value	Value of analog input 6	R	INT	Input_portata_6
Ch7 Analog Input Value	Value of analog input 7	R	INT	H_BacinoSup
Ch8 Analog Input Value	Value of analog input 8	R	INT	H_BacinoInf

Fig. 73 – Scheda NX-AD4208.

In questa scheda 4-20 mA con risoluzione da 30000 punti si fanno pervenire i segnali dei trasduttori di portata (uno per ogni turbazione) e di livello dei 2 bacini.

Le portate sono misurate con sensori ad ultrasuoni di cui riportiamo una immagine come esempio in *Fig. 74 – Misuratore di portata*.

Fig. 74 – Misuratore di portata

Uno scorcio del datasheet del misuratore è riportato in *Fig. 75*.

Uscite

3 uscite:
4-20 mA HART (attivo/passivo)
4-20 mA (attivo/passivo)
Uscita impulsi/frequenza/interruttore (attiva/passiva)
Uscita a doppio impulso (attivo/passivo)
Uscita a relè

Fig. 75 – Alcuni dati del misuratore di Fig. 74.

La risoluzione della scheda è pari a 30000 punti pertanto nella sezione “Input” dei POU si trovano i codici simili a:

```
Portata[1].Attuale:=Input_portata_1/int_to_real(30000)*portataMax;
```

in cui:

- ”Portata[..].attuale” è la variabile utilizzata nel programma per i calcoli e la regolazione;
- ”portataMax” è la portata massima rilevabile dal sensore in m^3/sec;

Con la formula si trasforma il segnale che perviene dalla scheda nel valore della portata.

Gli input “H_BacinoSup” e “H_BacinoInf” sono le altezze rilevate dai sensori di livello: tali grandezze devono essere poi trasformate in altezze sul livello del mare per fare i calcoli del salto utile disponibile pertanto, sempre nella parte del codice nella sezione “Input”, si legge:

```
Quota_BacinoInferiore.Attuale:=Quota_SLM_inf+H_BacinoInf/INT_TO_REAL(30000)*H_max;
```

Quota_BacinoSuperiore.Attuale:=Quota_SLM_sup+H_BacinoSup/INT_TO_REAL(30000)*H_max;

in cui:

- “Quota_BacinoInferiore.Attuale” e ”Quota_BacinoSuperiore.Attuale” sono le variabili utilizzate nel codice per i calcoli e sono di tipo Reale;
- ”Quota_SLM_...”. sono numeri fissi che identificano la quota di progetto dei bacini rispetto al livello del mare: si potrebbe pensare di creare una finestra (non esiste nel progetto) per inserire tali valori; potrebbe benissimo essere ”Quota_SLM_inf” uguale a 0 e ”Quota_SLM_sup” la differenza nominale tra il bacino superiore e quello inferiore.
- ”H_BacinoInf” e ”H_BacinoSup” sono le grandezze che pervengono dalla scheda e vanno trasformate in valori da sommare a “Quota_SLM_...” con la divisione per 30000 (risoluzione della scheda) e poi la moltiplicazione con il fondo scala.

3.3.2 Grandezze misurate nelle schede NX-ECS212

In questa scheda pervengono i segnali forniti dagli encoder assoluti montati sull’alberino di una pala statorica per ogni turbina.

▼ NX-ECS212				
▼ Ch1 SSI Status	Aggregated byte data of SS	R	BYTE	
Ch1 Data Refresh Status	SSI input 1 data refresh sta	R	BOOL	
Ch1 SSI Communications Error Status	SSI input 1 communication	R	BOOL	ErroreEncStator_1
Ch1 SSI Communications Enabled	SSI input 1 communication	R	BOOL	
Ch1 Encoder Present Position	Encoder present position o	R	DINT	Angolo_1
Ch1 SSI Communications Error Code	Detailed code of SSI input	R	BYTE	
Ch1 Status Data	SSI input 1 status data	R	DWORD	
▼ Ch2 SSI Status	Aggregated byte data of SS	R	BYTE	
Ch2 Data Refresh Status	SSI input 2 data refresh sta	R	BOOL	
Ch2 SSI Communications Error Status	SSI input 2 communication	R	BOOL	ErroreEncStator_2
Ch2 SSI Communications Enabled	SSI input 2 communication	R	BOOL	
Ch2 Encoder Present Position	Encoder present position o	R	DINT	Angolo_2
Ch2 SSI Communications Error Code	Detailed code of SSI input	R	BYTE	
Ch2 Status Data	SSI input 2 status data	R	DWORD	

Fig. 76 – Variabili della scheda NX- ECS212.

In particolare si considera anche la variabile “ErroreEncStator_1” e successive perché è un parametro che segnala eventuali errori nella comunicazione con l’encoder.

Quando l’encoder viene montato raramente è sullo 0 assoluto pertanto quando si installa è necessario prendere nota del valore che misura “EncoderHome” e sottrarlo nel codice al valore che a regime verrà fornito dall’encoder “Angolo_1” (o “Angolo_2”, etc.)

AngoloStatorico[1].Attuale:=dint_to_real(Angolo_1-
EncoderHome)/dint_to_real(N_Impulsi_90)*AngoloStatorico[1].Max;

in cui:

- “AngoloStatorico[..].attuale” è l’angolo utilizzato nel codice per i calcoli e per la regolazione;
- “N_Impulsi_90” è il numero di impulsi che si hanno in rotazione equivalente alla rotazione massima della pala statorica: generalmente è pari a 90°;
- “AngoloStatorico[1].Max” è l’angolo massimo di cui ruota la pala, generalmente 90° ed è uguale per tutte le pale.

3.3.3 Grandezze misurate nelle schede NX-EC0222

Queste schede per encoder incrementali sono state utilizzate anche se in realtà per la misurazione delle velocità degli alberi vengono utilizzate generalmente ruote foniche: si è preferito utilizzare la scheda per encoder perché sono stati svolti i seguenti calcoli approssimativi per capire la frequenza dell’impulso:

- Velocità usuale per turbine idrauliche: ~ 500 rpm = 8.3 rps
- Possibile diametro albero per montaggio ruota fonica: 150 mm
- Possibile diametro esterno ruota fonica: 250 mm
- Possibile spessore del dente della ruota fonica: 3 mm

In base a queste assunzioni si ha:

- Circonferenza ruota fonica: 785 mm → numero denti z = 262 (arrotondato)

A 8.3 rps corrisponde una frequenza di 2174 impulsi/sec quindi siamo nell’ordine dei 2 kHz, frequenza superiore a quanto leggibile dalla CPU con tempo ciclo di 2 ms.

Nome elemento	Valore	
Counter Type/Ch1 Counter Type	Ring Counter	
Counter Type/Ch2 Counter Type	Ring Counter	
Maximum Counter Value/Ch1 Maximum Counter Value	2147483647	pulse
Maximum Counter Value/Ch2 Maximum Counter Value	2147483647	pulse
Minimum Counter Value/Ch1 Minimum Counter Value	-2147483648	pulse
Minimum Counter Value/Ch2 Minimum Counter Value	-2147483648	pulse
Pulse Input Method/Ch1 Pulse Input Method	Pulse + Direction	
Pulse Input Method/Ch2 Pulse Input Method	Pulse + Direction	
Time Window/Ch1 Time Window	100	ms
Time Window/Ch2 Time Window	100	ms
Average Processing Times/Ch1 Average Processing Times	5	times
Average Processing Times/Ch2 Average Processing Times	5	times
Edge Detection Method/Ch1 Edge Detection Method	Disable the Function	
Edge Detection Method/Ch2 Edge Detection Method	Disable the Function	
Encoder Count Direction/Ch1 Encoder Count Direction	Positive Direction of Phase A	
Encoder Count Direction/Ch2 Encoder Count Direction	Positive Direction of Phase A	

Fig. 77 – impostazioni della scheda NX-EC0222.

Le schede sono state impostate come visibile in *Fig. 77*: è stato impostato il Time Window e l’Average Processing Times per poter calcolare il “Pulse Rate” (variabile importata tra quelle disponibili) e quindi le velocità degli alberi come visibile nella sezione “Input”:

Turbina[..].VelocitaAlbero:=UDINT_TO_REAL(PulseRateAlbero_..)/DINT_TO_REAL(RisoluzioneRuotaFonica)*60000/100;

in cui:

- “Turbina[..].velocitaALbero è la velocità calcolata e utilizzata poi nel programma in rpm;
- “PulseRateAlbero_..“ è un parametro trasmesso dalla scheda alla CPU indicante il numero di impulsi nel tempo “Time Window” visibile in *Fig. 77*;
- “RisoluzioneRuotaFonica“ è il numero di denti (o fori) presenti nella ruota fonica che è necessario impostare;
- 60000 è la conversione da ms a minuti;
- 100 è il “Time Window” in ms.

3.4 Nodo 3 – ECC203

Il nodo 3 si sviluppa come visibile in *Fig. 72* in cui sono stati inseriti 2 schede da input analogici con ingressi a corrente e ingressi a tensione a scopo puramente didattico.

Fig. 78 – Schema di rilevazione ostruzione sulle griglie.

3.4.1 Grandezze misurate nelle schede NX-ECS212

Queste schede sono state utilizzate per misurare lo spostamento delle griglie. Generalmente l’intasamento delle griglie è rilevato da manometri differenziali; si è pensato ad una soluzione alternativa: si suppone la griglia incernierata nella parte bassa e l’encoder sulla parte alta della griglia sostenuta da un sistema di molle: in base allo spostamento rilevato dall’encoder si fissa un grado di ostruzione corrispondente.

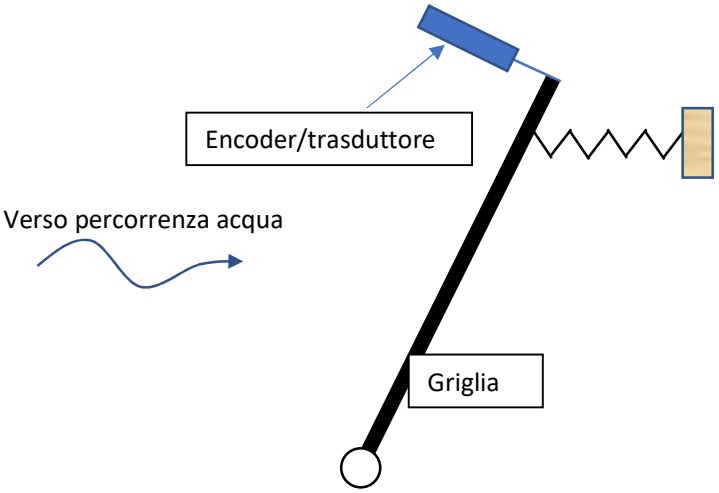


Fig. 79 – Schema di rilevazione ostruzione sulle griglie.

A tal fine si sono utilizzate le schede NX-ECS0212.

Modulo 1	NX-ECS212						
	Ch1 SSI Status	Aggregated byte data of SS	R	BYTE			
	Ch1 Data Refresh Status	SSI input 1 data refresh sta	R	BOOL			
	Ch1 SSI Communications Error S	SSI input 1 communication	R	BOOL	ErroreEncGriglia_1		Variabili globali
	Ch1 SSI Communications Enable	SSI input 1 communication	R	BOOL			
	Ch1 Encoder Present Position	Encoder present position o	R	DINT			
	Ch1 SSI Communications Error Cod	Detailed code of SSI input	R	BYTE			
	Ch1 Status Data	SSI input 1 status data	R	DWORD			
	Ch2 SSI Status	Aggregated byte data of SS	R	BYTE			
	Ch2 Encoder Present Position	Encoder present position o	R	DINT	EncGriglia_2		Variabili globali
	Ch2 SSI Communications Error Cod	Detailed code of SSI input 2	R	BYTE			
	Ch2 Status Data	SSI input 2 status data	R	DWORD			

Fig. 80 – impostazioni della scheda NX-ECS0212.

La variabile “EncGriglia_…” rappresenta il valore letto e deve essere convertito nel valore Griglia.Occlusione secondo le formule riportate di seguito:

Griglia[1].Occlusione:=(EncGriglia_1-EncoderGrigliaHome)/DINT_TO_REAL(CorsaEncoder)*100;

in cui:

- “Griglia[..].occlusione” è il valore utilizzato nel programma per fare intervenire lo sgrigliatore;
- “EncoderGrigliaHome” è il valore letto dall’encoder al momento del montaggio e costituisce il riferimento rispetto al quale si effettuano le misurazioni;
- “CorsaEncoder” rappresenta la corsa in numero di impulsi massima possibile per l’escursione della griglia.

Chiaramente potevano essere utilizzati anche altri trasduttori, di tipo analogico: in questo caso si sarebbero utilizzate ancora schede simili a NX-AD4208.

4 Rack CPU

La corrispondenza dei punti integrati della CPU è la seguente (*Tabella 10*):

Tabella 10 – punti integrati nella CPU

Porta	Tipo dati	Variabile	Commento variabile
Input Bit 00	BOOL	FinecorsaSgrig_Fc0	Finecorsa alto dello sgrigliatore
Input Bit 01	BOOL	FinecorsaSgrig_Fc1	Finecorsa basso dello sgrigliatore
Input Bit 02	BOOL	Finecorsa_Stator_1_Fc0	Finecorsa angolo 0 delle pale turbina 1
Input Bit 03	BOOL	Finecorsa_Stator_1_Fc1	Finecorsa angolo max delle pale turbina 1
Input Bit 04	BOOL	Finecorsa_Stator_2_Fc0	Finecorsa angolo 0 delle pale turbina 2
Input Bit 05	BOOL	Finecorsa_Stator_2_Fc1	Finecorsa angolo max delle pale turbina 2
Input Bit 06	BOOL	Finecorsa_Stator_3_Fc0	Finecorsa angolo 0 delle pale turbina 3
Input Bit 07	BOOL	Finecorsa_Stator_3_Fc1	Finecorsa angolo max delle pale turbina 3
Input Bit 08	BOOL	Finecorsa_Stator_4_Fc0	Finecorsa angolo 0 delle pale turbina 4
Input Bit 09	BOOL	Finecorsa_Stator_4_Fc1	Finecorsa angolo max delle pale turbina 4
Input Bit 10	BOOL	Finecorsa_Stator_5_Fc0	Finecorsa angolo 0 delle pale turbina 5
Input Bit 11	BOOL	Finecorsa_Stator_5_Fc1	Finecorsa angolo max delle pale turbina 5
Input Bit 12	BOOL	Finecorsa_Stator_6_Fc0	Finecorsa angolo 0 delle pale turbina 6
Input Bit 13	BOOL	Finecorsa_Stator_6_Fc1	Finecorsa angolo max delle pale turbina 6
Output Bit 00	BOOL	Cil_Sgrig_Su	EV che porta su lo sgrigliatore
Output Bit 01	BOOL	Cil_Sgrig_Giu	EV che porta giù lo sgrigliatore
Output Bit 02	BOOL	PompaSgrig	Attiva pompa olio sgrigliatore
Output Bit 03	BOOL	Cil_Stator_1_Apri	EV che aumenta angolo pale statoriche turbina 1
Output Bit 04	BOOL	Cil_Stator_1_Chiudi	EV che diminuisce angolo pale statoriche turbina 1
Output Bit 05	BOOL	Cil_Stator_2_Apri	EV che aumenta angolo pale statoriche turbina 2
Output Bit 06	BOOL	Cil_Stator_2_Chiudi	EV che diminuisce angolo pale statoriche turbina 2
Output Bit 07	BOOL	Cil_Stator_3_Apri	EV che aumenta angolo pale statoriche turbina 3
Output Bit 08	BOOL	Cil_Stator_3_Chiudi	EV che diminuisce angolo pale statoriche turbina 3

I punti disponibili nella CPU sono stati integrati con una scheda di output digitali NX-OD4256 (*Tabella 11*) per comandare le elettrovalvole oleodinamiche che servono i cilindri relativi alla movimentazione delle pale statoriche delle turbine.

Tabella 11 – punti scheda NX-OD4256.

Porta	Tipo dati	Variabile	Commento variabile
Output Bit 00	BOOL	Cil_Stator_4_Apri	EV che aumenta angolo pale statoriche turbina 4
Output Bit 01	BOOL	Cil_Stator_4_Chiudi	EV che diminuisce angolo pale statoriche turbina 4
Output Bit 02	BOOL	Cil_Stator_5_Apri	EV che aumenta angolo pale statoriche turbina 5
Output Bit 03	BOOL	Cil_Stator_5_Chiudi	EV che diminuisce angolo pale statoriche turbina 5
Output Bit 04	BOOL	Cil_Stator_6_Apri	EV che aumenta angolo pale statoriche turbina 6
Output Bit 05	BOOL	Cil_Stator_6_Chiudi	EV che diminuisce angolo pale statoriche turbina 6

5 Difficoltà riscontrate

Le problematiche incontrate durante l’ideazione, lo sviluppo e la rifinitura del progetto sono state molteplici.

Poiché il progetto Smart Project di Omron è a tema libero, la prima difficoltà incontrata indubbiamente è stata la scelta dell’argomento da sviluppare. Dopo attente valutazioni in ambito tematico, si è scelto la gestione di una centrale idroelettrica poiché rappresenta un tema di grande importanza a livello energetico.

Una delle varie difficoltà è senz’altro quella rappresentata dal numero di alunni che hanno partecipato al progetto: suddividere il lavoro su solo 2 persone è stato impegnativo considerato che nel frattempo si sono seguiti anche altri corsi, ci sono stati impedimenti dovuti al Covid e, ultimo ma non meno importante visto che gli alunni in questione stanno frequentando la quinta superiore, lo studio.

Le problematiche incontrate possono essere divise tra la parte di PLC e la parte grafica dell’HMI.

5.1 Lato PLC

Alcuni degli aspetti più impegnativi affrontati lato PLC sono indicati di seguito.

Implementazione della regolazione PID: la prima sfida affrontata relativamente alla programmazione lato PLC, sia da un punto di vista cronologico che organizzativo. Questo aspetto ha coinvolto una prima fase di studio accurato del funzionamento delle turbine idrauliche, nonché delle relative problematiche, per l’individuazione degli input e degli output della regolazione.

Simulazione di grandezze reali che nella realtà sono misurate tramite trasduttori: altro aspetto che ha implicato notevoli difficoltà. In un impianto reale alcune variabili, quali le stesse portate d’acqua nelle turbine, vengono rilevate tramite specifici trasduttori. La simulazione ha comportato implementare nel codice il comportamento di queste variabili.

Gestione delle fasi di attivazione e disattivazione per manutenzione delle turbine: si ricollega in qualche modo al punto precedente. Le fasi di disattivazione di una o più turbine ed il successivo reinserimento in un impianto già avviato ha comportato la risoluzione delle problematiche relative alla ripartizione del carico sul numero di turbine realmente attive, ovvero quelle “disponibili” tra quante dichiarate nelle impostazioni. Infatti, sia in fase di spegnimento che di successiva messa in funzione, il carico richiesto dagli utilizzatori viene bruscamente ripartito su un numero di turbine diverso variando il dato relativo alla portata attuale delle restanti turbine in modo improvviso. Nella realtà, la portata sarebbe misurata da specifici trasduttori e varierebbe in modo più graduale tenendo conto delle inerzie dei diversi componenti.

Gestione dei rendimenti: la gestione delle curve di rendimento ha riguardato principalmente due aspetti: da un lato l’interpolazione vera e propria (§2.7.2, §2.7.3,§2.7.4) dall’altro la necessità di gestire una grandezza variabile, inizialmente nulla, che compare a denominatore in alcune delle formule implementate dal codice. Questo aspetto ha reso necessario inizializzare un valore iniziale di riferimento per i rendimenti.

Gestione delle operazioni di pulizia delle griglie: un altro aspetto particolarmente laborioso è stato quello connesso alla realizzazione del codice per la gestione delle operazioni di pulizia delle griglie. Le complicazioni riscontrate sono state principalmente relative a due aspetti: la selezione della griglia target da pulire e la gestione della movimentazione, orizzontale dell’intero sgrigliatore e verticale del rastrello, verso ed in corrispondenza della specifica griglia target.

5.2 Lato HMI

Per quanto riguarda l’HMI il primo problema che si è presentato ha riguardato la struttura del progetto, ovvero quale “schema” adottare e quale struttura prendere come riferimento, da mantenere per tutto l’elaborato.

A seguito di varie considerazioni si è deciso di utilizzare una struttura esagonale, poi ripresa su tutte le sezioni create. Infatti, partendo dalla pagina HOME si può notare come l’esagono e la struttura alveolare vengano richiamati costantemente.

Una volta impostato lo scheletro del progetto e scelto le varie sezioni da creare, ovvero le varie caratteristiche di una centrale idroelettrica da analizzare, ci si è addentrati nel vero e proprio sviluppo del progetto. L’elaborazione di ogni singola pagina ha presentato fin dalla fase embrionale molteplici sfide a seconda dell’argomento preso in considerazione.

Le problematiche riscontrate nella programmazione del pannello operatore possono essere riassunte come di seguito specificato.

IMPOSTAZIONI_GRIGLIE: riuscire a creare una proporzionalità tra la X_{reale} inserita dall’utente e la $X_{grafica}$. Si è presentato infatti il problema di come creare la proporzionalità tra i valori inseriti dall’operatore e il posizionamento grafico delle griglie, quale range grafico da utilizzare entro il quale le griglie si sarebbero mosse. Dopo vari tentativi e differenti prove, ci si è orientati verso la creazione della variabile d_max come fattore di proporzionalità, gestita tramite una subroutine globale richiamata ogni 100ms. Questa soluzione ha comportato, tuttavia, costanti problematiche legate a posizionamenti errati (anche al di fuori della pagina stessa). Le problematiche sono state superate con la creazione del pulsante POSIZIONA GRIGLIE con il quale richiamare una subroutine locale, che ha permesso di ovviare al problema precedentemente illustrato.

sezione TURBINE: creare la grafica della turbina. Infatti, essendo un elemento complesso, si è cercato di creare una figura che si avvicinasse il più possibile alla realtà così da rendere al meglio l’effetto creato durante la simulazione. Questa scelta ha comportato la creazione di molteplici elementi, ad ognuno dei quali è stata applicata una particolare animazione. Dopo varie modifiche di forma e di dimensione dei vari elementi si è riusciti ad arrivare al prodotto finale.

Il pulsante MANUTENZIONE e la relativa funzione hanno rappresentato la problematica di maggior rilievo. Inizialmente il pulsante sotto ogni turbina venne concepito come un qualsiasi pulsante, collegato direttamente alla variabile *Turbina(n).Ready* che, una volta premuto, avrebbe determinato l’arresto della turbina. Con l’evolvere del progetto si è arrivati alla conclusione che la manutenzione della turbina non è solamente la sua attivazione o il suo spegnimento ma è un’operazione a se stante, di grande impatto, che ha delle conseguenze su tutto l’impianto. Si è deciso quindi per l’inserimento di *message box* che informassero l’operatore dell’importanza dell’azione di messa in manutenzione. La complessità di maggior rilievo è stata quella di trovare le giuste variabili cui associare questa manutenzione della turbina. Ci si è orientati quindi verso la creazione di *Manutenzione(n)* come variabile di “ritardo” della disattivazione o meno della turbina. La risoluzione della problematica esposta ha comportato non poche complicazioni e inefficienze nelle varie simulazioni.

sezione GRIGLIE: movimenti dello sgrigliatore sia lungo asse X che asse Y. Inizialmente lo sgrigliatore è stato posizionato su di un asse longitudinale differente rispetto la prima griglia. Questa soluzione ha comportato posizionamenti errati dello sgrigliatore rispetto la griglia che avrebbe dovuto essere pulita. Per ovviare a questo problema si è posizionata la prima griglia, qualora la sua distanza impostata dall’utente fosse stata 0, sullo stesso asse dello sgrigliatore così da creare una corrispondenza tra i due.

Una volta sistemata la problematica per lo spostamento orizzontale sono sorte quelle per lo spostamento verticale in quanto lo sgrigliatore nella pagina GENERALE_GRIGLIE avrebbe dovuto compiere una traslazione di una distanza X mentre nelle pagine delle singole griglie avrebbe dovuto compiere uno spostamento di una distanza X_1. Sono state introdotte quindi variabili come *AsseY_Sgrigliatore.Pos_HMI* e *AsseY_Sgrigliatore.Pos_HMI_n* che, attraverso una semplice proporzione (simile a quella utilizzata per lo spostamento delle griglie) risolvessero questa problematica.

SCHEMA IMPIANTO: creare una corrispondenza tra il livello grafico dei bacini qualunque fossero stati i livelli reali. Infatti, mentre il livello reale può variare i suoi valori, il livello grafico è sempre quello. È stato quindi necessario creare nuove variabili di adattamento della parte grafica qualunque fossero stati i dati reali inseriti dall’operatore. Anche in questo caso il problema è stato superato impostando una proporzione tra le variabili coinvolte.

In conclusione i fattori che hanno causato maggiori problematiche nella programmazione del pannello operatore sono stati gli adattamenti grafici dei valori proveniente dal PLC, le varie animazioni dei singoli componenti e la disabilitazione dei pulsanti qualora utilizzabili. Infatti, per aiutare l’operatore nella gestione corretta della centrale è stato necessario disabilitare diversi pulsanti (*Enable*) durante le fasi transitorie (basti guardare il pulsante MANUTENZIONE_TURBINA durante la chiusura della turbina stessa). La ricerca della corretta combinazione di variabili tale da impedire l’utilizzo dei pulsanti in momenti non consoni ha richiesto diversi tentativi e modifiche.

6 Possibili sviluppi futuri

Data la vastità del progetto proposto, alcuni aspetti sono stati lasciati in sospeso per eventuali sviluppi futuri. Alcuni di essi sono qui elencati:

- monitoraggio delle altre grandezze che sono rilevate in un impianto reale quali, per esempio, la temperatura dell’olio di raffreddamento delle bronzine, le pressioni nelle turbine, un monitoraggio del pozzo piezometrico, etc.;
- gli allarmi relativi alla gestione del numero di giri dell’albero;
- miglioramento e approfondimento dei cilindri che spostano le pale statoriche;
- inserimento di una sezione relativa alla creazione di livelli di ostruzione casuali delle griglie, al fine di simulare la reale variabilità di questo parametro che nella realtà è legato a fattori ambientali;
- inserimento di una sezione per la simulazione in automatico della variabilità stagionale dei livelli dei bacini superiore e inferiore;
- possibilità di comando manuale tramite JOG del cilindro oleodinamico a cui è collegato il rastrello. La movimentazione orizzontale dell’intero sgrigliatore è già prevista, ma sarebbe interessante poter comandare lo stesso rastrello in modalità manuale per ovviare ad eventuali malfunzionamenti;
- possibilità di visualizzare il risparmio in termini di CO_2 e di quantitativo di combustibile fossile, al variare della tipologia di quest’ultimo.

7 Utilità didattica

Il progetto Smart Project è stato presentato dai componenti del team in concomitanza ad un dibattito scolastico in tema di opportunità e di sfide di fronte alle quali la recente pandemia ci posto. La necessità di ripartire da un punto di vista economico e gli ingenti investimenti che l’UE ci richiede in ambito green, sta fornendo il pretesto per quella che si auspica sia la svolta ecologica per le nazioni industrializzate. Basti pensare al ruolo di primo piano che la rivoluzione verde e la transizione ecologica rivestono all’interno del PNRR.

Purtroppo, i recenti avvenimenti che stanno accadendo non lontano da noi, dei quali il mondo intero si trova ad essere spettatore in questi giorni, hanno evidenziato ulteriormente come la nostra Nazione, ma tutta l’Europa in generale, sia fortemente dipendente dall’utilizzo e quindi dalla fornitura di combustibili fossili da parte di paesi la cui politica estera risulta sempre più aggressiva.

Ecco quindi che la transizione ecologica rappresenta non solo una opportunità, ma assume rilevanza sociale quando permette ad una nazione di svincolarsi dal finanziare, anche involontariamente, politiche bellicose.

Non solo sfida, ma la fortuna di vivere in un territorio come il Bassanese, nelle cui vicinanze sono situate molteplici centrali per la produzione idroelettrica ha rappresentato l’ulteriore pretesto per cimentarsi nel progetto descritto nelle pagine precedenti e preferirlo all’implementazione del controllo di qualche impianto il cui utilizzo risulta fine a se stesso.

A partire dalla fase di *braistorming* iniziale, in cui ciascun membro del team ha ascoltato le idee altrui e si è cimentato nel proporre ed esporre in maniera chiara e dettagliata le proprie, al *problem solving* per lo sviluppo di soluzioni a problematiche nuove fino alla successiva fase di *teamwork* per l’armonizzazione delle sezioni implementate, il gruppo ha sviluppato in maniera diretta argomenti anche complessi e spesso trasversali, acquisendo quelle *transferable skills*, che nel mondo del lavoro odierno segnano lo spartiacque tra un professionista dinamico con competenze a tutto tondo da uno statico e settorializzato.

L’impegno profuso da ciascun membro del team, il quale si è trovato a dover *gestire il progetto* contestualmente agli altri impegni scolastici, il *rispetto di scadenze* anche strette per supportare il lavoro altrui, l’*affidabilità* e la necessità di *rispettare gli impegni* presi ha fornito un ulteriore passo in direzione dell’ambito lavorativo, in linea con la mission che da sempre caratterizza l’istituto E. Fermi di Bassano.

La scelta dell’*impianto idroelettrico* inoltre ricade alla perfezione nel percorso formativo degli studenti del gruppo di lavoro, impegnati fin dal terzo anno nel *ramo energetico* (articolazione “Energia” dell’indirizzo “Meccanica”). L’analisi, lo studio e la visita presso la centrale idroelettrica gestita dalla Spett.le Idroelettriche Riunite S.p.a. nei pressi di San Gaetano (VI) ha fornito il pretesto per acquisire competenze anche nella *gestione di impianti* che uno studente degli istituti tecnici affronta marginalmente o limitatamente ai libri di scuola.

L’*implementazione del codice* ha permesso di addentrarsi nella programmazione di tipo LADDER, di affacciarsi a quella in testo strutturato, di acquisire nozioni dettagliate e di vedere applicata una *regolazione di tipo PID* (anche se modificata per la simulazione).

Infine, riallacciandosi con i temi espressi all’inizio, la sezione PRODUZIONE del progetto è stata volutamente affrontata e sviluppata dal team per acquisire una maggior sensibilità e per riuscire ad apprezzare anche numericamente l’importanza in termini economici ed ambientali che una centrale da *fonti rinnovabili* ricopre.

8 Ringraziamenti

Un ringraziamento particolare va a Idroelettriche Riunite S.p.a., ente gestore della centrale idroelettrica di San Gaetano (VI), al suo presidente Beltrame Alberto come agli operatori che hanno permesso e guidato la visita all’interno della centrale stessa. Tecnici che hanno messo a disposizione la loro conoscenza, la loro formazione ma soprattutto la loro esperienza per la realizzazione di questo elaborato. Tra questi si ricorda Lazzarotto Adriano (Responsabile tecnico centrali Idroelettriche Riunite Veneto), Lazzarotto Eros e Lazzarotto Riccardo (Manutentori centrali Idroelettriche Riunite Veneto). Un ringraziamento va anche al compagno di scuola Alberto Lazzarotto che ha facilitato la visita alla centrale.

D’obbligo e sentito il ringraziamento a Omron Electronics S.p.A. di Milano e al Ministero dell’Istruzione che con queste iniziative stimolano gli studenti ad affrontare e superare problematiche che metterebbero alla prova anche i professionisti, mettendo a disposizione, per di più gratuitamente, strumenti che nel settore rappresentano l’avanguardia altrimenti accessibili ai soli specialisti del settore.

Si ringrazia molto volentieri la scuola ITIS “E. Fermi” di Bassano del Grappa che ci ha sempre permesso di fermarci nei pomeriggi nonostante i vari regolamenti sussistenti per arginare l’epidemia in atto.

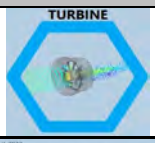
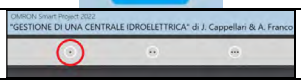
Non da meno, un ringraziamento ai professori Fabrizio Innocenzi, Paolo Scotton e Giuliano Zatta e che ci hanno sostenuto in questo progetto mettendo a disposizione i laboratori scolastici e tanto del loro tempo.

9 Guide rapide

9.1 Avvio della simulazione

Rif.	Azione	Note	Tasto
1	Dal menù HOME, effettuare il login	Credenziali: • usr: SPR • pwd: Omron2022	
2	cliccare sul menù RENDIMENTI	I dati sono già inseriti di default e possono essere modificati.	
3	Tornare nel menù HOME		
4	Cliccare su icona menù IMPOSTAZIONI	Dalla pagina HOME.	
5	Inserire/modificare i dati in IMPOSTAZIONI IMPIANTO	Già impostati di default.	
6	Cliccare su icona IMPOSTAZIONI GRIGLIE		
7	Inserire i dati relativi alla posizione di tutte le griglie	Inserire valori corretti relativi alle distanze.	
8	Modificare l’altezza delle griglie e il grado di occlusione massimo consentito		
9	Cliccare sul tasto POSIZIONA GRIGLIE		
10	Cliccare sul tasto AVVIA SIMULAZIONE		
11	Tornare nel menù HOME		

9.2 Regolare i parametri della simulazione (precisione e velocità della simulazione)

Rif.	Azione	Note	Tasto
1	Cliccare sul tasto TURBINE		
2	Cliccare sul tasto F1		
3	Spostare lo slider “Precisione simulazione” verso GROSSOLANA		
4	Aumentare la velocità di simulazione		
5	Spostare la precisione di simulazione su FINE	Quando la velocità di rotazione delle turbine è prossima al valore nominale	
6	Chiudere il pop-up relativo ai parametri della simulazione		

9.3 Impostare una operazione di pulizia automatica delle griglie

Rif.	Azione	Note	Tasto
1	Cliccare sul tasto GRIGLIE	Dal menù HOME	
2	Cliccare sul tasto GRIGLIE	Dal menù GENERALE GRIGLIE	
3	Aumentare il livello di occlusione di una o più griglie	Aumentare fino a superare il grado di occlusione massimo, evidenziato dalla comparsa della finestra di avviso.	
4	Cliccare sul menù GENERALE GRIGLIE		
5	Cliccare sul tasto CICLO AUTOMATICO NON ATTIVO		
6	Cliccare sul tasto SGRIGLIATORE	Per vedere il circuito oleodinamico in funzione.	

10 Indice delle figure

Fig. 1 - Eplorer Multivista PLC 6
Fig. 2 – strCampoValori 7
Fig. 3 – strTurbina 7
Fig. 4 – strSgrigliatore 7
Fig. 5 - variabile StepAzionamento 10
Fig. 6 - Tasto MANUTENZIONE TURBINA 10
Fig. 7 - messaggio di avviso "Manutenzione turbina" 11
Fig. 8 - messaggio di avviso "Manutenzione conclusa" 11
Fig. 9 - rung 0 sezione Manutenzione 12
Fig. 10 - Tasto EMERGENZA 12
Fig. 11 - contatto Puls_Emergenza NC 12
Fig. 12 - menù HOME 15
Fig. 13 - tasto HOME 15
Fig. 14 - tasto HELP 15
Fig. 15 - tasto LOGIN 15
Fig. 16 - tasto menù IMPOSTAZIONI 16
Fig. 17 - Tasto AVVIA SIMULAZIONE 16
Fig. 18 - menù IMPOSTAZIONI IMPIANTO 16
Fig. 19 - tasto menù IMPOSTAZIONI GRIGLIE 17
Fig. 20 - menù IMPOSTAZIONI GRIGLIE 18
Fig. 21 - menù IMPOSTAZIONI GRIGLIE con esempio di griglie posizionate 18
Fig. 22 - posizionamento delle griglie 19
Fig. 23 - impostazione altezza griglie e grado occlusione massimo 20
Fig. 24 - menù RENDIMENTI 20
Fig. 25 - tasto menù RENDIMENTI 20
Fig. 26 - tasto menù TURBINE 21
Fig. 27 - menù TURBINE 22
Fig. 28 - Tasto MANUTENZIONE TURBINA 22
Fig. 29 - Tasto Emergenza 22
Fig. 30 – tasto F1 24
Fig. 31 - pop-up PARAMETRI SIMULAZIONE 24
Fig. 32 - Tasto menù GRIGLIE 26
Fig. 33 - menù GENERALE GRIGLIE 26
Fig. 34 - menù GENERALE GRIGLIE con Ciclo Automatico attivo 27
Fig. 35 - menù GENERALE GRIGLIE con Ciclo Manuale attivo 28
Fig. 36 - tasto STOP MOTORE 28
Fig. 37 - tasto RIPRISTINO MOTORE attivo 28
Fig. 38 - tasto RIPRISTINO MOTORE disattivo 28
Fig. 39 - tasto CONTROLLO MOTORE 28
Fig. 40 - pop-up CONTROLLO MOTORE 28
Fig. 41 - tasto menù singole GRIGLIE 29
Fig. 42 - menù GRIGLIE con griglia pulita 29
Fig. 43 - allarme GRIGLIA SPORCA OLTRE I LIMITI 30
Fig. 44 - fase di pulizia della GRIGLIA 1 30
Fig. 45 - menù GRIGLIE con griglie sporche 31
Fig. 46 - tasto SGRIGLIATORE 31
Fig. 47 - menù CIRCUITO OLEODINAMICO SGRIGLIATORE: home 32

Fig. 48 - menù CIRCUITO OLEODINAMICO SGRIGLIATORE: discesa del cilindro 32
Fig. 49 - tasto menù CONTROLLO 33
Fig. 50 - menù MONITORAGGIO IMPIANTO 33
Fig. 51 - menù MONITORAGGIO IMPIANTO con turbina in manutenzione e sgrigliatore in movimento 34
Fig. 52 – approssimazione della curva del rendimento 35
Fig. 53 - interpolazione lineare tra due valori 35
Fig. 54 - interpolazione con variabili nel codice 36
Fig. 55 - funzione Calc_Rendimenti 36
Fig. 56 - calcolo dei rapporti tra le portate X 37
Fig. 57 - richiamo della funzione Calc_Rendimenti in ST 37
Fig. 58 -rendimento nel calcolo delle portate 37
Fig. 59 - cilindri delle pale statoriche 38
Fig. 60 - tasto menù SCHEMA 38
Fig. 61 - variazione quota attuale bacino superiore 38
Fig. 62 - variazione quota attuale bacino inferiore 38
Fig. 63 - menù SCHEMA IMPIANTO 39
Fig. 64 - tasto menù PRODUZIONE 39
Fig. 65 - menù PRODUZIONE 39
Fig. 66 – estratto tabella parametri standard nazionali 40
Fig. 67 - tasto menù RICETTE 41
Fig. 68 - menù RICETTE 42
Fig. 69 - tasto menù ALLARMI 42
Fig. 70 - menù ALLARMI 42
Fig. 71 – Impianto Ethercat 43
Fig. 72 – Nodo 2 43
Fig. 73 – Scheda NX-AD4208. 44
Fig. 74 – Misuratore di portata 44
Fig. 75 – Alcuni dati del misuratore di Fig. 74. 44
Fig. 76 – Variabili della scheda NX- ECS212. 45
Fig. 77 – impostazioni della scheda NX-EC0222. 46
Fig. 78 – Schema di rilevazione ostruzione sulle griglie. 47
Fig. 79 – Schema di rilevazione ostruzione sulle griglie. 47
Fig. 80 – impostazioni della scheda NX-ECS0212. 47

11 Indice delle tabelle

Tabella 1 - Grandezze nel menù IMPOSTAZIONI 16
Tabella 2 - Variabili per riposizionamento griglie 19
Tabella 3 - matrice ArrayRendimenti 21
Tabella 4 - azioni pulsanti menù TURBINE 22
Tabella 5 - parametri numerici menù TURBINE 24
Tabella 6 - sezioni pop-up PARAMETRI SIMULAZIONE 25
Tabella 7 - sezioni menù CONTROLLO IMPIANTO 33
Tabella 8 - contenuto pagina PRODUZIONE ELETTRICA 40
Tabella 9 - coefficienti per calcolo risparmio 40
Tabella 10 – punti integrati nella CPU 49
Tabella 11 – punti scheda NX-OD4256. 49

Metal Plotter

< Sommario

Il progetto Metal Plotter nasce da un'idea di GRAF Spa, azienda del settore dell'automazione industriale che da tempo collabora con l'ITIS Enrico Fermi mettendo a disposizione degli studenti soluzioni di automazione industriale dimensionate per un utilizzo didattico.

il Plotter, un incisore cartesiano per superfici metalliche, è stato completamente ricablato e riprogrammato per essere controllato tramite un controllore industriale Omron.

ITIS Enrico Fermi di Modena MO - Classe V

- **Docente coordinatore**: Giuliano Monti
- **Studenti:** Andrea Bendin, Giulio Gabbi, Matteo Marchioni

Introduzione

Com’è nato Metal Plotter

Il progetto Metal Plotter nasce da un’idea di GRAF Spa, azienda metalmeccanica di Nonantola (in provincia di Modena) specializzata nel settore dell’automazione industriale.
L’azienda da tempo collabora con l’ITIS Enrico Fermi di Modena mettendo a disposizione degli studenti soluzioni di automazione industriale dimensionate per un utilizzo didattico. Recentemente è stato fornito all’istituto il Plotter, un incisore cartesiano per superfici metalliche, nato inizialmente per essere controllato tramite un microcontrollore proprietario. In occasione del Trofeo Smart Project 2022, il sistema è stato completamente ricablato e riprogrammato per essere controllato tramite un controllore industriale Omron.
Il lavoro è stato portato avanti da una squadra di tre studenti del quinto anno dell’indirizzo di automazione che in sei mesi hanno ultimato la realizzazione del progetto “Metal Plotter”.

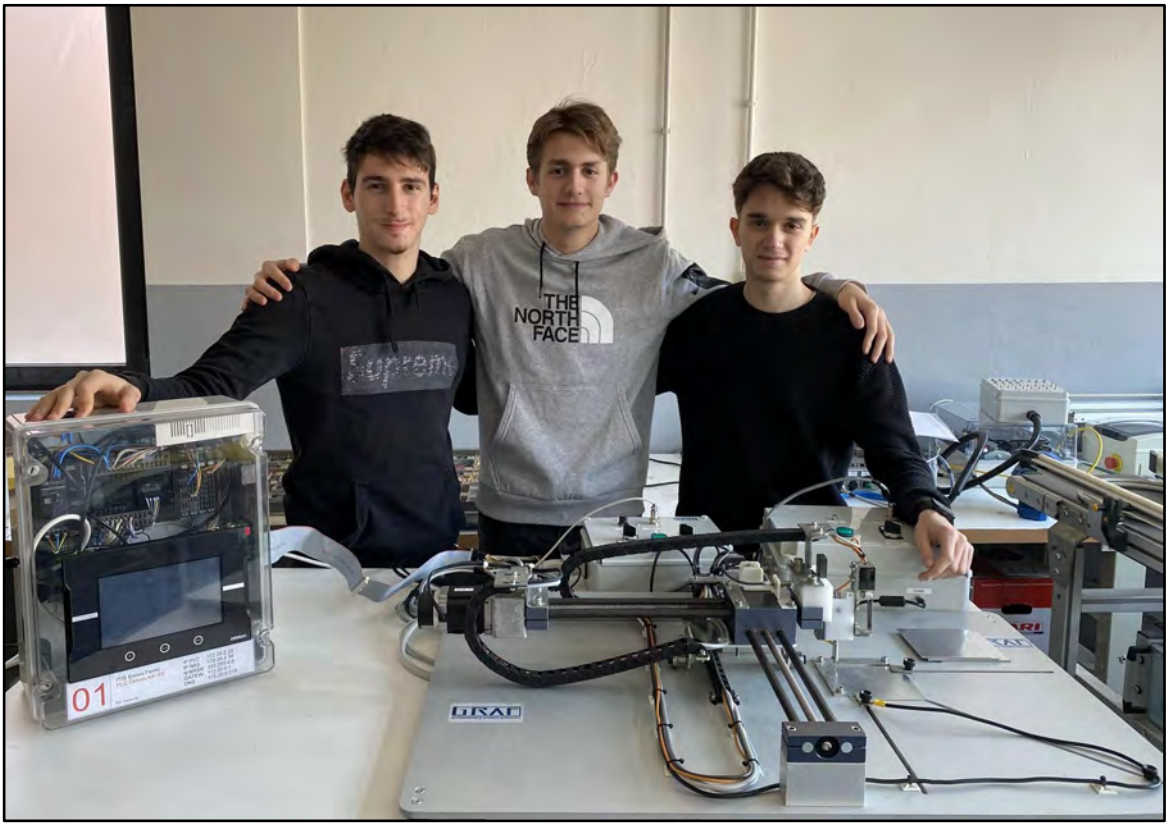


Fig. 1 - Il team: Matteo, Andrea e Giulio

Indice

1 Descrizione generale 4
1.1 Funzionalità 5
1.2 Struttura 6
1.2.1 Quadro generale 6
1.2.2 Macchina 7
1.2.3 Quadri elettrici di controllo 10
2 Guida all'uso 11
2.1 Macchina 12
2.1.1 Utilizzo dei quadri di controllo 12
2.1.2 Montaggio della piastra 13
2.1.3 Manutenzione e precauzioni 13
2.2 Quadro generale 14
2.2.1 Accensione del quadro 14
2.2.2 Pagina di login 15
2.2.3 Home 16
2.2.4 Gestione stampa 19
2.2.5 Tipo stampa 21
2.2.6 Stampa immagini di default 22
2.2.7 Stampa immagini da scheda SD 23
2.2.8 Stampa testo 25
2.2.9 Configurazione stampa 26
2.2.10 Live Monitor 27
2.2.11 Manuale: Modalità Jog 29
2.2.12 Manuale: Modalità Test 30
2.2.13 Allarmi 31
2.2.14 Impostazioni 32
2.2.15 Esplora parti 35
2.2.16 Guida 36
2.3 Comunicazione di rete col quadro 37
2.3.1 Introduzione 37
2.3.2 Terminale di comando 38
2.3.3 Programma dedicato 38
3 Descrizione del programma 40
3.1 Introduzione 41
3.1.1 Modello NX1P2 41
3.1.2 Modello NA5 41
3.1.3 Modalità Reale/Simulazione 42
3.2 Configurazione PLC 43

3.2.1 Rack CPU 43
3.2.2 Assi Motion 44
3.2.3 FTP Server 44
3.3 Programma PLC 45
3.3.1 Introduzione 45
3.3.2 Variabili globali 47
3.3.3 Plotter_Driver 52
3.3.4 Gestione_IO 56
3.3.5 Plotter_Sistema 58
3.3.6 Gestione_coda_di_stampa 60
3.3.7 Processo_di_stampa 63
3.3.8 Manuale 65
3.3.9 Inizializzazione_SD_Card 66
3.3.10 HMIPagine 68
3.3.11 HMIPagina_Simulatore_Plotter 70
3.3.12 Manipolazione delle immagini 75
3.4 HMI 77
3.4.1 User Friendly 77
3.4.2 Palette 77
3.4.3 Allarmi 78
3.4.4 IAG originali 79
3.5 Differenze tra PLC e Simulatore 81
3.5.1 Modalità operative 81
3.5.2 Comunicazione di rete 82
3.5.3 Aggiornamento delle immagini 84
3.5.4 Simulatore Sysmac 85
4 Appendice 86
4.1 Schemi elettrici 87
4.2 Riferimenti 89
Crediti 90

1 Descrizione generale

1.1 Funzionalità

Metal Plotter è una macchina a utensile basata su un sistema di movimento cartesiano a 2 assi che consente di effettuare incisioni puntiformi su superfici metalliche. L'utensile è costituito da una punta in tungsteno, che viene caricata elettricamente, e da un elettromagnete, che permette la discesa della punta.

Al momento dell'incisione la punta si avvicina alla superficie metallica. Quando la punta raggiunge una distanza sufficientemente vicina si genera un arco voltaico che ossida la superficie nel punto di contatto, rendendola di un colore più scuro.

Questo processo, se ripetuto molteplici volte, può essere utilizzato per effettuare l'incisione di intere immagini monocromatiche su piastrine metalliche, costituendo un vero e proprio processo di stampa.

Fig. 2 - Alcune piastrine di metallo incise da Metal Plotter

1.2 Struttura

Il sistema Metal Plotter si costituisce di due parti principali: il quadro generale e la macchina.

1.2.1 Quadro generale

Fig. 3 - Il quadro generale

Il quadro generale è il quadro elettrico che permette di controllare la macchina. Gli ingressi del quadro generale sono connessi direttamente alla macchina, mentre le uscite passano per i quadri di controllo.

Il quadro generale contiene:

- PLC NX1P2-1040DT1 + Moduli Rack CPU *(Vedi Sezione 3.2.1)*
- HMI NA5-7W001B-V1 *(Vedi Sezione 3.1.2)*

1.2.2 Macchina

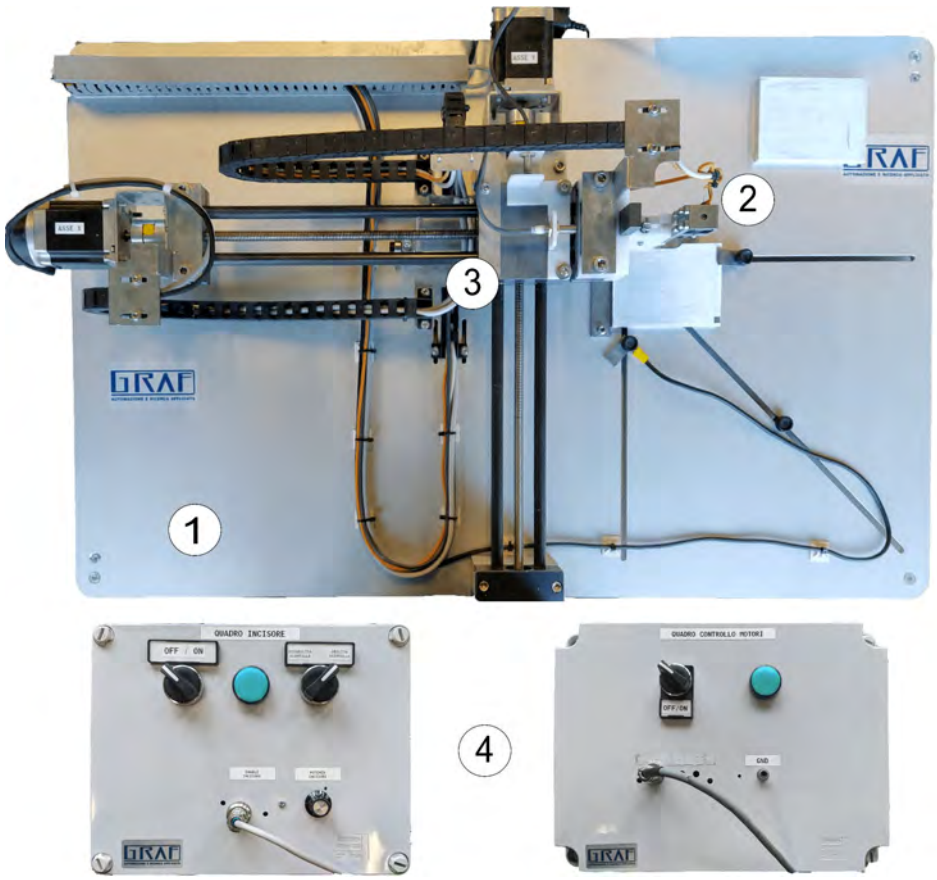


Fig. 4 - La macchina

La macchina è l'apparato fisico che realizza l'automazione. È a sua volta costituita da diverse parti:

1. Piano di lavoro
2. Utensile
3. Sistema di movimento cartesiano
4. Quadri elettrici di controllo

Piano di lavoro

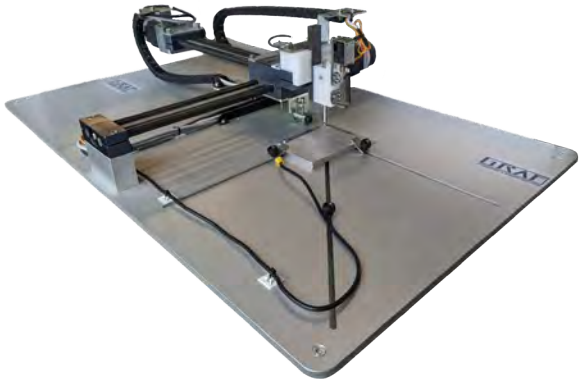


Fig. 5 - Il piano di lavoro

Il piano di lavoro è una lastra di metallo che agisce come superficie di fissaggio per tutte le altre parti. La parte di piano su cui l'utensile ha libertà di movimento è destinata al fissaggio della piastra da incidere.

Sono presenti dei bloccanti che permettono di assicurare la piastra sui diversi spigoli. Uno di questi è collegato al terminale di massa e deve essere saldamente a contatto con la piastra per consentire la generazione dell'arco voltaico.

Sistema di movimento cartesiano

Il sistema di movimento cartesiano è costituito da 2 assi di movimento: Asse X e Asse Y. Per ogni asse è presente un motore stepper, il relativo encoder e un finecorsa. Grazie a una vite senza fine solidale all'albero motore, il movimento rotatorio è tradotto in uno spostamento lineare.

Dati motore:

Tipo	Stepper
Modello	MP057NB401[1]
Impulsi/giro	200
Passo minimo lineare (mm)	0.01

Fig. 6 - Il motore stepper MP057NB401

Dati encoder:

Tipo	Incrementale rotativo a 3 canali (utilizzati 2)
Modello	EH30M500Z5L6X3PR2.151[2]
Impulsi/giro	500

Fig. 7 - L'encoder dei motori

Utensile

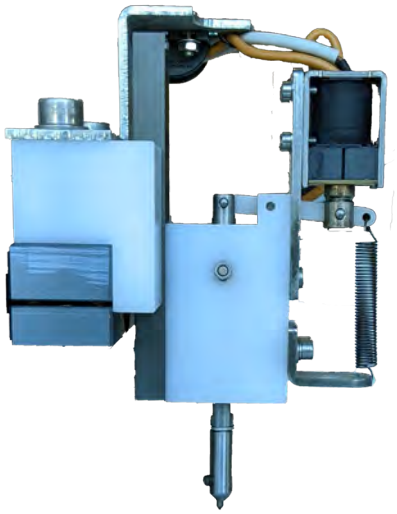


Fig. 8 - Incisore

Fig. 9 - Manopola potenza d'incisione

L'utensile è costituito da una punta in tungsteno (ottima resistenza all'usura) collegata elettricamente al quadro incisore. All' interno del quadro è presente un condensatore che agisce da accumulatore di carica.

Grazie a un elettromagnete è possibile controllare l'abbassamento e il sollevamento della punta. Al momento dell'incisione l'elettromagnete si eccita provocando l'abbassamento della punta. Se la distanza tra la punta e la superficie metallica diventa sufficientemente ravvicinata si genera un arco voltaico che produce l'incisione.

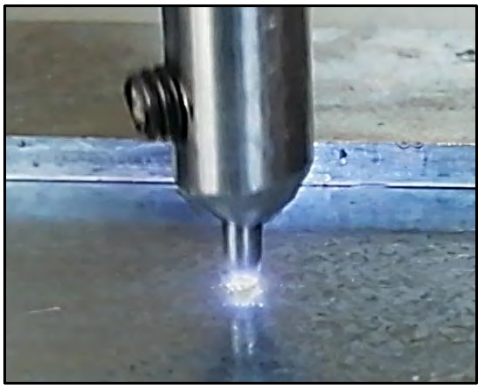


Fig. 10 - La scintilla dell'incisore

L’incisione è ottenuta dall’ossidazione superficiale del metallo che provoca un inscurimento della zona interessata. Quando l’elettromagnete si disattiva la punta si risolleva e il condensatore interno inizia a ricaricarsi. È possibile regolare la potenza d’incisione tramite un regolatore posto sul quadro incisore *(Vedi Fig. 9).* Per proteggere la punta si raccomanda di non impostare la potenza oltre il contrassegno nero indicato.

1.2.3 Quadri elettrici di controllo

Quadro	Input	Attuatore	Foto
Quadro Controllo Motori	- Segnali del motore sull’asse X (x2) - Segnali del motore sull’asse Y (x2)	Motori stepper degli assi	
Quadro Incisore	- Segnale incisore - Enable incisore - Potenza incisore	Movimento della testina e incisione della punta	

2 Guida all’uso

2.1 Macchina

2.1.1 Utilizzo dei quadri di controllo

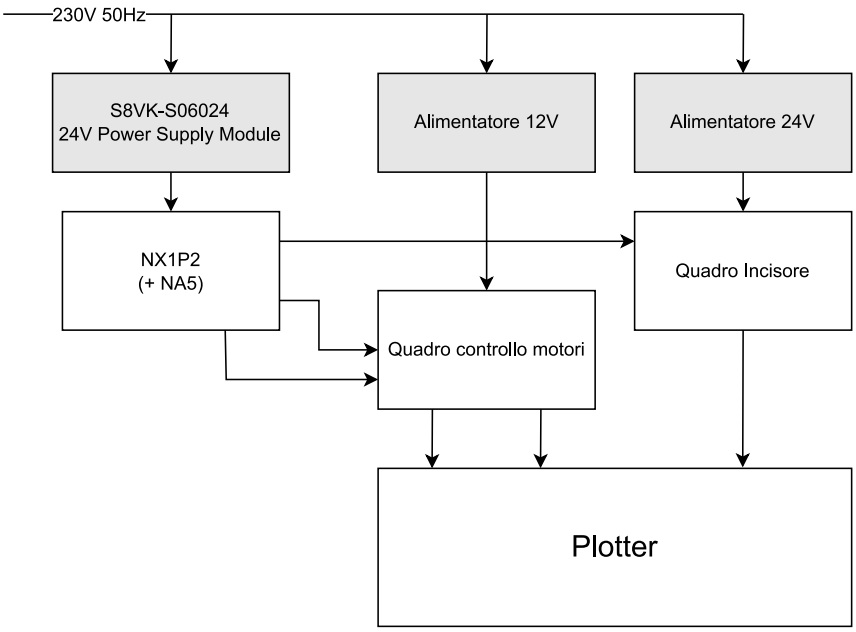


Fig. 11 - Schema delle alimentazioni

L’interfacciamento del quadro di controllo generale con la macchina è possibile attraverso due quadri forniti da GRAF Spa: uno per il controllo dei motori, l’altro per il controllo dell’incisore.
Ogni quadro deve essere alimentato con apposito alimentatore, 12V per il Quadro motori, 24V per il Quadro incisore (il collegamento dei connettori GND avviene già attraverso i connettori predefiniti, pertanto vengono lasciati scollegati) (*Vedi Sezione 4.1*).

Procedura di avvio:

1. Alimentare i due quadri portando su ON il commutatore; i LED verdi segnalano la corretta alimentazione dei due circuiti.
2. Per attivare l’incisione è necessario portare il commutatore apposito sulla voce “ABILITA SCINTILLA”.
3. È possibile regolare la potenza di incisione tramite l’apposito regolatore.

2.1.2 Montaggio della piastra

- È importante verificare e regolare la distanza tra incisore e lastra al fine di garantire una buona qualità dell'incisione: una distanza eccessiva comporta una riduzione della potenza di incisione, una distanza troppo ridotta rischia di danneggiare l'incisore, riducendo notevolmente la vita della punta.
- Si consiglia di assicurare la piastra di stampa al di sotto del bloccante ad angolo (utilizzare una chiave a brugola 4mm).

2.1.3 Manutenzione e precauzioni

Metal Plotter nel corso del tempo potrebbe richiedere interventi di manutenzione:

- Gli assi e le parti meccaniche che permettono il movimento dell'incisore potrebbero richiedere una lubrificazione occasionale (un lubrificante comune è generalmente adatto all'uso).
- Nel caso in cui l'incisore fatichi a incidere la lastra con la scintilla, potrebbe essere necessaria la sostituzione della punta (si consiglia di utilizzare punte in tungsteno per evitare frequenti sostituzioni).
- Si raccomanda fortemente l'utilizzo di lastre di buona qualità, aventi superficie pari e uniforme, al fine di garantire una maggiore affidabilità di stampa. È consigliato utilizzare lastre in alluminio o acciaio morbido, materiali in cui l'incisione risulta più precisa e visibile.

È importante osservare le misure di sicurezza del sistema, in particolare:

- Si raccomanda di evitare contatti con l'incisore durante il processo di stampa, le scariche elettriche causate sono pericolose per l'uomo.
- La connessione a terra, contrassegnata dal connettore giallo, dev'essere correttamente fissata all'area di stampa al fine di permettere la corretta incisione. Occorre verificarne il corretto fissaggio prima di ogni uso del sistema.

2.2 Quadro generale

2.2.1 Accensione del quadro

Per avviare il quadro generale è necessario accendere l’interruttore posto sul lato superiore.
Il tutto dev’essere alimentato alla tensione di rete mediante il classico cavo IEC C13.

All’accensione del quadro generale il pannello operatore mostrerà la schermata di avvio del software.
In caso contrario potrebbe essere necessario ricaricare il programma da Sysmac Studio.

Fig. 13 - Pagina di avvio

Fig. 12 - Pulsante di alimentazione

2.2.2 Pagina di login

Dopo la schermata di avvio, l'utente si trova nella pagina di login, dove può loggarsi con due differenti account:

- Operatore, ideale per un primo uso del sistema
- Amministratore, per ulteriori possibilità di modifica

Fig. 14 - La schermata di login

Username	Password	Ruolo	Autorizzazioni
UTENTE	*SMARTPROJECT22*	Operatore	Può effettuare le operazioni base senza l'accesso a pagine avanzate e la possibilità di modificare certi parametri.
TECNICO	*ITISFERMI*	Amministratore	Rispetto all'operatore può modificare velocità e distanza di approccio, tempo di incisione, limiti massimi positivi; accedere al monitor variabili durante la stampa, saltare la guida di benvenuto iniziale e cancellare lo storico degli allarmi.

Le funzionalità vietate all'utente Operatore sono contrassegnate dal simbolo

2.2.3 Home

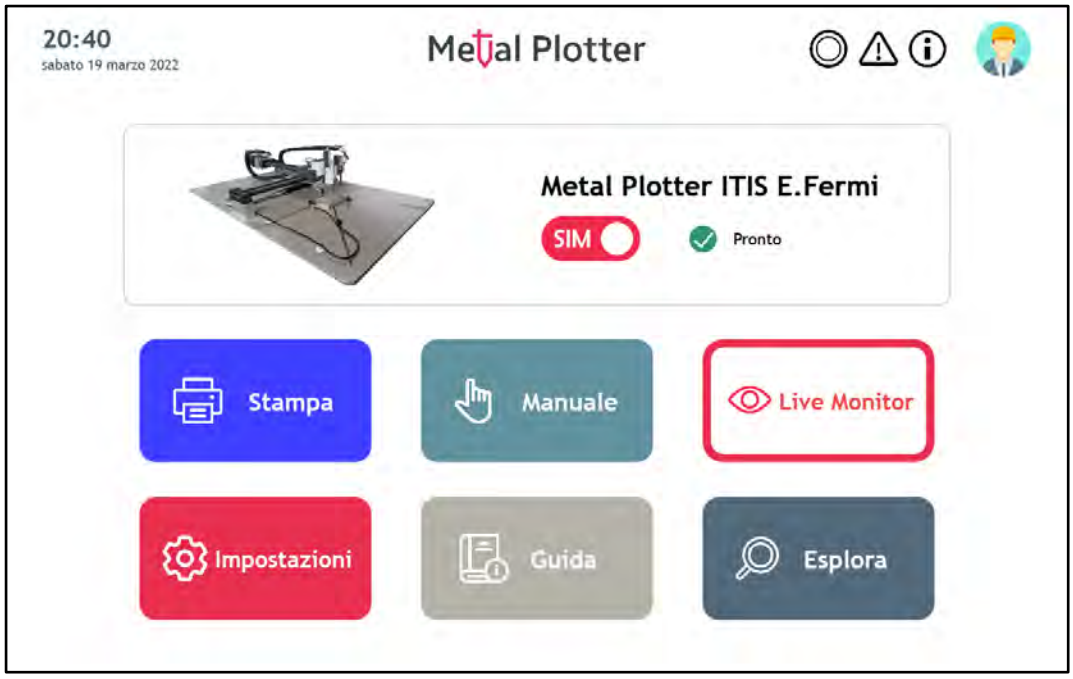


Fig. 15 - Pagina Home

Dalla pagina Home è possibile accedere a tutte le funzionalità disponibili. Sono presenti anche informazioni sullo stato della macchina.

Pulsanti principali

Pulsante	Icona	Effetto
Stampa		Apre la pagina di *Gestione Stampa*, da cui è possibile aggiungere file di stampa (stringhe o immagini), gestire la stampa in corso, visualizzare e modificare la coda di stampa. *(Vedi Sezione 2.2.4)*
Manuale		Apre la pagina *Manuale* e avvia la modalità di comando manuale dalla quale è possibile effettuare movimentazioni di tipo Jog o Test. *(Vedi Sezione 2.2.11)*

Live Monitor		Apre la pagina di *Live Monitor*, dalla quale è possibile visualizzare in tempo reale il movimento della punta e le relative incisioni sulla piastra. *(Vedi Sezione 2.2.10)*
Impostazioni		Apre la pagina *Impostazioni*, nella quale si trovano le seguenti sottocategorie: *Impostazioni di stampa, Lingua e account, Ripristino, Manutenzione e Crediti*. *(Vedi Sezione 2.2.14)*
Guida		Avvia la guida di benvenuto che accompagna l'utente in un tour guidato del software. *(Vedi Sezione 2.2.16)*
Esplora		Apre la pagina di *Esplora*, dalla quale è possibile ottenere informazioni dettagliate su ogni singolo componente del sistema Metal Plotter. *(Vedi Sezione 2.2.15)*

Barra informativa

Fig. 16 - Barra informativa della pagina Home

Pulsante	Icona	Effetto
Switch modalità		Cambia modalità di funzionamento: da simulazione a reale e viceversa.
Stato		Segnala lo stato della macchina: Pronto (spia verde), Non Pronto (spia rossa), Stampa in Corso (spia azzurra).

Barra di navigazione

Fig. 17 - Barra di navigazione (diversa per la pagina Home)

La barra di navigazione presenta i seguenti elementi:

Pulsante	Icona	Effetto
Live monitor		Apre la pagina di Live Monitor (diventa rosso quando il dispositivo è in movimento). *(Vedi Sezione 2.2.10)*
Pagina allarmi		Apre la pagina Allarmi (diventa rosso quando il dispositivo si trova in stato di errore). *(Vedi Sezione 2.2.13)*
Info pagina		Apre la guida della pagina mostrata sul pannello.
Account loggato		Mostra l’avatar dell’utente loggato. Se cliccato apre la pagina delle impostazioni Lingua e Account.
Menu laterale		*(Non presente nella pagina di Home)* Apre il menu laterale sulla sinistra del pannello, dal quale è possibile accedere a tutti i pulsanti principali della Home.

2.2.4 Gestione stampa

Nella pagina di Gestione Stampa è possibile monitorare la coda di stampa visualizzando lo stato e la percentuale di completamento dei file presenti. Tramite i pulsanti a fianco si possono eliminare file dalla coda e avviare, arrestare, o mettere in pausa il processo di stampa.
Nella tabella sottostante sono illustrati gli effetti dei pulsanti della pagina.

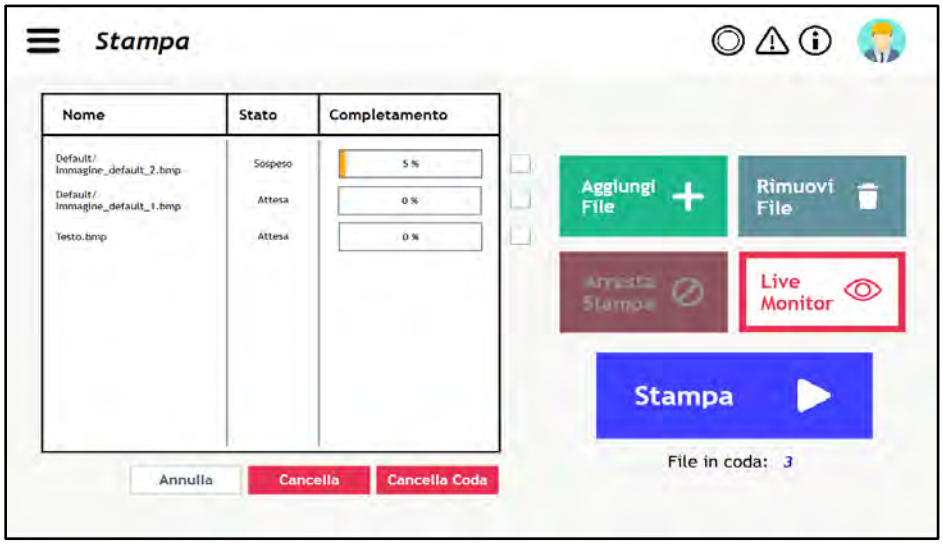
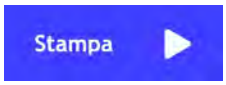


Fig. 18 - Pagina di gestione stampa (dopo aver premuto "Rimuovi File")

Pulsante	Icona	Effetto
Aggiungi File		Permette di aggiungere un file alla coda di stampa, scegliendo fra testo, immagine predefinita e immagine precaricata da SD.
Rimuovi File		Mostra le caselle di controllo e i pulsanti per eliminare uno o più file dalla coda di stampa.
Arresta Stampa		Arresta la stampa in corso annullando il processo.
Live Monitor		Apre la pagina di *Live Monitor*, dalla quale è possibile visualizzare in tempo reale il funzionamento della macchina. *(Vedi Sezione 2.2.10)*

Stampa		Avvia la stampa o la riprende nel caso fosse stata messa in pausa.
Pausa		Sospende la stampa. Attende un riavvio o un arresto

2.2.5 Tipo stampa

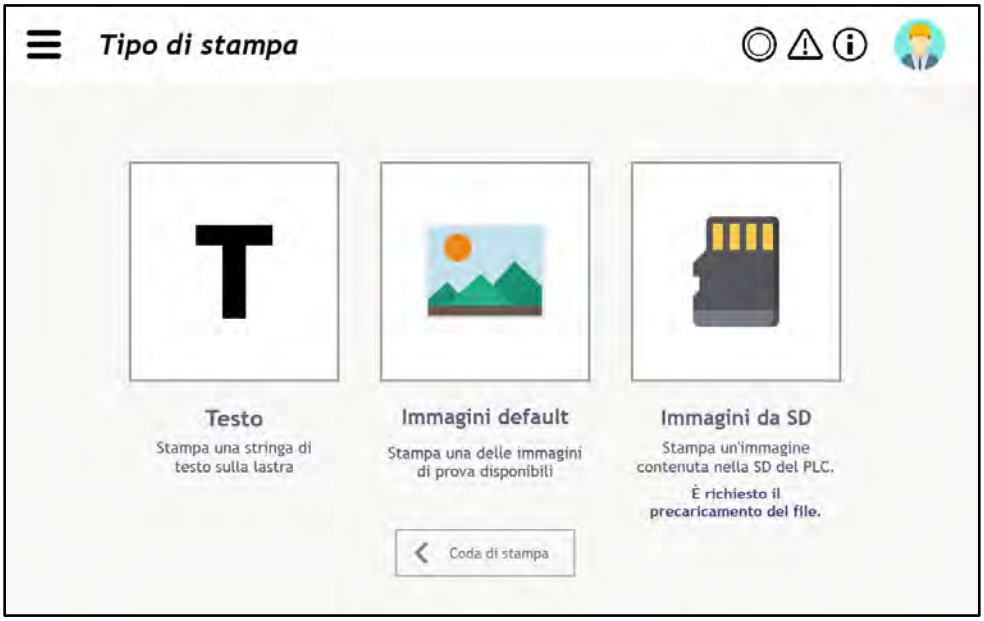


Fig. 19 - Pagina di selezione tipo di stampa

Alla coda di stampa si possono aggiungere file immagine in 3 modi:

- Immagine di default: all'accensione del quadro generale vengono precaricate sei immagini di default nella scheda SD, che potranno essere stampate senza procedure di caricamento. *(Vedi Sezione 2.2.6)*
- Immagine da SD: è possibile stampare le immagini che sono presenti sulla scheda SD. È possibile caricare le immagini tramite comunicazione di rete. *(Vedi Sezione 2.2.7)*
- Testo: un testo di massimo 30 caratteri, composto solamente da caratteri maiuscoli e spazi, viene analizzato dal programma e convertito in immagine. *(Vedi Sezione 2.2.8)*

2.2.6 Stampa immagini di default

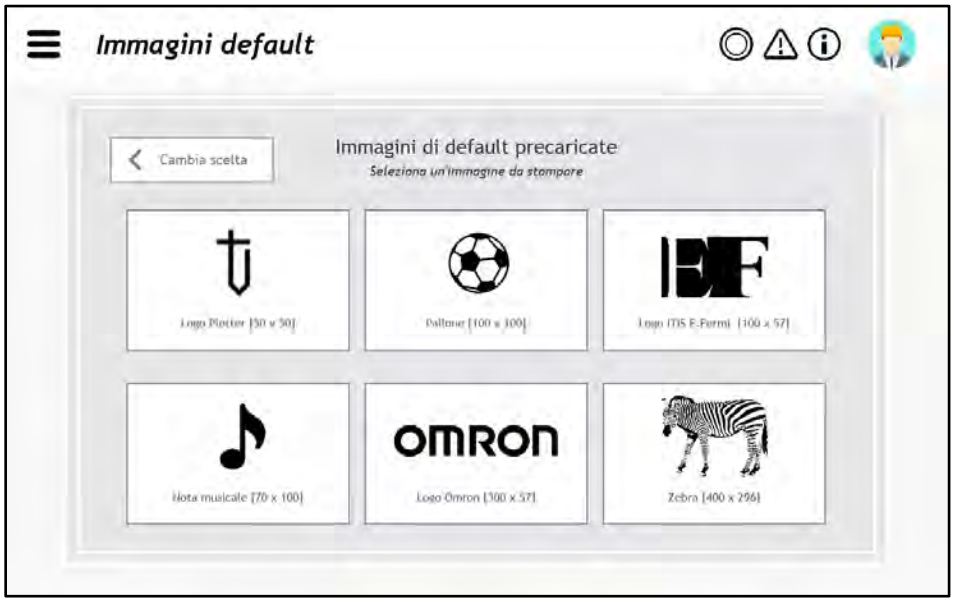


Fig. 20 - Schermata di scelta delle immagini di default

In questa pagina è possibile selezionare una delle sei immagini di prova precaricate nel controllore all’avvio del sistema (pertanto non richiedono alcuna procedura di trasferimento).

Immagine	Nome file	Dimensioni (L x A)	Peso
Logo Plotter	Immagine_default_1.bmp	50 x 50	462 byte
Pallone	Immagine_default_2.bmp	100 x 100	2 kB
Logo ITIS E.Fermi	Immagine_default_3.bmp	100 x 57	974 byte
Nota musicale	Immagine_default_4.bmp	70 x 100	1 kB
Logo Omron	Immagine_default_5.bmp	300 x 57	2 kB
Zebra	Immagine_default_6.bmp	400 x 296	15 kB

2.2.7 Stampa immagini da scheda SD

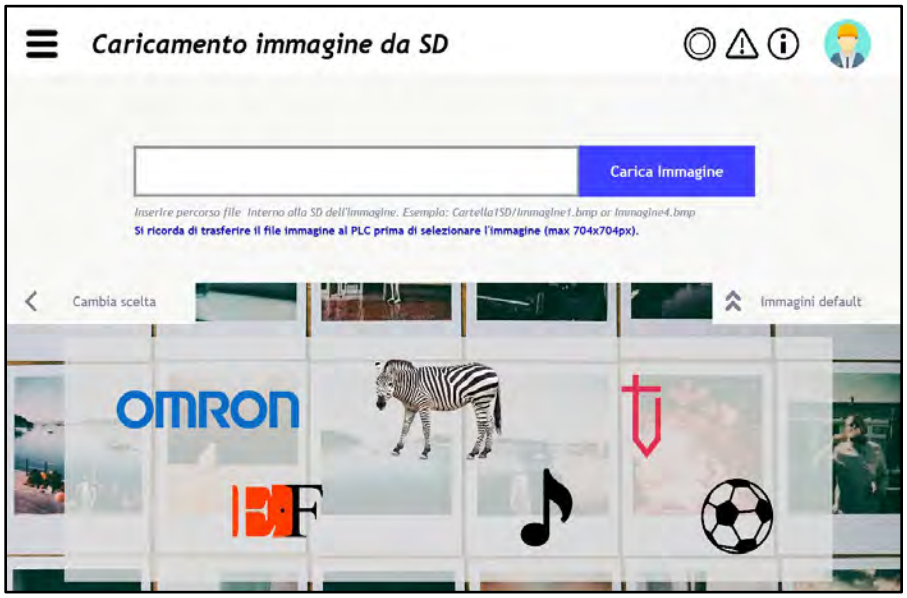


Fig. 21 - Selezione del percorso del file caricato su SD

È possibile stampare le immagini che sono presenti sulla scheda SD del PLC inserendone il percorso file. Le immagini possono essere caricate nella scheda o direttamente prima di inserirla nel controllore, oppure con una comunicazione via rete.

Requisiti del file immagine

Il file immagine, per essere stampato, deve rispettare determinati requisiti:

Formato file	Bitmap (.bmp)
Profondità colore	1 bit (monocromatico)
Risoluzione massima	704 x 704 pixel
Peso massimo	62014 byte

Consigli

Per ottenere stampe qualitativamente migliori, si consigliano le seguenti indicazioni:

- l’immagine scelta, in particolar modo se di piccole dimensioni, non dev’essere eccessivamente dettagliata: sono preferibili immagini a tinta unita con forme e contorni ben definiti
- considerare che un’immagine molto grande comporta tempi di stampa lunghi
- bassa velocità di approccio (circa 1 mm/s) e tempo di incisione medio (70 ms)

Caricamento immagine

Per effettuare il caricamento di un'immagine sulla scheda SD del PLC è possibile aprire una comunicazione rete tramite protocollo FTP con l’FTP Server gestito dal PLC. In questo modo è possibile avere accesso alla scheda SD da remoto e caricare al suo interno i file di interesse *(Vedi Sezione 2.3).*

Note:

La comunicazione via rete non è supportata dal simulatore integrato Sysmac. (Vedi Sezione 3.5) per maggiori dettagli sulla simulazione della scheda SD).

2.2.8 Stampa testo

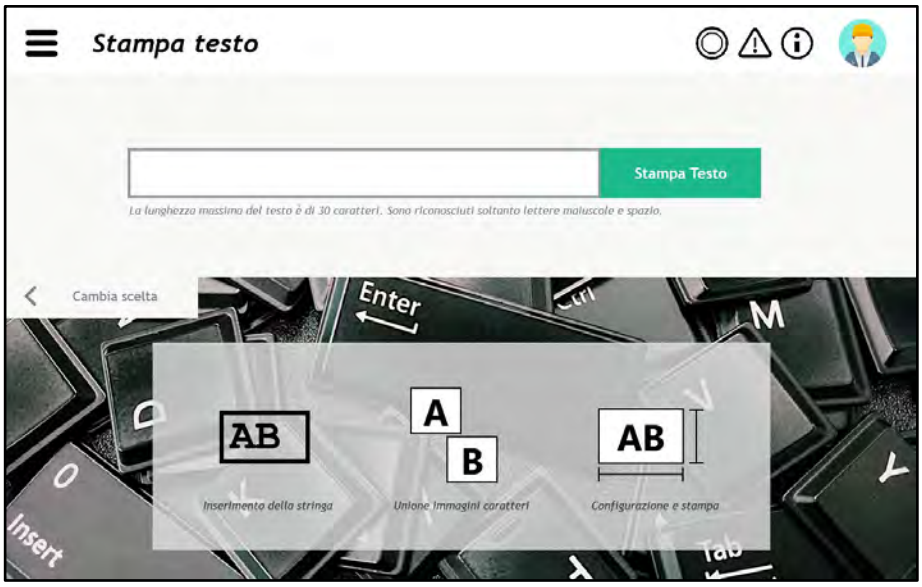


Fig. 22 - Scelta della stringa da stampare

In questa schermata viene inserita la stringa di testo da stampare sulla piastra.

Si possono inserire stringhe di massimo 30 caratteri, con solo lettere maiuscole (A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R, S, T, W, X, Y, Z) e spazi (‘ ‘).
Ciascun carattere della stringa viene associato al rispettivo file bitmap precaricato nella SD in modo da generare l’immagine di stampa.

2.2.9 Configurazione stampa

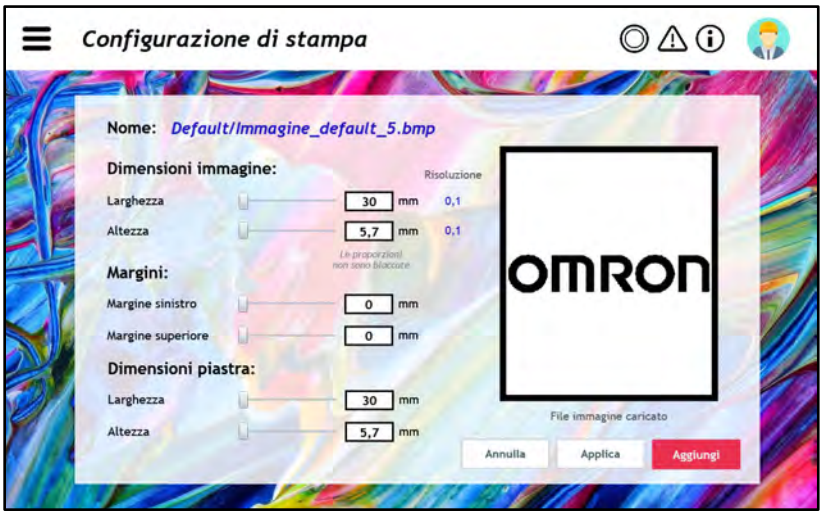
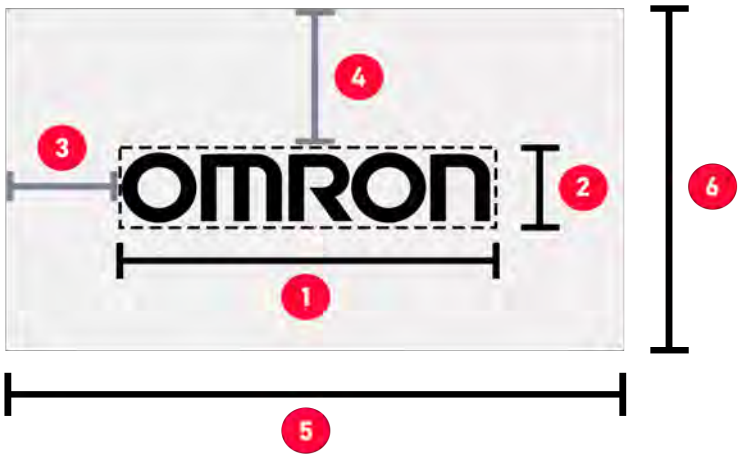


Fig. 23 - Schermata di configurazione di stampa

Nella pagina di configurazione di stampa si impostano i parametri relativi alle dimensioni dell'immagine da stampare e della piastra (i valori minimi impostabili sono automaticamente impostati dal software). L'inserimento di valori di larghezza e altezza che variano le proporzioni originali dell'immagine provocheranno una distorsione della stampa.

Una volta scelti i parametri di stampa occorre applicare le modifiche, premendo il tasto "Applica", e completare l'aggiunta del file alla coda, premendo "Aggiungi".



1. Larghezza immagine
2. Altezza immagine
3. Margine sinistro
4. Margine superiore
5. Larghezza piastra
6. Altezza piastra

Fig. 24 - Parametri di stampa

2.2.10 Live Monitor

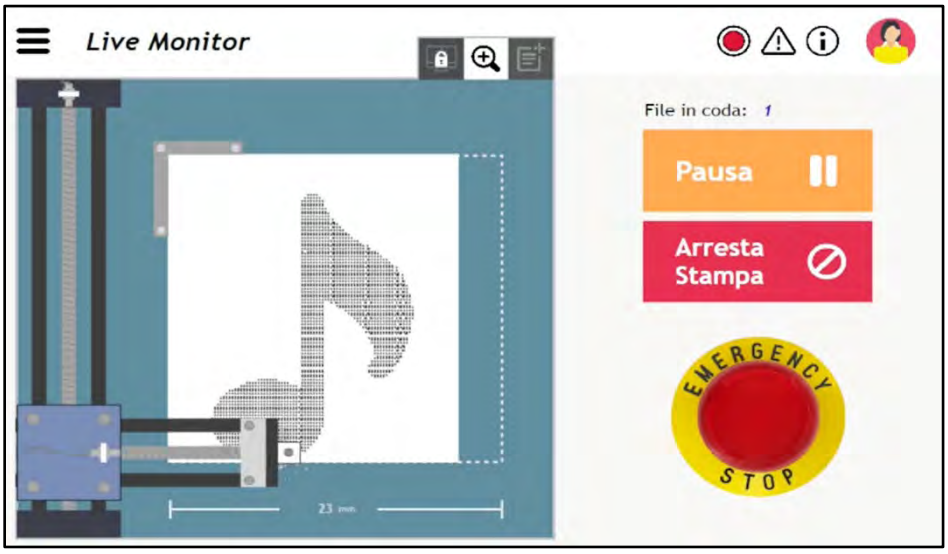


Fig. 25 - Schermata di Live Monitor

Nella pagina di Live Monitor, accessibile in ogni momento mediante la pressione della spia circolare nella barra di navigazione, mostra un’anteprima in tempo reale della stampa in corso. In questa pagina è possibile accedere ai controlli base del sistema (avvio/pausa, arresto, stop di emergenza) e a funzionalità più avanzate, elencate nella tabella sottostante.

Pulsante	Icona	Effetto
Monitor variabili		[*Funzionalità disponibile solo per l’utente amministratore*] Apre la finestra di monitor variabili dalla quale è possibile visualizzare il valore delle variabili dei driver del dispositivo.
Zoom Live		Apre il popup Zoom Live, che permette di visionare in tempo reale un’anteprima di stampa, sia in reale che in simulazione.
Aggiungi Piastra		Permette di aggiungere una nuova piastra sostituendo quella presente, impostando le dimensioni della lastra e del lato dell’area di visualizzazione (quadrata). Non sarà possibile accedere a questa funzione a stampa in corso.

Popup cambio piastra

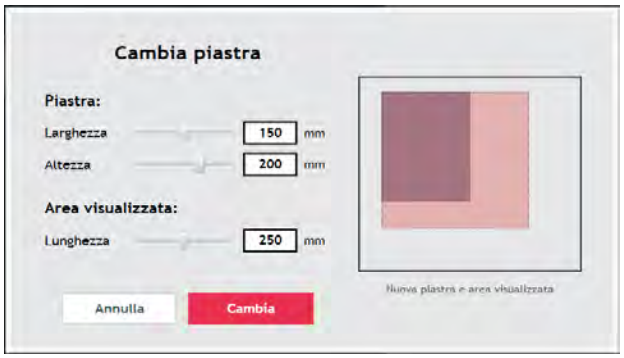


Fig. 26 - Cambio piastra (150x200, visualizzo 250x250)

Popup monitor variabili

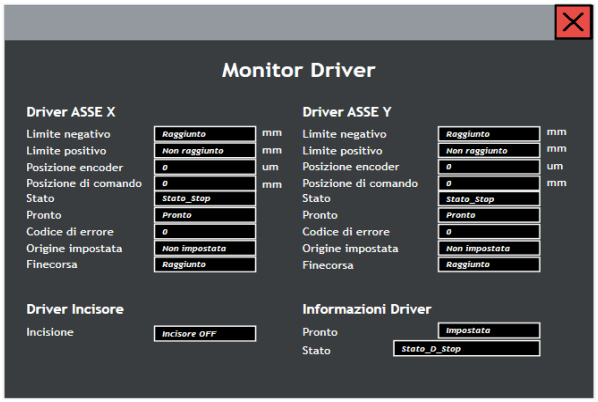


Fig. 27 - Variabili del driver in tempo reale

Popup area di stampa

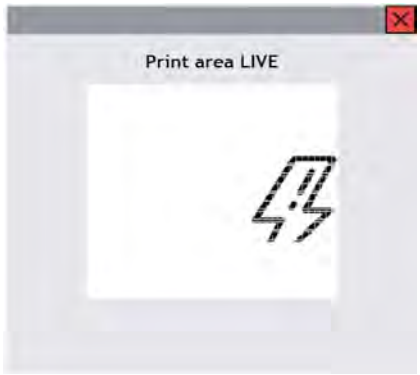


Fig. 28 - Area di stampa in tempo reale

2.2.11 Manuale: Modalità Jog

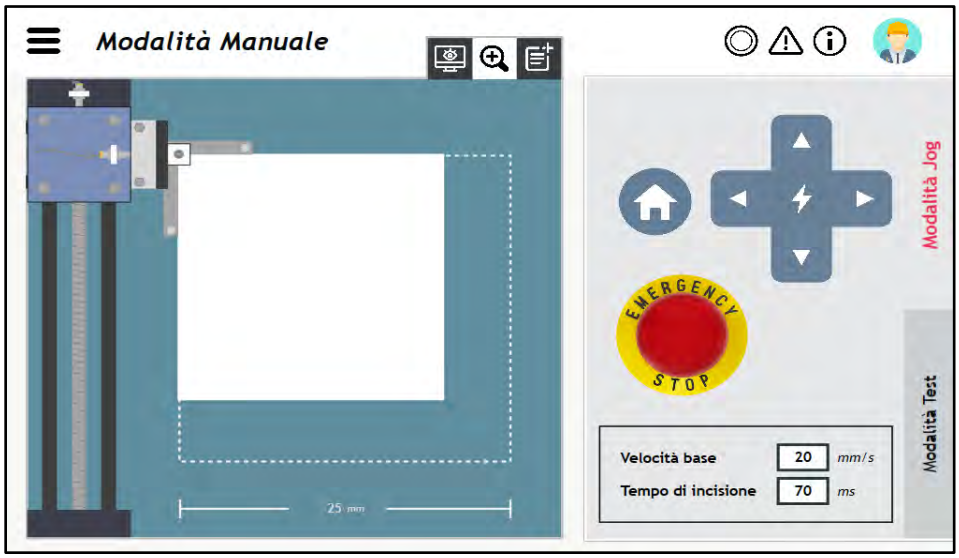


Fig. 29 - Modalità manuale: popup di Jog

Nella Modalità Jog è possibile effettuare movimentazioni manuali attraverso una serie di pulsanti, elencati nella tabella sottostante, che permettono di muovere, incidere ed effettuare l'homing dell'incisore.

Pulsante	Icona	Effetto
Homing		Procedura di homing degli assi
Jog		Movimento a velocità costante fintanto che sono premuti
Incisione		Incisione singola
Stop di emergenza		Arresta immediatamente il sistema, attivando lo stato di errore

2.2.12 Manuale: Modalità Test

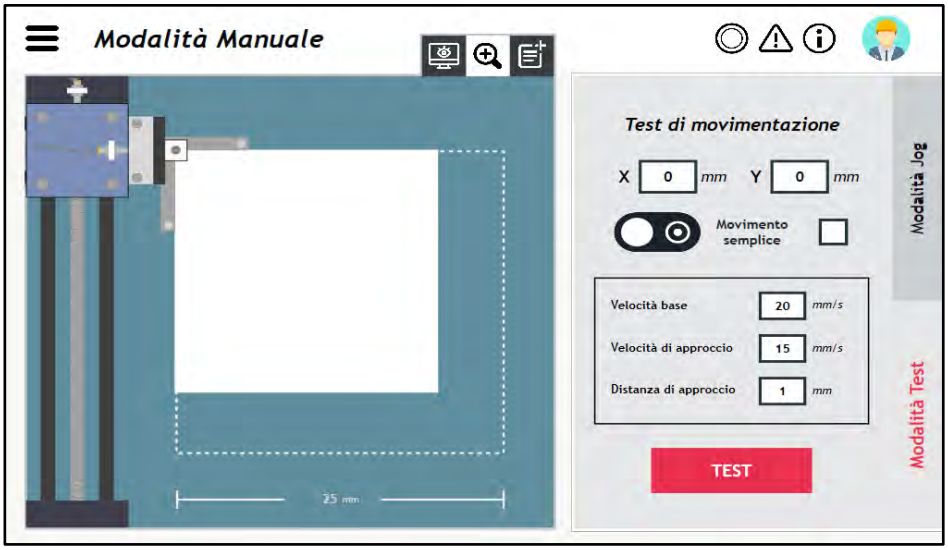


Fig. 30 - Modalità manuale: popup di test

Nella Modalità Test è possibile effettuare prove di posizionamento e incisione di Metal Plotter, impostando la posizione di comando, la scintilla, velocità base, velocità e distanza di approccio. Questi due ultimi parametri diventano rilevanti all'attivazione dello switch per attivare il movimento accurato: abilitandolo si otterranno movimentazioni più precise rallentando il movimento dell'incisore in prossimità del punto di arrivo. La *velocità base* verrà ridotta ad un valore più basso, *velocità di approccio*, una volta che la distanza tra l'incisore e la posizione di comando risulta minore della *distanza di approccio*.

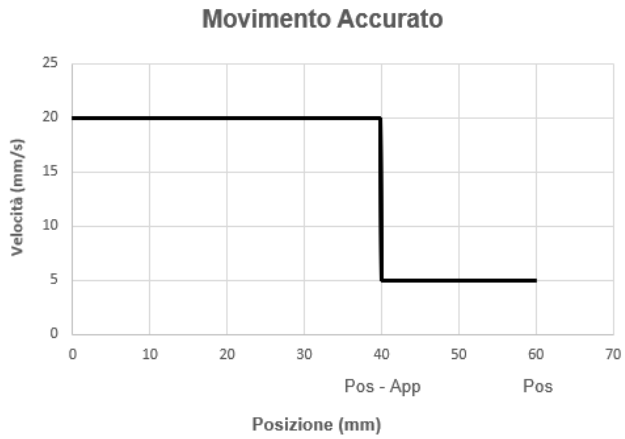


Fig. 31 - Pos è la posizione di comando, App è la distanza di approccio. Nell'esempio sono stati usati Distanza di approccio di 20 mm, Velocità base di 20 mm/s, Velocità di approccio di 5 mm/s.

2.2.13 Allarmi

Fig. 32 - Pagina di allarmi

Nella pagina Allarmi è possibile visualizzare lo storico degli allarmi e resettare gli errori del dispositivo, necessario per continuare a utilizzare il dispositivo in caso di situazioni di errore. *(Vedi Sezione 3.4.3 per i tipi di allarmi)*
L'utente amministratore, dopo aver resettato gli errori, può cancellare lo storico degli allarmi.

Significato	Colore
Allarme risolto	
Allarme riconosciuto	
Allarme attivato	

2.2.14 Impostazioni

Impostazioni di stampa

Fig. 33 - Impostazioni: sezione impostazioni di stampa

In questa pagina è possibile modificare tutti i parametri del dispositivo (Velocità base, modificabile anche dall'utente Operatore, Velocità di approccio, Distanza di approccio, Tempo di incisione, Limite massimo positivo, modificabili solo da utente Amministratore).

Per modificare i parametri è necessario applicare le modifiche premendo il pulsante "Applica". In caso di problemi con i valori dei parametri, potranno essere ripristinate le impostazioni di default premendo il pulsante "Ripristino parametri di default" (essendo impostazioni consigliate variano in base alla modalità di funzionamento).

Ogni modalità operativa memorizza un proprio set di impostazioni in modo ritentivo, che può essere modificato al salvataggio di nuove impostazioni. Ad ogni cambio della modalità di funzionamento (reale-simulazione) sarà recuperato il set dedicato. In caso di reset del sistema entrambi i set di impostazioni saranno ripristinati ai valori di partenza.

Parametro	Descrizione	Valore massimo	
		Simulazione	Reale
Velocità base	Velocità di spostamento standard	200 mm/s	3 mm/s
Velocità di approccio	Velocità di avvicinamento alla posizione di arrivo	200 mm/s	3 mm/s
Distanza di approccio	Distanza dalla posizione di arrivo da cui l’asse inizia il rallentamento dalla velocità base alla velocità di approccio	200 mm	200 mm
Tempo di incisione	Tempo di attivazione dell’elettromagnete per singola incisione	200 ms	200 ms
Limite massimo positivo	Massima posizione raggiungibile dall’asse	300 mm	300 mm

Note:
Nella modalità simulazione i limiti massimi e le impostazioni consigliate sono superiori ai valori consentiti sulla macchina per permettere di eseguire simulazioni più rapide rispetto al funzionamento reale.

Lingua e Account

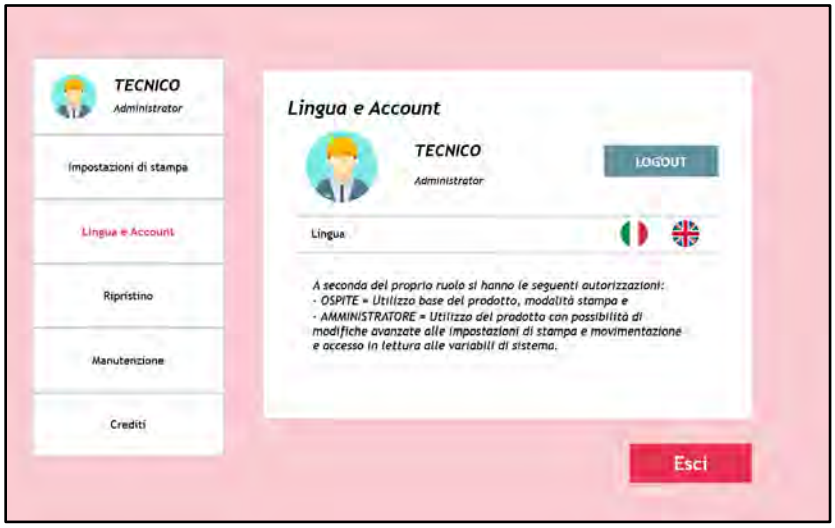


Fig. 34 - Impostazioni: sezione Lingua e Account

Questa è la pagina dalla quale è possibile avere accesso alle informazioni del proprio account, effettuare il logout e cambiare lingua di sistema, in modo da visualizzare ogni stringa del pannello operatore tradotte nella lingua selezionata (*Italiano-Italia* o *Inglese-Regno Unito*). È possibile accedere alla pagina in ogni momento premendo l’icona con l’avatar dell’account in alto a destra nella barra di navigazione.

Ripristino

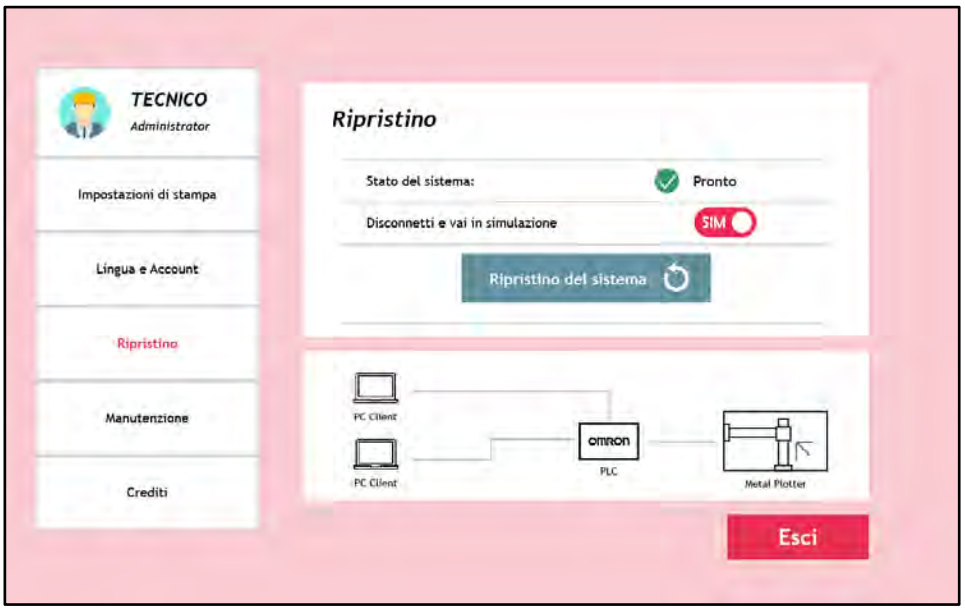


Fig. 35 - Impostazioni: sezione Ripristino

Questa è la pagina dalla quale è possibile avere accesso alle funzionalità di sistema, monitorare lo stato del dispositivo, cambiare la modalità di funzionamento e ripristinare il sistema alle impostazioni di default, resettando tutte le variabili del PLC al valore iniziale.

Manutenzione

Pagina in cui trovare rapidi consigli per la manutenzione e la risoluzione problemi del prodotto.

Crediti

Pagina contenente una breve presentazione del progetto insieme ai nomi di coloro che hanno contribuito alla creazione del progetto.

2.2.15 Esplora parti

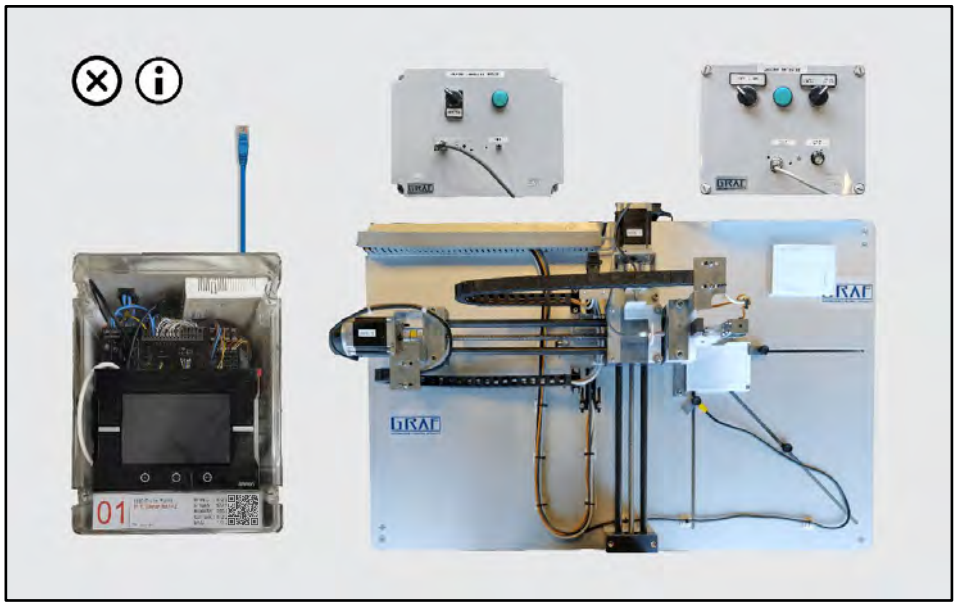


Fig. 36 - Schermata principale di Esplora parti

Azione	Pagina aperta	Descrizione pagina
Click sul PLC NX1P2	PLC	Visualizza in tempo reale le spie del PLC: I/O e spie di stato. È possibile aprire i documenti tecnici dei dispositivi premendo i relativi pulsanti.
Click sui moduli nella pagina PLC	Rack CPU	Permette una visualizzazione più dettagliata dei singoli moduli del Rack CPU, insieme ai relativi documenti tecnici.
Click sugli assi	Assi	Pagina con breve descrizione degli assi del sistema che fornisce foto e documenti tecnici di quadro di controllo, motori ed encoder
Click sulle lastre o sull’incisore	Lastra e incisore	Pagina con breve descrizione dell’incisore che fornisce la documentazione tecnica del quadro incisore.
Click sul cavo RJ-45	Comunicazione	Nella pagina si trova uno schema illustrativo della rete con la quale si interfaccia il sistema.

2.2.16 Guida

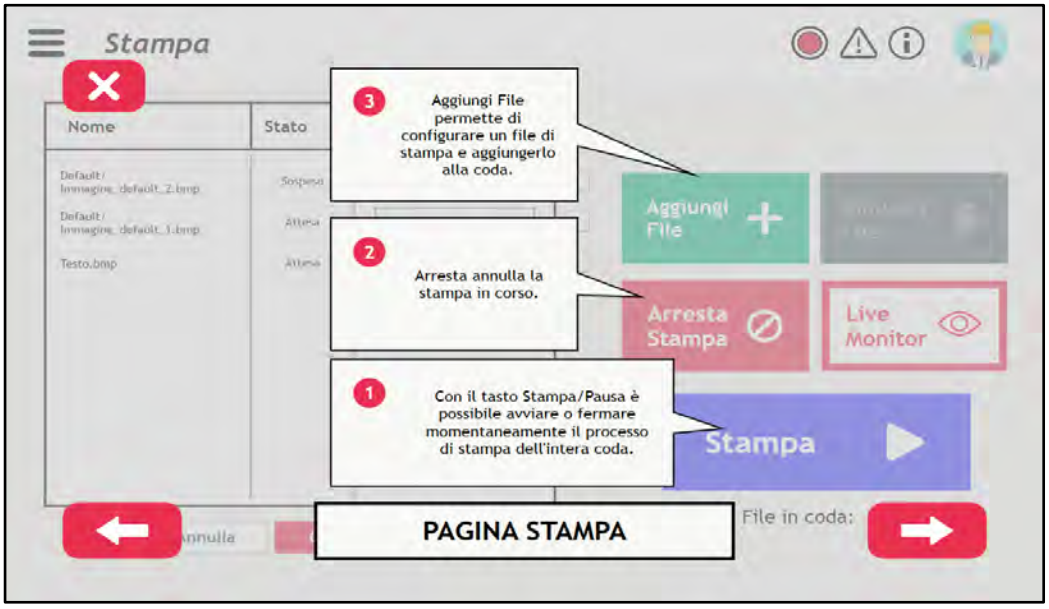


Fig. 37 - Layout della schermata di guida (nella pagina di gestione stampa)

Una volta effettuato il login l'utente viene introdotto alla guida di benvenuto, che attiva un tour guidato del software come premendo il pulsante "Guida" della pagina Home.
L'utente Operatore è obbligato a completare la guida prima di poterla chiudere, in quanto si suppone non esperto. L'utente amministratore è invece autorizzato a saltare la guida sin dall'avvio.

Le pagine di guida possono essere aperte singolarmente premendo il pulsante di Info nelle pagine.

Fig. 38 - Da sinistra a destra: pagina precedente, chiudi guida, pagina successiva

2.3 Comunicazione di rete col quadro

2.3.1 Introduzione

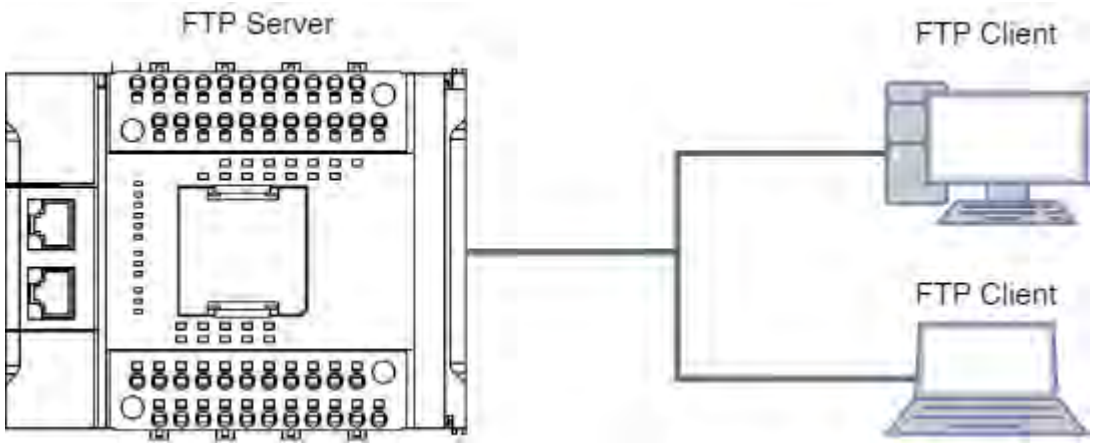


Fig. 39 - Schema della comunicazione FTP

Il PLC può essere collegato alla rete locale per il caricamento da remoto di immagini da stampare.
Sul PLC è infatti attivo il Server FTP che consente l'accesso alla scheda SD, tramite protocollo FTP.
Il Server presenta le seguenti credenziali di accesso:

Username	Plotter
Password	Omron2022

La comunicazione FTP da remoto può essere avviata tramite diversi strumenti:

- Terminale di comando (Windows Prompt Command)
- Programmi dedicati

Note:

La comunicazione via rete non è supportata dal simulatore integrato Sysmac. (Vedi Sezione 3.5) per maggiori dettagli sulla simulazione della scheda SD).

2.3.2 Terminale di comando

È possibile avviare la comunicazione tramite protocollo FTP utilizzando il terminale di comando del computer.
Si mostrano di seguito un'operazione di caricamento effettuata sul terminale di comando del sistema operativo Windows.

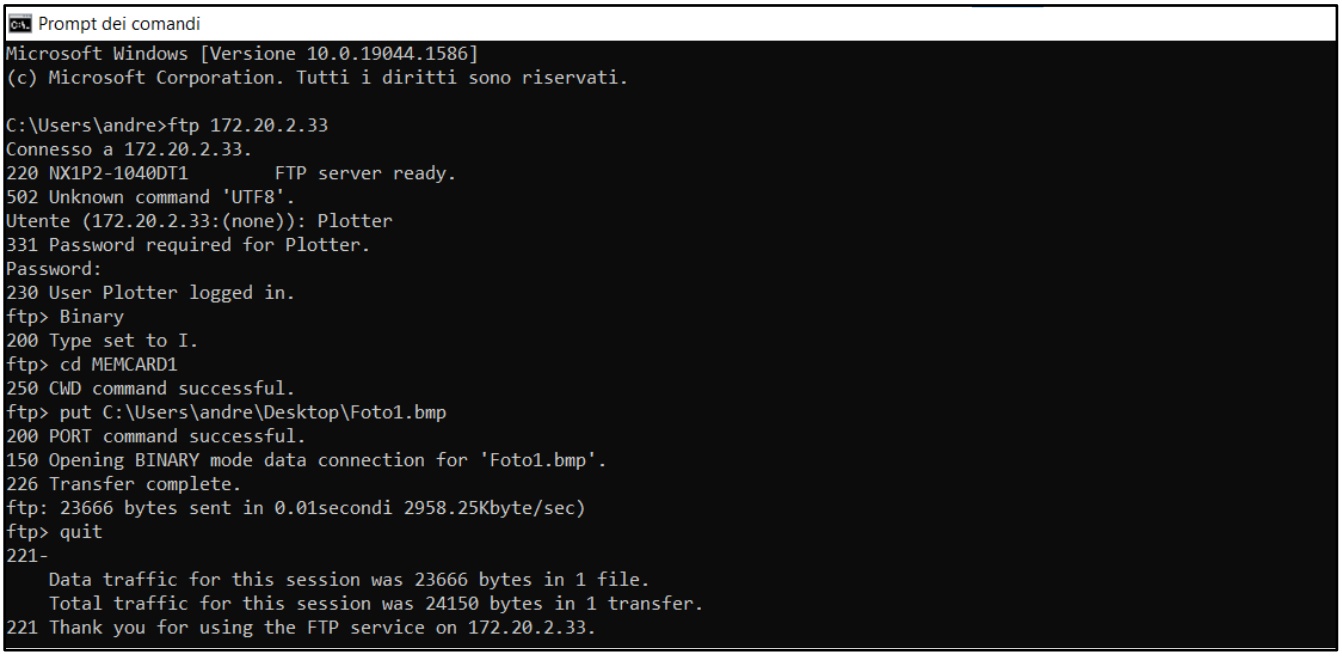


Fig. 40 – Comunicazione FTP via terminale di comando Windows

Consultare la documentazione ufficiale di Windows per maggiori dettagli[3]

2.3.3 Programma dedicato

È possibile anche usufruire di un qualunque programma che permetta di gestire la comunicazione via FTP.

Si consiglia l'utilizzo dell'applicativo *Immagine_Trasmissione.exe* realizzato appositamente.

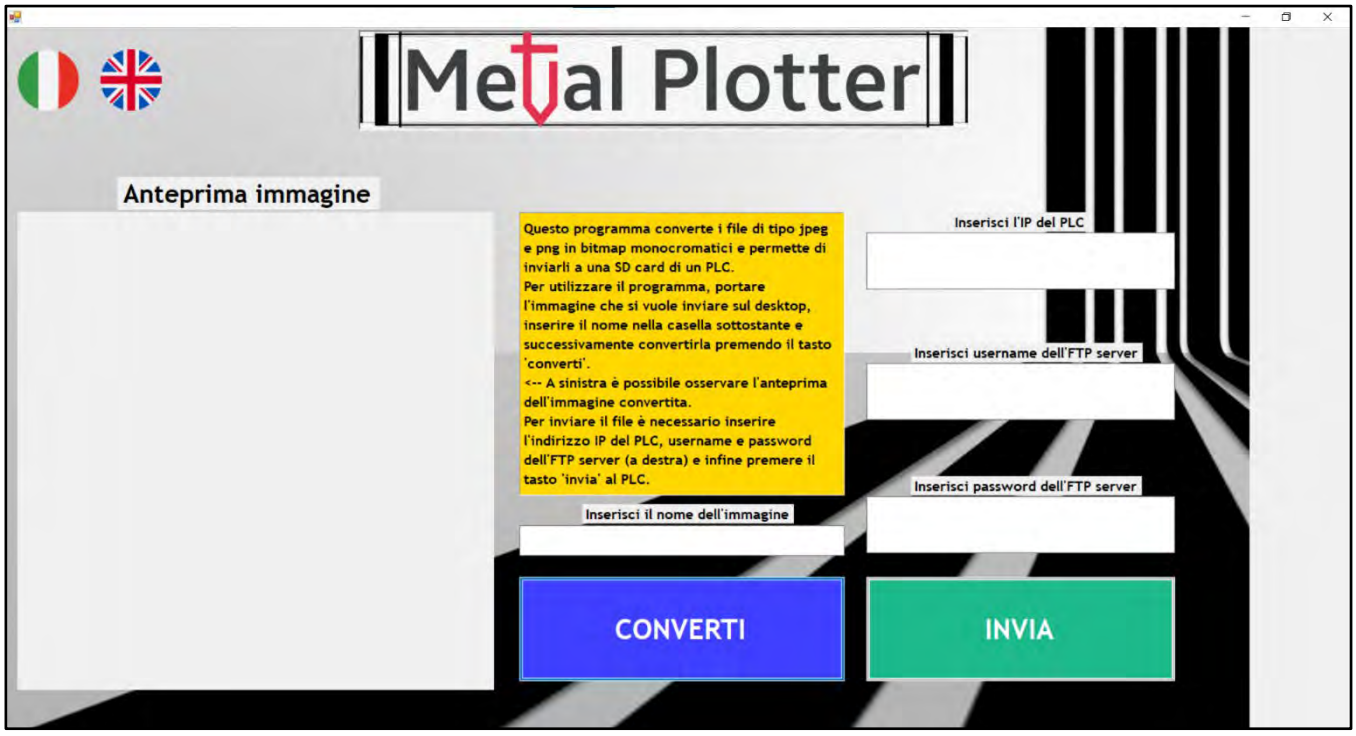


Fig. 41 - Schermata del software per il client che converte e invia le immagini al PLC

Il programma si presenta con questa interfaccia grafica (*Fig. 41* - Schermata del software per il client che converte e invia le immagini al PLC).

Permette innanzitutto la conversione di un'immagine, presente sul desktop in formato jpg o png nel formato compatibile per il programma del PLC (bitmap monocromatico). Non sono imposte restrizioni sulla dimensione e il peso del file da convertire. La conversione avviene tramite un algoritmo che consente di creare sfumature in scala di grigi in base alla densità dei pixel neri. Nella casella di testo apposita è sufficiente inserire il nome del file senza specificare la sua estensione e nel caso non venga trovata nessuna corrispondenza, verrà comunicato all'utente.

Successivamente alla conversione è possibile inviare l'immagine al dispositivo, inserendo negli appositi spazi IP del dispositivo (PLC), username e password del server FTP. Qualora si verifichi un errore nella trasmissione oppure si tenti di trasmettere un'immagine superiore alle dimensioni consentite verrà notificato all'utente un messaggio di errore.

Note:

L'applicativo non estende la possibilità di utilizzo se il programma è simulato sul Simulatore Sysmac

È possibile scaricare il programma al seguente link[4]

3 Descrizione del programma

3.1 Introduzione

3.1.1 Modello NX1P2

L'intero programma è stato realizzato secondo le direttive imposte dal Trofeo Smart Project 2022 per poter operare sul modello NX1P2-9024DT1[5], che impone maggiori limitazioni. Tuttavia il sistema reale dispone di un controllore Omron NX1P2-1040DT1. Essendo il modello 1040DT1 superiore, si sottolinea che il programma realizzato non necessita di modifiche per l'applicazione pratica. Di fatto il controllore a disposizione 1040DT1 è stato adoperato al pari del modello 9024DT1 senza sfruttare ulteriori funzionalità disponibili (es. Gruppi Assi).

3.1.2 Modello NA5

Analogamente per il pannello di controllo l'interfaccia è stata progettata nativamente per un pannello NA5-15W101, e tramite gli appositi strumenti di conversione è stata riadattata (solo in termini di grafica, senza modifica del codice) per il modello a disposizione NA5-7W001B-V1.

Nella seguente sezione il programma e l'interfaccia saranno presentati nella configurazione richiesta dalle direttive del Trofeo Smart Project 2022.
Le informazioni riportate sono comunque da ritenersi valide anche per la configurazione hardware reale.

	Configurazione Reale	**Configurazione Smart Project 2022**
PLC	NX1P2-1040DT1	NX1P2-9024DT1
HMI	NA5-7W001B-V1	NA5-15W101

3.1.3 Modalità Reale/Simulazione

Il programma consente di operare secondo due modalità di funzionamento differenti: Reale o Simulazione. *(Vedi Sezione 3.3.4 per maggiori dettagli)*

La modalità Reale permette di controllare il sistema fisico, attraverso gli IO fisici del PLC.
La modalità Simulazione invece esegue una completa simulazione del sistema all'interno del controllore, visualizzabile sull'interfaccia grafica.

La modalità Simulazione è stata introdotta per 2 motivi:

- dare la possibilità agli utenti meno esperti di acquisire confidenza con il sistema prima di passare al controllo fisico.
- estendere il funzionamento del programma anche all'interno del simulatore integrato di Sysmac Studio, nel rispetto delle direttive del Trofeo Smart Project 2022.

Si ricorda che la modalità reale **NON** funziona all'interno del simulatore Sysmac (*Vedi Sezione 3.5.1 per maggiori dettagli)*.

	Simulatore Sysmac	**PLC e HMI reali**
Modalità Reale	Non supportata	Supportata
Modalità Simulazione	Supportata	Supportata

3.2 Configurazione PLC

3.2.1 Rack CPU

Fig. 42 - Pannello operatore, controllore e moduli utilizzati

Sul controllore NX1P2-9024DT1 sono montati quattro moduli di espansione Rack CPU che permettono al controllore di interfacciarsi con i motori e con i relativi encoder.

Modulo	Modello	Specifiche tecniche	Descrizione
N1	NX-PF0730[6]	5-24V, max 10A	Modulo di alimentazione a 24V per i moduli.
N2	NX-EC0222[7]	24V Input voltage	Modulo per encoder incrementale. Viene connesso ai due encoder.
N3	NX-PG0122[7]	24V Output voltage	Modulo con uscita a treno di impulsi. Viene connesso al quadro motori. (Asse X)
N4	NX-PG0122[7]	24V Output voltage	Modulo con uscita a treno di impulsi. Viene connesso al quadro motori. (Asse Y)
	S8VK-S06024	*NX1P2 Power Supply*	*Alimentatore a 24V del PLC.*

3.2.2 Assi Motion

All'interno del programma sono utilizzati 4 assi motion.

N°	Nome	Funzione di controllo	Tipo di asse	Ingresso	Uscita
0	X_Asse	Controllo asse singolo posizionamento	Servoazionamento	Non collegato	N1-PG0122
1	Y_Asse	Controllo asse singolo posizionamento	Servoazionamento	Non collegato	N2-PG0122
2	X_Asse_Sim	Controllo asse singolo posizionamento	Servoazionamento virtuale	Non collegato	Non collegato
3	Y_Asse_Sim	Controllo asse singolo posizionamento	Servoazionamento virtuale	Non collegato	Non collegato

Note:

- *Gli assi X_Asse_Sim e Y_Asse_Sim sono utilizzati per la simulazione interna del sistema.*
- *Il modello 9024DT1 è in grado di gestire solo 4 assi, con la funzione di posizionamento dei singoli assi. Non è stato quindi possibile sfruttare le funzionalità dei gruppi assi, e il ciclo di feedback con i moduli EC0222. Viste tali limitazioni si è scelto comunque di utilizzare gli assi motion data la facilitazione all'interfacciamento con i moduli PG0122.*

3.2.3 FTP Server

All'interno del PLC è attivo un Server FTP che consente la comunicazione con altri terminali collegati alla stessa rete. La comunicazione con l'FTP Server consente l'accesso alla scheda SD e dunque rende possibile il caricamento di immagini da stampare da remoto.

Username	Plotter
Password	Omron2022

3.3 Programma PLC

3.3.1 Introduzione

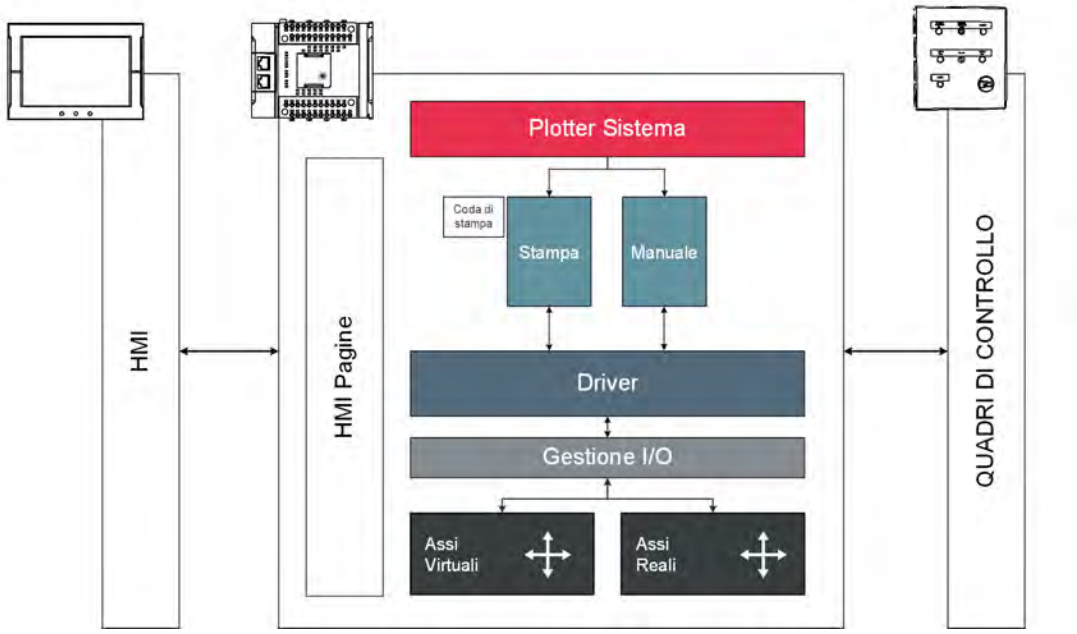


Fig. 43 - Schema di funzionamento del software

Il programma del PLC si occupa di gestire tutte le funzionalità del sistema, dalla movimentazione dei motori alle animazioni grafiche del pannello di controllo. Tutto il programma è stato scritto in modo da rendere il più semplice possibile l'aggiunta di eventuali nuove funzioni e miglioramenti futuri.

L'attuale versione fornisce le seguenti funzionalità:

- Completa gestione delle azioni elementari del plotter, incisione e movimento, ad opera di un sottoprogramma driver dedicato.
- Comandi manuali.
- Processo di stampa con coda di stampa e comandi di pausa, arresto e arresto di emergenza.
- Stampa di un testo di massimo 30 caratteri alfabetici.
- Stampa di immagini monocromatiche Bitmap (max 704 x 704) caricabili via rete.
- Due modalità operative differenti, per il controllo del sistema reale o per la simulazione integrata sul pannello.

Il programma, come mostrato in figura, è suddiviso in diversi sottoprogrammi.

Plotter Sistema è il programma principale che gestisce lo stato di funzionamento del sistema. È realizzato tramite una MSF (macchina a stati finiti) che si occupa di inizializzare tutte le variabili e le risorse necessarie all'avvio del programma e permette di controllare le varie funzioni di lavoro, nonchè il processo di stampa e il comando manuale. Ogni funzione di lavoro è definita in un sottoprogramma dedicato: sono implementati attualmente *Manuale* e *Processo_di_stampa.*

Le funzioni di lavoro si occupano di comunicare con il programma *Plotter_Driver*, responsabile del comando della macchina, ossia del sistema di movimento e dell'utensile.

È presente anche il programma Gestione IO che introduce 2 diverse modalità operative: i comandi provenienti dal programma *Plotter_driver*, a seconda della modalità attivata possono essere associati alle uscite fisiche controllando la macchina oppure a variabili interne per consentire una simulazione completa interna al controllore.

I programmi *HMIPagine* e *HMIPagina_Plotter_Simulatore* si occupano di gestire l'interfacciamento con il pannello di controllo, e le animazioni grafiche dell'interfaccia.

Nome	**Stato all'avvio**	**Funzione**
Plotter_driver	Arrestato	Controllo delle azioni fisiche del sistema
Gestione_IO	In esecuzione	Gestione degli ingressi/uscite (reali o simulati)
Plotter_Sistema	In esecuzione	Gestione generale dello stato di funzionamento
Gestione_coda_di_stampa	In esecuzione	Aggiunta e eliminazione di file dalla coda di stampa
Processo_di_stampa	Arrestato	Esecuzione del processo di stampa dei file presenti in coda
Manuale	Arrestato	Comandi manuali del plotter
Inizializzazione_SD_Card	Arrestato	Inizializzazione dei file della scheda SD
HMIPagine	In esecuzione	Interfacciamento con le pagine dell' HMI
HMIPagina_Plotter_Simulatore	In esecuzione	Simulazione grafica del sistema

3.3.2 Variabili globali

Mappa I/O:

Nome	Tipo Dati	Commento	Rit.	Cost.
Input_Bit_00	BOOL	Input 00 - Finecorsa magnetico asse X		
Input_Bit_01	BOOL	Input 01 - Finecorsa magnetico asse Y		
Output_Bit_00	BOOL	Output 00 - Elettroattuatore per l'incisione		
Ch1_Counter_Enable	BOOL	Modulo EC0122 Canale 1 - Abilitazione canale		
Ch1_Encoder_Present_Position	DINT	Modulo EC0222 Canale 1 - Posizione encoder asse X		
Ch1_Internal_Reset_Execution	BOOL	Modulo EC0122 Canale 1 - Reset encoder		
Ch2_Counter_Enable	BOOL	Modulo EC0122 Canale 2 - Abilitazione canale		
Ch2_Encoder_Present_Position	DINT	Modulo EC0222 Canale 2 - Posizione encoder asse Y		
Ch2_Internal_Reset_Execution	BOOL	Modulo EC0122 Canale 2 - Reset encoder		

Dati immagini:

Nome	Tipo Dati	Commento	Rit.	Cost.
Immagine_default_1	ARRAY OF BYTE	Immagine di esempio da stampare 1		X
Immagine_default_2	ARRAY OF BYTE	Immagine di esempio da stampare 2		X
Immagine_default_3	ARRAY OF BYTE	Immagine di esempio da stampare 3		X
Immagine_default_4	ARRAY OF BYTE	Immagine di esempio da stampare 4		X
Immagine_default_5	ARRAY OF BYTE	Immagine di esempio da stampare 5		X
Immagine_default_6	ARRAY OF BYTE	Immagine di esempio da stampare 6		X
Immagine_caratteri	ARRAY OF BYTE	Array contenente le immagini dei caratteri alfabetici		X
Immagine_piastra	ARRAY OF BYTE	Immagine bianca 450 x 450		X

Variabili di lavoro

Nome	Tipo Dati	Commento	Rit.	Cost.
PLOTTER	Plotter_Controllo	Variabili di controllo del PLOTTER		
HMI	HMI_Controllo	Variabili di interfaccia HMI		
DRIVER	Driver_Controllo	Variabili di controllo del DRIVER		
DRIVER_Parametri_Sim_Default	Driver_Parametri	Parametri consigliati per la simulazione		X
DRIVER_Parametri_Real_Default	Driver_Parametri	Parametri consigliati per il plotter fisico		X
DRIVER_Parametri_Real_Imp_salvate	Driver_Parametri	Impostazioni memorizzate per la modalità reale	X	
DRIVER_Parametri_Sim_Imp_salvate	Driver_Parametri	Impostazioni memorizzate per la mod. simulazione	X	

Strutture di lavoro

Le variabili di lavoro di visibilità globale sono state raggruppate in 3 strutture:

- PLOTTER è la struttura dedicata alle variabili per la gestione generale del sistema.
- DRIVER è la struttura dedicata alle variabili gestite dal programma Plotter_Driver.
- HMI è la struttura dedicata alle variabili che permettono l'interfacciamento con il pannello HMI.

Di seguito sono riportate le architetture delle strutture:

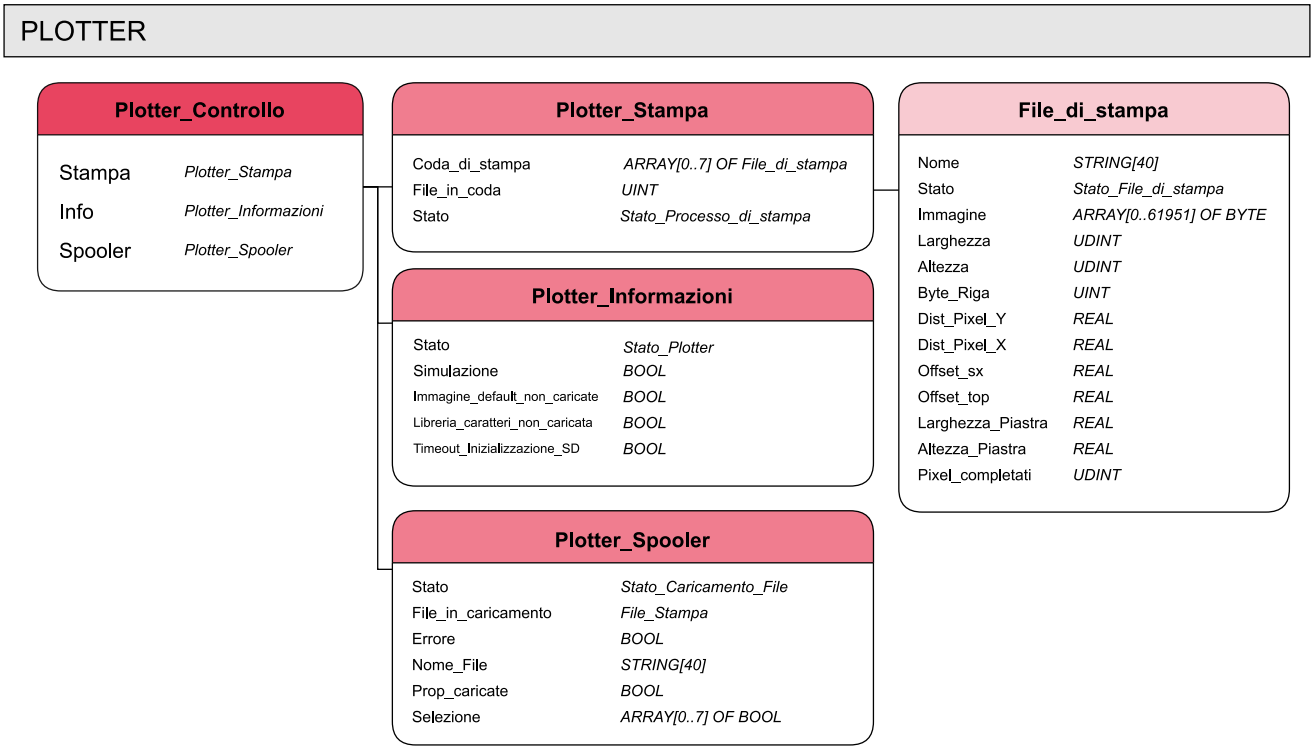


Fig. 44 - Architettura della struttura PLOTTER

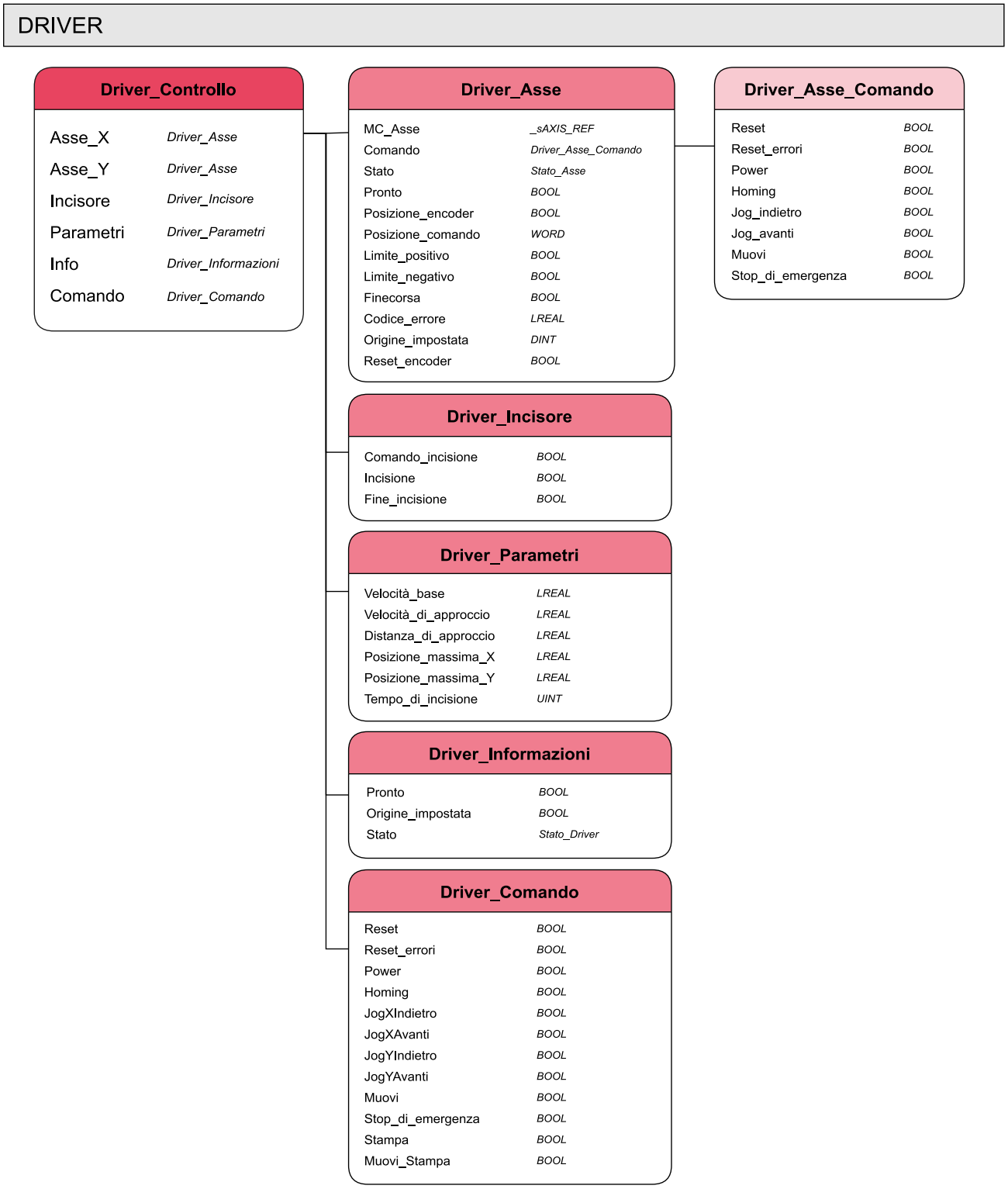


Fig. 45 - Architettura della struttura DRIVER

Fig. 46 - Architetura della struttura HMI

Le sottostrutture HMI non sono mostrate. Vedi Progetto Sysmac per maggiori dettagli sulle sottostrutture.

3.3.3 Plotter_Driver

Caratteristiche generali:

Nome	Plotter_Driver		
Task	Primary Task	**Linguaggio**	ST/Ladder
Stato all'avvio	Arrestato		
Funzione	Controllo delle azioni fisiche del sistema		
Variabili	**Lettura**	DRIVER.Comando, DRIVER.Parametri	
	Scrittura	DRIVER.AsseX, DRIVER.AsseY, DRIVER.Incisore, DRIVER.Info	
	Lettura/Scrittura		

Descrizione:

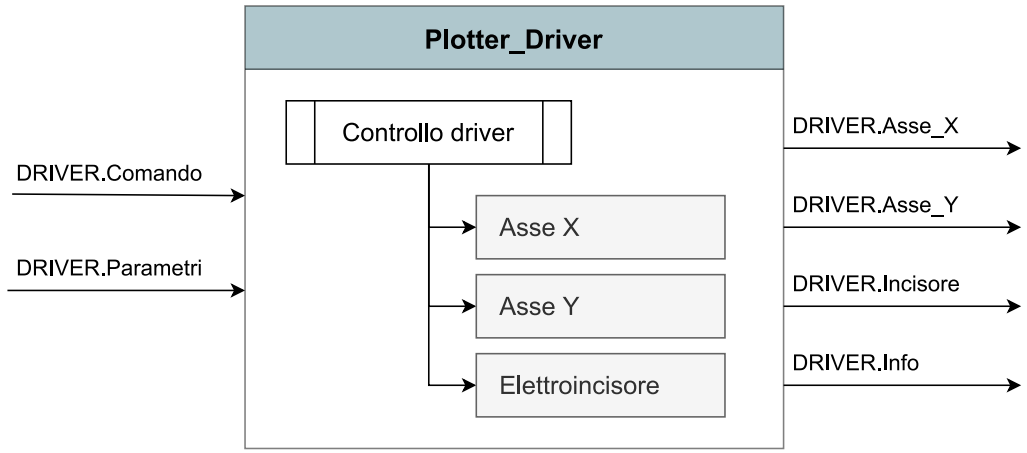


Fig. 47 - Diagramma del funzionamento di Plotter_Driver

Il programma *Plotter_Driver* è il programma responsabile del controllo degli assi e dell'utensile elettroincisore. Oltre alla gestione delle esigenze software di base, sono definite al suo interno tutte le azioni fisiche elementari che devono poter essere eseguite dalla macchina.
Questa organizzazione software si caratterizza per diversi vantaggi: evita la sovrapposizione di comandi, consente la rapida implementazione di nuove funzioni, ma soprattutto costituisce un livello di astrazione del software. Grazie al programma driver tutte le funzioni di lavoro della macchina che vengono create possono e devono usufruire delle funzioni base già definite dal driver.

Il programma lavora sulla struttura di variabili dedicata DRIVER.

È costituito da 4 sottoprogrammi:

- *Controllo_Driver*, che gestisce il funzionamento collettivo degli assi e dell'incisore, definisce tutte le azioni elementari del sistema sulla base delle azioni elementari dei singoli (assi e incisore)
- *AsseX*, per il controllo e comando dell'Asse X
- *AsseY*, per il controllo e comando dell'Asse Y
- *Elettroincisore*, per il comando dell'elettroincisore

Controllo Driver

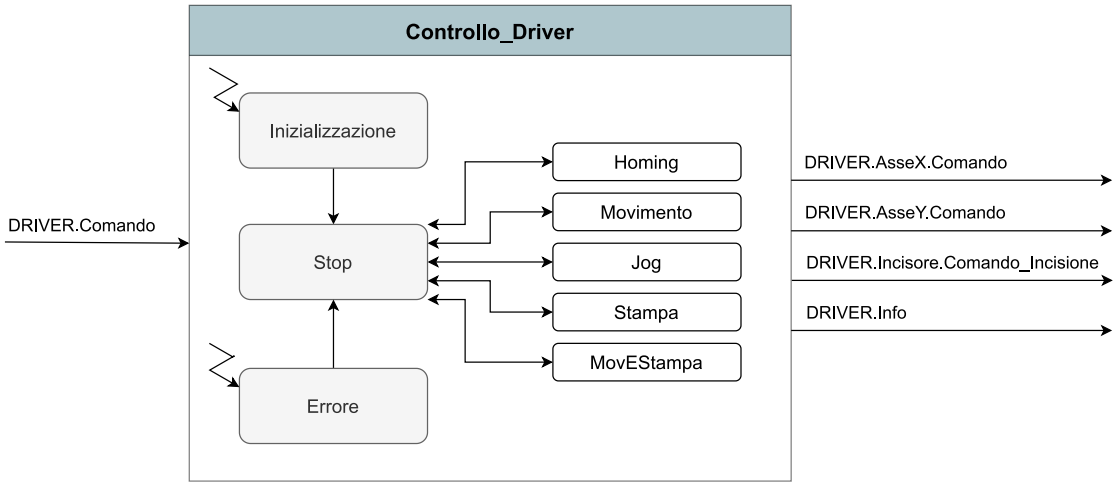


Fig. 48 - Diagramma del funzionamento di Controllo_Driver

Il sottoprogramma *Controllo_Driver* si occupa di controllare il movimento collettivo degli assi e l'elettroincisore. Al suo interno è presente una MSF in cui sono definite tutte le **azioni elementari del sistema** che possono essere effettuate sotto richiesta. Le azioni elementari del sistema sono formate da **una o più** azioni elementari delle singole parti (assi e incisore). Le azioni di ogni parte sono definite all'interno dei sottoprogrammi dedicati.
Nella corrente versione sono implementate le seguenti azioni elementari:

- Homing
- Posizionamento a 2 velocità con rallentamento
- Jog avanti e indietro di ogni asse
- Incisione singola
- Posizionamento e incisione sul punto di arrivo

Il programma permette anche di effettuare un'operazione di reset, il reset degli errori e l'arresto di emergenza.

AsseX e AsseY

I sottoprogrammi AsseX e AsseY si occupano di pilotare i singoli assi. L'azione di comando proviene da *Controllo_Driver*. Entrambi i sottoprogrammi generano l'istanza di un blocco funzione *FB_Asse_Plotter* per controllare l'asse in questione.

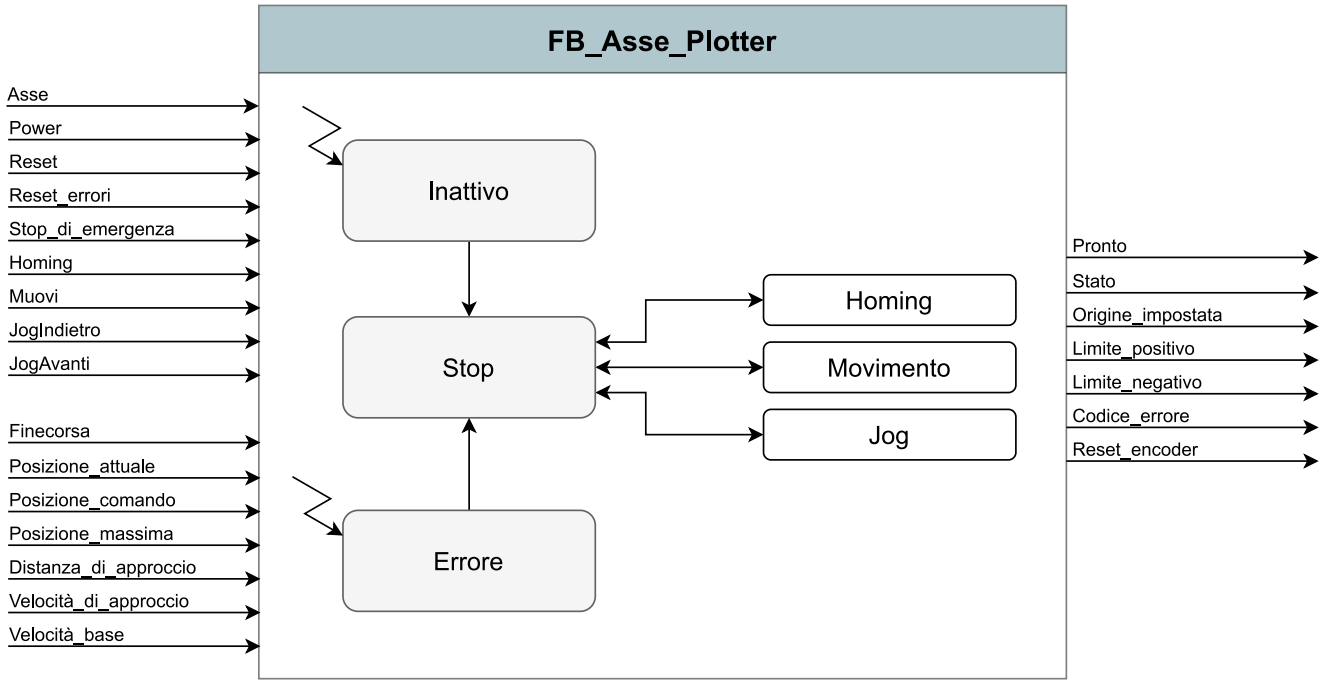


Fig. 49 - Diagramma del funzionamento di FB_Asse_Plotter

Il blocco funzione *FB_Asse_Plotter* definisce le **azioni elementari di ogni singolo asse**. È realizzato attraverso una MSF che comanda i blocchi funzione Motion Control.

Sono implementate le seguenti funzioni:

- Homing
- Posizionamento con coordinate a velocità costante e eventuale rallentamento in fase di arrivo
- Jog
- Gestione stato di errore
- Reset

Note:

Molte funzionalità del blocco funzione FB_Asse_Plotter sono in realtà già disponibili nella libreria motion. Tuttavia sono imposte limitazioni dal modello NX1P2-9024DT1, che impedisce di utilizzare assi con ciclo di feedback attivato e dunque i moduli degli encoder non possono essere collegati agli assi. Pertanto dovendo essere gestiti separatamente non si può usufruire dei blocchi motion Move, Home, ecc. È stato implementato quindi questo blocco funzione per sopperire a tali limitazioni. Il blocco funzione si appoggia comunque sulle funzionalità motion in quanto il controllo dei moduli di uscita è facilitato notevolmente.

Elettroincisore

Il sottoprogramma *Elettroincisore* si occupa di controllare l'uscita per l'elettroincisore. È definita **una sola** azione elementare che è l'attuazione temporizzata.
Quando viene attivata l'uscita l'elettromagnete posto nell'incisore viene eccitato e provoca la discesa della punta per eseguire l'incisione.

3.3.4 Gestione_IO

Caratteristiche generali:

Nome	Gestione_IO			
Task	Primary Task		**Linguaggio**	Ladder
Stato all'avvio	In esecuzione			
Funzione	Gestione degli ingressi/uscite (reali o simulati)			
Variabili	**Lettura**	PLOTTER.Info.Simulazione, Input_Bit_00, Input_Bit_01, Ch1_Encoder_Present_Position, Ch2_Encoder_Present_Position, X_Asse_Sim, Y_Asse_Sim, X_Asse, Y_Asse		
	Scrittura	DRIVER.AsseX, DRIVER.AsseY, Ch1_Counter_Enable, Ch2_Counter_Enable, Output_Bit_00		
	Lettura/Scrittura			

Descrizione:

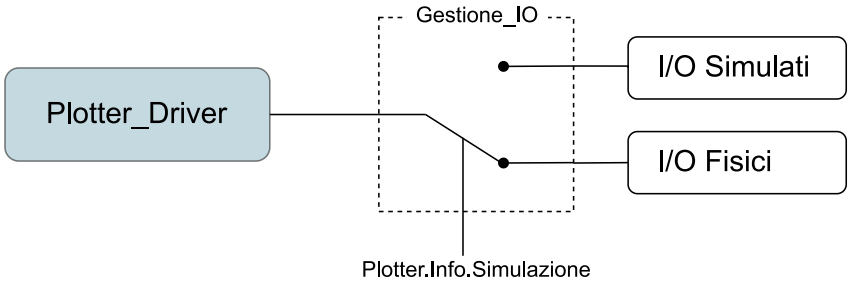


Fig. 50 - Diagramma del funzionamento di Gestione_IO

Il programma *Gestione_IO* è il programma che gestisce gli IO del driver a seconda della modalità operativa attivata.

Modalità Reale

- Le variabili DRIVER.AsseX.MC_Asse e DRIVER.AsseY.MC_Asse vengono collegate agli assi motion X_Asse e Y_Asse e costantemente aggiornate
- Le posizioni attuali degli assi sono collegate ai canali dei moduli EC0222
- I segnali di finecorsa sono associati agli ingressi fisici del PLC
- Il segnale di incisione viene collegato all'uscita fisica

Note:

La modalità reale non è supportata sul simulatore Sysmac (Vedi Sezione 3.5).

Modalità Simulazione

- Le variabili DRIVER.AsseX.MC_Asse e DRIVER.AsseY.MC_Asse vengono collegate agli assi motion virtuali X_Asse_Sim e Y_Asse_Sim e costantemente aggiornate
- Le posizioni attuali degli assi sono collegate alle posizioni degli assi motion virtuali
- I segnali di finecorsa sono attivati quando gli assi segnalano la posizione zero
- Il segnale di incisione viene scollegato dall'uscita fisica

Note:

L'azzeramento degli encoder non viene eseguito poiché essendo una simulazione il valore vero della posizione non esiste. La posizione segnalata è sempre esatta. Si può comunque eseguire l'operazione di homing.

3.3.5 Plotter_Sistema

Caratteristiche generali:

Nome	Plotter_Sistema		
Task	Primary Task	**Linguaggio**	ST
Stato all'avvio	In esecuzione		
Funzione	Gestione generale dello stato di funzionamento		
Variabili	**Lettura**		
	Scrittura		
	Lettura/Scrittura	DRIVER, PLOTTER, HMI	

Descrizione:

Plotter_Sistema è il programma principale e si occupa di gestire le funzioni di lavoro e lo stato del sistema, attraverso una MSF.

All'avvio del PLC sono eseguite le operazioni preliminari: il programma *Inizializzazione_SD_Card* prepara la scheda SD e viene avviato *Plotter_Driver*. Quando il driver raggiunge lo stato di pronto, anche *Plotter_Sistema* entra nello stato di pronto e consente l'avvio delle varie funzioni di lavoro, nonché il processo di stampa o il comando manuale.

Qualora il programma *Plotter_Driver* entri in stato di errore, le operazioni in corso vengono immediatamente sospese e la MSF del *Plotter_Sistema* entra nello stato di errore. Il ritorno allo stato di riposo avverrà soltanto dopo l' azzeramento degli errori presenti.

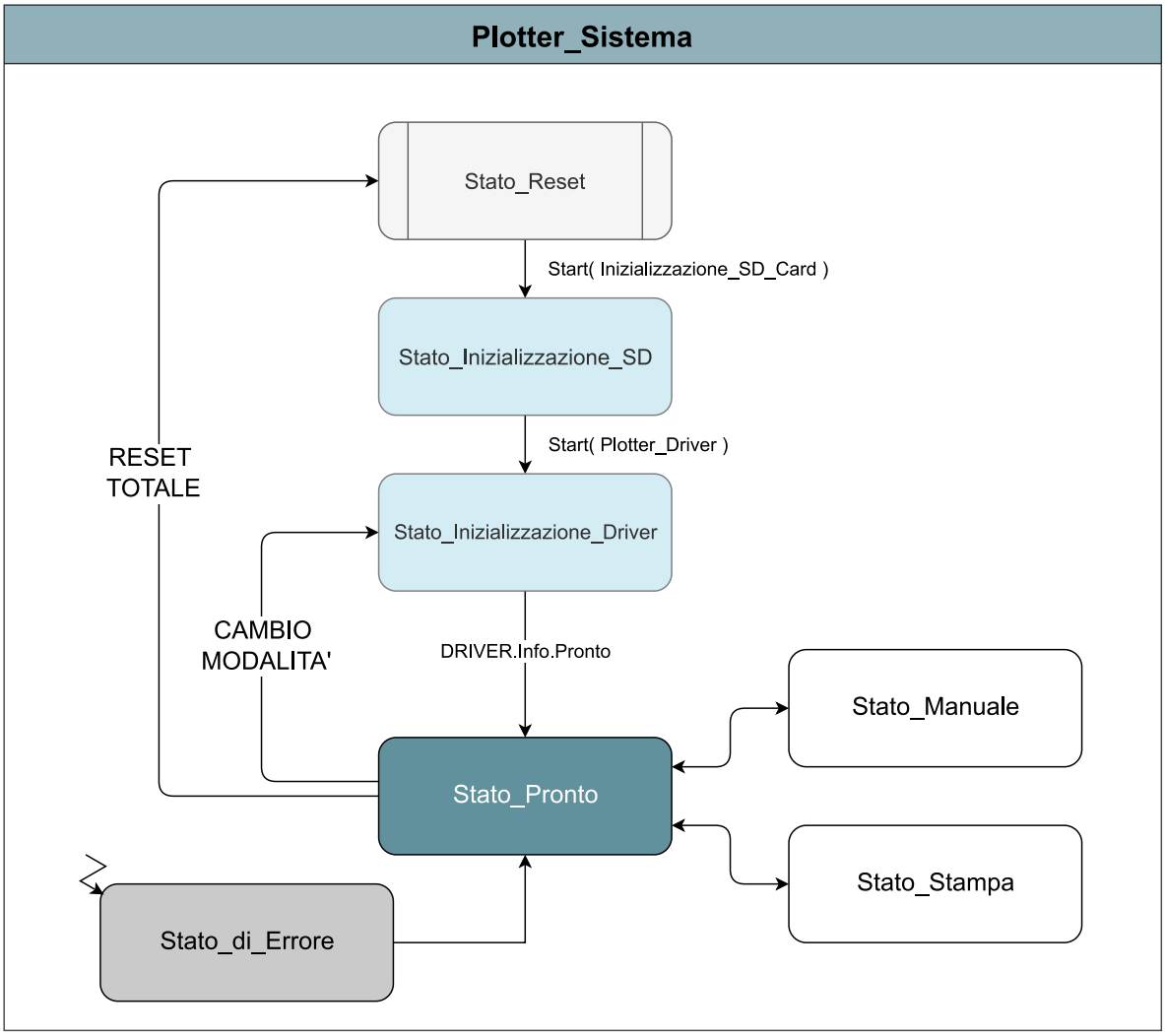


Fig. 51 - Diagramma del funzionamento di Plotter_Sistema

3.3.6 Gestione_coda_di_stampa

Caratteristiche generali:

Nome	Gestione_coda_di_stampa		
Task	Primary Task	**Linguaggio**	ST
Stato all'avvio	In esecuzione		
Funzione	Aggiunta e eliminazione di file dalla coda di stampa		
Variabili	**Lettura**	HMI.Stampa	
	Scrittura		
	Lettura/Scrittura	PLOTTER.Spooler, PLOTTER.Stampa	

Descrizione:

Coda di stampa

La coda di stampa (PLOTTER.Stampa.Coda_di_Stampa) è un array di dimensione 8 di File_di_stampa. File_di_stampa è un tipo di struttura dedicato che contiene le informazioni necessarie alla stampa *(Vedi Sezione 3.3.2).*

La coda di stampa si caratterizza per una logica FIFO (First In First Out) ovvero il primo elemento che viene aggiunto alla coda sarà il primo a uscire in fase di stampa.

Al momento dell'aggiunta i file sono impilati (tramite la funzione StackPush()) all'interno della coda di stampa e durante la stampa sono rimossi ordinatamente (tramite la funzione StackFIFO()).

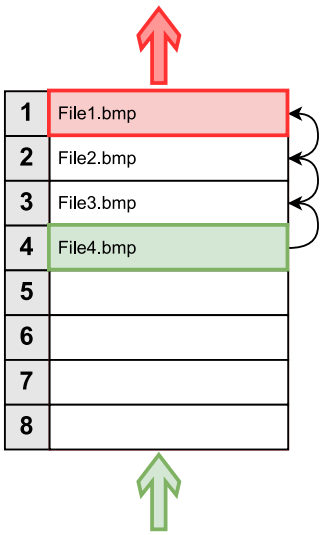


Fig. 52 - Schema della gestione della coda di stampa

Aggiunta di un file di stampa

È possibile aggiungere dei file alla coda di stampa a partire da immagini memorizzate nella scheda SD (che devono essere bitmap monocromatiche). L'aggiunta di un file nella stampa avviene sostanzialmente in 2 fasi.

Quando il segnale di inizio caricamento si attiva, inizia la lettura dell'immagine situata nella scheda SD nel percorso file che è stato specificato. Se non viene individuata l'immagine il processo si azzera, qualora venga trovata invece viene memorizzata in un di array di byte. Successivamente ha inizio la preparazione del file temporaneo (PLOTTER.Spooler.File_in_caricamento).

Sono prelevate dall'array di byte tutte le informazioni utili (dimensioni e dati immagine) che vengono poi assegnate ad alcuni campi del file temporaneo (altezza, larghezza, byte_riga, Immagine[]). Terminata l'interpretazione dell'immagine il programma attende il caricamento dei campi mancanti (a cura dell'interfaccia grafica). Una volta che anche i campi rimanenti sono stati impostati il file può essere finalmente aggiunto alla coda.

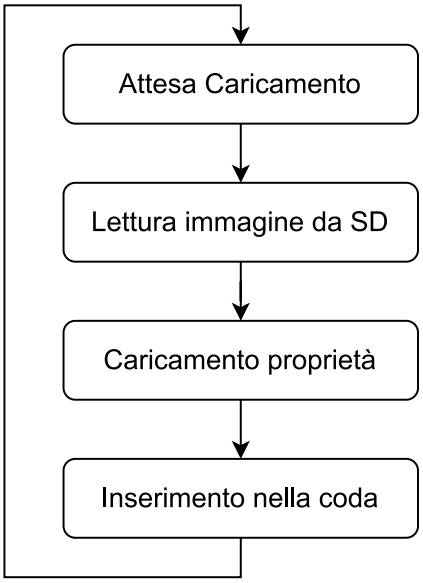


Fig. 53 - Procedimento per l'aggiunta di un file di stampa

Eliminazione di file dalla coda

È possibile eliminare alcuni o tutti i file dalla coda di stampa:

- l'eliminazione di uno o più avviene tramite l'utilizzo ripetuto dell' istruzione StackDel()
- l'eliminazione di tutti i file avviene tramite la funzione Clear() che svuota la coda di stampa

File di stampa

File_di_stampa è la struttura realizzata per contenere tutte le informazioni necessarie alla stampa di un'immagine. A ogni file è anche associato uno stato che permette di controllare il processo di stampa del file. Una volta che File_di_Stampa entra nello stato di *Terminato* è rimosso automaticamente dalla coda.
File_di_stampa è la struttura realizzata per contenere tutte le informazioni necessarie alla stampa di un immagine.

Nome	Tipo Dati	Descrizione
Nome	STRING[40]	Percorso file dell'immagine nella scheda SD
Stato	Stato_File_di_Stampa	Stato del file_di_stampa
Immagine	ARRAY [0..61951] OF BYTE	Array al cui interno sono memorizzati tutti i pixel a partire dal pixel in alto a sinistra fino al pixel in alto a destra

Larghezza	UDINT	Larghezza dell’immagine
Altezza	UDINT	Altezza dell’immagine
Byte_Riga	UINT	Byte occupati per ogni riga dell’immagine
Dist_Pixel_X	ARRAY OF BYTE	Distanza orizzontale tra i pixel
Dist_Pixel_Y	ARRAY OF BYTE	Distanza verticale tra i pixel
Offset_sx	REAL	Margine sinistro della stampa
Offset_top	REAL	Margine superiore di stampa
Larghezza_Piastra	REAL	Larghezza della piastra di stampa
Altezza_Piastra	REAL	Altezza della piastra di stampa
Pixel_Completati	UDINT	Numero di pixel stampati

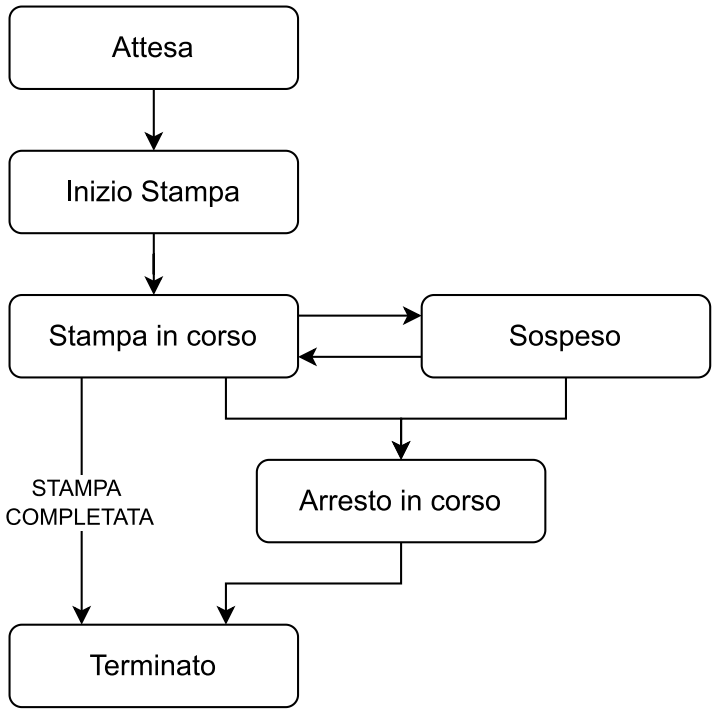


Fig. 54 - Diagramma dello stato del File_di_stampa

3.3.7 Processo_di_stampa

Caratteristiche generali:

Nome	Processo_di_stampa			
Task	Primary Task		**Linguaggio**	ST
Stato all'avvio	Arrestato			
Funzione	Esecuzione del processo di stampa dei file presenti in coda			
Variabili	**Lettura**	HMI.Stampa		
	Scrittura	Driver.Comando, Driver.Parametri		
	Lettura/Scrittura	PLOTTER.Stampa		

Descrizione:

Processo

Il programma *Processo_di_stampa* implementa la funzione di lavoro di stampa. Una volta avviato esegue la stampa consecutiva di tutti i file caricati in coda.

Il processo di stampa di un File_di_Stampa si articola in varie fasi:

1. Configurazione: vengono aggiornati i parametri del driver e prelevati alcuni dati dal file di stampa
2. Preparazione: gli assi del plotter vengono portati in homing
3. Stampa: il plotter effettua un'incisione per ogni pixel nero contenuto nell'immagine
4. Fine: il plotter si riporta in homing e controlla la coda di stampa per riniziare a stampare

Mentre il processo di stampa è in corso è possibile azionare diversi comandi:

Comando	Conseguenza
Pausa	Alla ricerca del pixel successivo viene sospeso il processo di stampa, ed è atteso il riavvio o l'arresto
Arresto	Il plotter si riporta in homing e il programma viene arrestato
Arresto di emergenza	Il plotter si arresta istantaneamente, attivando lo stato di errore

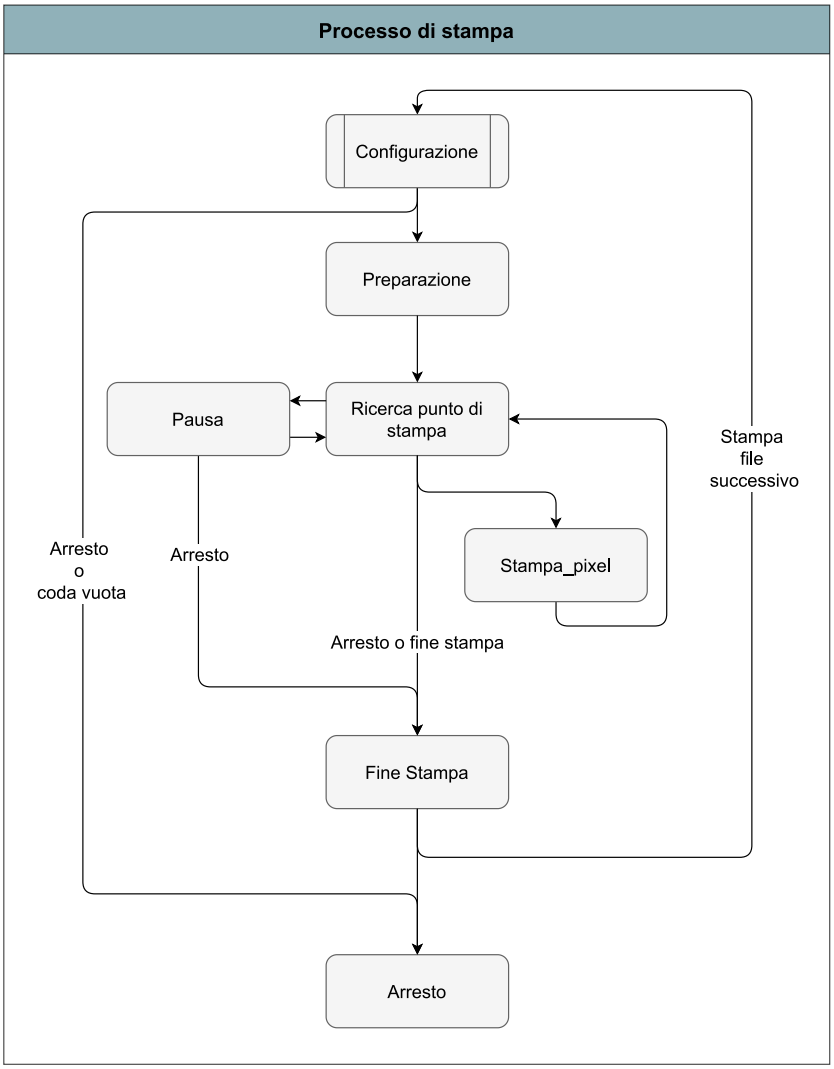


Fig. 55 - Diagramma di flusso del processo di stampa

Percorso di stampa

Durante la fase di stampa l'immagine viene analizzata pixel dopo pixel, dall' alto verso il basso secondo un percorso a serpentina. Questo permette di ridurre notevolmente il percorso di stampa e di conseguenza i tempi di stampa.

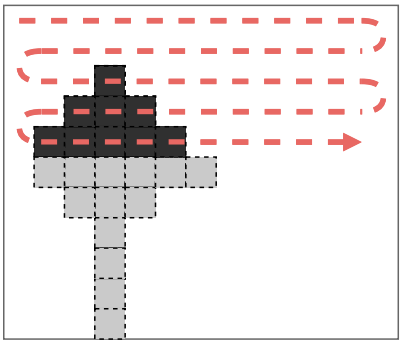


Fig. 56 - Schema illustrativo del processo di stampa

3.3.8 Manuale

Caratteristiche generali:

Nome	Manuale		
Task	Primary Task	**Linguaggio**	ST
Stato all'avvio	Arrestato		
Funzione	Comandi manuali di controllo delle azioni fisiche del sistema		
Variabili	**Lettura**	HMI.Manuale	
	Scrittura	DRIVER.Comando, DRIVER.Parametri	
	Lettura/Scrittura		

Descrizione:

Il programma *Manuale* implementa la funzione di lavoro del plotter dei comandi manuali. Consente di comandare direttamente le azioni elementari del plotter, con eventuali modifiche temporanee dei parametri. Questo programma è utile durante lavori di manutenzione in quando permette all'operatore di controllare direttamente il *Plotter_Driver*.

Una volta arrestato il programma *Manuale* i parametri del driver saranno reimpostati a quelli salvati nelle impostazioni.

3.3.9 Inizializzazione_SD_Card

Caratteristiche generali:

Nome	Inizializzazione_SD_Card		
Task	Primary Task	**Linguaggio**	ST/Ladder
Stato all'avvio	Arrestato		
Funzione	Inizializzazione dei file della scheda SD		
Variabili	**Lettura**		
	Scrittura	PLOTTER.Info	
	Lettura/Scrittura		

Descrizione:

Il programma *Inizializzazione_SD_Card* permette:

- La creazione di directory nella SD
- Il caricamento delle immagini di default
- Il caricamento delle immagini delle lettere

Questo programma è necessario per convertire le immagini salvate nella memoria programma sotto forma di vettori di byte in immagini di tipo bitmap all'interno della scheda SD in modo che siano recuperabili dal programma di stampa.

Il processo inizia con la creazione di due directory: "Default" e "TextLibrary". Successivamente vengono caricate tutte le immagini di default nell'apposita directory ("Default") e vengono salvate con il rispettivo nome (es. "Immagine_default_1.bmp")

In seguito, vengono caricate le immagini raffiguranti tutti i caratteri dell'alfabeto e il carattere spazio " ". I dati dei file immagine di questi caratteri sono memorizzati in un unico vettore in ordine alfabetico seguito dal carattere spazio.

Il caricamento delle lettere avviene tramite la creazione delle immagini bitmap nella scheda SD, prelevando ogni volta la porzione opportuna di byte dal vettore.

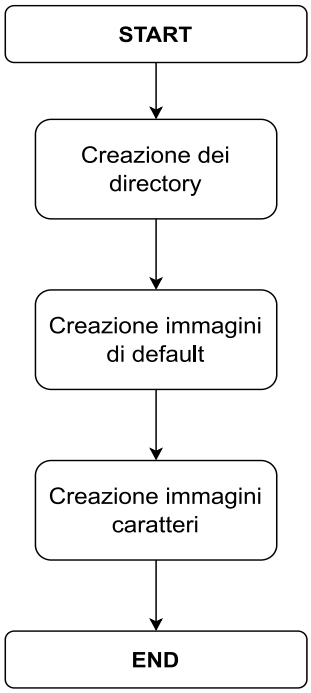


Fig. 57 - Diagramma del funzionamento di Inizializzazione_SD_Card

Note:

È stato introdotto questo programma per permettere l'utilizzo immediato del progetto, grazie al caricamento automatico dei file necessari sulla scheda SD.
I dati delle immagini da caricare, essendo un numero ridotto, sono stati memorizzati come variabili costanti tuttavia la memoria delle variabili non è adeguata e adibita a memorizzare dati di questo genere. Quindi nel caso di aggiornamenti futuri, qualora fosse necessario aggiungere altre immagini da caricare (per esempio nuovi caratteri alfabetici), questa soluzione non può più essere adottata, poiché la quantità di memoria potrebbe non essere più sufficiente. Sarà necessario preparare manualmente la scheda SD con i file necessari prima di inserirla all'interno del controllore, senza ricorrere più a questo programma.
Il resto del programma rimane invariato.

3.3.10 HMIPagine

Caratteristiche generali:

Nome	HMIPagine		
Task	Primary Task	**Linguaggio**	ST
Stato all'avvio	In esecuzione		
Funzione	Interfacciamento con le pagine dell' HMI		
Variabili	**Lettura**		
	Scrittura		
	Lettura/Scrittura	HMI	

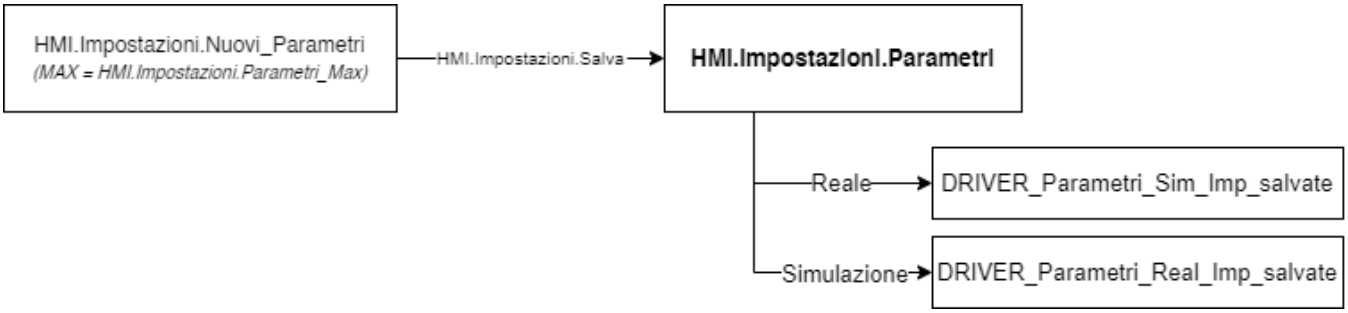
Descrizione:

Il programma *HMIPagine* si occupa di implementare tutte le diverse funzioni di interfaccia con le pagine dell'HMI che richiedono una maggiore elaborazione.

Gestione delle impostazioni

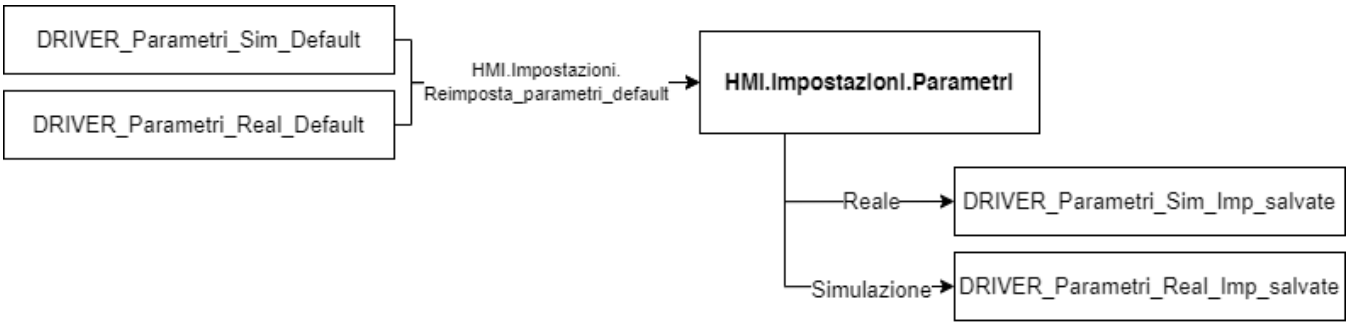
Le impostazioni sono salvate all'interno della struttura *HMI.Impostazioni*, di tipo Driver_Parametri. Appena è reso possibile i parametri del driver sono aggiornati con le impostazioni correntemente salvate.
A ogni modalità operativa (Reale/Simulazione) è associato un set di impostazioni. Ogni volta che l'utente salva nuove impostazioni, queste sono anche copiate nella struttura ritentiva associata alla modalità operativa attiva in quel momento. Al cambio della modalità operativa HMI.Impostazioni viene aggiornato con il set di impostazioni salvato precedentemente per quella modalità.
È possibile ripristinare le impostazioni ai valori predefiniti.

Salvataggio delle impostazioni

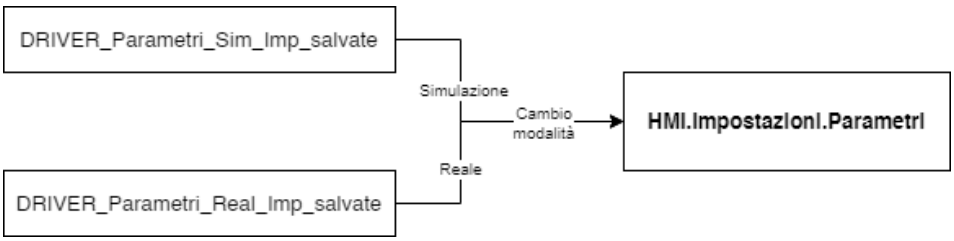


Aggiornamento dei parametri del driver

Ripristino impostazioni di default



Cambio modalità



3.3.11 HMIPagina_Simulatore_Plotter

Caratteristiche generali:

Nome	HMIPagina_Simulatore_Plotter			
Task	Primary Task		**Linguaggio**	ST
Stato all'avvio	In esecuzione			
Funzione	Simulazione grafica del sistema			
Variabili	**Lettura**	DRIVER, PLOTTER		
	Scrittura	HMI		
	Lettura/Scrittura	DRIVER_Parametri_Sim_Default, DRIVER_Parametri_Real_Default, DRIVER_Parametri_Real_Imp_salvate, DRIVER_Parametri_Sim_Imp_salvate		

Descrizione:

Il programma *Plotter_Simulatore* si occupa di gestire tutta la simulazione della macchina nella Pagina Simulatore_Plotter del pannello di controllo.
Il simulatore grafico controlla:

- IAG Plotter
- Area di lavoro
- Piastra di stampa

Definita un'area di lavoro e le dimensioni della piastra il programma mostra il movimento della macchina all'interno dell'area di lavoro e le incisioni sulla piastra.

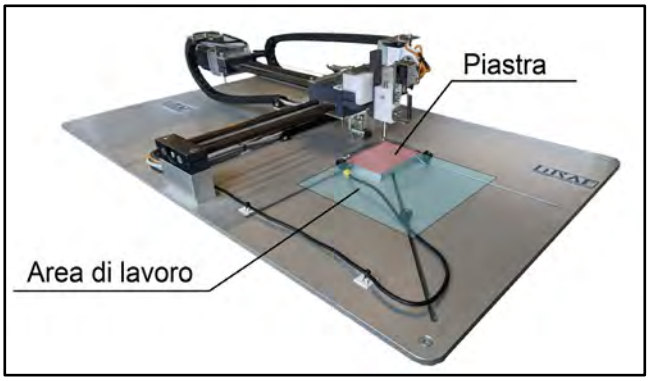


Fig. 58 - Area di lavoro simulata sul pannello operatore

Area di lavoro

L'area di lavoro è l'area in cui l'animazione grafica del Plotter è in grado di muoversi, e corrisponde alla porzione visibile del piano di lavoro. L'impostazione dell'area di lavoro consente di avere una visione più o meno dettagliata e ingrandita delle azioni della macchina.
Sull'interfaccia l'area è delimitata da una sagoma quadrata 450 x 450 px a linea tratteggiata. È presente inoltre una quota di riferimento che mostra la misura del lato dell'area.

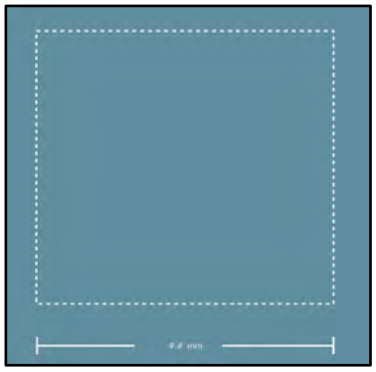


Fig. 59 - L'area di lavoro nel simulatore

IAG Plotter

IAG Plotter è una IAG personalizzata che simula graficamente il movimento degli assi e l'incisione. Il programma definisce il movimento degli assi in maniera proporzionale all'area di lavoro visualizzata. Qualora un asse si trovi in una posizione che eccede dall'area visualizzata nella simulazione grafica l'asse rimane in posizione massima. Qualora siano indicate posizione negative l'asse viene posto nell'origine *(Vedi Sezione 3.4.4 per dettagli sulla IAG).*

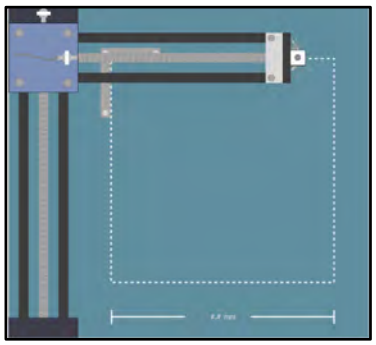


Fig. 60 - La IAG Plotter nel simulatore

Esempi:

Lato area di lavoro	10 cm
Posizione Asse X	5 cm
Posizione in pixel sull'HMI	(5cm/10cm) x 450=225 px

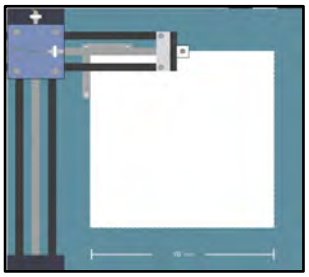


Fig. 61 - Esempio 1

$$Posizione = \frac{Posizione\ Asse}{Lato\ area} * Posizione\ massima$$

Lato area di lavoro	10 cm
Posizione Asse X	15 cm
Posizione in pixel sull'HMI	450 px (posizione massima)

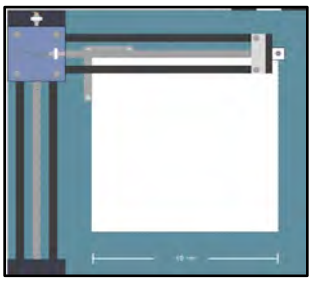


Fig. 62 - Esempio 2

Piastra

Il simulatore permette di visualizzare una piastra di stampa su cui avvengono le incisioni.

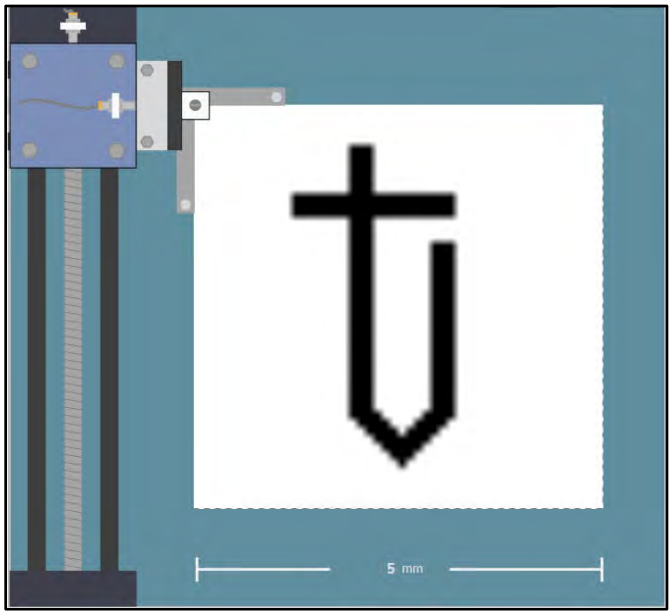


Fig. 63 - Schermata del simulatore con l'immagine di default 1 (logo di Metal Plotter)

Aggiornamento

La piastra è rappresentata da un'immagine che viene periodicamente aggiornata. L'aggiornamento avviene in 3 fasi:

1. Il programma scrive in un array di byte il file immagine .bmp della piastra e tramite un flag segnala all'HMI la necessità di aggiornare l'immagine.
2. L'HMI tramite una subroutine dedicata legge l'array di byte e crea un file immagine nella sua memoria interna.
3. Viene aggiornata l'immagine sul pannello di controllo, grazie al file creato.

La ripetizione ciclica di queste operazioni permette di realizzare una simulazione grafica della piastra in tempo reale. Infatti ogni volta che il plotter attiva l'incisore, se gli assi sono posizionati sulla piastra il programma modificando l'array di byte aggiunge un pixel nero all'immagine, che viene successivamente aggiornata sul pannello *(vedi Sezione 3.5.3 per maggiori dettagli sull'aggiornamento).*

Creazione di una nuova piastra

Ogni volta che si crea una nuova piastra devono essere impostati altezza e larghezza della piastra e lato dell'area di lavoro. Sulla base di questi valori viene preparata l'immagine associata.

Viene definita innanzitutto la risoluzione dell'immagine che dipende dalla quantità di punti di stampa che quella piastra può accogliere. Si è stabilito che un punto di stampa occupa l'area quadrata di 0.1 x 0.1 mm^2.

Dato che la risoluzione massima dell'immagine sull'HMI è 450 x 450 qualora si effettui una stampa di dimensioni superiore a 4.5 x 4.5 cm (450 x 450 punti) l'immagine piastra risulterà approssimata rispetto alla stampa di partenza (la qualità di stampa reale rimane immutata).

Successivamente sono calcolati i valori di ridimensionamento dell'immagine sull'HMI in modo tale che l'immagine piastra risulti proporzionata all'interno dell'area di lavoro impostata. Nel caso l'immagine avesse una risoluzione maggiore rispetto a quella che è visualizzabile dall' HMI sarà l'oggetto stesso della pagina a gestire l'operazione di scalatura.

Si presenta di seguito un esempio di supporto alla spiegazione. L' esempio è da ritenersi puramente formale. I valori sono stati scelti per facilitare la comprensione ma non sono da ritenersi verosimili.

Esempio:

Lato area di lavoro	1 mm
Larghezza piastra	1 mm
Altezza piastra	0.9 mm

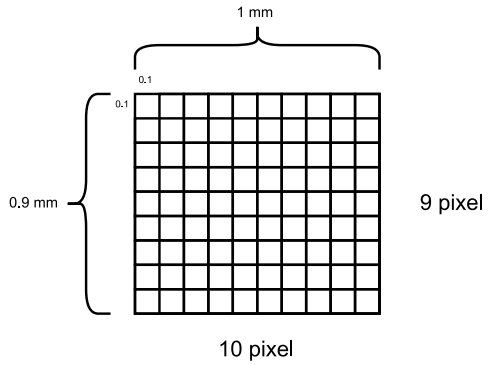


Fig. 64 - Illustrazione d'esempio area di lavoro

Calcolo delle dimensioni dell'esempio:

Larghezza:

$$\frac{Larghezza\ piastra}{0.1} = \frac{1mm}{0.1} = 10px$$

Altezza:

$$\frac{Altezza\ piastra}{0.1} = \frac{0.9mm}{0.1} = 9px$$

Dimensioni HMI

Larghezza Image:

$$\frac{Larghezza\ \ piastra}{Lato\ area\ di\ lavoro} * 450 = \frac{1}{1} * 450 = 450px$$

Altezza Image:

$$\frac{Larghezza\ \ piastra}{Lato\ area\ di\ lavoro} * 450 = \frac{0.9}{1} * 450 = 405px$$

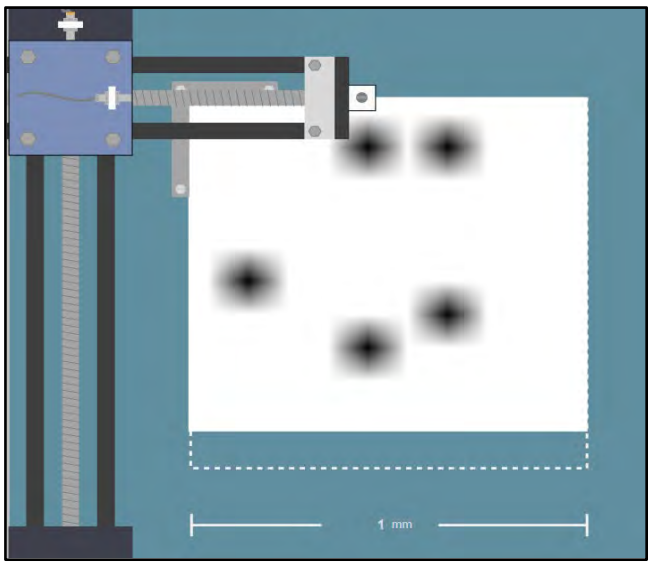


Fig. 65 - Simulazione su pannello operatore

3.3.12 Manipolazione delle immagini

File bitmap

Alcune funzionalità del programma si occupano della manipolazione di immagini in particolare di immagini bitmap monocromatiche.

È stato scelto il formato Bitmap[8] in quanto la struttura delle informazioni all'interno del file permette la modifica dell'immagine tramite operazioni semplici.

I file bitmap infatti sono composti da 62 byte iniziali di informazioni (File Header+*Info Header* + *Colour Table*) seguiti dal contenuto dell'immagine (Pixel Data). I pixel dell'immagine sono memorizzati a partire dal pixel in basso a sinistra fino al pixel in alto a destra riga per riga.

Grazie a questa struttura fissa del file bitmap è possibile ricavare le informazioni necessarie alla stampa e convertire il contenuto dell'immagine in modo che sia interpretabile dal processo di stampa. Anche la simulazione grafica della piastra avviene tramite la manipolazione di un'immagine bitmap. *(Vedi Sezione 3.3.11)*

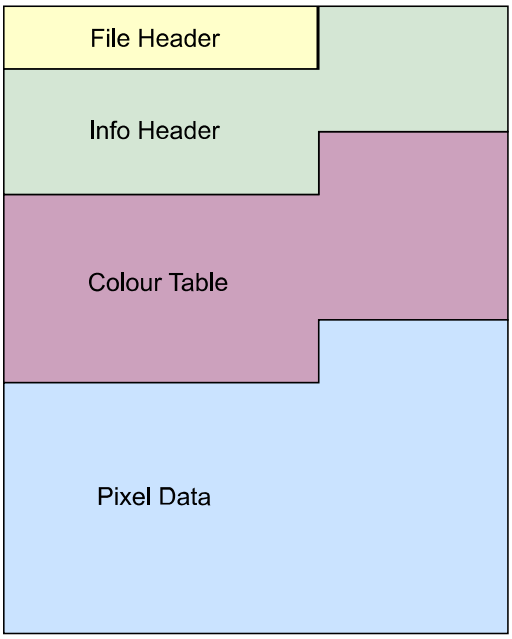


Fig. 66 - Struttura file bitmap

FB_Scarica_Immagine

La lettura delle immagini dalla scheda SD avviene attraverso un blocco funzione (FB_Scarica_Immagine) dedicato.

Quando viene attivato il segnale di esecuzione il file immagine di interesse è copiato all'interno di un array di byte. Si procede quindi con il controllo della compatibilità del formato dell'immagine, e in caso positivo i dati dell'immagine sono riordinati e memorizzati nelle variabili di output, per poi essere memorizzate in una variabile di tipo File_di_stampa. Nel caso in cui il file immagine letta non sia compatibile viene attivato il segnale di errore e la lettura termina.

FB_Convertitore_Txt_Immagine

È presente un blocco funzione dedicato che consente la conversione di un testo in un'immagine bitmap compatibile per la stampa. Il blocco funzione per effettuare la conversione utilizza delle immagini che devono essere precaricate. A ogni carattere deve corrispondere un'immagine associata. In questo modo ricevuto un testo il blocco funzione costruisce una nuova immagine affiancando le immagini associate ai vari caratteri.

Per poter funzionare correttamente richiede dunque che sulla scheda SD siano già presenti le immagini necessarie.

All' avvio del PLC per questo motivo viene creata sulla scheda SD la cartella TextLibrary, contenente le immagini (64 x 64 pixel) di tutti i caratteri alfabetici e lo spazio vuoto *(Vedi Sezione 3.3.9)*.

Quando viene attivato il segnale di esecuzione inizia il processo di conversione che si struttura in varie fasi:

- Vengono calcolate le dimensioni dell'immagine da creare in base alla lunghezza del testo (dato che le immagini dei caratteri hanno tutte la stessa dimensione 64x64)
- In maniera ordinata per ogni carattere del testo viene prelevata l'immagine associata dalla scheda SD e copiata all'interno dell'immagine finale (array di byte) nell'opportuna posizione, come mostrato in figura.
- Una volta terminata la conversione di tutti i caratteri nell'immagine viene creato il file immagine sulla scheda SD sotto il nome di *Testo.bmp*

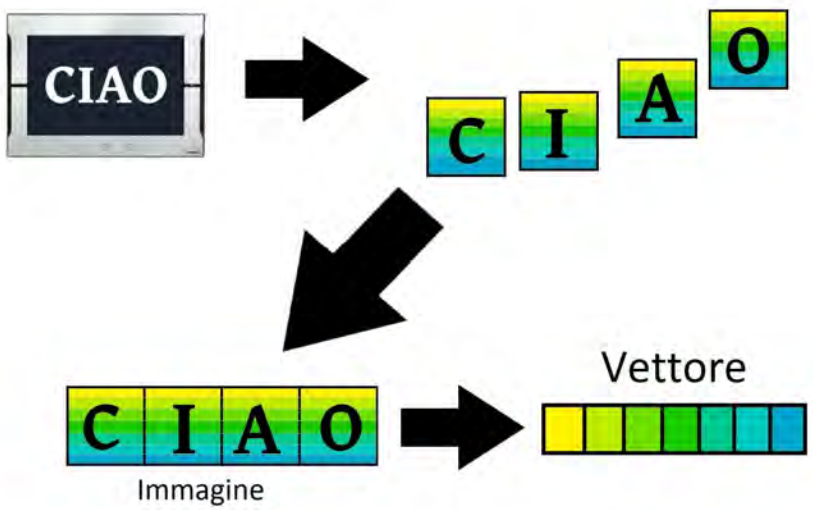


Fig. 67 - Conversione stringa-file di stampa

3.4 HMI

3.4.1 User Friendly

L'interfaccia grafica di Metal Plotter è stata realizzata al fine di ottenere un'esperienza utente "user friendly": le pagine del pannello operatore risultano graficamente minimaliste e comprensibili anche per utenti non esperti. Grazie alla funzionalità di guida, che illustra il funzionamento di ogni elemento di ciascuna pagina, e ai numerosi popup, l'utilizzatore del sistema si troverà sempre guidato, anche nei procedimenti più complessi e meno intuitivi.

3.4.2 Palette

Gli elementi grafici del pannello operatore sono stati scelti secondo una precisa palette cromatica: tutti i colori di pulsanti, testi, icone e di tutti gli altri oggetti risultano derivati dai colori della palette presente qui a lato. L'uso di colori diversi, come il verde o il giallo, necessari per le esigenze di comprensione dell'utente, è stato comunque eseguito nei canoni cromatici della tonalità dei colori dell'intero progetto.

+100%	FFFFFF	FFFFFF	FFFFFF	FFFFFF	FFFFFF	FFFFFF
+87.5%	E6E7E8	FFFFFF	F8F8F6	EBF1F3	E9EDF0	FCE5E9
+75%	CCCFD1	FFFFFF	F1F0ED	D7E4E7	D2DAE1	F9CBD3
+62.5%	B3B6BA	FFFFFF	E9E9E5	C4D6DB	BCC8D1	F6B2BD
+50%	99A0A3	FFFFFF	E2E2DC	B0C8CF	A5B6C2	F498A7
+37.5%	80868C	FFFFFF	DBDAD3	9CBBC2	8FA3B3	F17E91
+25%	686F73	FFFFFF	D4D3CA	88ADB6	7991A4	EE647B
+12.5%	51575A	FFFFFF	CDCCC2	75A0AA	647E93	EB4A65
0%	393D3F	FDFDFF	C8C5B9	62929E	546A7B	E83151
-12.5%	333638	BFBFFF	B0AF9F	55808A	4A5E6D	DD1939
-25%	2C2F30	8080FF	999984	496D77	40505D	BD1531
-37.5%	242728	4040FF	83816C	3D5B63	35434E	9E1229
-50%	1D1F20	0000FF	696856	30494F	2A363E	7E0E21
-62.5%	161718	0000BF	4F4E41	24373B	20282F	5F0B19
-75%	0F1010	000080	35342B	182426	151B1F	3F0710
-87.5%	070808	000040	1A1A16	0C1214	0B0D10	200408
-100%	000000	000000	000000	000000	000000	000000

Fig. 68 - La palette cromatica di riferimento utilizzata per la progettazione grafica

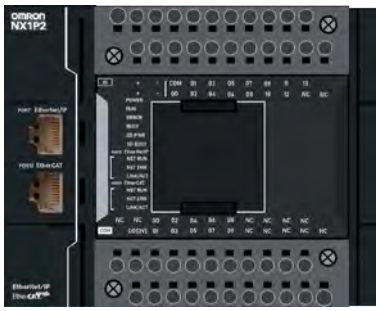
3.4.3 Allarmi

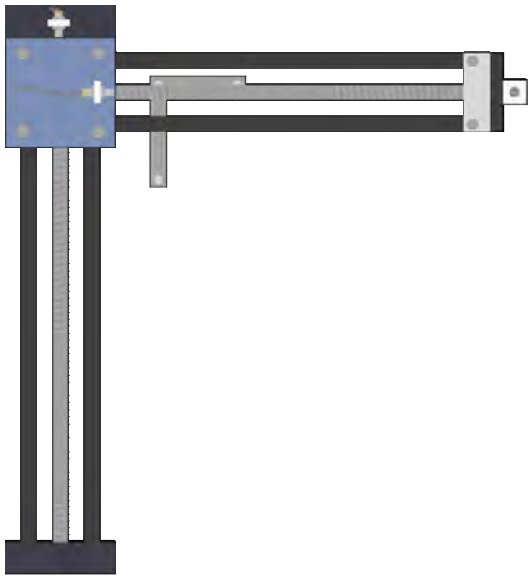
Il sistema è provvisto di allarmi utente, che segnalano il verificarsi di determinate situazioni di errore.

Nome	Gruppo	Codice Evento	Priorità	Messaggio
Plotter_errore	Assi	0001	Errore utente livello 2	Plotter in stato di errore
Posizione_massima_raggiunta_Asse_Y		0002	Errore utente livello 3	L'asse Y ha raggiunto la massima posizione consentita
Posizione_massima_raggiunta_Asse_X		0003	Errore utente livello 3	L'asse X ha raggiunto la massima posizione consentita
Driver_inizializzato		0004	Informazioni utente	Driver inizializzato. I parametri del driver sono stati reimpostati alle impostazioni di default.
Timeout_inizializzazione	SD_Card	1000	Errore utente livello 4	Il processo di inizializzazione della scheda SD è scaduto
Img_default_non_caricate		1001	Errore utente livello 4	Non è stato possibile caricare le immagini di default
Libreria_caratteri_non_caricata		1002	Errore utente livello 4	Non è stato possibile caricare le risorse della libreria dei caratteri

3.4.4 IAG originali

Per realizzare l'interfaccia grafica è stato necessario progettare delle IAG (*Intelligent Application Gadgets*) personalizzate. Tre di esse sono utilizzate nella sezione *Esplora* dell'HMI per simulare le spie del PLC e dei moduli del Rack CPU. Una quarta IAG simula invece il movimento e le incisioni di Metal Plotter, ed è utilizzata nelle pagine di *Live Monitor* e *Manuale*.

Nome	Descrizione	Foto
NX1P2_IAG	Replica l'aspetto di un NX1P2-9024DT1 attraverso le spie LED (I/O, stato del controllore) che si possono parametrizzare su HMI.	
EC0222	Replica l'aspetto di un modulo NX-EC0222 attraverso le spie LED.	
PG0122	Replica l'aspetto di un modulo NX-PG0122 attraverso le spie LED.	

Plotter_IAG_v1	Simula il movimento dell'incisore di Metal Plotter sui due assi X e Y. La IAG chiede come parametri: - lo spostamento orizzontale dell'incisore - lo spostamento verticale dell'incisore - lo stato del finecorsa sull'asse x - lo stato del finecorsa sull'asse y - lo stato della scintilla	

3.5 Differenze tra PLC e Simulatore

Nella realizzazione del programma PLC si è tenuto conto sia delle esigenze per l'applicazione pratica sia delle funzionalità del simulatore integrato di Sysmac Studio. Il fine ultimo era quello di realizzare un programma che senza modifiche potesse essere completamente funzionante sia sul simulatore Sysmac Studio sia sul PLC fisico ma non è stato possibile.

Sono infatti emerse differenze tra simulatore e PLC fisico che hanno influenzato notevolmente alcune funzionalità del programma:

- Modalità Reale e Simulazione
- Comunicazione di rete
- Aggiornamento dell'immagine Piastra su HMI

3.5.1 Modalità operative

Il programma implementa 2 modalità operative: Reale e Simulazione.

La modalità Reale gestisce gli IO fisici del PLC, mentre la modalità Simulazione esegue una simulazione interna. La configurazione hardware per il controllo della macchina, insieme alle limitazioni del modello 9024DT1 ha reso impossibile il funzionamento della modalità Reale sul simulatore integrato Sysmac Studio. Il modello 9024DT1 non supporta gli assi con controllo di feedback attivo e pertanto non è stato possibile collegare i moduli EC0222 (encoder) agli assi Motion, ma sono stati gestiti individualmente. Utilizzando il programma sul simulatore Sysmac i moduli EC0222 individualmente, non possono essere simulati e dunque la modalità reale non è supportata.

Utilizzando modelli superiori come il controllore 1040DT1, il problema può essere risolto insieme a tutte le altre limitazioni che sono attualmente sopperite dal programma *Plotter_driver*.

	Simulatore Sysmac	**PLC e HMI reali**
Modalità Reale	Non supportata	Supportata
Modalità Simulazione	Supportata	Supportata

3.5.2 Comunicazione di rete

Il simulatore Sysmac Studio non permette la simulazione delle comunicazioni via rete. Pertanto il caricamento delle immagini all'interno della scheda SD tramite protocollo di comunicazione FTP non è possibile.

Per effettuare il caricamento dell'immagine su SD quando si sta utilizzando il simulatore Sysmac è possibile accedere direttamente alla cartella che simula la memoria della scheda SD localizzata nella directory ***C:\OMRON\Data\SimulatorData\CARD\Memory001*** del computer e caricare le immagini da stampare. Successivamente è possibile caricarle nella coda di stampa specificando il percorso file interno a questa cartella, come mostrato.

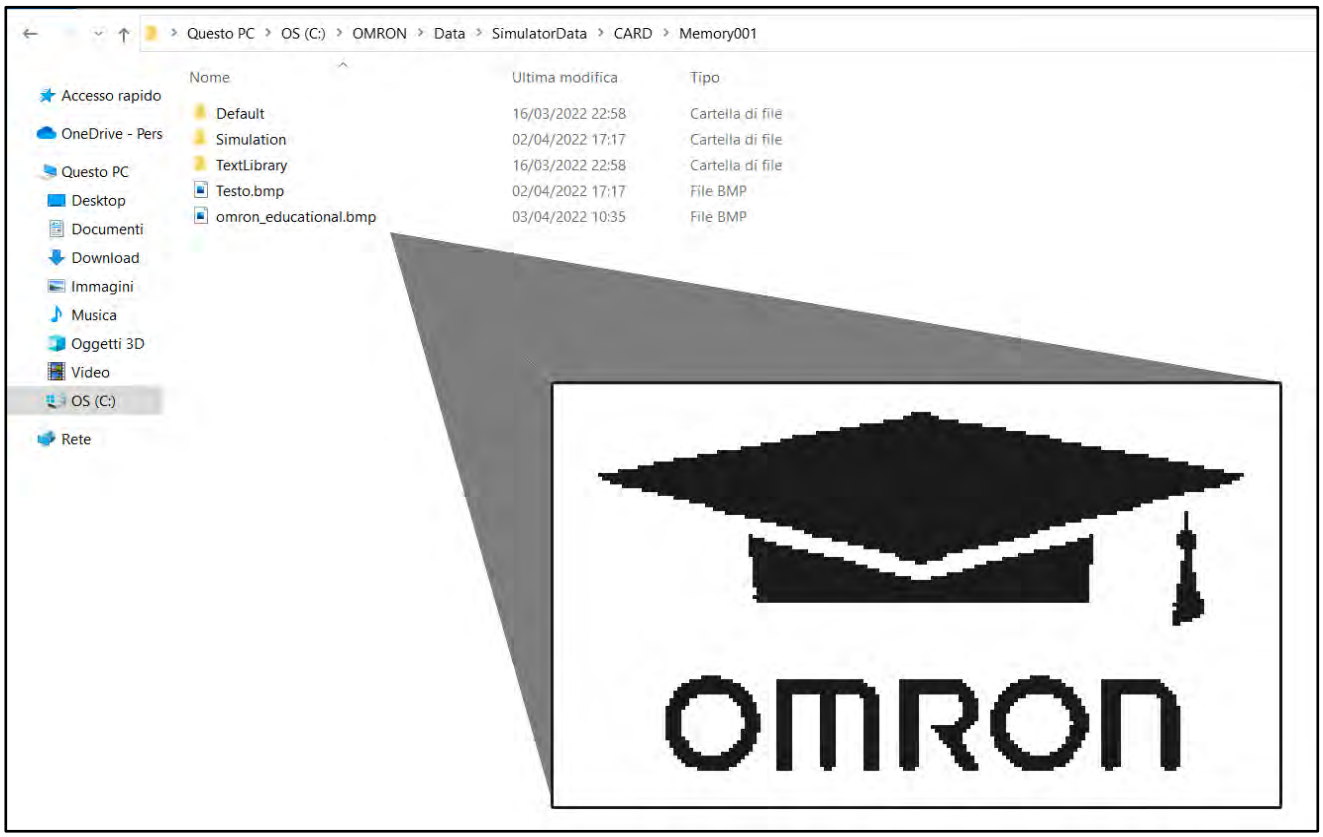


Fig. 69 - Salvataggio dei file su SD in simulazione

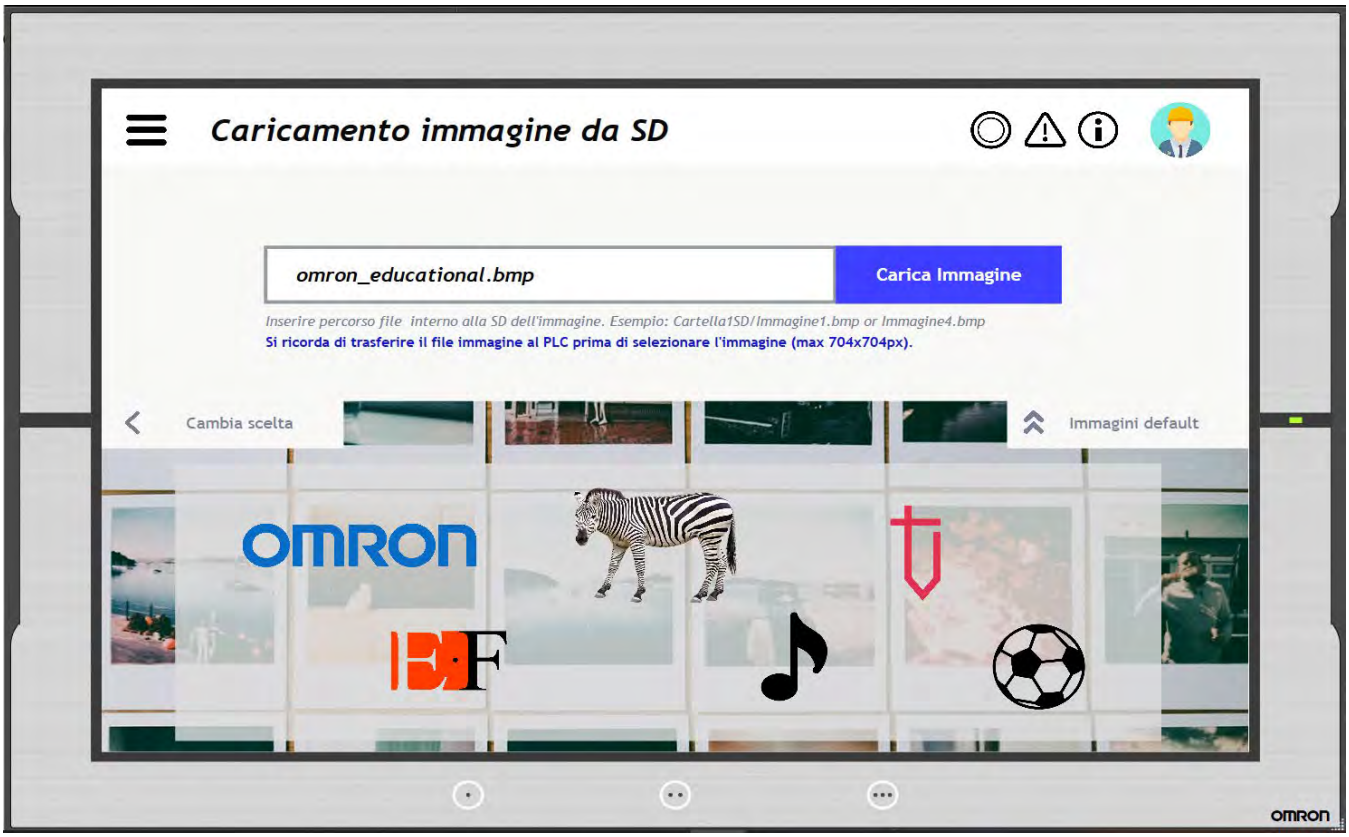


Fig. 70 - Inserimento del percorso file dell'immagine

3.5.3 Aggiornamento delle immagini

Per poter permettere l'aggiornamento dell'immagine è stato necessario adottare 2 approcci risolutivi differenti a seconda che il programma venisse eseguito sul simulatore Sysmac o sui dispositivi reali. Mentre il programma del PLC riamane invariato non è stato possibile individuare una soluzione comune per il programma dell'HMI. Per rendere completamente funzionante il programma su PLC e HMI reali sono necessarie alcune modifiche nelle pagine dell'HMI Simulatore_Plotter e Configurazione_Stampa e la modifica di 2 variabili costanti.

PLC e HMI reali

L' aggiornamento dell'immagine Piastra sul pannello di controllo, sui dispositivi fisici si appoggia alla memoria dedicata all'FTP Server dell'HMI.
La creazione dell'immagine di aggiornamento avviene all'interno della directory "\User\SysmacHMI\FTP", dopo l'aggiornamento l'immagine viene rimossa.
Allo stesso modo nella pagina di configurazione di stampa, per mostrare l'anteprima del file di stampa, l'FTP Server dell'HMI tramite il protocollo FTP recupera l'immagine dalla scheda SD del PLC e la mostra.

L'allocazione dinamica dell'immagine è resa possibile dalla IAG AtcBcnIAG_DynImage, sviluppata dall' Automation Center di Barcellona, e ricevuta tramite il supporto tecnico Omron. La IAG sempre nella memoria dedicata al server FTP dell'HMI genera un file di appoggio che consente la modifica forzata del file sorgente di un'oggetto Image evitando perdite nella memoria. Espone un metodo che consente l'aggiornamento dell'immagine fornendo il percorso file della nuova immagine.
La IAG non è funzionante sul simulatore Sysmac. e questo ha impedito di trovare una soluzione comune

Note:

Per permettere il funzionamento sul PLC e HMI reali le variabili globali dell'HMI Percorso_HMI e Percorso_PLC devono essere impostate nel seguente modo

Percorso_SD	String	'\MEMCARD1\'
Percorso_HMI	String	'\User\SysmacHMI\FTP\'

È necessario anche la modifica del codice di alcune subroutine e l'introduzione degli oggetti DynImage.

3.5.4 Simulatore Sysmac

Il simulatore Sysmac non simula il Server FTP del pannello di controllo e non è presente neanche la memoria dedicata. Per ovviare a questo problema è stato deciso di inserire nella cartella di simulazione della Scheda SD del PLC la directory Simulation, utilizzata come memoria dell'HMI.
Si sottolinea che la cartella è situata nel percorso file della scheda SD ma non è da ritenersi una directory reale della scheda SD.

L'aggiornamento dell'immagine avviene tramite la modifica della proprietà Source dell'oggetto Image. Questo tipo di approccio funziona sul simulatore mentre non è da considerarsi una valida soluzione per il programma sull'HMI reale, in quanto potrebbe generare errori per la perdita di dati di una risorsa.
Per quanto riguarda la comunicazione FTP necessaria nella pagina *Configurazione_Stampa*, è stato deciso di accedere direttamente alla cartella della scheda SD. Si ricorda però che questo tipo di comunicazione è completamente irrealizzabile per l'applicazione pratica (l'HMI non può leggere direttamente la scheda SD del PLC), infatti si utilizza il protocollo FTP.

Note:

Qualora il programma Sysmac Studio fosse installato su una memoria diversa da C: è necessario modificare le variabili globali dell'HMI, Percorso_SD e Percorso_HMI con il percorso file corretto della cartella della scheda SD simulata per consentire la corretta esecuzione del programma sul simulatore Sysmac.

Percorso_SD	String	'C:\OMRON\Data\SimulatorData\CARD\Memory001\'		☐	☑
Percorso_HMI	String	'C:\OMRON\Data\SimulatorData\CARD\Memory001\'		☐	☑

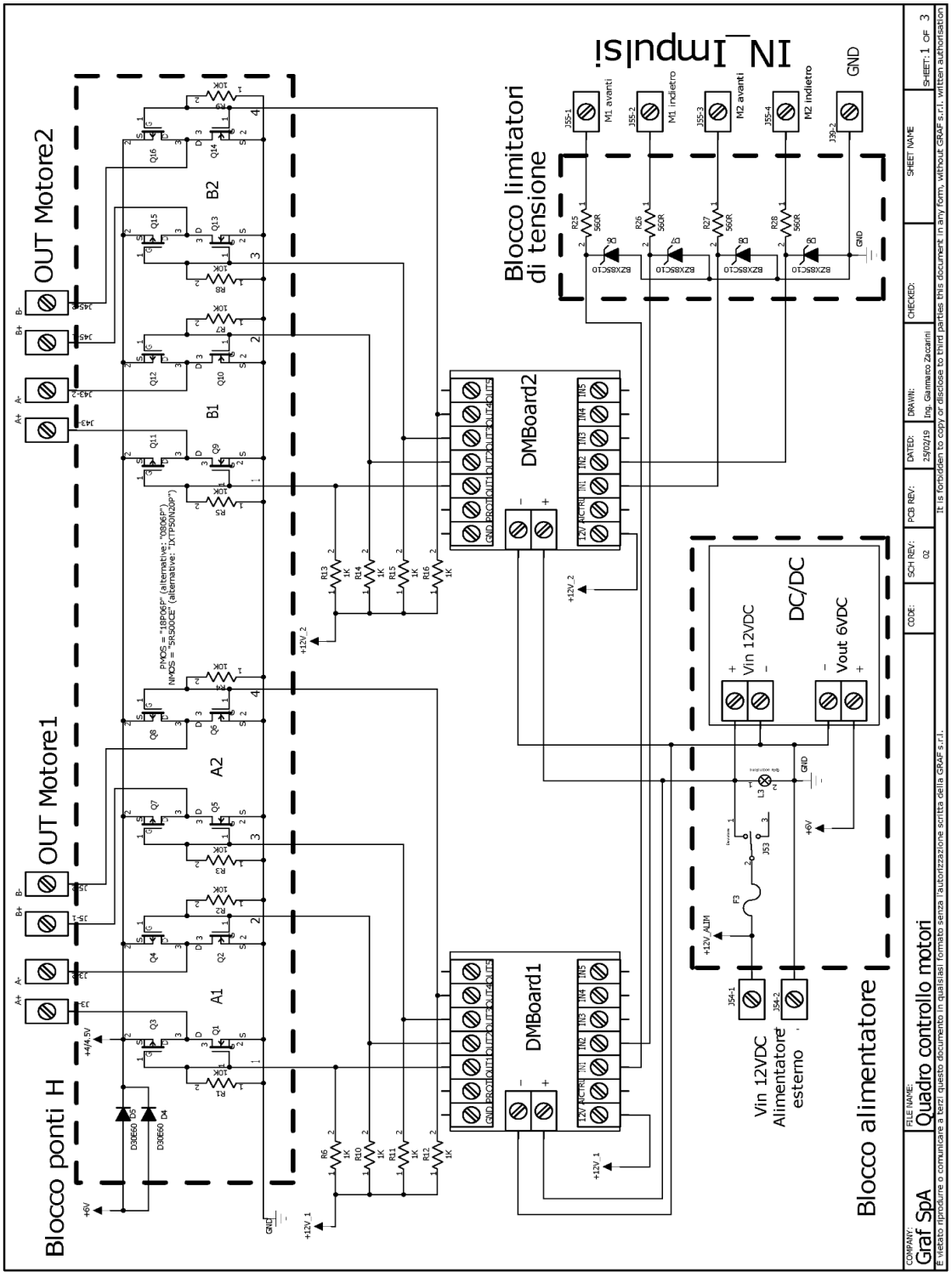
Esempio:

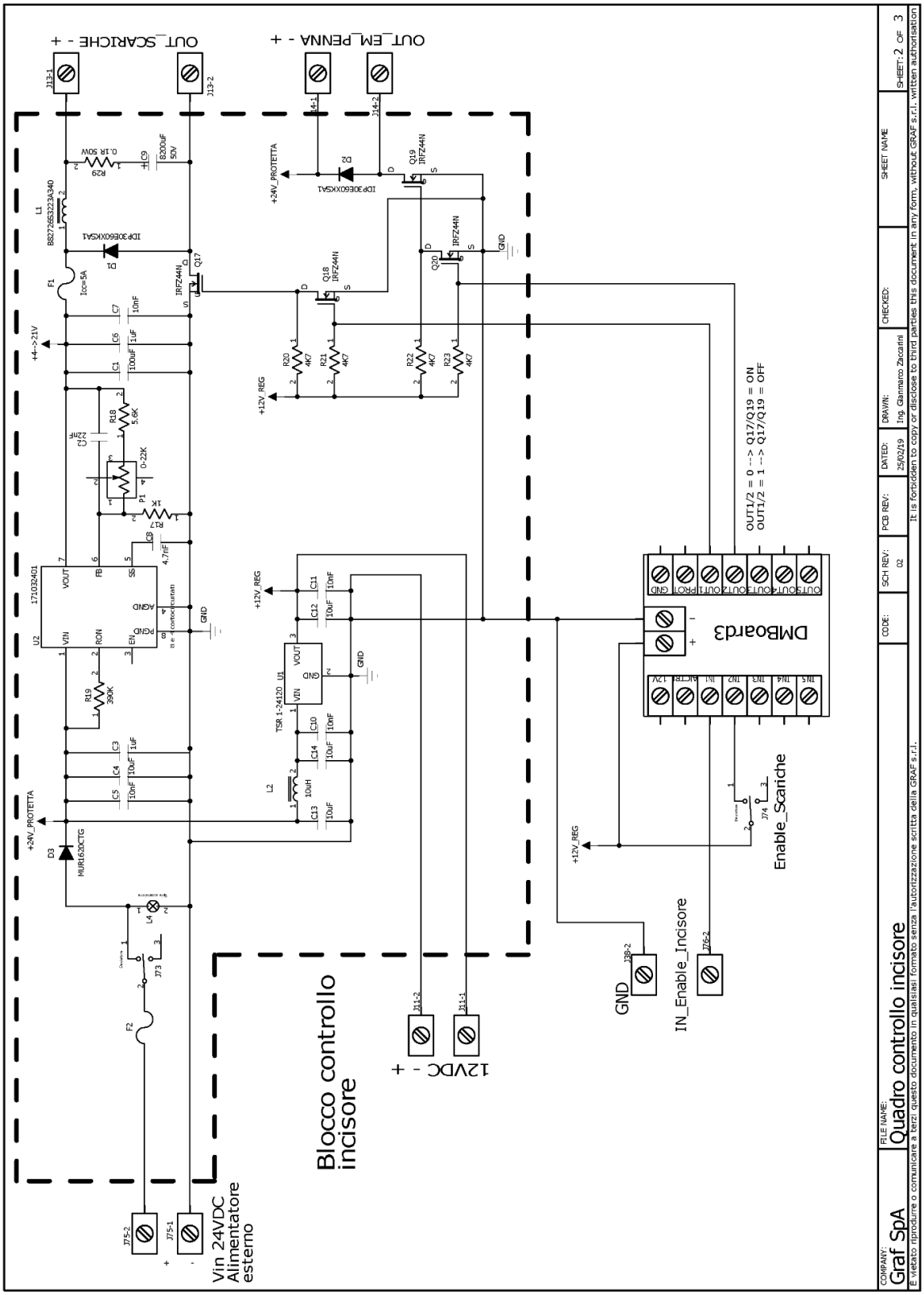
Il programma Sysmac è installato nella memoria D:
È necessario impostare le due variabili nel seguente modo:

Percorso_SD	String	'D:\OMRON\Data\SimulatorData\CARD\Memory001\'		☐	☑
Percorso_HMI	String	'D:\OMRON\Data\SimulatorData\CARD\Memory001\'		☐	☑

4 Appendice

4.1 Schemi elettrici




OUT_SCARICHE - +
OUT_EM_PENNA - +
Blocco controllo incisore
Vin 24VDC Alimentatore esterno
12VDC - +
GND
IN_Enable_Incisore
Enable_Scariche
DMBoard3
OUT1/2 = 0 --> Q17/Q19 = ON
OUT1/2 = 1 --> Q17/Q19 = OFF
+24V_PROTETTA
+12V_REG
GND
COMPANY: Graf SpA
FILE NAME: Quadro controllo incisore
CODE:
SCH REV.: 02
PCB REV.:
DATED: 25/02/19
DRAWN: Ing. Gianmarco Zaccarini
CHECKED:
SHEET NAME
SHEET: 2 OF 3
È vietato riprodurre o comunicare a terzi questo documento in qualsiasi formato senza l'autorizzazione scritta della GRAF S.r.l.
It is forbidden to copy or disclose to third parties this document, in any form, without GRAF s.r.l. written authorisation

4.2 Riferimenti

1. https://datasheet.datasheetarchive.com/originals/library/Datasheets-UD3/DSAUD0047143.pdf
2. https://eltra-encoder.eu/products/eltra-eh30m500z5l6x3pr2-151
3. https://docs.microsoft.com/it-it/windows-server/administration/windows-commands/ftp
4. https://mega.nz/file/Qrh2ARDI#Ruab0VxpsKNI1iZ_rn9Wk2GvIWMoYrLjchf_2uENChs
5. https://assets.omron.eu/downloads/datasheet/en/v6/i179e_nx1p-series_machine_controller_datasheet_en.pdf
6. https://assets.omron.eu/downloads/datasheet/en/v4/nx-series_system_unit_-_nx-pd_pf_pc_tbx_datasheet_en.pdf
7. https://assets.omron.eu/downloads/datasheet/en/v7/nx-series_position_interface_unit_-_nx-ec0_ecs_pg0_datasheet_en.pdf
8. http://www.di.unito.it/~marcog/SM/BMPformat-Wiki.pdf

Crediti

Si ringraziano di seguito tutte le persone e le aziende che hanno reso possibile la realizzazione di questo progetto:

Paolo Pergreffi - *Preside dell'Istituto ITIS E. Fermi*

Prof. Giuliano Monti - *Docente supervisore del gruppo*

Prof. Erio Orlandi - *Per il montaggio del Quadro Generale*

Classe 5^A - *Per la collaborazione e il supporto*

Graf S.p.a - *Per aver fornito la macchina del progetto*

Organic Jar Production System

< Sommario

Nell'ambito dei processi industriali, abbiamo voluto cercare un'applicazione che fosse attenta alle tematiche ambientali, in conformità con gli obiettivi dell'Agenda ONU 2030, e la nostra attenzione è stata catturata proprio dalla produzione di vasetti in bioplastica.

I vantaggi delle bioplastiche sono indubbi: risparmio di risorse fossili grazie all'impiego di biomassa (vegetali) che si rigenera e possibilità di recupero alla fine del ciclo vitale di un prodotto.

IIS Zaccagna di Carrara MS- Classe V

- **Docente coordinatore:** Roberto Biasci
- **Studenti:** Evis Daja, Angelo Guglielmi, Francesco Lettiero, Andrea Spadaccini, Thomas Tenerani, Giacomo Vaira.

Sommario

INTRODUZIONE 5
Le bioplastiche 5
La biodegradabilità 5
Agenda ONU 2030 6
L'aiuto del corso chimici 6
IL PROCESSO PRODUTTIVO DEI BIO VASETTI 7
LE FASI DEL PROGETTO 8
LA STRUTTURA DEL PROGETTO 9
La struttura dei programmi lato PLC 9
La struttura delle pagine lato HMI 10
Tabella riassuntiva dei componenti utilizzati 11
Le pagine dei nodi EtherCat 12
Le Subroutine globali 13
LE PAGINE "COMUNI" DEL PROGETTO 14
La pagina iniziale MAIN 14
La pagina di BACKGROUND 15
La pagina ALLARMI 16
L'help richiamabile col pulsante InfoPagina 17
Le Pagine del PLC 18
Pagina NX1P2 18
NODO1 19
NODO2 19
NODO3 20
NODO4 20
NODO5 21
NODO6 21
NODO7 22
NODO8 22
La pagina "INTRO" 23
La pagina "Ricette" 25
Il ladder della pagina Ricette: 27
Subroutine delle pagine Ricette e Intro: 28
LE PAGINE E I LADDER DEI MACCHINARI 32
La pagina "FASE1 – Pesatura" 32
Programma ladder della sezione Pesatura: 33
Programma ladder della sezione Taglio: 35
Subroutine FASE 1 "Pesatura": 36
La pagina "FASE2 - COTTURA e MISCELAZIONE" 40
Programma ladder sezione Cottura: 41
Programma ladder sezione Frullatura: 43
Subroutine FASE 2: 44

La pagina “FASE3” 47
Programma ladder sezione Strizzatura: 48
Programma Ladder sezione Nastri: 52
Programma Subroutine FASE 3: 54
La pagina “FASE4” 57
Programma ladder sezione Stampo: 58
Programma Ladder sezione Nastri_Stampo: 59
Programma Subroutine FASE 4: 60
La pagina “FASE5” 68
Programma Ladder sezione Forno: 70
Programma ladder sezione Esiccazione: 71
Programma Subroutine FASE 5: 72
Le pagine “PopUp” 74

INTRODUZIONE

Oggigiorno la plastica sta diventando un enorme problema per l'ambiente, non solo in termini di salute degli esseri viventi, ma anche in termini di biodegradabilità del prodotto. Molte plastiche impiegano infatti decenni o secoli prima di dissolversi in acqua o nell'ambiente, per questo si è pensato ad una produzione che sfruttasse degli scarti vegetali per produrre, in questo caso, dei vasetti da poter sotterrare in ambito agricolo.

Le bioplastiche

Col termine "bioplastica" non si indica un unico materiale, ma piuttosto una famiglia di materiali con differenti proprietà; secondo l'Istituto Europeo di Bioplastiche, un materiale plastico si definisce bioplastica se ha, almeno in parte, origine vegetale oppure se è biodegradabile, o ancora se ha entrambe queste caratteristiche. Gran parte delle bioplastiche attualmente in uso derivano, ad esempio, dal mais, dalla canna da zucchero e dalla cellulosa.

La biodegradabilità

Un materiale si dice "biodegradabile" se, sottoposto ad un opportuno processo chimico, può essere convertito in sostanze naturali quali acqua, anidride carbonica e compost. I vantaggi delle bioplastiche sono indubbi: risparmio di risorse fossili grazie all'impiego di biomassa (vegetali) che si rigenera e possibilità di recupero alla fine del ciclo vitale di un prodotto.

Agenda ONU 2030

Nell'ambito dei processi industriali, abbiamo voluto cercare un'applicazione che fosse attenta alle tematiche ambientali, in conformità con gli obiettivi dell'Agenda ONU 2030, e la nostra attenzione è stata catturata proprio dalla produzione di vasetti in bioplastica.

L'aiuto del corso chimici

Nei primi passi, siamo stati affiancati dai colleghi del corso Chimico Ambientale del nostro Istituto, guidati dalla Prof.ssa Mariagrazia Maesano; è stata lei a mostrarci alcuni vasetti in bioplastica prodotti in modo artigianale a partire da bucce di banana: questo è bastato ad accendere la nostra curiosità e da lì abbiamo ricercato come trasporre il metodo artigianale in un processo industriale, studiando come realizzare ogni singola fase della produzione.

IL PROCESSO PRODUTTIVO DEI BIO VASETTI

Il processo inizia con una fase preliminare, nella quale l'addetto può effettuare la scelta della lingua selezionabile fra Italiano, Inglese e Spagnolo ed impostare l'utente con i relativi privilegi.

Si procede quindi con la scelta della ricetta, in cui si terrà conto della tipologia di vaso da produrre, di dimensione grande o piccola, e del tempo di compostaggio dello stesso, che può essere breve, medio o lungo; questa scelta sarà facilitata da un grafico riportante la tendenza di mercato dell'ultimo periodo, alla quale si può aderire completamente oppure prediligere una personalizzazione in base alle proprie esigenze produttive. La ricetta scelta con i suoi parametri sarà integralmente trasferita al PLC.

Successivamente si accede alla fase di avvio ciclo vera e propria, che inizia con la pesatura della materia prima (le bucce di banana), e del loro successivo sminuzzamento.

Segue poi il processo di cottura, il cui scopo è agevolare la successiva lavorazione di frullatura e miscelazione; durante la miscelazione è prevista l'aggiunta di additivi quali glicerolo e acido acetico, che vanno a conferire al vasetto finito caratteristiche di rigidità.

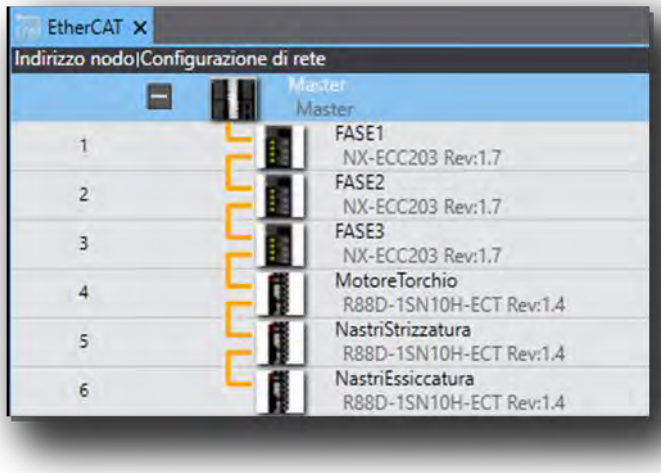
A questo punto il prodotto si presenta come un composto omogeneo, ma ricco di acqua: ecco quindi che nella fase successiva si procede all'eliminazione dell'acqua in eccesso grazie ad un sistema di strizzatura controllata, creando così dei panetti di prodotto, con il giusto grado di umidità e consistenza.

In seguito si procede allo stampo del vasetto per iniezione attraverso una pressa a coclea, nella quale verrà selezionato il giusto stampo (vasi piccoli o grandi) per poi concludere il processo con la fase di essiccatura.

Quest'ultima avviene facendo passare i vasetti all'interno di un forno orizzontale a temperatura costante, ma a velocità controllata in funzione del tempo di compostaggio, impostato inizialmente nella ricetta.

LE FASI DEL PROGETTO

Il progetto si articola in diverse fasi, ciascuna corrispondente ad una pagina dell'HMI. Ad ogni fase corrisponde un determinato macchinario che è stato sviluppato in questo progetto cercando di attenersi a quello che sono i controlli e le automazioni presenti in un ipotetico macchinario reale, creando al contempo innovazioni produttive rese possibili con la simulazione.



Per lo sviluppo del progetto, è stata utilizzata una CPU NX1P2-9024DT1 e si è ricorso all'uso e configurazione della rete Ethercat nella quale si trovano diversi Ethernet Coupler per la gestione dei vari nodi associati alle varie fasi.

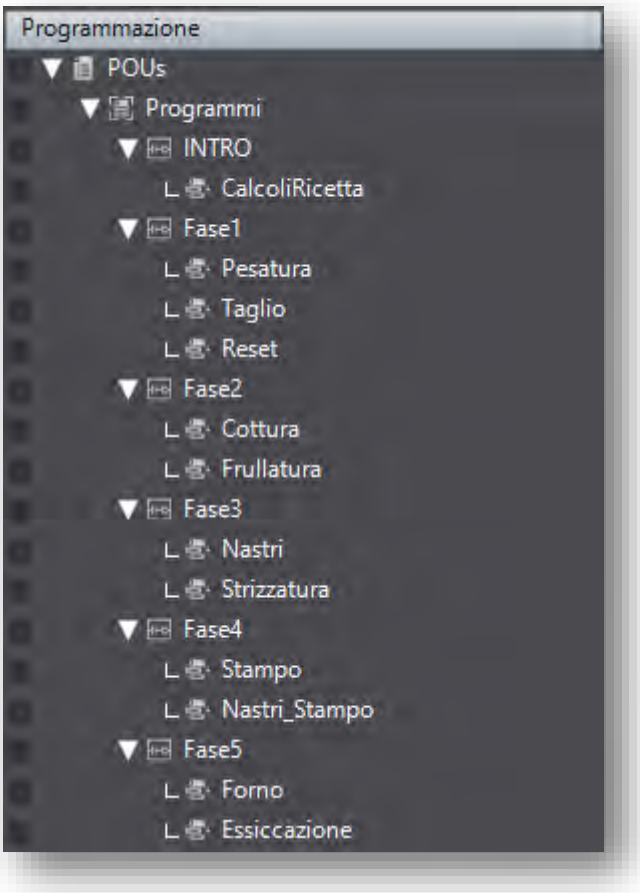
Abbiamo quindi creato diverse sezioni di programma lato PLC, suddivise in nodi facenti capo ai vari ethernet coupler con la configurazione necessaria di I/O digitali o analogici. Inoltre sono state create le sezioni relative ai vari assi per il controllo movimentazione dei rispettivi drive e le relative pagine di supervisione lato HMI. Segue la descrizione delle varie pagine e dei programmi dei macchinari in esse rappresentati.

LA STRUTTURA DEL PROGETTO

La struttura dei programmi lato PLC

I programmi lato PLC sono stati articolati nelle seguenti fasi di lavoro:

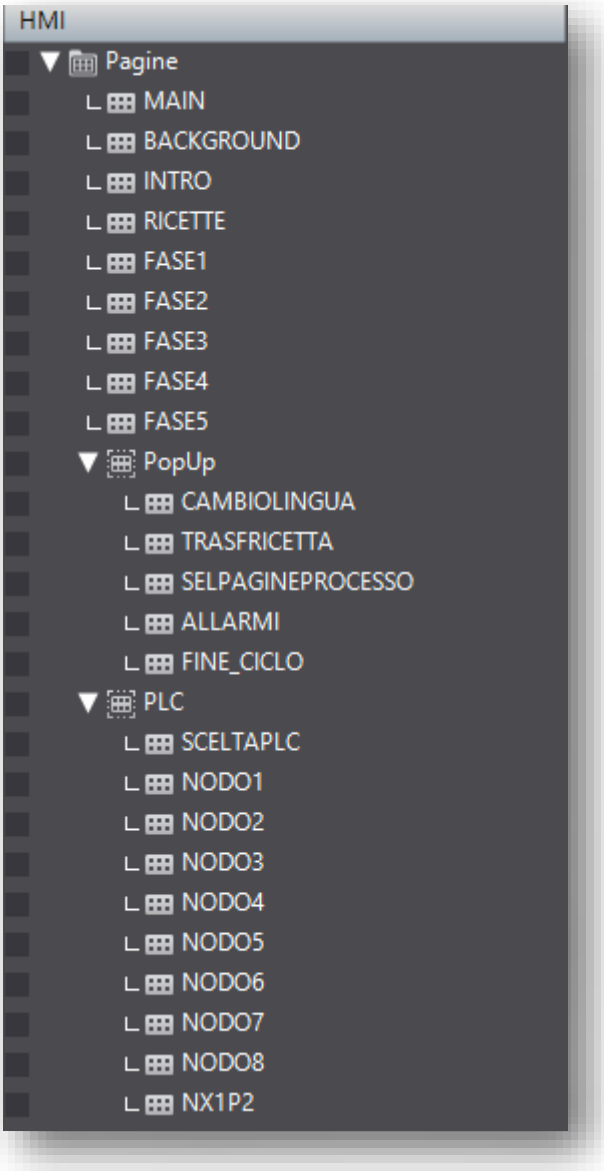
- INTRO
  - Sezione dei calcoli della ricetta;
- FASE1
  - Sezione della pesatura;
  - Sezione del taglio;
- FASE2
  - Sezione della cottura e miscelazione;
  - Sezione della frullatura;
- FASE3
  - Sezione del controllo dei nastri con motion control;
  - Sezione della strizzatura;
- FASE4
  - Sezione dello stampaggio;
  - Sezione controllo nastri;
- FASE5
  - Sezione gestione forno
  - Sezione dell'essiccazione con controllo velocità nastro.



La struttura delle pagine lato HMI

Anche per l'HMI il progetto è stato ripartito in pagine facenti capo alle rispettive fasi.

Si può notare il gruppo pagine PLC all'interno del quale troviamo la pagina con il layout del PLC (NX1P2-9024DT1) e i vari EtherCat Coupler con i rispettivi moduli I/O sia digitali che analogici o SERVO-DRIVE per gli Assi.



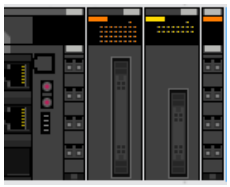
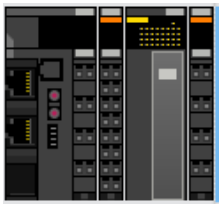
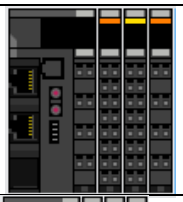
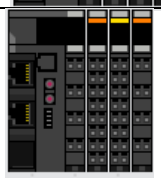
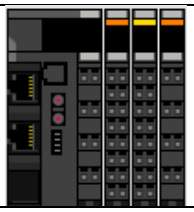
La pagina "Main" è la pagina iniziale di presentazione, nella pagina "INTRO" si impostano le fasi preliminari per la produzione, e la pagina "RICETTE" permette la scelta della tipologia di vasetto con tutti i suoi parametri.

Le restanti pagine richiamano quelle relative ai vari macchinari.

- FASE1
  - Pesatura e taglio
- FASE2
  - Cottura, frullatura e miscelazione
- FASE3
  - Strizzatura
- FASE4
  - Stampo dei vasetti
- FASE5
  - Essiccatura a velocità controllata

Sono presenti inoltre pagine di tipo PopUp per il cambio lingua, l'animazione del trasferimento ricetta al PLC, la pagina allarmi, e l'indicazione di fine ciclo.

Tabella riassuntiva dei componenti utilizzati

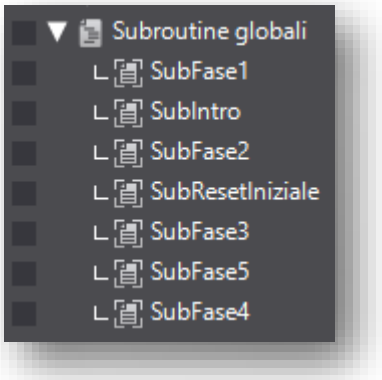
Disposi-tivo/nodo	Funzione	Sigla	Caratteristiche	
PLC	Avvio emer-genza IMPOSTAZIONI INIZIALI	NX1P2-9024DT1	MAC	
NODO 1	FASE1	NX-ECC201	EthernetCoupler	
		NX-ID4442	Digital Imput 8 bit	
		NX-OD4256	Digital Output 8 bit	
		NX-AD2603	Analog Imput 2 Ch	
NODO 2	FASE2	NX-ECC201	EthernetCoupler	
		NX-ID4442	Digital Imput 8 bit	
		NX-OD6256-5	Digital Output 16 Bit	
		NX-AD2603	Analog Imput 2 Ch	
NODO 3	FASE3	NX-ECC201	EthernetCoupler	
		NX-ID4442	Digital Imput 8 bit	
		NX-OD4256	Digital Output 8 bit	
NODO 4	Fase4	NX-ECC201	EthernetCoupler	
		NX-ID4442	Digital Imput 8 bit	
		NX-ID4442	Digital Imput 8 bit	
		NX- OD4256	Digital Output 8 bit	
NODO 5	FASE5	NX-ECC201	EthernetCoupler	
		NX-ID4442	Digital Imput 8 bit	
		NX- OD4256	Digital Output 8 bit	
		NX-AD2603	Analog Imput 2 Ch	
NODO 6	Motore Torchio	R88D-1SN15H-ECT	THREE PHASE AC200V/1.5Kw SERVO DRIVE	
NODO 7	Nastri Strizza-tura	R88D-1SN15H-ECT	THREE PHASE AC200V/1.5Kw SERVO DRIVE	
NODO 8	Nastri Essicca-tura	R88D-1SN15H-ECT	THREE PHASE AC200V/1.5Kw SERVO DRIVE	

Le pagine dei nodi EtherCat

NODO1	NODO2
NODO3	**NODO4**
NODO5	**NODO6**
NODO7	**NODO8**

Le Subroutine globali

Per le animazioni e la gestione di tutto il processo produttivo (lato HMI), sono state create diverse subroutine, ognuna con le animazioni relative ai macchinari e alle fasi da SubFase1 a SubFase5 gestiti da quello specifico nodo come visibili nella figura a lato.



Nella SubResetIniziale si procede con l'azzeramento o l'impostazione, ove necessario, dei valori di default di tutte le variabili del progetto, sia all'inizializzazione che a fine ciclo, mentre nella SubIntro si gestiscono le animazioni e i dati della pagina ricette, nonché il VisualFeedback dei pulsanti di selezione del progetto.

LE PAGINE “COMUNI” DEL PROGETTO

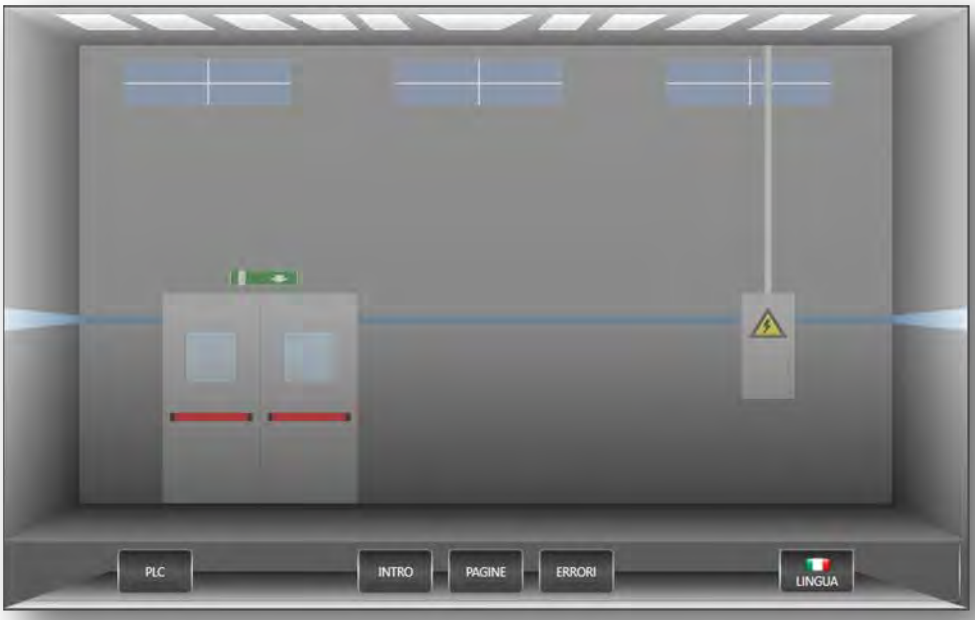
In ogni pagina del progetto è presente un pulsante nella parte bassa riportante il nome della pagina, nodo o fase attuale, la sua pressione ricorderà all’utente con un tooltip quale pagina, nodo o processo si sta visualizzando.

La pagina iniziale MAIN

All’avvio del progetto, si apre la pagina “MAIN” da cui l’utente può premere il pulsante “START” per avviare la simulazione.

Un messaggio ricorda che in qualunque momento è possibile premere F1Key per tornare a questa pagina.

La pagina di BACKGROUND



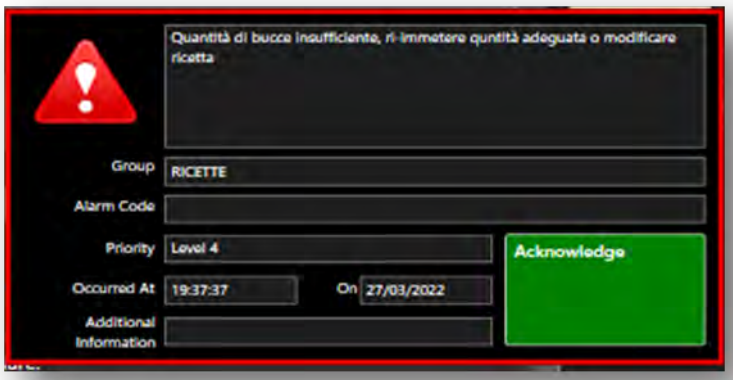
Tale pagina fa da background a diverse pagine del progetto; in essa sono contenuti i seguenti pulsanti:

- PAGINE: permette di selezionare la pagina che si desidera visualizzare;
- LINGUA: permette di cambiare la lingua del sistema tra inglese, italiano e spagnolo;
- PLC: visualizza i pulsanti per vedere l'NX1P2-9024DT1 o i Nodi EtherCat;
- INTRO: permette di ritornare alla pagina intro.

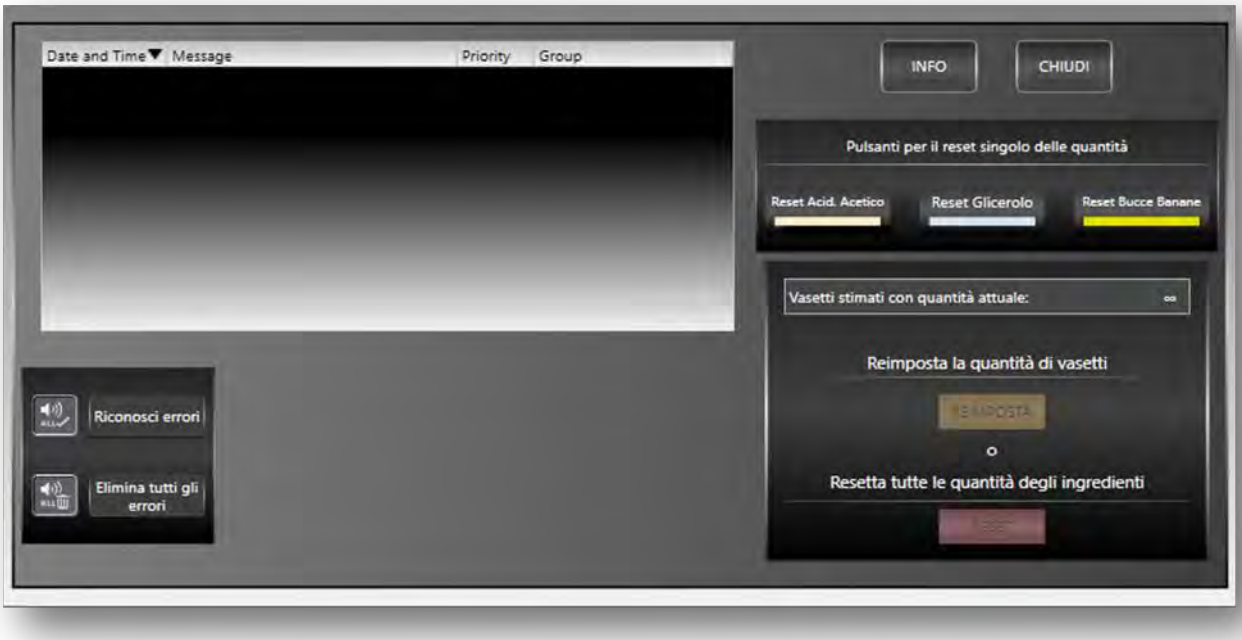
La pagina ALLARMI

La pagina allarmi permette all'operatore di verificare che il sistema sia in regola.

La suddetta schermata comparirà non appena l'operatore cercherà di impostare una quantità di vasetti impossibile da soddisfare, per via delle quantità residue degli ingredienti, con apertura della finestra di riconoscimento del sistema HMI.



Una volta premuto su "Aknowledge" si potranno fare varie scelte: resettare tutte le quantità premendo il pulsante rosso "RESET"; reimpostare il valore stimato di vasetti, in relazione alle bucce residue, tramite il pulsante arancione "REIMPOSTA"; resettare le singole quantità premendo sui tre pulsanti al di sopra del riquadro di Reimpostazione.

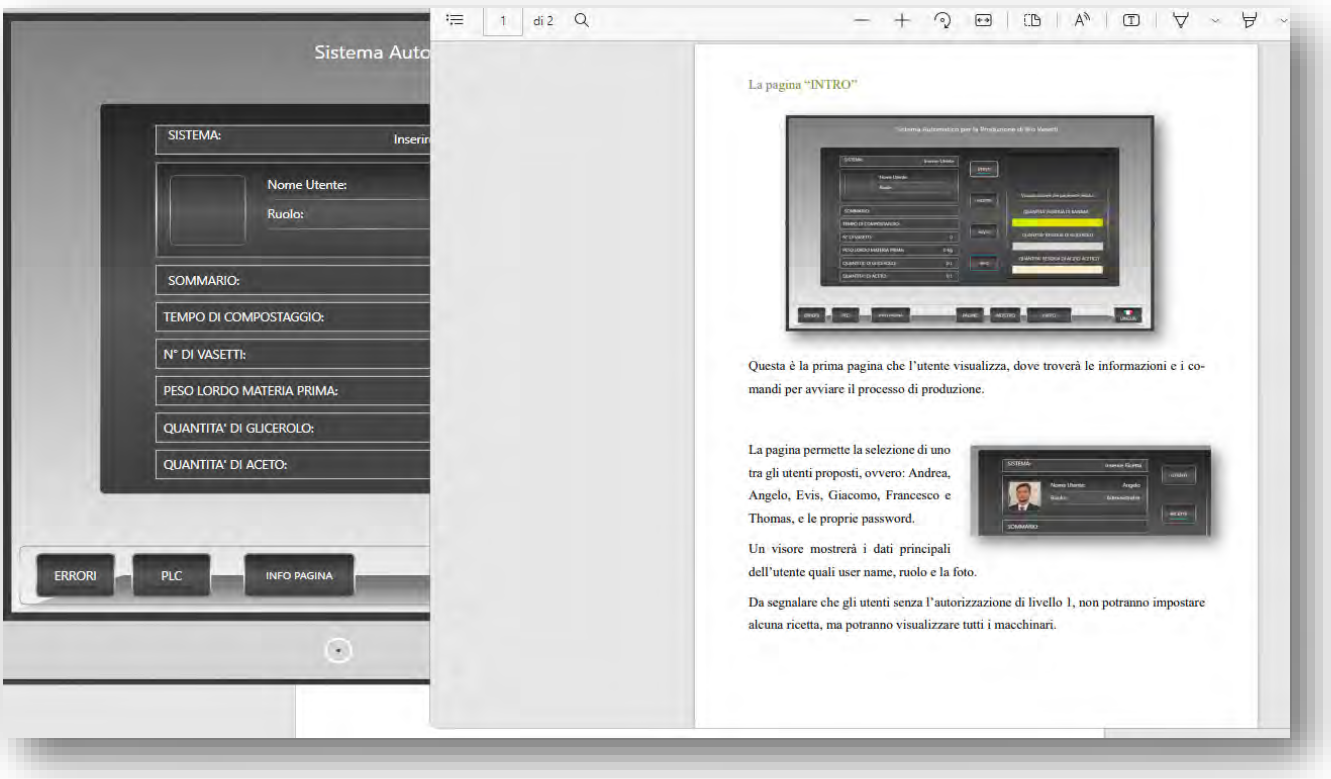


Se uno degli errori possibili dovesse sussistere, il sistema rimarrebbe bloccato ed un messaggio di sistema avvertirebbe dell'errore.

I pulsanti "Reimposta" e "RESET" sono disabilitati quando inizia un nuovo ciclo e quando non si ha il livello di accesso 1.

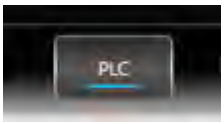
È presente inoltre un pulsante "INFO" che descrive il funzionamento dei pulsanti.

L’help richiamabile con il pulsante InfoPagina



All’interno di ogni pagina la pressione del pulsante “INFO PAGINA” richiama un file in formato pdf con le indicazioni di utilizzo e una descrizione del macchinario rappresentato in tale pagina, scorrendo il file si possono trovare le stesse informazioni tradotte nelle altre due lingue (Inglese e Spagnolo) previste nel progetto.

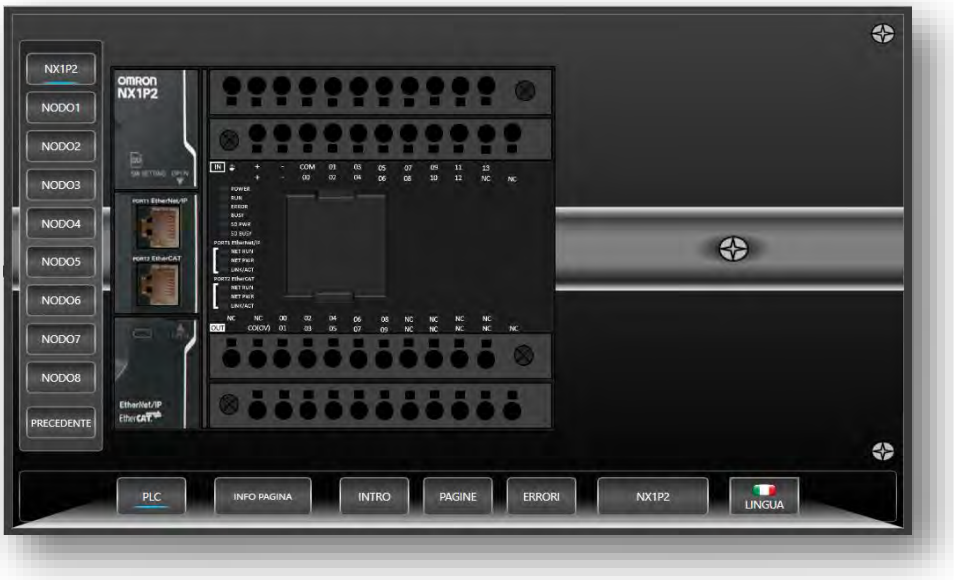
Le Pagine del PLC



Le pagine PLC raggiungibili premendo sull'apposito pulsante "PLC" conducono alle varie pagine rappresentanti i nodi con le relative schede Coupler Ethercat e slice I/O

All'interno di ogni pagina sono presenti appositi pulsanti posti a sinistra premendo i quali si può accedere al monitoraggio dei vari nodi costituenti il progetto, mentre agendo sui pulsanti posti nella parte bassa è possibile tornare alla pagina introduttiva del progetto, accedere alle varie pagine dei macchinari, accedere alla pagina degli errori o cambiare lingua.

Pagina NX1P2



In questa pagina è possibile monitorare il funzionamento del controllore MAC NX1P2.

NODO1

In questa pagina è possibile effettuare il monitoraggio delle schede del nodo1 della fase di pesatura e taglio.

Schede aggiuntive utilizzate:			
NX-ECC201	EthernetCoupler	NX-OD4256	Digital Output 8 bit
NX-ID4442	Digital Imput 8 bit	NX-AD2603	Analog Imput 2 Ch

NODO2

In questa pagina è possibile effettuare il monitoraggio delle schede del nodo2 della fase di cottura e miscelazione.

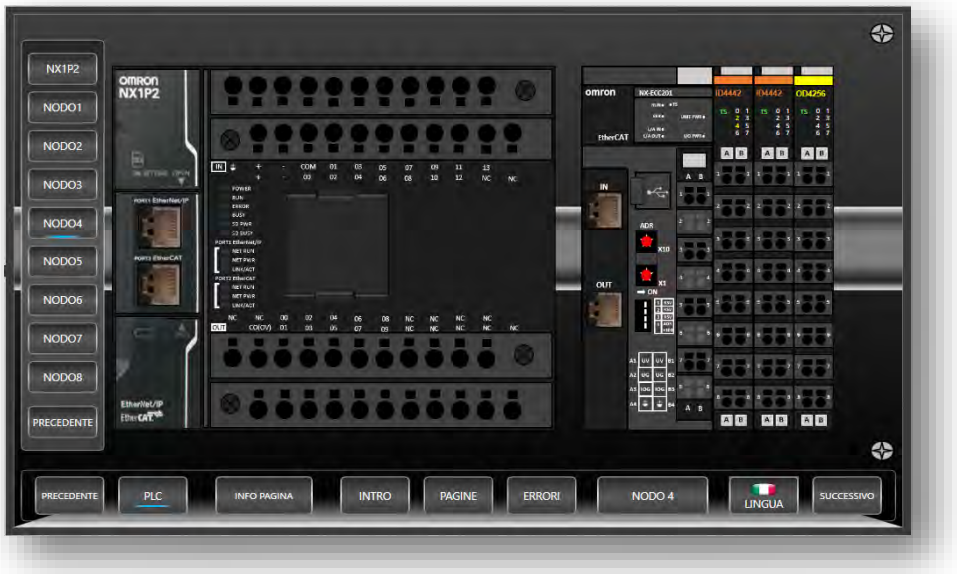
Schede aggiuntive utilizzate:			
NX-ECC201	EthernetCoupler	NX-ID4442	Digital Imput 8 bit
NX-OD6256-5	Digital Output 16 Bit	NX-AD2603	Analog Imput 2 Ch

NODO3

In questa pagina è possibile effettuare il monitoraggio delle schede del nodo3 della fase di strizzatura.

Schede aggiuntive utilizzate:			
NX-ECC201	EthernetCoupler	NX-ID4442	Digital Imput 8 bit
NX-OD4256	Digital Output 8 bit		

NODO4



In questa pagina è possibile effettuare il monitoraggio delle schede del nodo4 della fase di stampo dei vasetti.

Schede aggiuntive utilizzate:			
NX-ECC201	EthernetCoupler	NX-ID4442	Digital Imput 8 bit
NX-ID4442	Digital Imput 8 bit	NX- OD4256	Digital Output 8 bit

NODO5

In questa pagina è possibile effettuare il monitoraggio delle schede del nodo5 della fase di essiccatura a velocità controllata.

Schede aggiuntive utilizzate:			
NX-ECC201	EthernetCoupler	NX-ID4442	Digital Imput 8 bit
NX- OD4256	Digital Output 8 bit	NX-AD2603	Analog Imput 2 Ch

NODO6

In questa pagina è possibile effettuare il monitoraggio del drive del nodo6 relativo all'asse del motore del Torchio.

Schede utilizzate	
R88D-1SN15H-ECT	THREE PHASE AC200V/1.5Kw SERVO DRIVE

NODO7

In questa pagina è possibile effettuare il monitoraggio del drive del nodo7 relativo all'asse del motore dei nastri della fase di strizzatura.

Schede utilizzate	
R88D-1SN15H-ECT	THREE PHASE AC200V/1.5Kw SERVO DRIVE

NODO8

In questa pagina è possibile effettuare il monitoraggio del drive del nodo8 relativo all'asse del motore dei nastri della fase di essiccatura.

Schede utilizzate	
R88D-1SN15H-ECT	THREE PHASE AC200V/1.5Kw SERVO DRIVE

La pagina “INTRO”

Questa è la prima pagina che l’utente visualizza, dove troverà le informazioni e i comandi per avviare il processo di produzione.

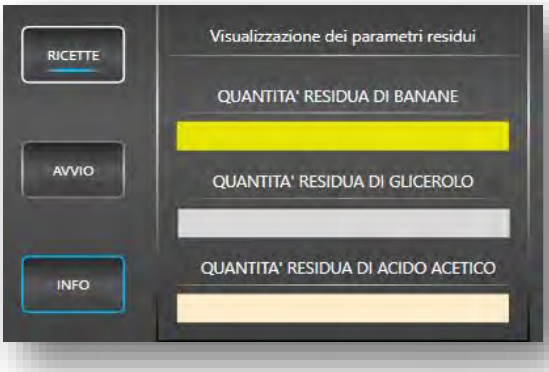
La pagina permette la selezione di uno tra gli utenti proposti, ovvero: Andrea, Angelo, Evis, Giacomo, Francesco e Thomas, con le rispettive password.

Un visore mostrerà i dati principali dell’utente quali user name, ruolo e la foto.

Da segnalare che gli utenti senza l’autorizzazione di livello 1 non potranno impostare alcuna ricetta, ma potranno visualizzare tutti i macchinari.

Una volta impostata la ricetta e trasferita al PLC, verranno trascritti i quantitativi in un sommario posto al di sotto della targhetta utente con un riepilogo di cosa è stato impostato.

Nella parte destra della pagina sono visibili le quantità necessarie alla produzione dei vasetti aggiornate in tempo reale.

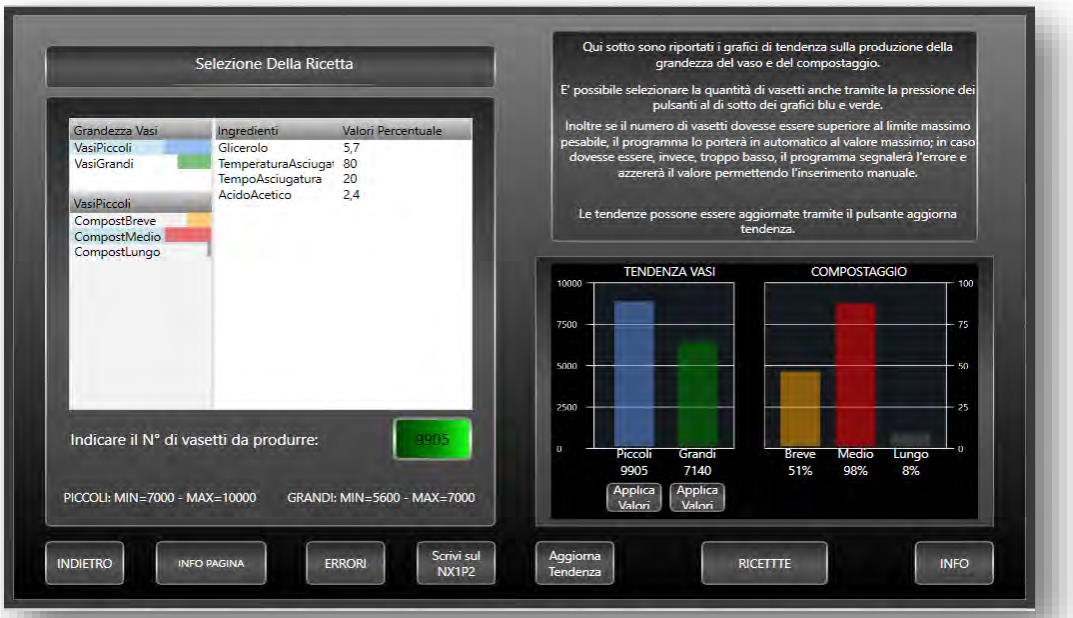


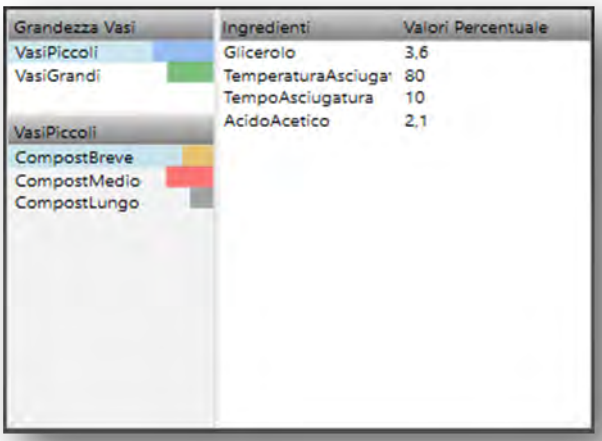
Un pulsante “INFO”, permette di consultare sempre le informazioni necessarie all’operatore per andare avanti.

Il pulsante “AVVIO” condurrà alla pagina “FASE1” per poter avviare il ciclo di produzione.

La pagina “Ricette”

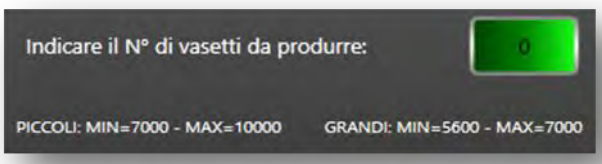
Questa pagina permette all’operatore di scegliere la tipologia e la quantità di vasetti da produrre.





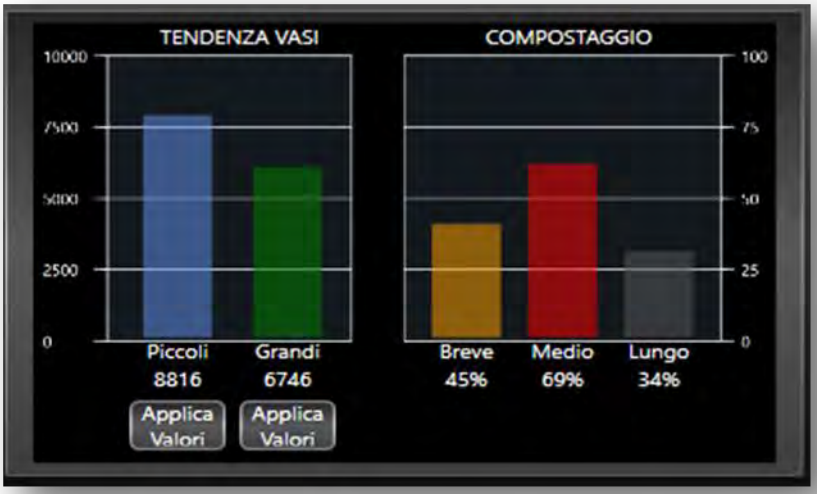
Nella parte sinistra si trova il menù di selezione della ricetta, il quale illustrerà la scelta della grandezza dei vasi, le loro caratteristiche di compostaggio e i relativi quantitativi di ingredienti e tempi di asciugatura.

Un tastierino numerico permette l’impostazione delle quantità di vasetti ed un’indicazione mostra le quantità consigliate per la produzione, sulla base dei dati di mercato.



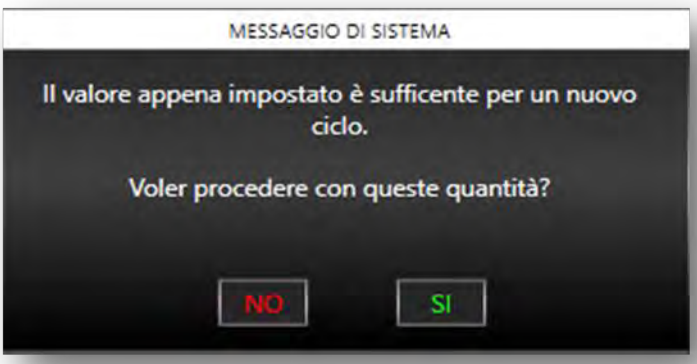
Sulla destra è presente un grafico aggiornabile dall’apposito pulsante “AGGIORNA TENDENZA”; come dice il nome, questi grafici (Vasetti e compostaggi) cercano di rappresentare un andamento di

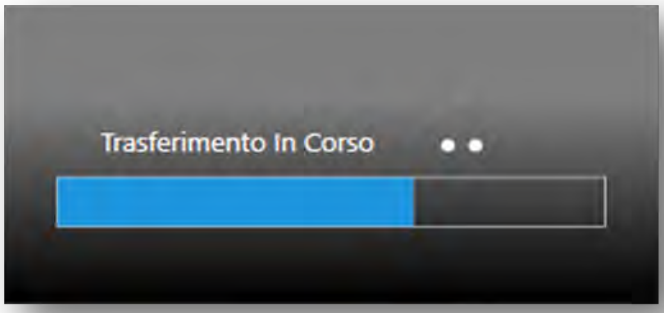
mercato nell'ultimo periodo in maniera casuale. Al di sotto delle colonne dei vasetti, sono presenti i pulsanti "APPLICA VALORI" che permettono di inserire automaticamente il valore indicato.



In caso le quantità impostate non dovessero rispettare i massimali della cella di carico o il valore minimo scelto, onde evitare sprechi energetici e di tempo, il sistema non permetterà che il processo inizi. Difatti comparirà un messaggio, diverso per l'avviso corrente, che darà due sole opzioni: la prima, premendo il pulsante "IGNORA ERRORI", lascerà invariati i vasetti e sbloccherà il pulsante per procedere; la seconda, premendo il pulsante "PRESA VISIONE", azzererà il numero di vasi impostati.

Se invece i vasetti vengono impostati dagli allarmi, comparirà un messaggio di sistema differente, che chiederà semplicemente se si vuole procedere con quelle quantità oppure no; se "Sì", si procederà normalmente, se "No" si azzererà il numero di vasetti. Una volta che il tutto è stato impostato correttamente si potrà trasferire la richiesta al PLC tramite il pulsante "Scrivi su NX1P2", il quale, dopo aver mostrato un caricamento, ricondurrà l'operatore alla pagina "INTRO".





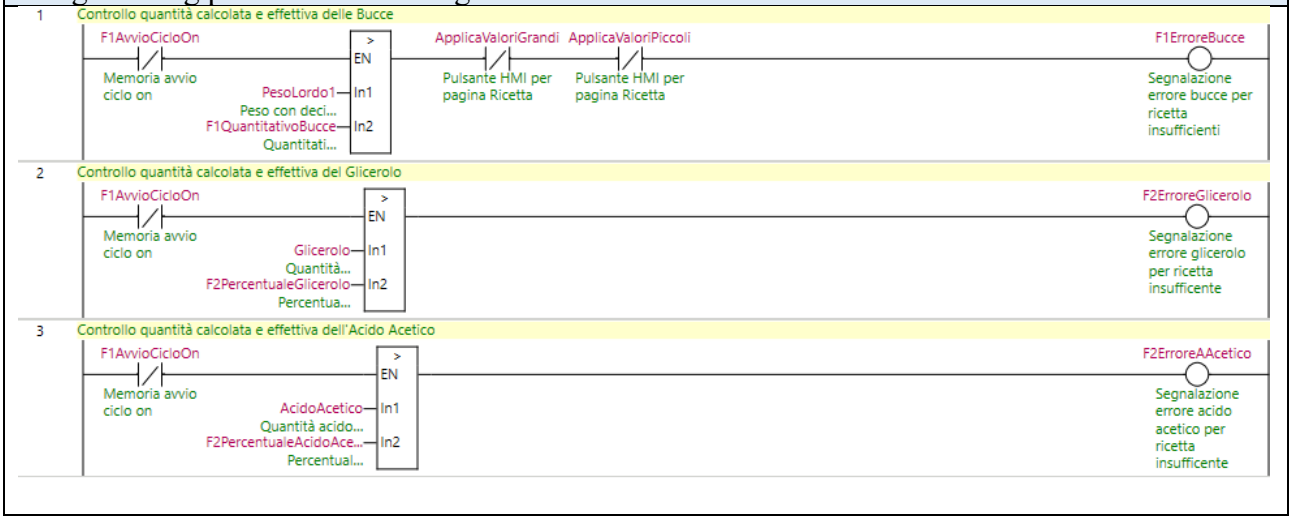
Il pulsante appena nominato garantisce una sicurezza molto elevata, perché viene disabilitato ogni volta che non verrà rispettata una determinata condizione. Le condizioni che lo disabilitano sono le seguenti: numero vasetti pari a 0, quantità di vasetti superiore o inferiore ai valori prestabiliti, errori sulle quantità residue ancora presenti ed inizio di un nuovo ciclo di produzione.

Il ladder della pagina Ricette:

Rung 0 - Blocco di testo strutturato per i calcoli della ricetta

```
0  St per calcoli
1  //Calcoli per le varie quantità utilizzati
2  IF F1ErroreBucce=FALSE OR Reimpostazione_Vasetti=FALSE THEN
3  PesoLordo:=(Vasetti*CostanteVasetti)/10000;
4  Glicerolo:=(CostanteGlicerolo*PesoLordo)/10;
5  AcidoAcetico:=(CostanteAAcetico*PesoLordo)/10;
6  //Conversione per il valore della cella di carico
7  PesoLordo1:=trunc(PesoLordo);
8  //Calcolo vasetti stimati
9  Vasetti1:=(F1QuantitativoBucce*10000)/CostanteVasetti;
10 END_IF;
11 //Quantità effettiva delle bucce
12 F1QuantitativoBucce:=100-F1SvuotImbuto;
13 //Calcolo vasetti con quantità residue
14   If Reimpostazione_Vasetti=True THEN
15      Vasetti:=(F1QuantitativoBucce*10000)/CostanteVasetti;
16   ELSE
17      Vasetti:=Vasetti;
18   END_IF;
```

Rung 1- Rung per l'attivazione degli errori



Subroutine delle pagine Ricette e Intro:

Script per il cambio di costante nel calcolo dei vasetti da produrre

```
Sub Caricamento_Barra
'*******************************************
' Cambio del valore della costante vasetti
'*******************************************
   If nometemplate="VasiPiccoli" Then
      CostanteVasetti=100
   Else If nometemplate="VasiGrandi"
      CostanteVasetti=142.5
   End If
```

Script per il caricamento della barra di trasferimento

```
'*************************************
' Gestione del Caricamento del Trasf.
'*************************************
   If _HMI_CurrentPage="TRASFRICETTA" Then
      Caricamento=Caricamento+5
   End If
```

Script per la chiusura del popup di trasferimento ricetta

```
'****************************
' Chiusura del Caricamento
'****************************
   If Caricamento=100 Then
      ClosePage ("TRASFRICETTA")
      PulsanteRicette=False
      Sommario=True
      Caricamento=0
      _HMI_CurrentPage="INTRO"
   End If
End Sub
```

Script per la visualizzazione delle istruzioni di sistema

```

'****************************
' Sub per istruzioni pagina
'****************************
Sub Nomi
If _HMI_CurrentUserName="" Then
   TestoVisualizzato="Inserire Utente"
Else If _HMI_CurrentUserName<>""And Vasetti=0 Then
   TestoVisualizzato="Inserire Ricetta"
Else If Vasetti<>0 Then
   TestoVisualizzato="Attesa d'Avvio"
End If
End Sub

```

Script per la visualizzazione di nome e ruolo utente

```
'*******************************************
' Sub Visualizzazione ruoli e nomi utenti
'*******************************************
Sub Utenti
   If _HMI_CurrentUserName="" Then
      NomeUtente=""
      RuoloUtente=""
   Else If _HMI_CurrentUserName<>"" Then
      NomeUtente=_HMI_CurrentUserName
      RuoloUtente=_HMI_CurrentUserRole
   End If
End Sub
```

Sub per trasferire la ricetta al PLC

```
'Sub per scrivere la ricetta nel PLC
Sub ScriviRicettaSuPLC
WriteRecipeToController(RecipeViewer0.SelectedTemplate, RecipeViewer0.SelectedRecipe)
End Sub
```

Sub per la comparsa dell'errore nella pagina ricette

```
'*************************************************
'Sub per comparsa finestra errori nelle ricette
'*************************************************
Sub Errore_Ricette
If IgnoraErrori=False Then
   If (Vasetti <7000 Or Vasetti>10000) And Vasetti<>0 And nometemplate="VasiPiccoli" Then
      Errore_RP=True
   Else If (Vasetti>7000) And (Vasetti<10000) And nometemplate="VasiPiccoli" Then
      Errore_RP=False
   End If
      If (Vasetti <5600 Or Vasetti>7000) And Vasetti<>0 And nometemplate="VasiGrandi" Then
      Errore_RP=True
   Else If (Vasetti>5600) And (Vasetti<7000) And nometemplate="VasiGrandi" Then
      Errore_RP=False
   End If
End If
End Sub
```

Sub per visualizzare la ricetta

```
6    ' Sub per impostazione del nome della ricetta
7    Sub Nome
8        nometemplate=(RecipeViewer0.SelectedTemplate)
9        NomeRicetta=(RecipeViewer0.SelectedRecipe)
10   End Sub
```

Sub per creare un trend di vendita random dei vasetti

```
12   ' Sub per creare i grafici di tendenza
13   Sub Trend
14       Dim rndl As New Random()
15       VenditaVasiPiccoli= rndl.Next(6500, 10000)
16       VenditaVasiGrandi= rndl.Next(5000, 8000)
17       CompBreve= rndl.Next(0, 100)
18       CompMedio= rndl.Next(0, 100)
19       CompLungo= rndl.Next(0, 100)
20   End Sub
```

Sub per trascrivere la quantità di vasetti piccoli dal trend

```
21   'Sub per sovrascrivere i vasetti con quelli del trend
22   Sub ScriviValoriTrendPiccoli
23       Vasetti=VenditaVasiPiccoli
24   End Sub
```

Sub per trascrivere la quantità di vasetti grandi dal trend e limitazione a 7000

```
25   Sub ScriviValoriTrendGrandi
26       If VenditaVasiGrandi>7000 Then
27           Vasetti=7000
28       Else
29           Vasetti=VenditaVasiGrandi
30       End If
31   End Sub
```

Sub per il feedback dei pulsanti

```
'****************************
'Sub del feedback pulsanti
'****************************
Sub feedback_pulsanti
Select Case  _HMI_CurrentPage
   Case "FASE1"
        feedback_Fase1=True
        feedback_Fase2=False
        feedback_Fase3=False
        feedback_Fase4=False
        feedback_Fase5=False
        feedback_Ricette=False
        feedback_Intro=False
        feedback_nx1p2=False
        feedback_NODO1=False
        feedback_NODO2=False
        feedback_NODO3=False
        feedback_NODO4=False
        feedback_NODO5=False
        feedback_NODO6=False
        feedback_NODO7=False
        feedback_NODO8=False
   Case "FASE2"
        feedback_Fase1=False
        feedback_Fase2=True
        feedback_Fase3=False
        feedback_Fase4=False
        feedback_Fase5=False
        feedback_Ricette=False
        feedback_Intro=False
        feedback_nx1p2=False
        feedback_NODO1=False
        feedback_NODO2=False
        feedback_NODO3=False
        feedback_NODO4=False
        feedback_NODO5=False
        feedback_NODO6=False
        feedback_NODO7=False
        feedback_NODO8=False
   Case "FASE3"
        feedback_Fase1=False
        feedback_Fase2=False
        feedback_Fase3=True
        feedback_Fase4=False
        feedback_Fase5=False
        feedback_Ricette=False
        feedback_Intro=False
        feedback_nx1p2=False
        feedback_NODO1=False
        feedback_NODO2=False
        feedback_NODO3=False
        feedback_NODO4=False
        feedback_NODO5=False
        feedback_NODO6=False
        feedback_NODO7=False
        feedback_NODO8=False
   Case "FASE4"
        feedback_Fase1=False
        feedback_Fase2=False
        feedback_Fase3=False
        feedback_Fase4=True
        feedback_Fase5=False
        feedback_Ricette=False
        feedback_Intro=False
        feedback_nx1p2=False
        feedback_NODO1=False
        feedback_NODO2=False
        feedback_NODO3=False
        feedback_NODO4=False
        feedback_NODO5=False
        feedback_NODO6=False
        feedback_NODO7=False
        feedback_NODO8=False
   Case "FASE5"
        feedback_Fase1=False
        feedback_Fase2=False
        feedback_Fase3=False
        feedback_Fase4=False
        feedback_Fase5=True
        feedback_Ricette=False
        feedback_Intro=False
        feedback_nx1p2=False
        feedback_NODO1=False
        feedback_NODO2=False
        feedback_NODO3=False
        feedback_NODO4=False
        feedback_NODO5=False
        feedback_NODO6=False
        feedback_NODO7=False
        feedback_NODO8=False
   Case "RICETTE"
        feedback_Fase1=False
        feedback_Fase2=False
        feedback_Fase3=False
        feedback_Fase4=False
        feedback_Fase5=False
        feedback_Ricette=True
        feedback_Intro=False
        feedback_nx1p2=False
        feedback_NODO1=False
        feedback_NODO2=False
        feedback_NODO3=False
        feedback_NODO4=False
        feedback_NODO5=False
        feedback_NODO6=False
        feedback_NODO7=False
        feedback_NODO8=False
      Case "INTRO"
        feedback_Fase1=False
        feedback_Fase2=False
        feedback_Fase3=False
        feedback_Fase4=False
        feedback_Fase5=False
        feedback_Ricette=False
        feedback_Intro=True
        feedback_nx1p2=False
        feedback_NODO1=False
        feedback_NODO2=False
        feedback_NODO3=False
        feedback_NODO4=False
        feedback_NODO5=False
        feedback_NODO6=False
        feedback_NODO7=False
        feedback_NODO8=False
     Case "NX1P2"
        feedback_Fase1=False
        feedback_Fase2=False
        feedback_Fase3=False
        feedback_Fase4=False
        feedback_Fase5=False
        feedback_Ricette=False
        feedback_Intro=False
        feedback_nx1p2=True
        feedback_NODO1=False
        feedback_NODO2=False
        feedback_NODO3=False
        feedback_NODO4=False
        feedback_NODO5=False
        feedback_NODO6=False
        feedback_NODO7=False
        feedback_NODO8=False
      Case "NODO1"
        feedback_Fase1=False
        feedback_Fase2=False
        feedback_Fase3=False
        feedback_Fase4=False
        feedback_Fase5=False
        feedback_Ricette=False
        feedback_Intro=False
        feedback_nx1p2=False
        feedback_NODO1=True
        feedback_NODO2=False
        feedback_NODO3=False
        feedback_NODO4=False
        feedback_NODO5=False
        feedback_NODO6=False
        feedback_NODO7=False
        feedback_NODO8=False
      Case "NODO2"
        feedback_Fase1=False
        feedback_Fase2=False
        feedback_Fase3=False
        feedback_Fase4=False
        feedback_Fase5=False
        feedback_Ricette=False
        feedback_Intro=False
        feedback_nx1p2=False
        feedback_NODO1=False
        feedback_NODO2=True
        feedback_NODO3=False
        feedback_NODO4=False
        feedback_NODO5=False
        feedback_NODO6=False
        feedback_NODO7=False
        feedback_NODO8=False
      Case "NODO3"
        feedback_Fase1=False
        feedback_Fase2=False
        feedback_Fase3=False
        feedback_Fase4=False
        feedback_Fase5=False
        feedback_Ricette=False
        feedback_Intro=False
        feedback_nx1p2=False
        feedback_NODO1=False
        feedback_NODO2=False
        feedback_NODO3=True
        feedback_NODO4=False
        feedback_NODO5=False
        feedback_NODO6=False
        feedback_NODO7=False
        feedback_NODO8=False
      Case "NODO4"
        feedback_Fase1=False
        feedback_Fase2=False
        feedback_Fase3=False
        feedback_Fase4=False
        feedback_Fase5=False
        feedback_Ricette=False
        feedback_Intro=False
        feedback_nx1p2=False
        feedback_NODO1=False
        feedback_NODO2=False
        feedback_NODO3=False
        feedback_NODO4=True
        feedback_NODO5=False
        feedback_NODO6=False
        feedback_NODO7=False
        feedback_NODO8=False
```

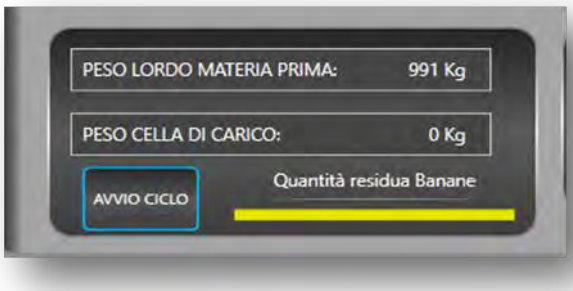
```
        Case "NODO5"
            feedback_Fase1=False
            feedback_Fase2=False
            feedback_Fase3=False
            feedback_Fase4=False
            feedback_Fase5=False
            feedback_Ricette=False
            feedback_Intro=False
            feedback_nx1p2=False
            feedback_NODO1=False
            feedback_NODO2=False
            feedback_NODO3=False
            feedback_NODO4=False
            feedback_NODO5=True
            feedback_NODO6=False
            feedback_NODO7=False
            feedback_NODO8=False
        Case "NODO6"
            feedback_Fase1=False
            feedback_Fase2=False
            feedback_Fase3=False
            feedback_Fase4=False
            feedback_Fase5=False
            feedback_Ricette=False
            feedback_Intro=False
            feedback_nx1p2=False
            feedback_NODO1=False
            feedback_NODO2=False
            feedback_NODO3=False
            feedback_NODO4=False
            feedback_NODO5=False
            feedback_NODO6=True
            feedback_NODO7=False
            feedback_NODO8=False
        Case "NODO7"
            feedback_Fase1=False
            feedback_Fase2=False
            feedback_Fase3=False
            feedback_Fase4=False
            feedback_Fase5=False
            feedback_Ricette=False
            feedback_Intro=False
            feedback_nx1p2=False
            feedback_NODO1=False
            feedback_NODO2=False
            feedback_NODO3=False
            feedback_NODO4=False
            feedback_NODO5=False
            feedback_NODO6=False
            feedback_NODO7=True
            feedback_NODO8=False
        Case "NODO8"
            feedback_Fase1=False
            feedback_Fase2=False
            feedback_Fase3=False
            feedback_Fase4=False
            feedback_Fase5=False
            feedback_Ricette=False
            feedback_Intro=False
            feedback_nx1p2=False
            feedback_NODO1=False
            feedback_NODO2=False
            feedback_NODO3=False
            feedback_NODO4=False
            feedback_NODO5=False
            feedback_NODO6=False
            feedback_NODO7=False
            feedback_NODO8=True
        End Select
End Sub
```

LE PAGINE E I LADDER DEI MACCHINARI

La pagina “FASE1 – Pesatura”

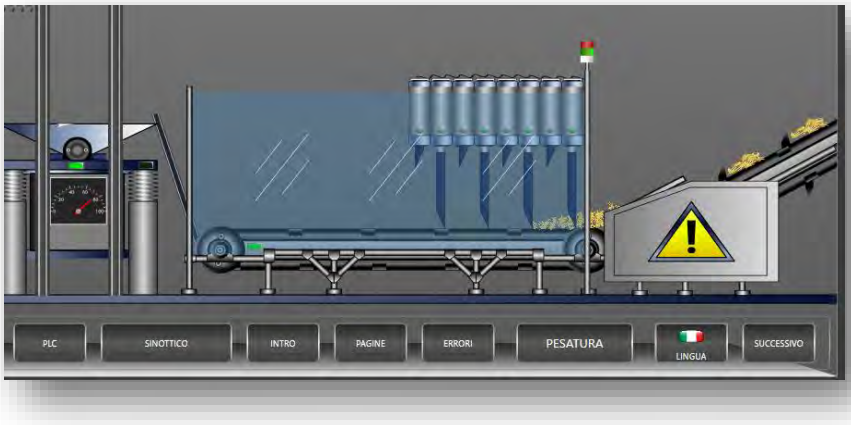
In questa pagina vengono rappresentate le operazioni di Pesatura e Taglio.

Una volta impostata la ricetta, l’operatore potrà avviare la produzione tramite il pulsante “Avvio Ciclo”; il sistema è stato progettato in modo da poter garantire svariati cicli di lavoro riavviabili manualmente dall’utente alla fine di ogni produzione. Una volta avviato il ciclo agendo sull’apposito pulsante, (il bordo lampeggiante in blu ricorderà all’operatore la necessità di procedere con tale azione) un’elettrovalvola attiverà il pistone posto al di sotto della tramoggia contenente le bucce: queste ultime cadranno quindi su un piatto posizionato su di una cella di carico, come mostrato nella figura a lato, che peserà in Kg la quantità di bucce come preimpostato precedentemente dalla ricetta; una volta raggiunta la quantità giusta, l’elettrovalvola verrà disattivata ed il piatto di raccolta si muoverà



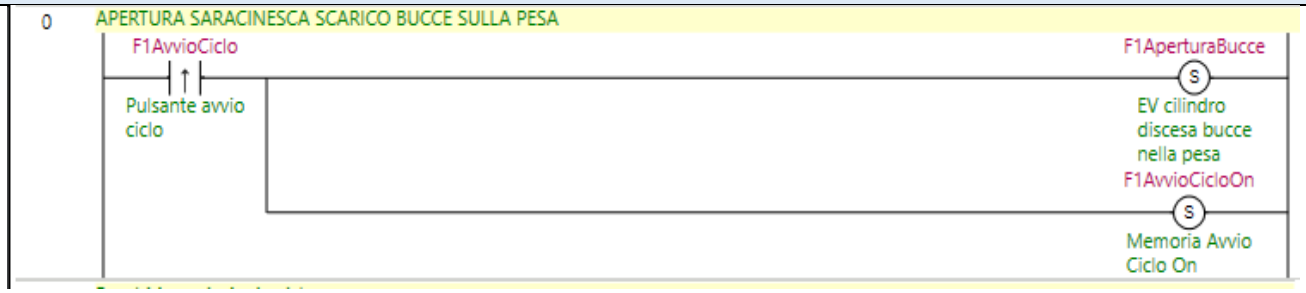
verso destra per poter rovesciare le bucce sul nastro a fianco. Il visore sulla destra evidenzierà le fasi attive e due visualizzatori dati mostreranno il peso impostato ed il peso raggiunto.

Le bucce, una volta rovesciate, si dirigeranno verso delle lame che, attivandosi con ritmi differenti, sminuzzeranno le bucce in tanti pezzi per essere condotte alla fase successiva.

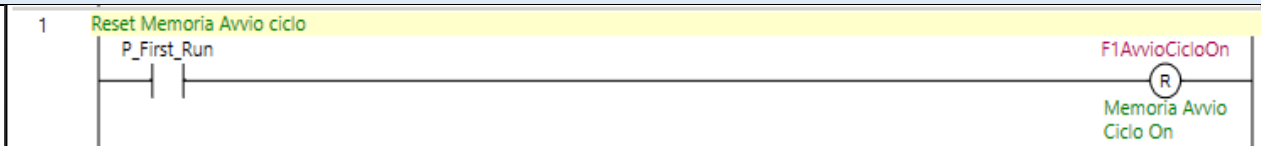


Programma ladder della sezione Pesatura:

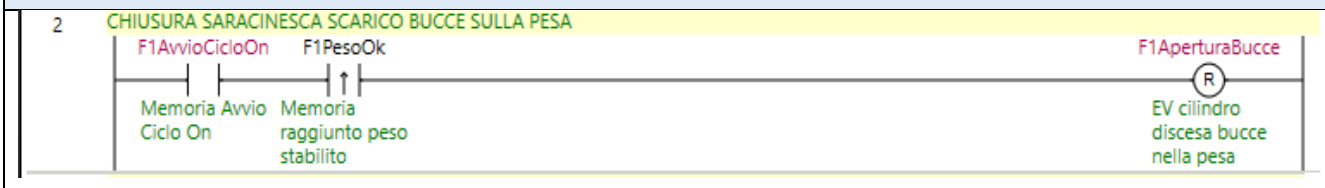
Rung 0 - Rung per l'apertura della saracinesca del contenitore delle bucce



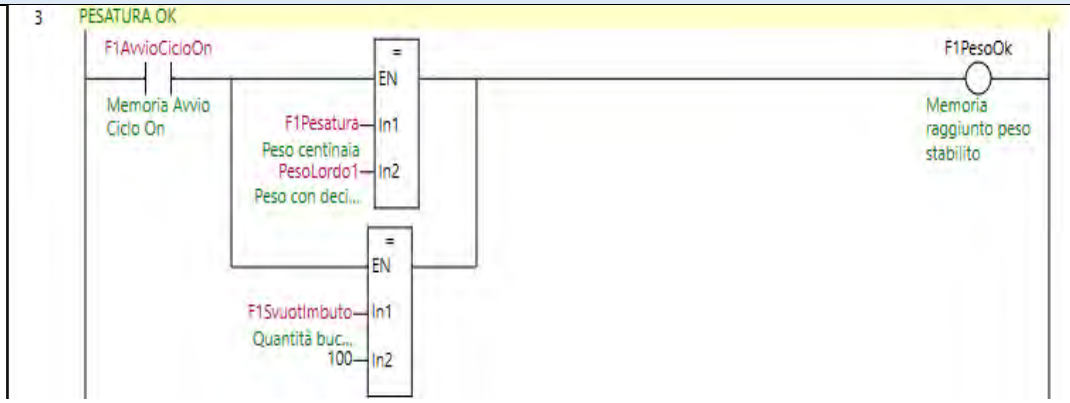
Rung 1 - Rung per tenere memoria del ciclo di lavoro



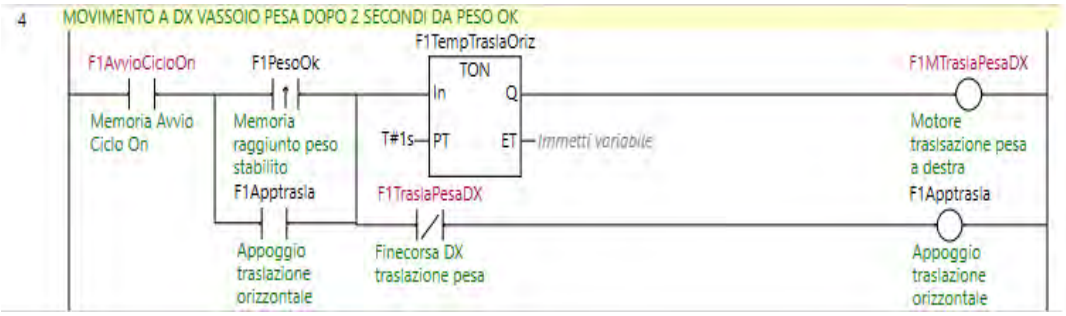
Rung 2 - Rung per la chiusura della saracinesca del contenitore delle bucce



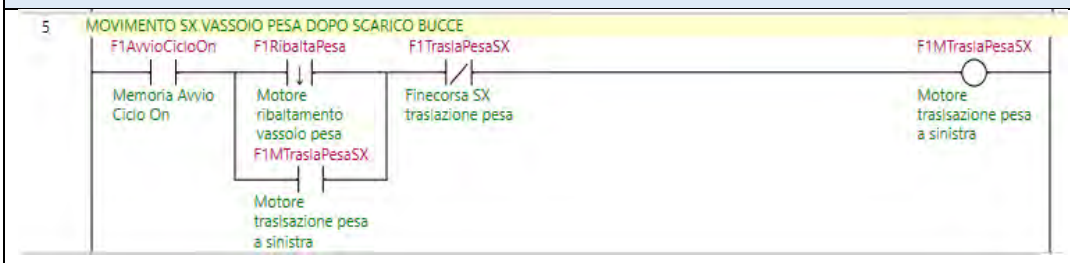
Rung 3 - Rung per la gestione del peso raggiunto



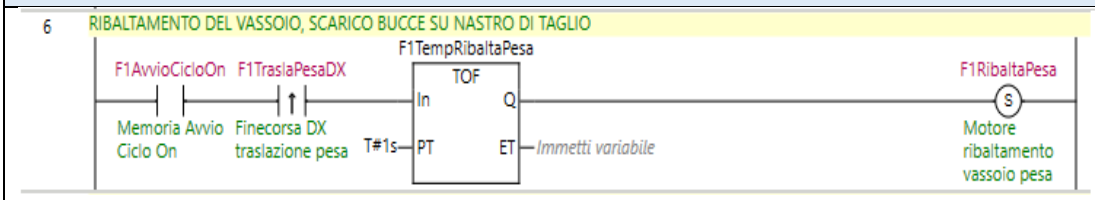
Rung 4 - Rung per il movimento a destra del piatto dopo che sono passati 2 secondi



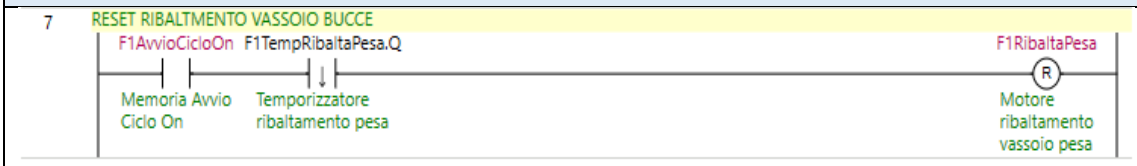
Rung 5 - Rung per il movimento del piatto a sinistra dopo aver riversato le bucce sul nastro



Rung 6 - Rung per il ribaltamento del piatto

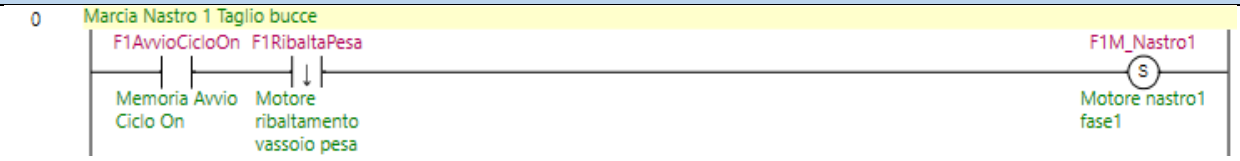


Rung 7 - Rung per il reset della variabile del ribaltamento



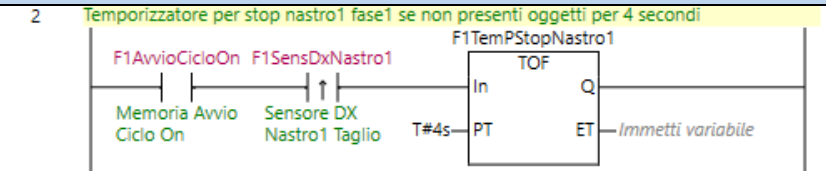
Programma ladder della sezione Taglio:

Rung 0 – Rung per il movimento del nastro per il taglio

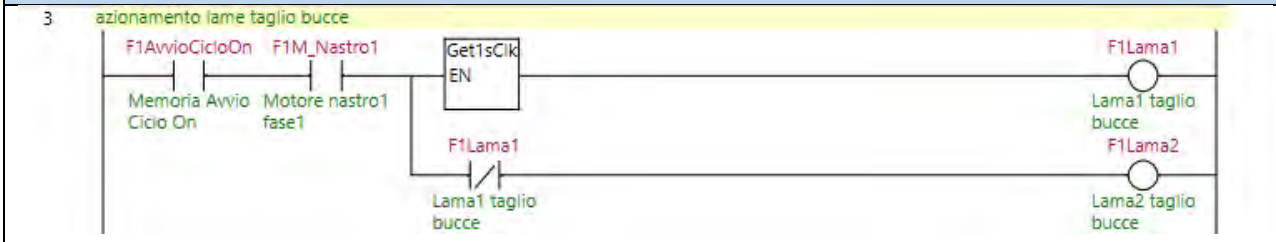


Rung 1 - Rung per il reset del nastro

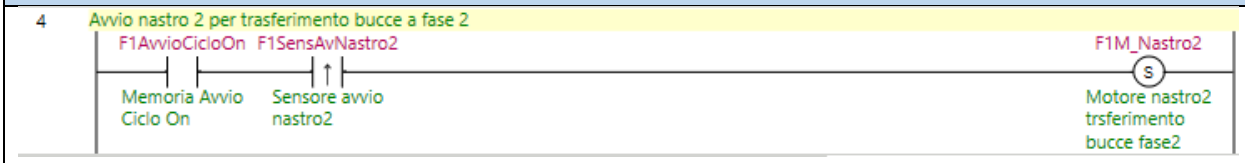
Rung 2 - Rung per la temporizzazione dell'arresto nastro



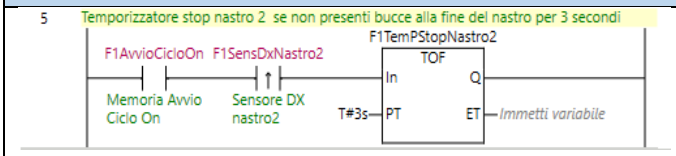
Rung 3 - Rung per l'azionamento delle lame per il taglio delle bucce



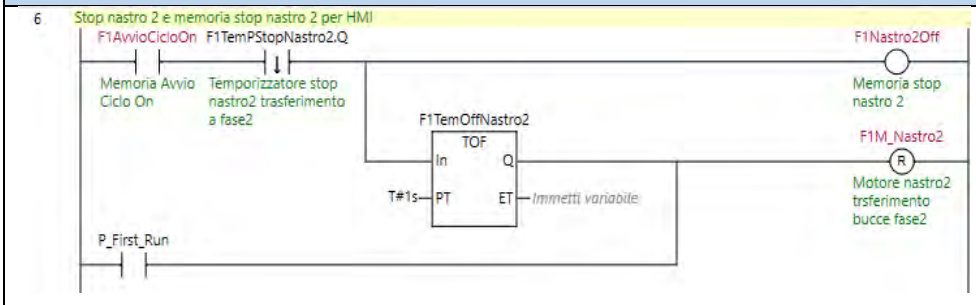
Rung 4 – Rung per l'azionamento del 2° nastro per portare le bucce alla fase 2



Rung 5 - Rung per la temporizzazione dell'arresto del 2° nastro



Rung 6 - Rung per la memoria dello stop del 2° nastro



Subroutine FASE 1 “Pesatura”:

Sub per animazione nastro e discesa bucce sulla cella di carico

```
Sub AnimNastro1
'************************************************
'ANIMAZIONE NASTRO 1 ZONA TAGLIO       *
'************************************************
   If F1M_Nastro1=True Then
      F1RotNastro1=F1RotNastro1+2.5
      F1Dente1N0=F1Dente1N0+5
      F1Dente2N0=F1Dente2N0+5  'RESETTARE PER NUOVO CICLO!!!!!!!!!!!!!!!!!!
      F1Dente3N0=F1Dente3N0+5
      F1Dente4N0=F1Dente4N0+5
      F1Dente5N0=F1Dente5N0+5
      F1Dente6N0=F1Dente6N0+5
   End If
   If F1Dente1N0=500 Then
      F1Dente1N0=0
   End If
   If F1Dente2N0=400 Then
      F1Dente2N0=-100
   End If
   If F1Dente3N0=300 Then
      F1Dente3N0=-200
   End If
   If F1Dente4N0=200 Then
      F1Dente4N0=-300
   End If
   If F1Dente5N0=100 Then
      F1Dente5N0=-400
   End If
   If F1Dente6N0=0 Then
      F1Dente6N0=-500
   End If

End Sub'ANIMAZIONE NASTRO 1 ZONA TAGLIO
```

```
'************************************************
'ANIMAZIONI DISCESA BUCCE NELLA PESA*
'************************************************
If F1AperturaBucce=True Then
   F1MemApertura=True
End If

If F1Pesatura=(PesoLordo1) Or F1SvuotImbuto=100  Then
   F1VisBucce1=False
   F1VisBucce2=False
   F1VisBucce3=False
   F1VisBucce4=False
   F1VisBucce5=False
   F1VisBucce6=False
Else
   F1VisBucce1=True
End If
```

```
'SE LA SARACINESCA DISCESA E' APERTA
'*****************************************
If F1MemApertura=True Then

'ANIMAZIONE DISCESA BUCCE1
'**********************************
   If F1VisBucce1=True Then
      F1DiscesaBucce1=F1DiscesaBucce1+15
   End If
   If F1DiscesaBucce1=45 Then
      F1VisBucce2=True
   End If
```

```
'************************************************
'SIMULAZIONE PESATURA BUCCE NELLA PESA*
'************************************************
   If F1Pesatura=100 Then
      F1Pesatura=100
   End If
```

```
'reset variabili animazioni discesa bucce se pesa ribaltata e a sinistra
'e finecorsa dx nastro1 attivo
'*********************************************************************
   If F1MemRibPesa=True And F1TraslaPesaSX=True And F1SensDxNastro1=True Then
      F1Pesatura=0
      F1MemApertura=False
      F1DiscesaBucce1=0
      F1DiscesaBucce2=0
      F1DiscesaBucce3=0
      F1DiscesaBucce4=0
      F1DiscesaBucce5=0
      F1DiscesaBucce6=0
      F1VisBucce1=False
      F1VisBucce2=False
      F1VisBucce3=False
      F1VisBucce4=False
      F1VisBucce5=False
      F1VisBucce6=False
   End If
'reset variabili con trasferimento bucce a fase 2 terminato
'************************************************************
   If F1Nastro2Off=True Then
      F1Ban1Nastro1=0
      F1MemRibPesa=False
      F1n=0
   End If
```

```
    'ANIMAZIONE DISCESA BUCCE2
    '*********************************
    If F1VisBucce2=True Then
       F1discesabucce2=F1discesabucce2+15
    End If
    If F1DiscesaBucce2=45 Then
       F1VisBucce3=True
    End If
    'ANIMAZIONE DISCESA BUCCE3
    '*********************************
    If F1VisBucce3=True Then
       F1discesabucce3=F1discesabucce3+15
    End If
    If F1DiscesaBucce3=45 Then
       F1VisBucce4=True
    End If
    'ANIMAZIONE DISCESA BUCCE4
    '*********************************
    If F1VisBucce4=True Then
       F1discesabucce4=F1discesabucce4+15
    End If
    If F1DiscesaBucce4=45 Then
       F1VisBucce5=True
    End If
    'ANIMAZIONE DISCESA BUCCE5
    '*********************************
    If F1VisBucce5=True Then
       F1discesabucce5=F1discesabucce5+15
    End If
    If F1DiscesaBucce5=45 Then
       F1VisBucce6=True
    End If
```

```
    'ANIMAZIONE DISCESA BUCCE6
    '*********************************
    If F1VisBucce6=True Then
       F1discesabucce6=F1discesabucce6+15
    End If
End If
'*******************************************************
'RESET ANIMAZIONI DISCESA BUCCE NELLA PESA*
'*******************************************************

    'RESET DISCESA BUCCE1
    '*********************************
    If F1DiscesaBucce1=270 Then
       F1DiscesaBucce1=0
       F1VisBucce1=False
       F1Pesatura=F1Pesatura+1
    End If

    'RESET DISCESA BUCCE2
    '*********************************
    If F1DiscesaBucce2=270 Then
       F1DiscesaBucce2=0
       F1VisBucce2=False
       F1Pesatura=F1Pesatura+1
    End If

    'RESET DISCESA BUCCE3
    '*********************************
    If F1DiscesaBucce3=270 Then
       F1DiscesaBucce3=0
       F1VisBucce3=False
       F1Pesatura=F1Pesatura+1
    End If
```

```
    'RESET DISCESA BUCCE4
    '*********************************
    If F1DiscesaBucce4=270 Then
       F1DiscesaBucce4=0
       F1VisBucce4=False
       F1Pesatura=F1Pesatura+1
    End If

    'RESET DISCESA BUCCE5
    '*********************************
    If F1DiscesaBucce5=270 Then
       F1DiscesaBucce5=0
       F1VisBucce5=False
       F1Pesatura=F1Pesatura+1
    End If

    'RESET DISCESA BUCCE6
    '*********************************
    If F1DiscesaBucce6=270 Then
       F1DiscesaBucce6=0
       F1VisBucce6=False
       F1Pesatura=F1Pesatura+1
    End If

    '*****************************************************
    'ANIUMAZIONE TRASLAZIONE PESA*
    '*****************************************************
    If F1MTraslaPesaDX=True Then
       F1TraslaPesaOriz=F1TraslaPesaOriz+5
    End If

    If F1MTraslaPesaSX=True Then
       F1TraslaPesaOriz=F1TraslaPesaOriz-5
    End If
```

```
    'FINECORSA TRASLAZIONE PESA*
    '*****************************************************
    If F1TraslaPesaOriz>=100 Then
       F1TraslaPesaDX=True
       Else
       F1TraslaPesaDX=False
    End If
    If F1TraslaPesaOriz<=0 Then
       F1TraslaPesaSX=True
       Else
       F1TraslaPesaSX=False
    End If

    If F1RibaltaPesa=True Then
       F1MemRibPesa=True 'variabile da resettare per nuovo ciclo!!!
    End If

'*****************************************************
    'ANIMAZIONE BUCCE SU NASTRO TAGLIO*
'*****************************************************
If F1M_Nastro1=True Then
   F1Ban1Nastro1=F1Ban1Nastro1+2
End If
   'Sensore fine corsa nastro taglio*
'*****************************************************
If F1Ban1Nastro1=500  Then
   F1SensDxNastro1=True
Else
   F1SensDxNastro1=False
End If
```

Sub per animazione del secondo nastro trasportatore e discesa bucce nell'imbuto

```
'Sensore avvio nastro2 *
'*****************************************************
If F1Ban1Nastro1=260  Then
   F1SensAvNastro2=True
Else
   F1SensAvNastro2=False
End If
End Sub' ANIMAZIONI PESATURA E DISCESA BUCCE
'*****************************************************
   'SUB ANIMAZIONE NASTRO2*
'*****************************************************
```

```
Sub AnimNastro2
'Gestione sensore dx fine nastro2
'*****************************************************
If (F1Ogg1_O>470 And F1Ogg1_O<500) Or (F1Ogg2_O>470 And F1Ogg2_O<500) Or  (F1Ogg3_O>470 And F1Ogg3_O<500) Or  (F1Ogg4_O>470 And F1Ogg4_O<500) Or (F1Ogg5_
   F1SensDxNastro2=True
Else
   F1SensDxNastro2=False
End If

If F1M_Nastro2=True Then 'SE IL MOTORE DEL NASTRO2  E' ATTIVO
   F1n0=True
Else
   F1n0=False
   F1Ogg1Vis=True

End If
```

```
'gestione visibilità primo gruppo di oggetti
'*****************************************************
If F1M_Nastro2=True

If F1n=F1passaggi Then
   F1Ogg1Vis=False
   Else
   F1Ogg1Vis=True
End If

If F1n0=True Then
   If F1Ogg1Vis=True Then
      F1Ogg1_O=F1Ogg1_O+5
   End If
   If F1Ogg1_O>100 Then
      F1Ogg2Vis=True
   End If
   If F1Ogg2Vis=True
      F1Ogg2_O=F1Ogg2_O+5
   End If
   If F1Ogg2_O>100 Then
      F1Ogg3Vis=True
   End If
   If F1Ogg3Vis=True
      F1Ogg3_O=F1Ogg3_O+5
   End If
   If F1Ogg3_O>100 Then
      F1Ogg4Vis=True
   End If
   If F1Ogg4Vis=True
      F1Ogg4_O=F1Ogg4_O+5
   End If
```

```
If F1M_Nastro2=True Then
      F1RotNastro2=F1RotNastro2+2.5
      F1RotDenteN2=F1RotDenteN2+5
      F1Dente6VN2=False
      F1Dente1N2=F1Dente1N2+5
      F1Dente2N2=F1Dente2N2+5
      F1Dente3N2=F1Dente3N2+5
      F1Dente4N2=F1Dente4N2+5
      F1Dente5N2=F1Dente5N2+5
      F1Dente6N2=F1Dente6N2+5
   End If
   If F1Dente1N2=500 Then
      F1Dente1N2=0
      F1RotDenteN2=0
   End If
   If F1Dente2N2=400 Then
      F1Dente2N2=-100
      F1RotDenteN2=0
   End If
   If F1Dente3N2=300 Then
      F1Dente3N2=-200
      F1RotDenteN2=0
   End If
   If F1Dente4N2=200 Then
      F1Dente4N2=-300
      F1RotDenteN2=0
   End If
   If F1Dente5N2=100 Then
      F1Dente5N2=-400
      F1RotDenteN2=0
   End If
```

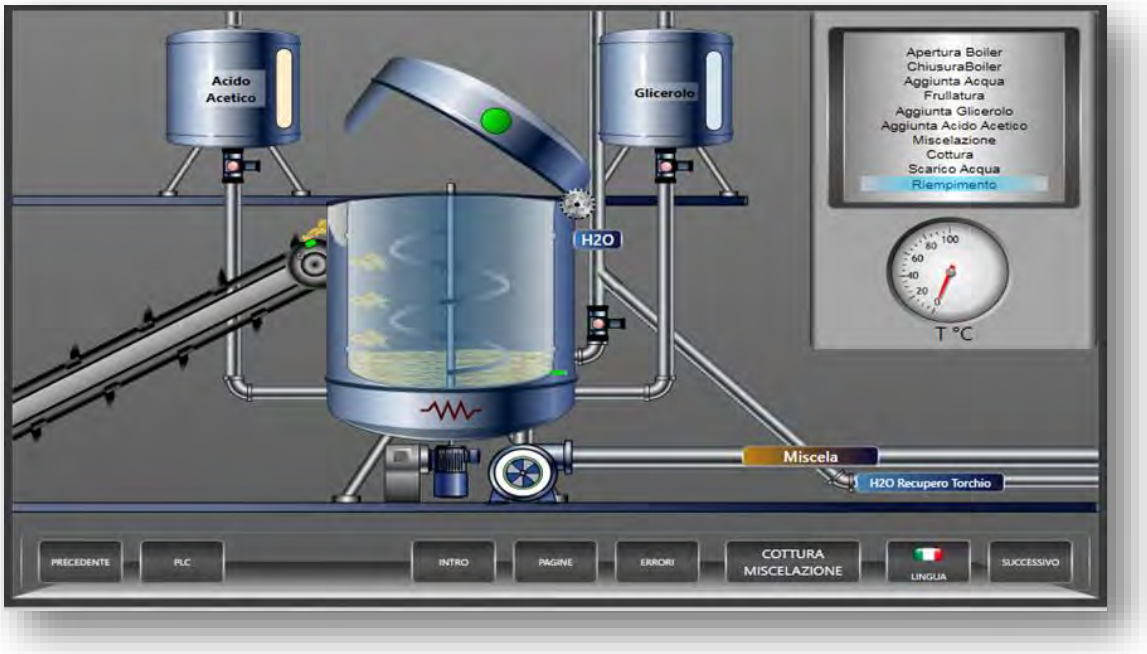
```
    If F1Ogg4_O>100 Then
        F1Ogg5Vis=True
    End If
    If F1Ogg5Vis=True Then
        F1Ogg5_O=F1Ogg5_O+5
    End If

End If
    If F1Ogg1_O=500  Then
        F1n=F1n+1
        F1Ogg1Vis=False
        F1Ogg1_O=0
    End If
    If F1Ogg2_O=500  Then
        F1Ogg2Vis=False
        F1Ogg2_O=0
    End If
    If F1Ogg3_O=500  Then
        F1Ogg3Vis=False
        F1Ogg3_O=0
    End If
    If F1Ogg4_O=500  Then
        F1Ogg4Vis=False
        F1Ogg4_O=0
    End If
    If F1Ogg5_O=500  Then
        F1Ogg5Vis=False
        F1Ogg5_O=0
    End If
Else
    F1Ogg1Vis=False
End If
```

```
    If F1Dente6N2=0 Then
        F1Dente6N2=-500
        F1RotDenteN2=0
    End If
    If ResetNastro1=True Then
        F1Dente1N2=0
        F1Dente2N2=0
        F1Dente3N2=0
        F1Dente4N2=0
        F1Dente5N2=0
        F1Dente6N2=0
        F1RotDenteN2=0
    End If
End Sub

'**************************************
'Sub per lo svuotamento dell'imbuto
'**************************************
Sub SvuotamentoImbutoF1
    If F1AperturaBucce=True Then
        F1SvuotImbuto= F1SvuotImbuto+0.5
    End If
    If F1SvuotImbuto=100 Then
        F1AperturaBucce=False
        F1LivBucceBasso=True
    Else
        F1LivBucceBasso=False
    End If
End Sub

```

La pagina “FASE2 - COTTURA e MISCELAZIONE”

In questa pagina avvengono la frullatura e la miscelazione delle bucce all’interno di un miscelatore.

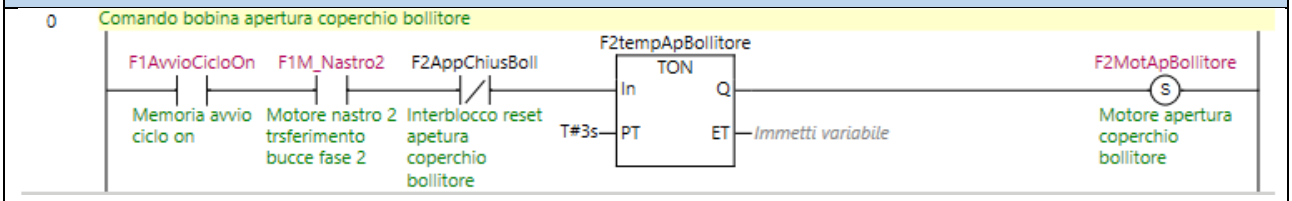
Il nastro della fase precedente riversa le bucce sminuzzate all’interno del miscelatore



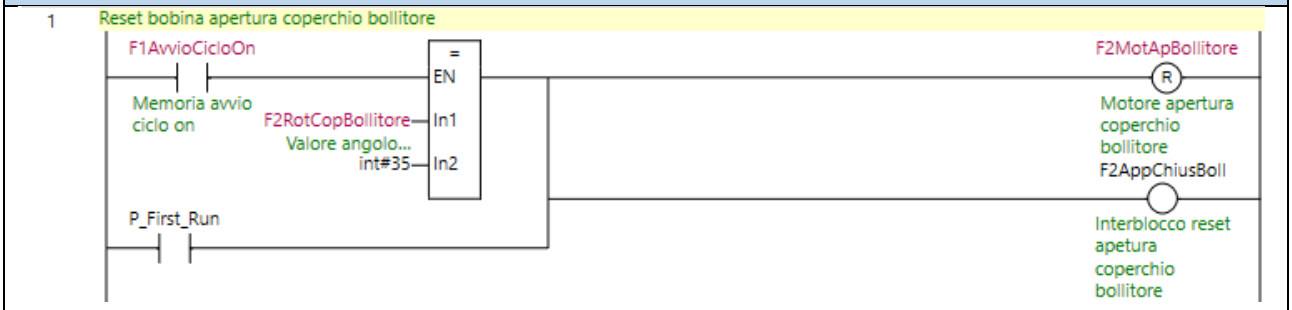
che successivamente verrà riempito con una certa quantità di acqua. Una volta completato il riempimento del miscelatore, l’acqua verrà scaldata tramite l’attivazione di una resistenza, situata sotto al miscelatore; la temperatura dell’acqua è mantenuta stabile intorno agli 80°C per un determinato periodo di tempo, per favorire la frullatura del composto. Terminata la cottura, le pale, azionate in precedenza per la frullatura, rimarranno attive per la miscelazione a velocità ridotta del composto: è in questa fase infatti che vengono aggiunte le quantità preimpostate di acido acetico e glicerolo, provenienti da due serbatoi situati al di sopra del macchinario. Un visore permette di controllare la temperatura nel miscelatore tramite un gauge e le varie fasi di lavoro verranno evidenziate di blu durante tutto il processo. Una volta terminata questa lavorazione, il composto verrà pompato, tramite un espulsore, verso la fase successiva.

Programma ladder sezione Cottura:

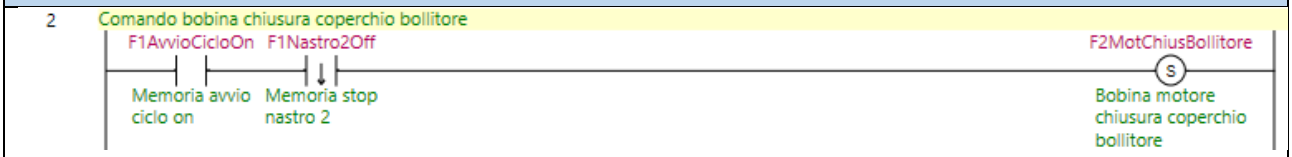
Rung 0 - Avviamento del motore di apertura del miscelatore



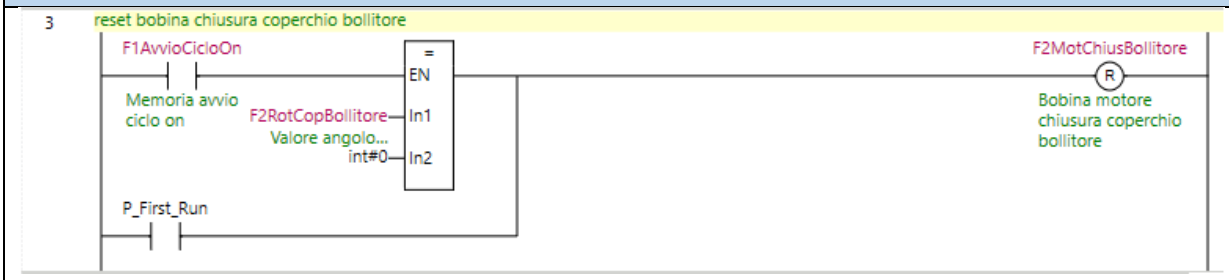
Rung 1 - Arresto coperchio all'angolo selezionato e accertamento chiusura ad avvio ciclo



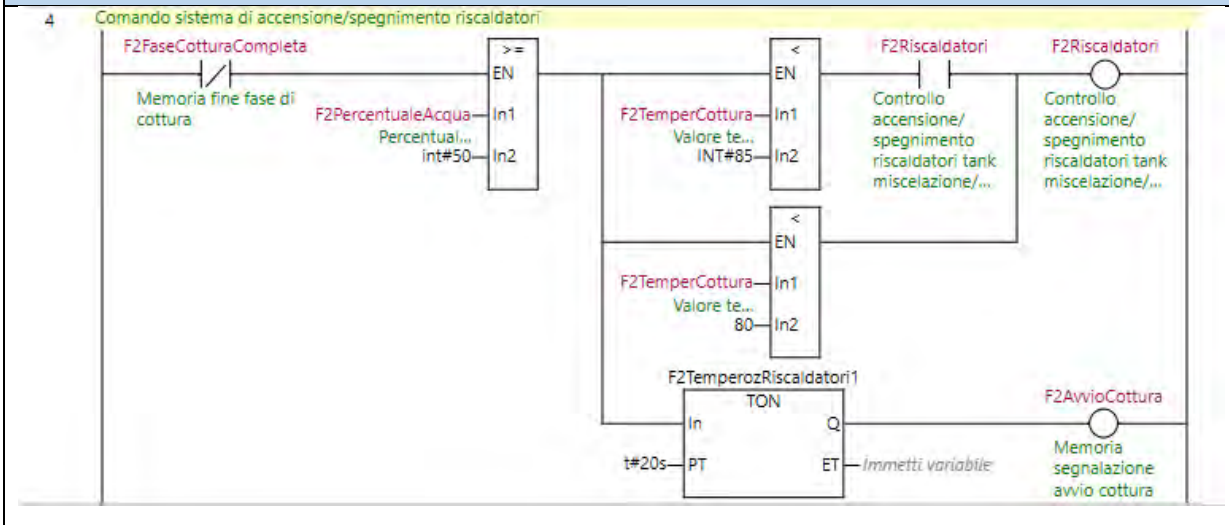
Rung 2 - Chiusura coperchio bollitore



Rung 3 - Arresto chiusura coperchio ad angolo 0°

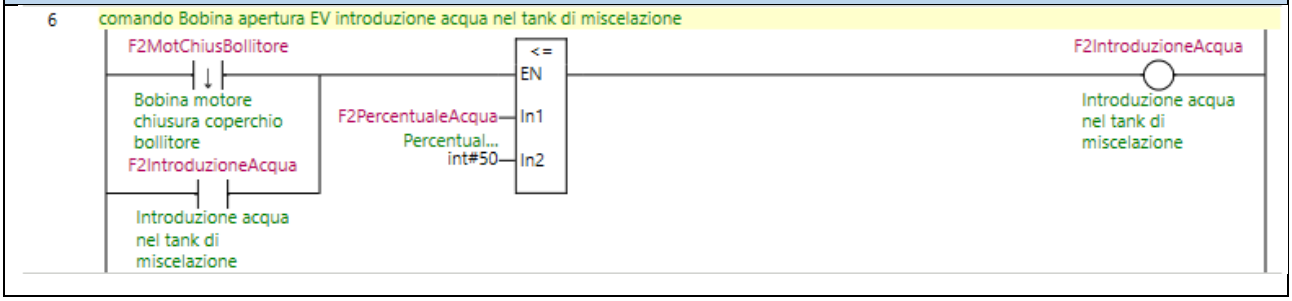


Rung 4 - Gestione fase di cottura



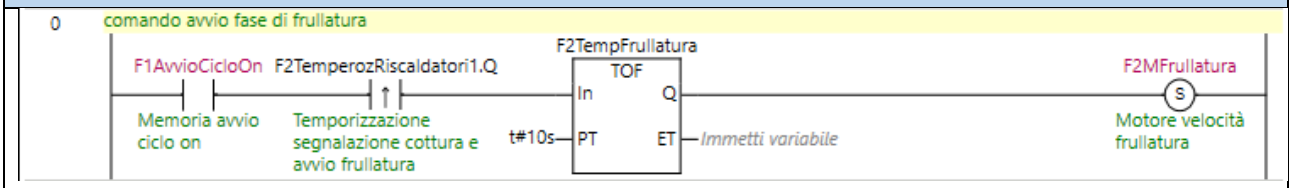
Rung 5 - Termine della fase di cottura

Rung 6 - Attivazione elettrovalvola per introduzione acqua

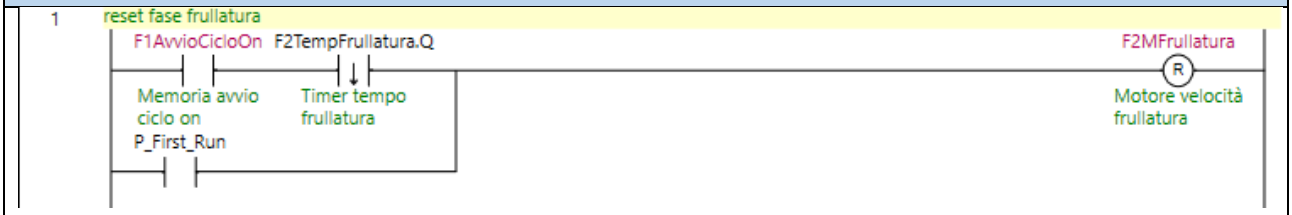


Programma ladder sezione Frullatura:

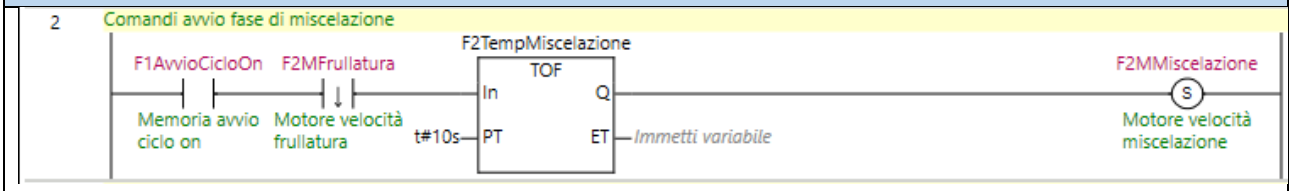
Rung 0 - Avvio fase di frullatura



Rung 1 - Termine fase di frullatura

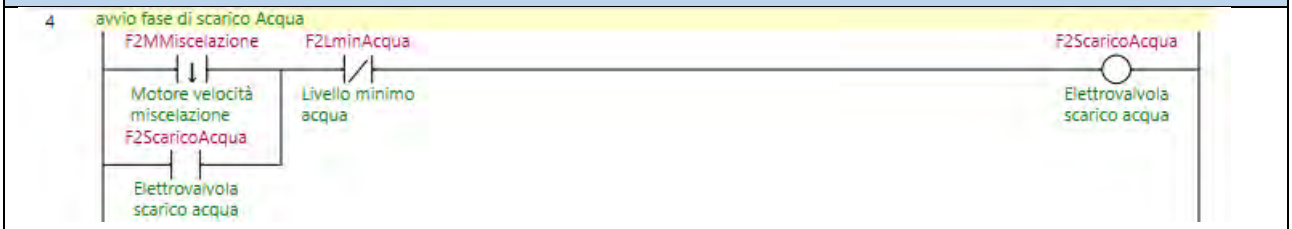


Rung 2 - Avvio fase di Miscelazione

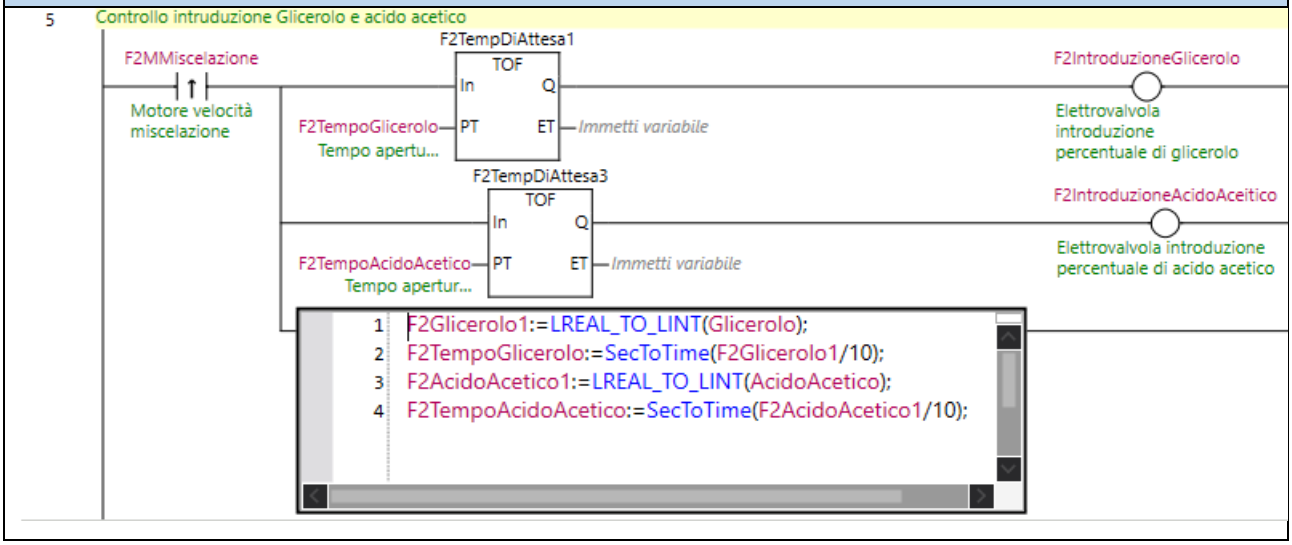


Rung 3 - Termine fase di Miscelazione

Rung 4 - Avvio scarico del miscelatore



Rung 5 - Controllo introduzione sostanze chimiche



Subroutine FASE 2:

Subroutine per le animazioni della pagina

```
'*********************************
'SUB GENERALE DELLA FASE 2
'*********************************
Sub apertura
  If F2MotApBollitore=True Then
    F2RotCopBollitore =F2RotCopBollitore+1
  End If

  If F2MotChiusBollitore=True Then
    F2RotCopBollitore =F2RotCopBollitore-1
    If F2RotCopBollitore <=0 Then
      F2RotCopBollitore =0
    End If
  End If

'*********************************************************
' ANIMAZIONE DISCESA BUCCE NEL MISCELATORE
'*********************************************************

If F1SensDxNastro2=True Then
  F2MemSensDxN2 =True
End If
If F2MemSensDxN2 =True
  F2BucceMisc=True
End If
If F2ContMisc=F1passaggi Then
  F2VisBucceMisc=False
Else
  F2VisBucceMisc=True
End If

   'ANIMAZIONE DISCESA BUCCE1
'*************************************
If F2BucceMisc =True Then
    If F2VisBucceMisc=True Then
      F2VisBucce1=True
      F2DiscBucce1=F2DiscBucce1+2.5
    End If
    If F2DiscBucce1=55 Then
      F2VisBucce2=True
    End If

  'ANIMAZIONE DISCESA BUCCE2
'*************************************
    If F2VisBucce2=True Then
      F2DiscBucce2=F2DiscBucce2+2.5
    End If
    If F2DiscBucce2=55 Then
      F2VisBucce3=True
    End If
```

```
'*************************************************
' VARIAZIONE ACIDO ACETICO E GRICEROLO
'*************************************************
If F2IntroduzioneGlicerolo=True Then
  F2PercentualeGlicerolo=F2PercentualeGlicerolo-1
  F2PercentualeAcqua=F2PercentualeAcqua+0.5
End If
If F2IntroduzioneAcidoAceitico=True Then
  F2PercentualeAcidoAcetico=F2PercentualeAcidoA
End If
If F2PercentualeGlicerolo<=0 Then
  F2LminGlicerolo=True
  Else
  F2LminGlicerolo=False
End If
  If F2PercentualeGlicerolo>=100 Then
  F2maxGlicerolo=True
  Else
  F2maxGlicerolo=True
End If
If F2PercentualeAcidoAcetico<=0 Then
  F2LminAcidoAcetico=True
  Else
  F2LminAcidoAcetico=False
End If
  If F2PercentualeAcidoAcetico>=100 Then
  F2maxAcidoAcetico=True
  Else
  F2maxAcidoAcetico=False
End If

'animazione frecce acido acetico
If F2IntroduzioneAcidoAceitico=True And F2AnimFrecce3<100 Ther
F2AnimFrecce3=F2AnimFrecce3+20
  F2VisibilitaFrecce3=True
  Else
  F2VisibilitaFrecce3=False
  F2AnimFrecce3=0
End If

'glicerolo
If F2IntroduzioneGlicerolo=True And F2AnimFrecce4<100 Then
  F2AnimFrecce4=F2AnimFrecce4+20
  F2VisibilitaFrecce4=True
  Else
  F2VisibilitaFrecce4=False
  F2AnimFrecce4=0
End If

'*************************************************
' AUMENTO TEMPERATURA CON RISCALDATORI ACCESI
'*************************************************
If F2Riscaldatori=True Then
  F2TemperCottura=F2TemperCottura+1
End If
If F2Riscaldatori=False And f2tempercottura>0 Then
  F2TemperCottura=F2TemperCottura-1
End If
```

```
'ANIMAZIONE DISCESA BUCCE3
'*************************************
  If F2VisBucce3=True Then
    F2DiscBucce3=F2DiscBucce3+2.5
  End If
  If F2DiscBucce3=55 Then
    F2VisBucce4=True
  End If
```

```
'ANIMAZIONE DISCESA BUCCE4
'*************************************
  If F2VisBucce4=True Then
    F2DiscBucce4=F2DiscBucce4+2.5
  End If
  If F2DiscBucce4=55 Then
    F2VisBucce5=True
  End If

'ANIMAZIONE DISCESA BUCCE5
'*************************************
  If F2VisBucce5=True Then
    F2DiscBucce5=F2DiscBucce5+2.5
  End If
```

```
'RESET ANIMAZIONI DISCESA BUCCE MISCEL
'*************************************************
  If F2DiscBucce1=250 Then
    F2DiscBucce1=0
    F2VisBucce1=False
    F2ContMisc=F2ContMisc+1
  End If
  If F2DiscBucce2=250 Then
    F2DiscBucce2=0
    F2VisBucce2=False
  End If
  If F2DiscBucce3=250 Then
    F2DiscBucce3=0
    F2VisBucce3=False
  End If
  If F2DiscBucce4=250 Then
    F2DiscBucce4=0
    F2VisBucce4=False
  End If
  If F2DiscBucce5=250 Then
    F2DiscBucce5=0
    F2VisBucce5=False
  End If
End If
```

```
'*************************************************
' INTRODUZIONE ACQUA
'*************************************************
If F2IntroduzioneAcqua=True Then
  F2PercentualeAcqua=F2PercentualeAcqua+1
End If
If F2IntroduzioneAcqua=True And F2AnimFrecce2<100 Then
  F2AnimFrecce2=F2AnimFrecce2+20
  F2VisibilitaFrecce2=True
  Else
  F2VisibilitaFrecce2=False
  F2AnimFrecce2=0
End If
```

```
'*************************************************
' SCARICO ACQUA
'*************************************************
 If F2ScaricoAcqua=True Then
   F2PercentualeAcqua=F2PercentualeAcqua-1
   F2RotazionePompa=F2RotazionePompa+20
 End If

'gestione livello minimo tanck
If F2PercentualeAcqua=0 Then
  F2LminAcqua=True
  Else
  F2LminAcqua=False
End If
If F2ScaricoAcqua=True And F2AnimFrecce<100 Then
  F2AnimFrecce=F2AnimFrecce+20
  F2VisibilitaFrecce=True
  Else
  F2VisibilitaFrecce=False
  F2AnimFrecce=0
End If
```

```
'anaimazione frecce recupero H2o torchio
If F3MotoreTorchio.Dir.Nega=True And F3AnimFrecce1<100 Then
  F3AnimFrecce1=F3AnimFrecce1+20
  F3VisibilitaFrecce1=True
  Else
  F3VisibilitaFrecce1=False
  F3AnimFrecce1=0
End If

'*************************************************
' ANIMAZIONE FRULLATURA/MISCELAZIONE
'*************************************************
If F2MMiscelatore1=True Or F2MMiscelatore2=True Then
  F2AcquaMiscelazione3=F2AcquaMiscelazione3+1
End If
If F2AcquaMiscelazione3>10 Then
  F2MemVisBucceMesc10=False
End If
If F2AcquaMiscelazione3>11 Then
  F2MemVisBucceMesc9=False
End If
If F2AcquaMiscelazione3>12 Then
  F2MemVisBucceMesc8=False
End If
If F2AcquaMiscelazione3>13 Then
  F2MemVisBucceMesc7=False
End If
If F2AcquaMiscelazione3>14 Then
  F2MemVisBucceMesc6=False
End If
If F2AcquaMiscelazione3>15 Then
  F2MemVisBucceMesc5=False
End If
```

```
'************************************************
' ANIMAZIONE BUCCE FONDO MIDSCELATORE
'************************************************
If F2ConttoreBucceFondo=0 Then
  If F2DiscBucce1>=240 Then
    F2MemVisBucceMesc1=True
  End If
  If F2DiscBucce2>=240 Then
    F2MemVisBucceMesc2=True
  End If
  If F2DiscBucce3>=240 Then
    F2MemVisBucceMesc3=True
  End If
  If F2DiscBucce4>=240 Then
    F2MemVisBucceMesc4=True
  End If
  If F2DiscBucce5>=240 Then
    F2MemVisBucceMesc5=True
    F2ConttoreBucceFondo=+1
  End If
End If
If F2ConttoreBucceFondo=1 Then
  If F2DiscBucce1>=240 Then
    F2MemVisBucceMesc6=True
  End If
```

```
  If F2DiscBucce2>=240 Then
    F2MemVisBucceMesc7=True
  End If
  If F2DiscBucce3>=240 Then
    F2MemVisBucceMesc8=True
  End If
  If F2DiscBucce4>=240 Then
    F2MemVisBucceMesc9=True
  End If
  If F2DiscBucce5>=240 Then
    F2MemVisBucceMesc10=True
  End If
End If
```

```
  If F2AcquaMiscelazione3>16 Then
    F2MemVisBucceMesc4=False
  End If
  If F2AcquaMiscelazione3>17 Then
    F2MemVisBucceMesc3=False
  End If
  If F2AcquaMiscelazione3>18 Then
    F2MemVisBucceMesc2=False
  End If
  If F2AcquaMiscelazione3>19 Then
    F2MemVisBucceMesc1=False
  End If
```

```
'Visibilità pale miscelatore

If F2MMiscelatore1=True Then
  If _HMI_Millisecond>=0 And _HMI_Millisecond<=250 Then
    F2VisMiscelatore=True

  End If
  If _HMI_Millisecond>=251 And _HMI_Millisecond<=500 Then
    F2VisMiscelatore=False
  End If
  If _HMI_Millisecond>=501 And _HMI_Millisecond<=750 Then
    F2VisMiscelatore=True

  End If
  If _HMI_Millisecond>=751 And _HMI_Millisecond<=999 Then
    F2VisMiscelatore=False
  End If
End If
If F2MMiscelatore2=True Then
  If _HMI_Millisecond>=0 And _HMI_Millisecond<=100 Then
    F2VisMiscelatore=True
  End If
```

```
  If _HMI_Millisecond>=101 And _HMI_Millisecond<=200 Then
    F2VisMiscelatore=False
  End If
  If _HMI_Millisecond>=201 And _HMI_Millisecond<=300 Then
    F2VisMiscelatore=True
  End If
  If _HMI_Millisecond>=301 And _HMI_Millisecond<=400 Then
    F2VisMiscelatore=False
  End If
  If _HMI_Millisecond>=401 And _HMI_Millisecond<=500 Then
    F2VisMiscelatore=True
  End If
  If _HMI_Millisecond>=501 And _HMI_Millisecond<=600 Then
    F2VisMiscelatore=False
  End If
  If _HMI_Millisecond>=601 And _HMI_Millisecond<=700 Then
    F2VisMiscelatore=True
  End If
  If _HMI_Millisecond>=701 And _HMI_Millisecond<=800 Then
    F2VisMiscelatore=False
  End If
```

```
  If _HMI_Millisecond>801 And _HMI_Millisecond<=900 Then
    F2VisMiscelatore=True
  End If
  If _HMI_Millisecond>=901 And _HMI_Millisecond<=999 Then
    F2VisMiscelatore=False
  End If
End If
End Sub
```

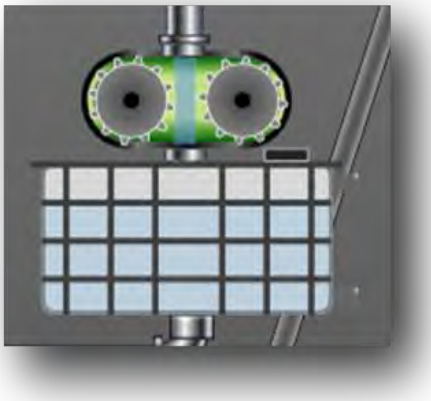
La pagina “FASE3”

La FASE3 si occupa di ridurre la quantità di acqua nel composto sulla base del tempo di essiccazione scelto: più breve è il tempo impostato e minore dovrà essere la quantità di acqua residua nel composto.

Tramite il condotto proveniente dalla fase precedente, il contenitore si riempirà fino a quando il composto non sarà finito. successivamente inizierà la fase di strizzatura: il torchio scenderà con diverse velocità, determinate dalla quantità di acqua ottenuta e misurata dai flussimetri, tramite override.

L’override sovrascrive la velocità attuale del motore in maniera percentuale: ad esempio, impostare un override = 40 significa che il motore lavorerà al 40% della sua velocità

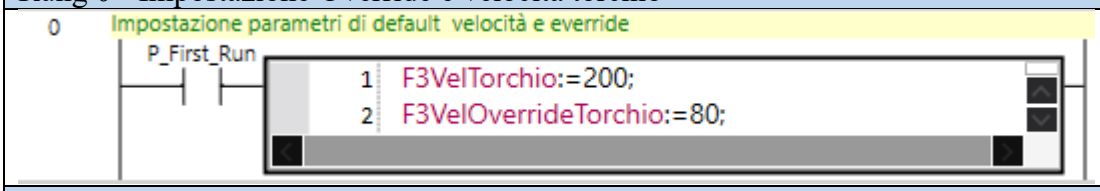
massima impostata. Una volta raggiunta la quantità ritenuta idonea d'acqua si aprirà la parte inferiore del torchio per far fuoriuscire cinque parti uguali del composto che cadranno su di un nastro.



Il nastro è azionato anch'esso da un Brushless tramite l'istruzione MOVE che gestisce l'avanzamento a passi delle parti di composto. Una volta fatti cinque passi, corrispondenti alle cinque parti, il nastro avanzerà a velocità costante per trasportarle alla fase successiva. In questa pagina è possibile visualizzare le variabili più significative dall'apposito visore.

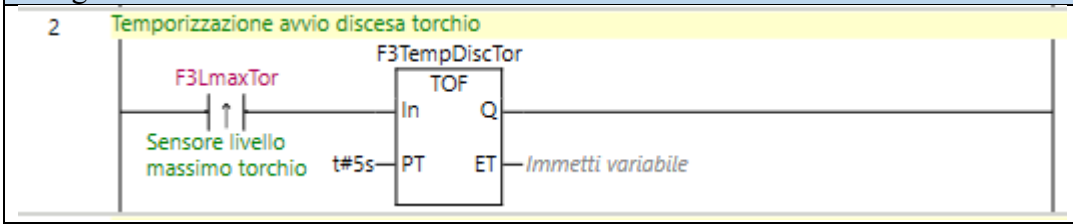
Programma ladder sezione Strizzatura:

Rung 0 - Impostazione Override e velocità torchio

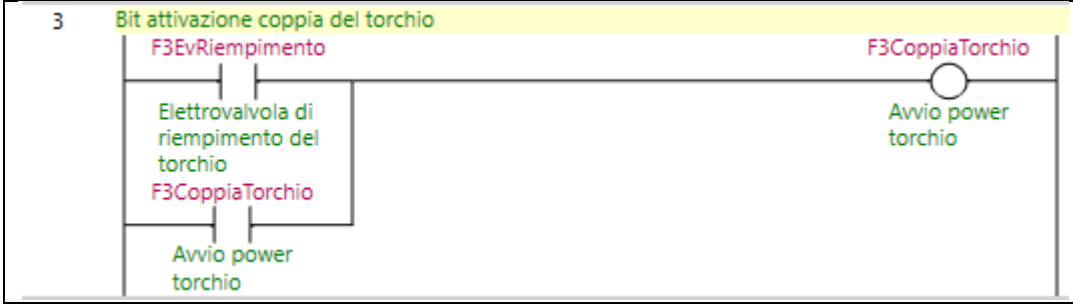


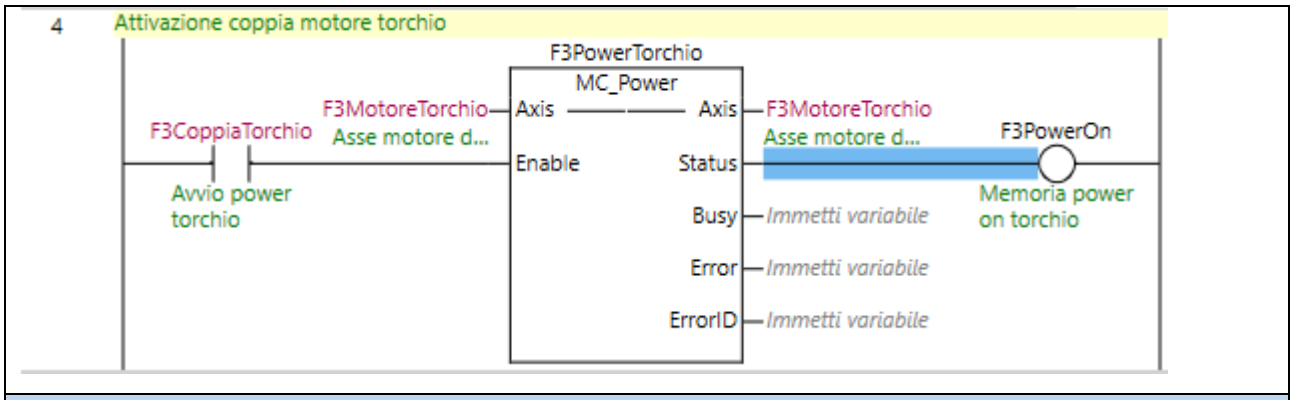
Rung 1- Riempimento del torchio

Rung 2 - Ritardo dell'inizio della strizzatura

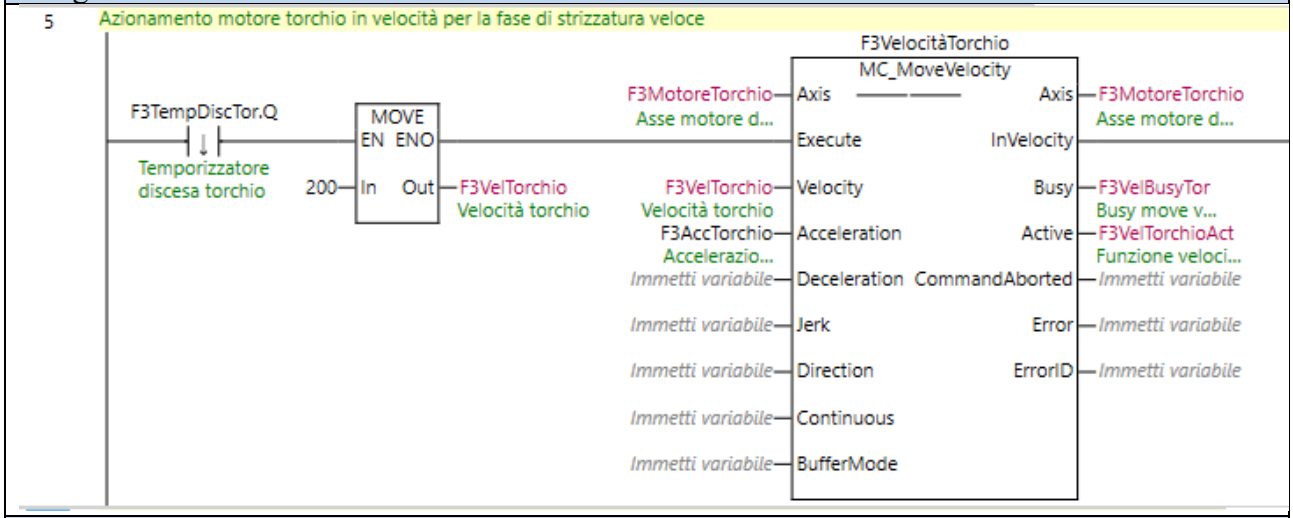


Rung 3/4 - Attivazione coppia dell'asse del torchio

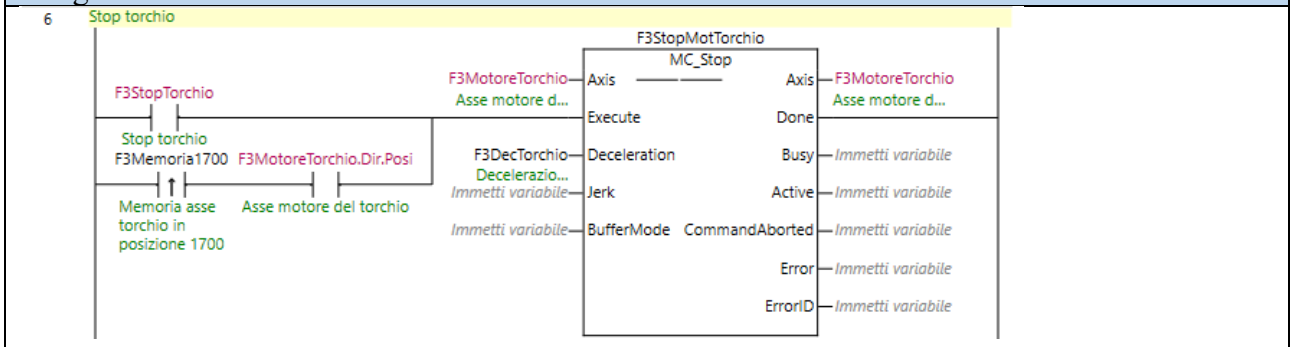




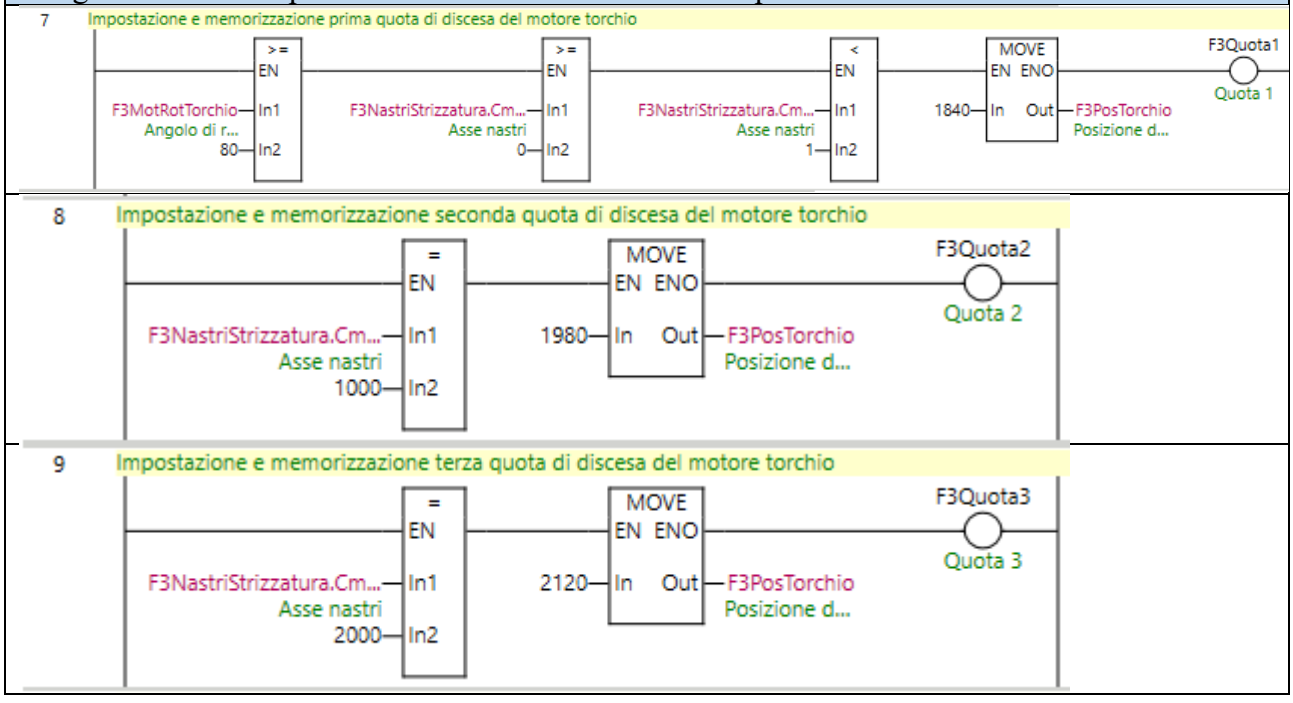
Rung 5 - Controllo velocità asse del torchio

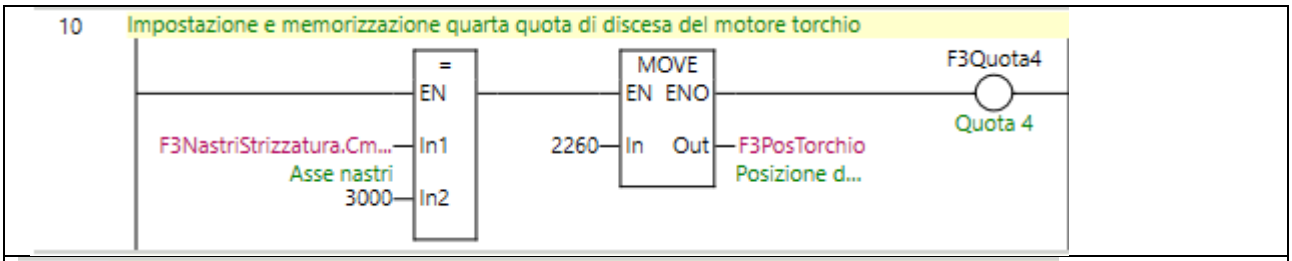


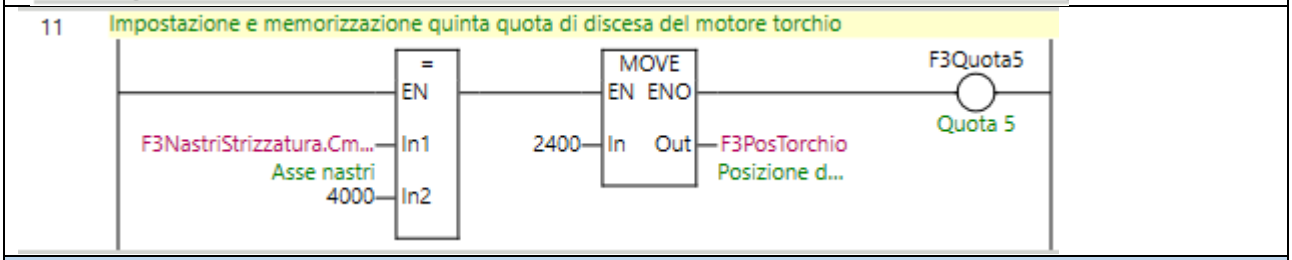
Rung 6 - Disattivazione Motore di movimento del torchio



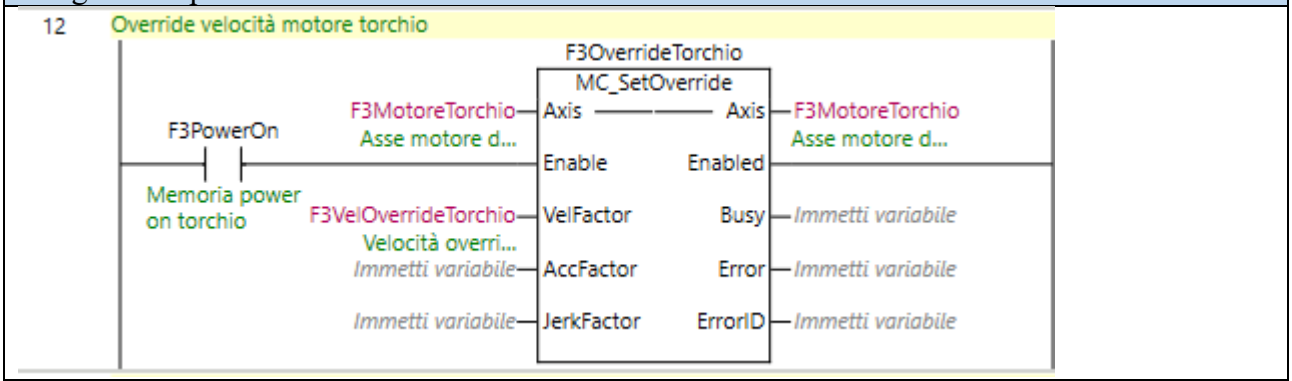
Rung 7/8/9/10/11 - Spostamento torchio in relazione alla posizione del nastro



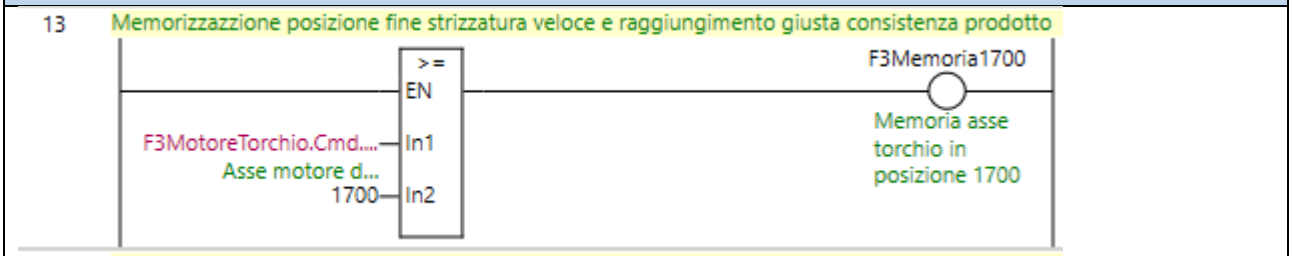




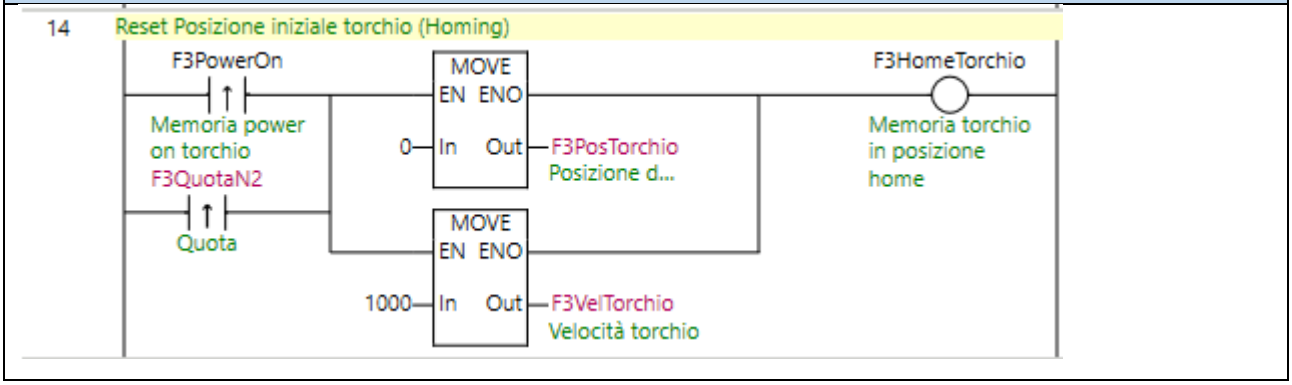
Rung 12 - Impostazione Override durante la lavorazione



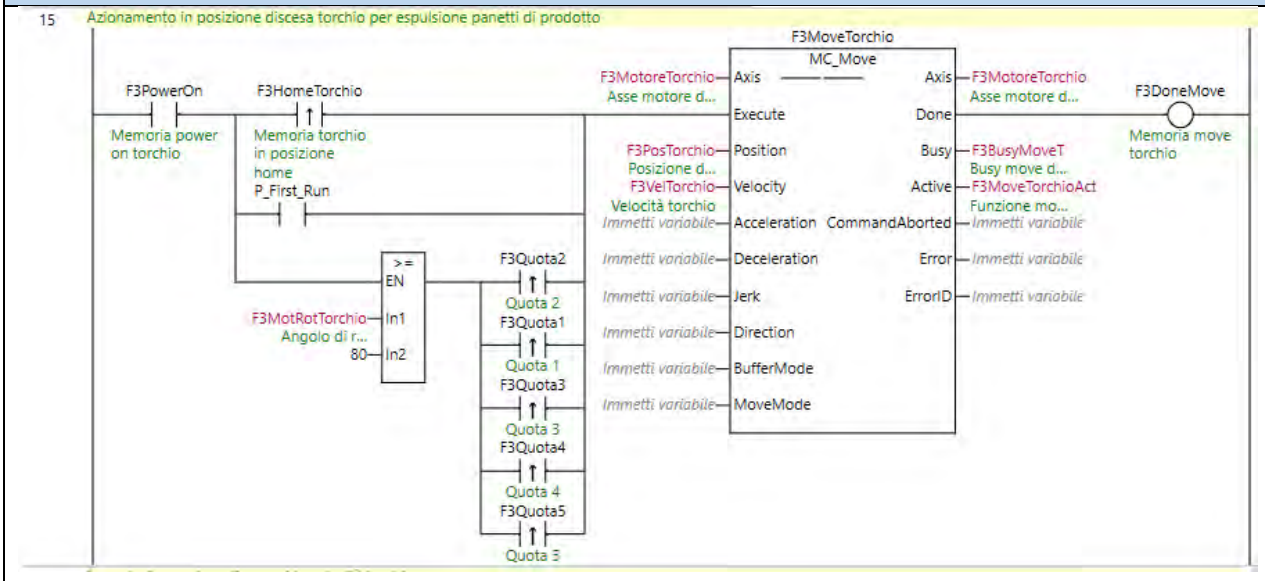
Rung 13 - Attivazione della memoria della posizione del torchio



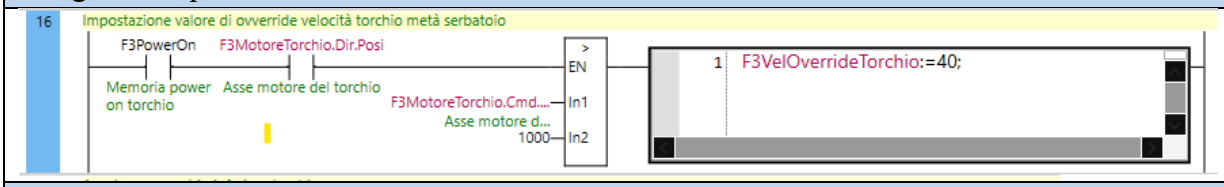
Rung 14 - Memoria per l'Homing del torchio



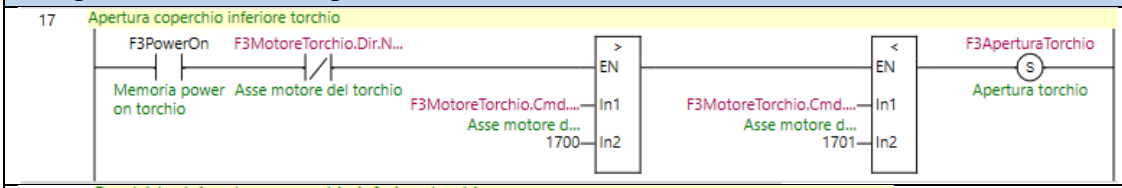
Rung 15 - Comando in passi del torchio

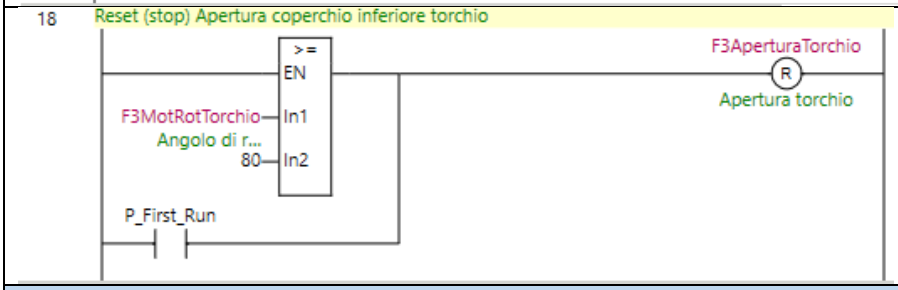


Rung 16 - Impostazione Override a metà serbatoio

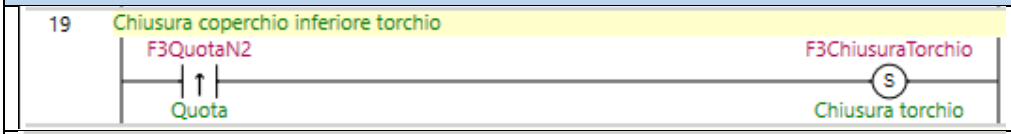


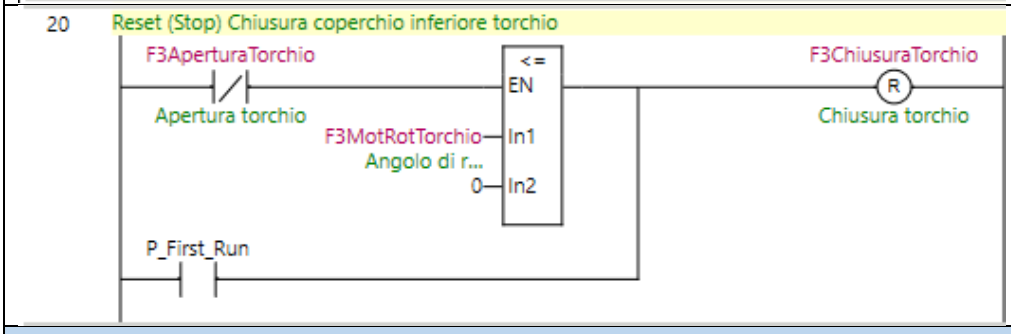
Rung 17/18 - Gestione apertura fondo del serbatoio





Rung 19/20 - Avvio Chiusura fondo del serbatoio

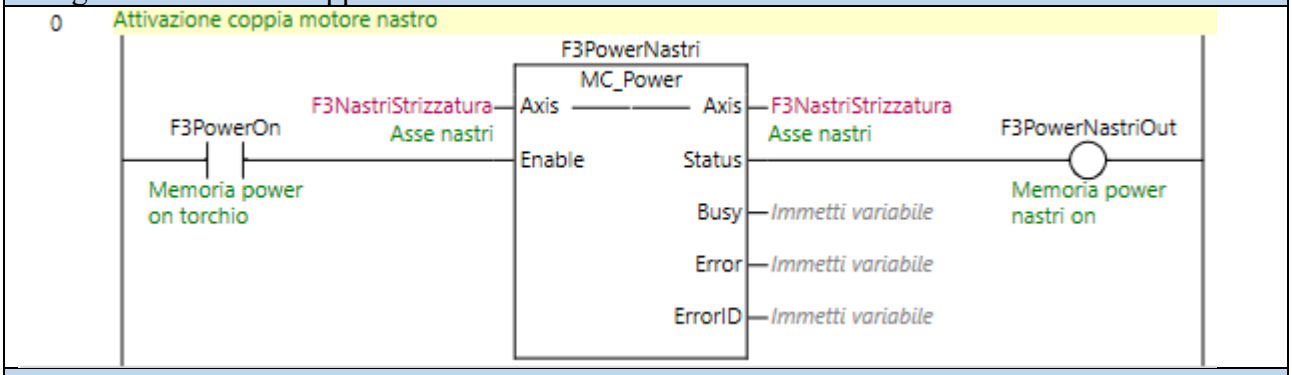




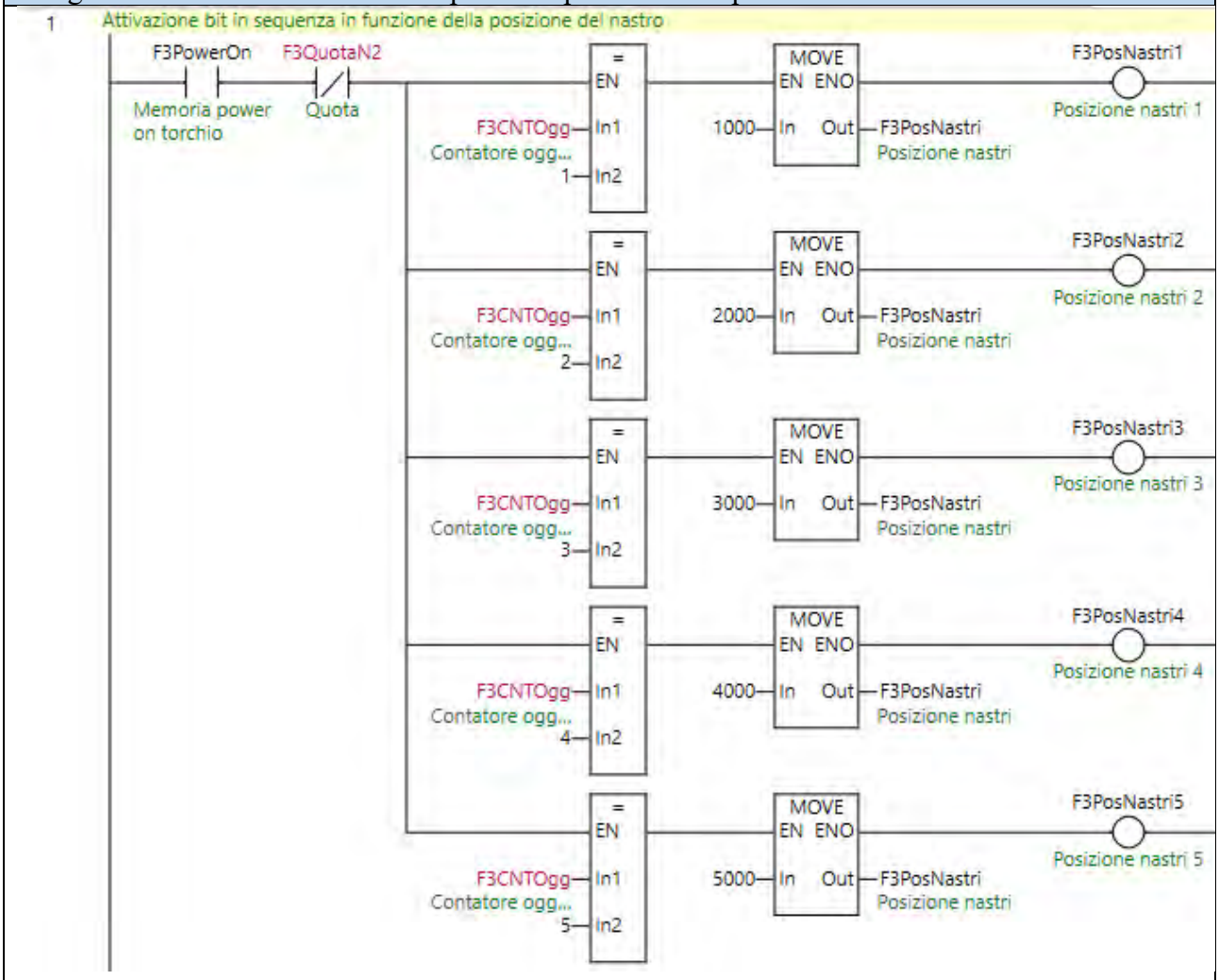
Rung 21 - Animazione della vite

Programma Ladder sezione Nastri:

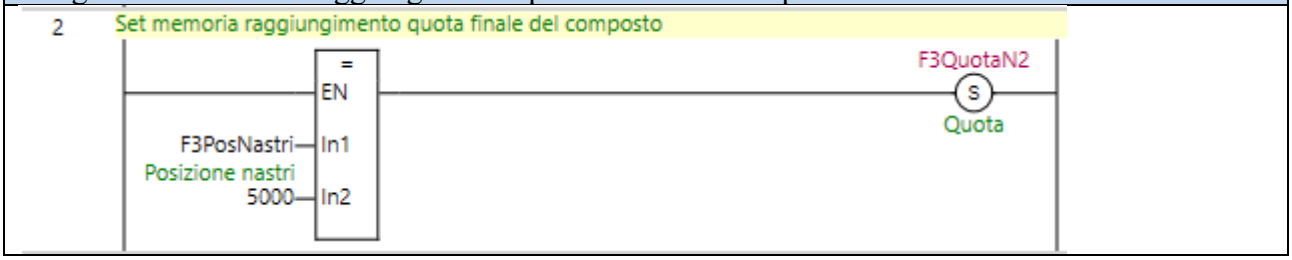
Rung 0 - Attivazione coppia dei nastri



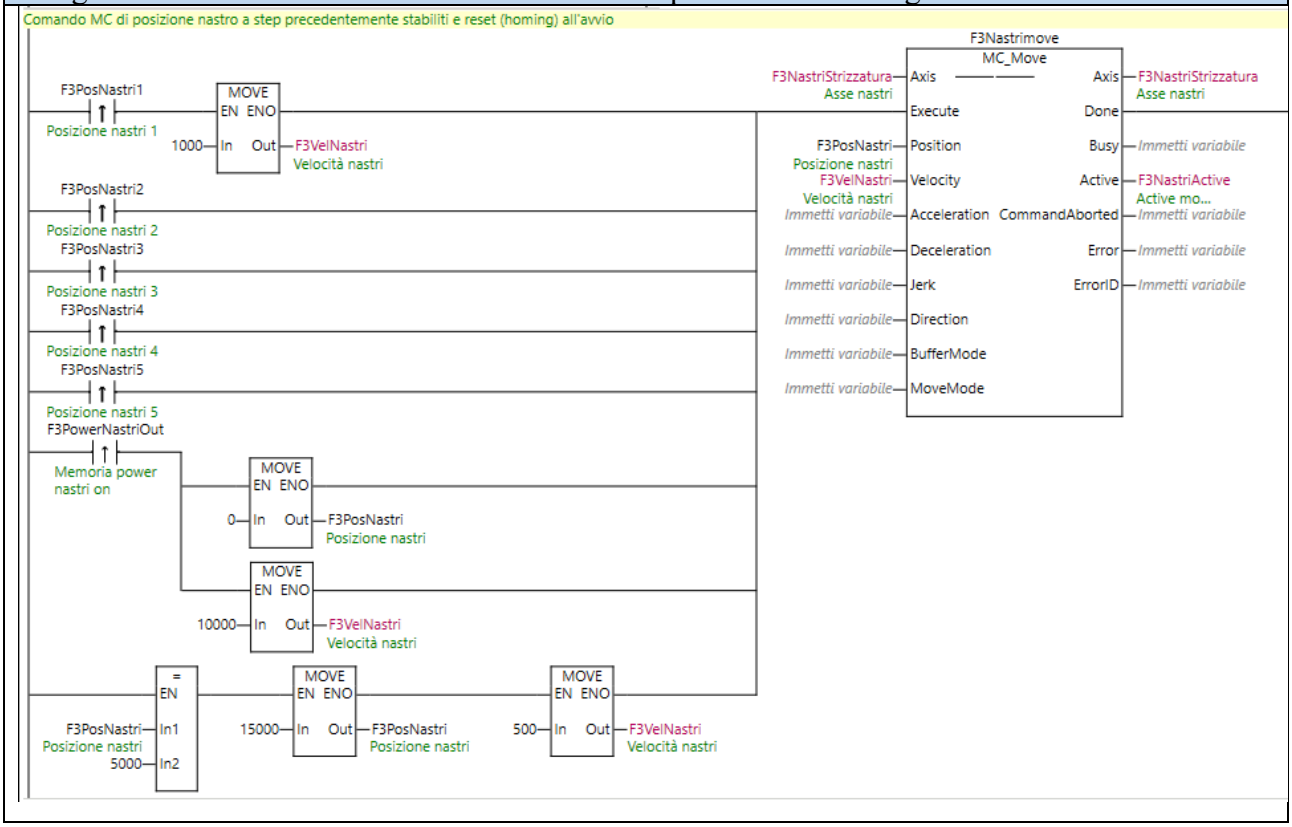
Rung 1 - Posizionamento dei nastri per il trasporto del composto



Rung 2 - Set memoria raggiungimento quota finale del composto



Rung 3 - Azionamento nastri in relazione alla loro posizione e homing



Programma Subroutine FASE 3:

Animazione flussimetro

```
Sub Flussimetro

'*****************************************************
'ANIMAZIONE ROTAZIONE RUOTE FLUSSIMETRO
'*****************************************************

   If F3MotoreTorchio.Cmd.Pos >300 And F3MotoreTorchio.Dir.Posi = True And F3MotoreTorchio.Cmd.Pos < 1700 Then
    F3Flussimetrodx=F3Flussimetrodx+F3VelOverrideTorchio
    F3Flussimetrosx=F3Flussimetrosx-F3VelOverrideTorchio
    Else
       F3Flussimetrodx=F3Flussimetrodx
        F3Flussimetrosx=F3Flussimetrosx
 End If
End Sub

```

Animazione apertura/chiusura fondo del serbatoio

```
Sub F3AperturaTorchioBasso

'************************************************
'ANIMAZIONE APERTURA FONDO TORCHIO
'************************************************

   If F3AperturaTorchio=True Then
      F3MotRotTorchio= F3MotRotTorchio+2
   End If

   If F3ChiusuraTorchio=True Then
      F3MotRotTorchio= F3MotRotTorchio-2
   End If
End Sub
```

Animazione nastri FASE 3

```
Sub F3NastriTorchio
   If F3NastriStrizzatura.Cmd.Pos=0 Then
      F3Dente1N1=0
      F3Dente2N1=0
      F3Dente3N1=0
      F3Dente4N1=0
      F3Dente5N1=0
      F3Dente6N1=0
   End If

   If F3NastriActive=True Then
      F3RotNastro1=F3RotNastro1+5
      F3Dente1N1=F3Dente1N1+10
      F3Dente2N1=F3Dente2N1+10
      F3Dente3N1=F3Dente3N1+10
      F3Dente4N1=F3Dente4N1+10
      F3Dente5N1=F3Dente5N1+10
      F3Dente6N1=F3Dente6N1+10
   End If
```

```
   If F3Dente1N1>=500 Then
      F3Dente1N1=0
   End If
   If F3Dente2N1>=400 Then
      F3Dente2N1=-100
   End If
   If F3Dente3N1>=300 Then
      F3Dente3N1=-200
   End If
   If F3Dente4N1>=200 Then
      F3Dente4N1=-300
   End If
   If F3Dente5N1>=100 Then
      F3Dente5N1=-400
   End If
   If F3Dente6N1>=0 Then
      F3Dente6N1=-500
   End If

```

```
'***********************************
'Visibilità oggetti su nastri
'***********************************

If F3NastriStrizzatura.Cmd.Pos>=5000 Then
   F3VistaOggetto1a=True
   F3VistaOggetto1=False
End If
If F3NastriStrizzatura.Cmd.Pos>=6000 Then
   F3VistaOggetto2a=True
   F3VistaOggetto2=False
End If
If F3NastriStrizzatura.Cmd.Pos>=7000 Then
   F3VistaOggetto3a=True
   F3VistaOggetto3=False
End If
```

```
If F3NastriStrizzatura.Cmd.Pos>=12000  Or F3NastriStrizzatu
   F3VistaOggetto3a=False
End If
If F3NastriStrizzatura.Cmd.Pos>=13000  Or F3NastriStrizzatu
   F3VistaOggetto4a=False
End If
If F3NastriStrizzatura.Cmd.Pos>=14000  Or F3NastriStrizzatu
   F3VistaOggetto5a=False
End If
If F3NastriStrizzatura.Cmd.Pos>=8000 Then
   F3VistaOggetto4a=True
   F3VistaOggetto4=False
End If
If F3NastriStrizzatura.Cmd.Pos>=9000 Then
   F3VistaOggetto5a=True
   F3VistaOggetto5=False
End If
If F3NastriStrizzatura.Cmd.Pos>=10000 Or F3NastriStrizzatura.Dir.Nega
   F3VistaOggetto1a=False
End If
If F3NastriStrizzatura.Cmd.Pos>=11000  Or F3NastriStrizzatura.Dir.Neg
   F3VistaOggetto2a=False
End If
```

```
'***********************************
'ANIMAZIONE DENTI NASTRO 2
'***********************************
If F3NastriActive=True Then
    F3RotNastro2=F3RotNastro2+2.5
    F3RotDenteN2=F3RotDenteN2+5
    F3Dente1N2=F3Dente1N2+10
    F3Dente2N2=F3Dente2N2+10
    F3Dente3N2=F3Dente3N2+10
    F3Dente4N2=F3Dente4N2+10
    F3Dente5N2=F3Dente5N2+10
    F3Dente6N2=F3Dente6N2+10
  End If
  If F3Dente1N2=500 Then
    F3Dente1N2=0
    F3RotDenteN2=0
  End If
  If F3Dente2N2=400 Then
    F3Dente2N2=-100
    F3RotDenteN2=0
  End If
  If F3Dente3N2=300 Then
    F3Dente3N2=-200
    F3RotDenteN2=0
  End If
```

```
  If F3Dente4N2=200 Then
    F3Dente4N2=-300
    F3RotDenteN2=0
  End If
  If F3Dente5N2=100 Then
    F3Dente5N2=-400
    F3RotDenteN2=0
  End If
  If F3Dente6N2=0 Then
    F3Dente6N2=-500
    F3RotDenteN2=0
  End If
  If F3NastriStrizzatura.Cmd.Pos=0=True Then
    F3Dente1N2=0
    F3Dente2N2=0
    F3Dente3N2=0
    F3Dente4N2=0
    F3Dente5N2=0
    F3Dente6N2=0
    F3RotDenteN2=0
  End If
End Sub
```

Sezione inerente alla visibilità dei pezzi e animazioni interne al torchio

```
Sub F3CadutaPezzo

'***********************************
'Reset posizione caduta pezzo
'***********************************

   If  F3PosTorchio>1700 And F3BusyMoveT=True Then
     F3Oggetto200=True
     End If
   If F3Oggetto200=True Then
     F3DiscesaOggetto =  F3DiscesaOggetto +5
   End If
   If  F3DiscesaOggetto = 200 Then
     F3CNTOgg=F3CNTOgg+1
     F3DiscesaOggetto = 0
     F3Oggetto200=False
   End If
```

```
  Select Case F3CNTOgg
  Case 1
    F3VistaOggetto1=True
  Case 2
    F3VistaOggetto2=True
  Case 3
    F3VistaOggetto3=True
  Case 4
    F3VistaOggetto4=True
  Case 5
    F3VistaOggetto5=True
  End Select
  If F3QuotaN2=True Then
    F3CNTOgg=0
  End If
```

```
'************************************
'Riempimento prodotto nel torchio e visibilità
'************************************

If F3EvRiempimento = True Then
   F3ProdIntTor = F3ProdIntTor +0.5
End If

If F3ProdIntTor = 100 Then
   F3ProdIntTor = F3ProdIntTor
End If

If F3ProdIntTor = 100 Then
   F3LmaxTor = True
   F3ProdIntTorAsse1 = True
   F3ProdIntTorAsse2 = True
   F3ProdIntTorAsse3 = True
End If
```

```
If F3MotoreTorchio.Dir.Posi = True And F3MotoreTorchio.Cmd.Pos >= 100 Then
   F3ProdIntTor = 0
End If

If F3ProdIntTor < 100 Then
  F3LmaxTor = False
End If
```

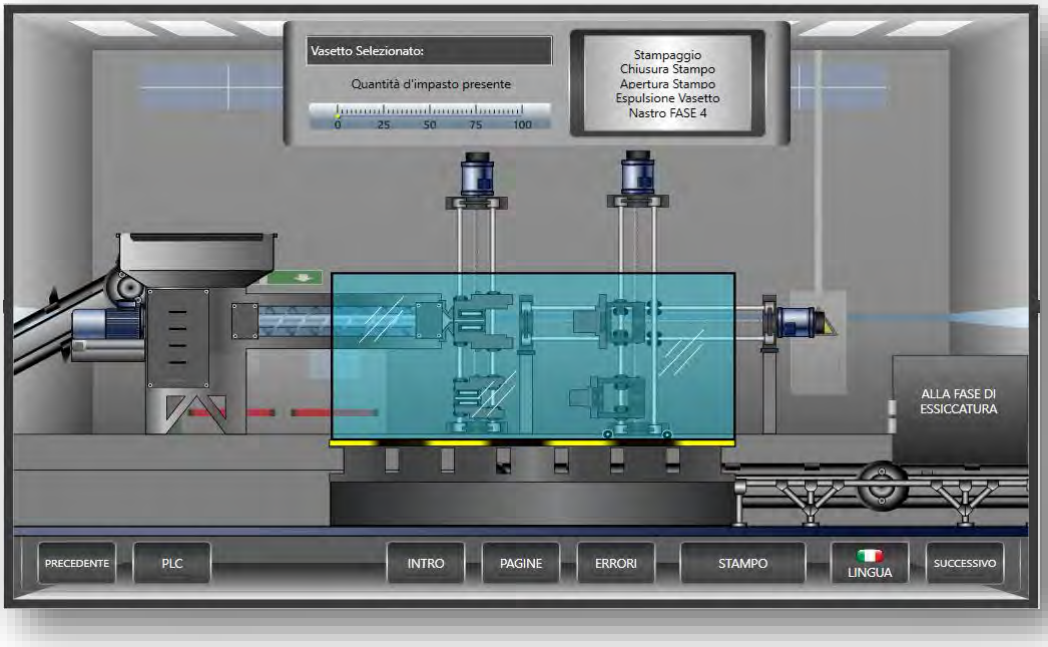
```
'************************************
'Aggiustamento grafico
'************************************

If  F3MotoreTorchio.Cmd.Pos >= 1000 Then
   F3ProdIntTorAsse1 = False
End If

If  F3MotoreTorchio.Cmd.Pos >= 1700 Then
   F3ProdIntTorAsse2 = False
End If

If  F3MotoreTorchio.Cmd.Pos >= 2400 Then
   F3ProdIntTorAsse3 = False
End If
```

```
'************************************
'Animazione vite
'************************************
If F3AnimVite = True Then
   F3AnimVite1= True
   F3AnimVite2 = False
   Else
   F3AnimVite1= False
   F3AnimVite2 = True
End If

```

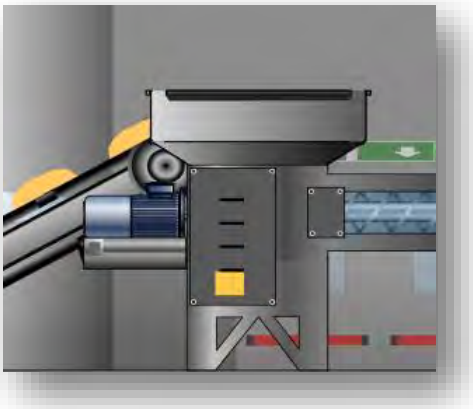
```
'************************************
'Animazione freccia immissione
'************************************

If F3EvRiempimento=True And F3AnimFrecce>-100 Then
   F3AnimFrecce=F3AnimFrecce-20
   F3VisibilitaFrecce=True
   Else
   F3VisibilitaFrecce=False
   F3AnimFrecce=0
End If
End Sub
```

La pagina “FASE4”

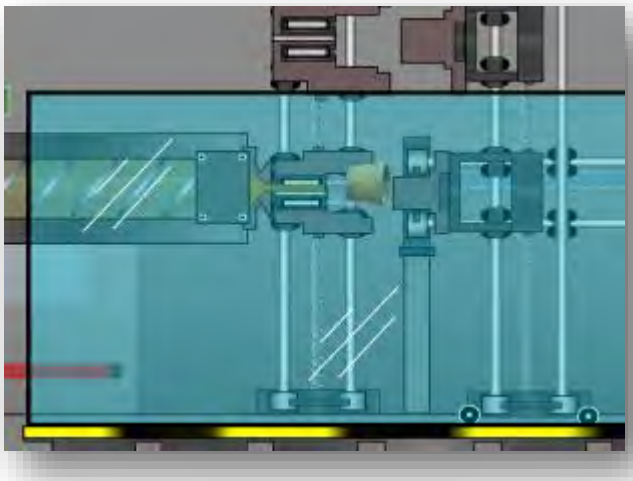
In questa fase si gestisce tutto il processo di estrusione del composto e dello stampo dei vasetti della grandezza desiderata.



Una volta terminata la strizzatura, i cinque composti verranno versati all’interno di un estrusore a coclea che una volta riempito, inizierà l’estrusione del composto tramite una vite azionata da un motore, all’interno di uno stampo.



Le forme utilizzate come stampo vengono cambiate in base al tipo di vasetto inizialmente impostato nelle ricette; il cambiamento avviene rimuovendo, in maniera coordinata, una forma ed inserendone un’altra in base alle impostazioni iniziali.

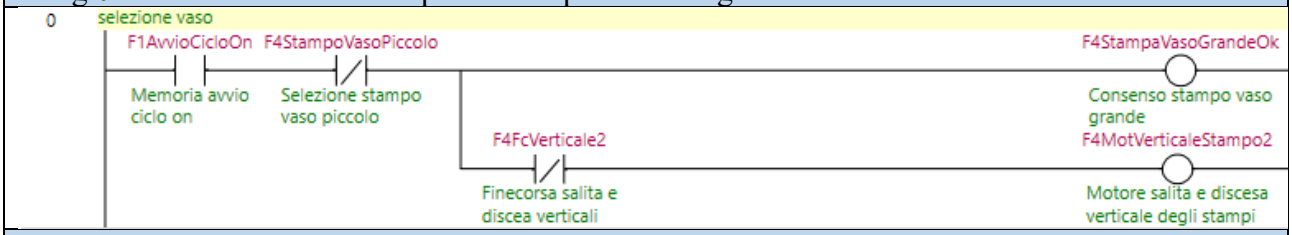


Una volta riempiti gli stampi, due pistoni posti al loro interno espellono i vasetti che cadranno su di un nastro e saranno ribaltati e trasportati alla successiva fase di essicazione.

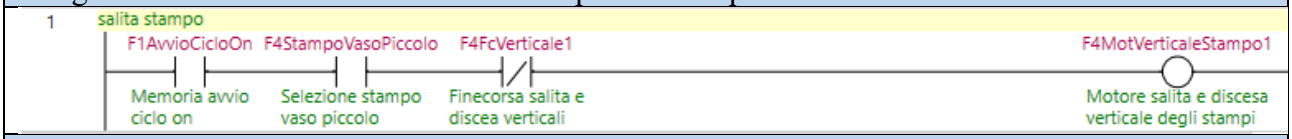
Un visore posto in alto a sinistra, evidenzierà i processi in corso ed il tipo di vasetto selezionato, nonché la quantità residua di composto presente nell'estrusore.

Programma ladder sezione Stampo:

Rung 0 - Attivazione consenso per lo stampo del vaso grande



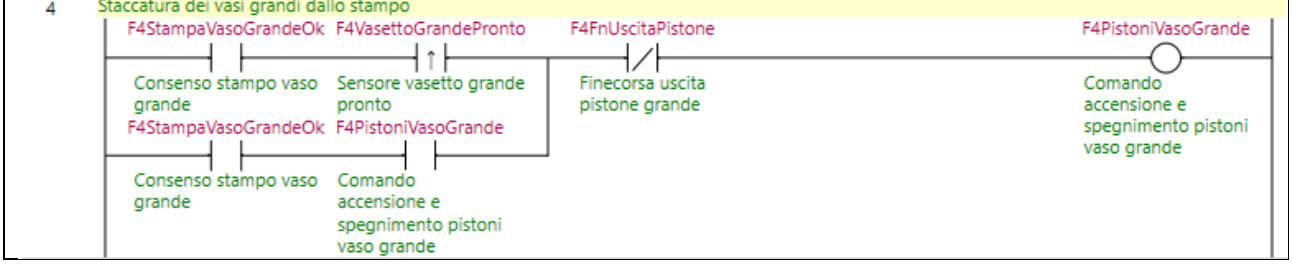
Rung 1 - Avvio motore verticale dello stampo del vaso piccolo



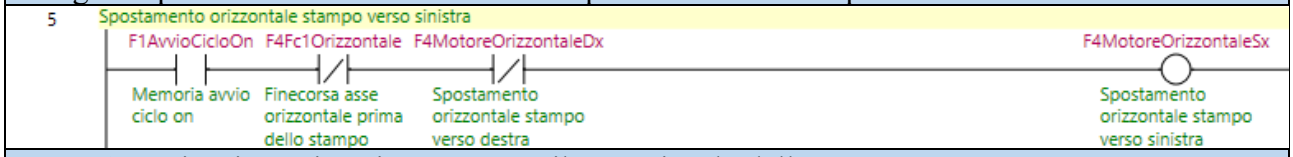
Rung 2 - Avvio motore della coclea

Rung 3 - Spostamento orizzontale a destra del tappo dello stampo

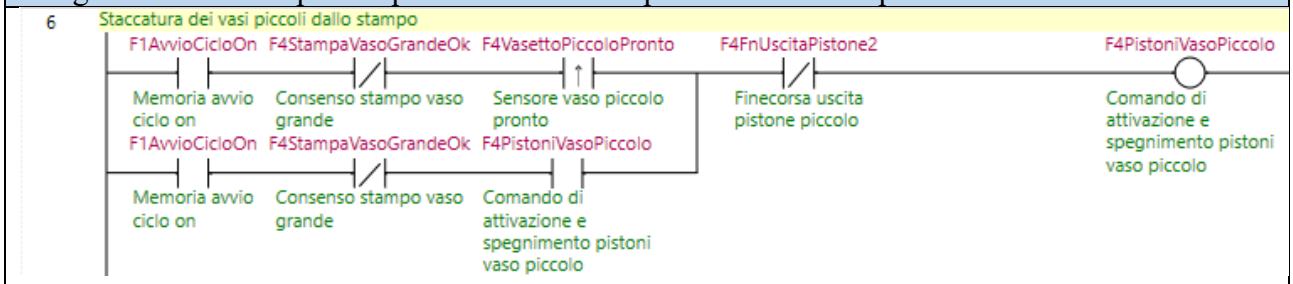
Rung 4 - Attivazione pistoni per staccare il vaso grande dallo stampo



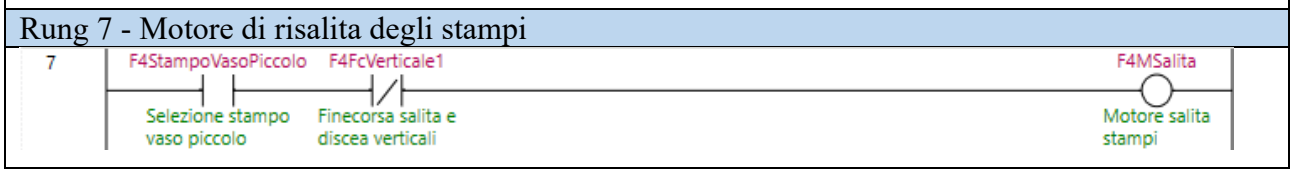
Rung 5 - Spostamento orizzontale a sinistra per chiudere lo stampo



Rung 6 - Attivazione pistoni per staccare il vaso piccolo dallo stampo

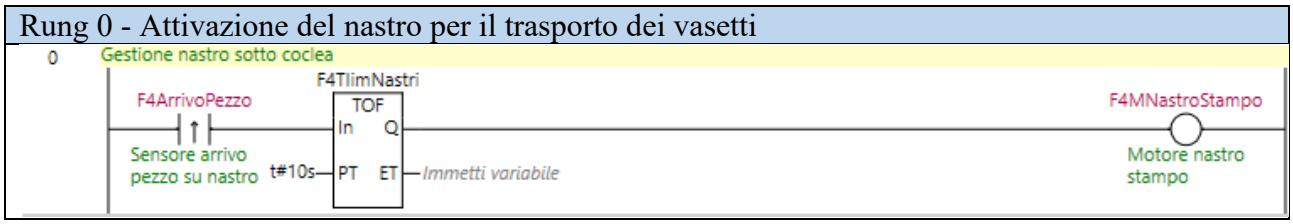


Rung 7 - Motore di risalita degli stampi



Programma Ladder sezione Nastri_Stampo:

Rung 0 - Attivazione del nastro per il trasporto dei vasetti



Programma Subroutine FASE 4:

Sub generale della FASE 4

```
'**************************
' MOVIMENTO COCLEA
'**************************
Sub F4Coclea
If F4ContatoreCoclea=0 And F4MotoreCoclea=True Then
   If _HMI_Millisecond>=0 And _HMI_Millisecond<=125 Then
      F4MovimentoCoclea1=False
      F4MovimentoCoclea2=True
      F4MovimentoCoclea3=False
   End If
   If _HMI_Millisecond>=0 And _HMI_Millisecond<=100 Then
      F4MovimentoCoclea1=True
      F4MovimentoCoclea2=False
      F4MovimentoCoclea3=False
   End If
   If _HMI_Millisecond>=100 And _HMI_Millisecond<=200 Then
      F4MovimentoCoclea1=False
      F4MovimentoCoclea2=False
      F4MovimentoCoclea3=True
   End If
   If _HMI_Millisecond>=201 And _HMI_Millisecond<=300 Then
      F4MovimentoCoclea1=True
      F4MovimentoCoclea2=False
      F4MovimentoCoclea3=False
   End If
```

```
   End If
   If _HMI_Millisecond>=301 And _HMI_Millisecond<=400 Then
      F4MovimentoCoclea1=False
      F4MovimentoCoclea2=True
      F4MovimentoCoclea3=False

   End If
   If _HMI_Millisecond>=401 And _HMI_Millisecond<=500 Then
      F4MovimentoCoclea1=False
      F4MovimentoCoclea2=False
      F4MovimentoCoclea3=True
   End If
   If _HMI_Millisecond>=501And _HMI_Millisecond<=600 Then
      F4MovimentoCoclea1=False
      F4MovimentoCoclea3=False
      F4MovimentoCoclea2=True
   End If
   If _HMI_Millisecond>=601 And _HMI_Millisecond<=700 Then
      F4MovimentoCoclea1=True
      F4MovimentoCoclea2=False
      F4MovimentoCoclea3=False
   End If
   If _HMI_Millisecond>701 And _HMI_Millisecond<=800 Then
      F4MovimentoCoclea1=False
      F4MovimentoCoclea2=False
      F4MovimentoCoclea3=True
   End If
```

```
    If _HMI_Millisecond>=801 And _HMI_Millisecond<=999 Then
        F4MovimentoCoclea1=True
        F4MovimentoCoclea2=False
        F4MovimentoCoclea3=False
    End If
End If
'*************************************************************************
'RIEMPIMENTO COCLEA
'*************************************************************************
If  F4MotoreCoclea=True And F4ConsensoCnt=False Then
   F4RiempimentoCoclea=F4RiempimentoCoclea+5
End If
If  F4Cnt1<4 Or F4Cnt2<4 Then
   F4ConsensoCnt=False
   Else
   F4ConsensoCnt=True
End If
 If F4Cnt1>3 Then
    F4VisSvuotG=True
 End If
  If F4Cnt2>3 Then
    F4VisSvuotP=True
 End If
 If  F4SvuotamentoCoclea<5 Then
    F4RiempimentoCoclea=0
 End If
    If  F4Cnt1>=4 Or F4Cnt2>=4 Then
   F4ConsensoCnt2=False
   Else
   F4ConsensoCnt2=True
End If
If  F4MotoreCoclea=True And F4ConsensoCnt2=False Then
   F4SvuotamentoCoclea=F4SvuotamentoCoclea-5
End If
If F4RiempimentoCoclea>=100 And F4MotoreCoclea=True And F4StampoVasoPiccolo=False  Then
   F4RiempimentoVasettoGrande=F4RiempimentoVasettoGrande+5
End If
If F4RiempimentoCoclea>=100 And F4MotoreCoclea=True And F4StampoVasoPiccolo=True Then
   F4RiempimentoVasettoPiccolo=F4RiempimentoVasettoPiccolo+5
End If
If F4StampoVasoPiccolo=True And  F4SvuotamentoCoclea>=95 Then
      F4VisInternoCocleaP=True
   F4VisInternoCocleaG=False
   Else
      F4VisInternoCocleaP=False
   F4VisInternoCocleaG=True
End If
If F4SvuotamentoCoclea<=95 Then
   F4VisInternoCocleaG=False
   F4VisInternoCocleap=False
End If
```

```
'*************************************************************************
'SPOSTAMENTO ORIZZONTALE TAPPI
'*************************************************************************
If F4MotoreOrizzontaleDx=True Then
F4SpostamentoOrizontale=F4SpostamentoOrizontale+5
End If
If F4MotoreOrizzontaleSx=True Then
F4SpostamentoOrizontale=F4SpostamentoOrizontale-5
End If
'*************************************************************************
'GESTIONE FINECORSA
'*************************************************************************
If F4SpostamentoOrizontale<=-105 Then
F4Fc1Orizzontale=True
Else
   F4Fc1Orizzontale=False
End If
If F4SpostamentoOrizontale>=0 Then
F4Fc2Orizzontale=True
F4VasettoGrandePronto=False
F4VasettoPiccoloPronto=False
Else
   F4Fc2Orizzontale=False
End If
'*************************************************************************
'SENSORE VASETTO PRONTO GRANDE
'*************************************************************************
If F4RiempimentoVasettoGrande>=100 Then
F4VasettoGrandePronto=True
F4RiempimentoVasettoGrande=0
F4VisVasoGrande1=True
F4Cnt1=F4Cnt1+1
End If
'*************************************************************************
'ANIMAZIONE PISTONI GRANDI E SPOSTAMENTO VASO
'*************************************************************************
If F4PistoniVasoGrande=True And F4AnimazionePistoniGrandi<=35  Then
F4AnimazionePistoniGrandi=F4AnimazionePistoniGrandi+2
End If
If  F4AnimazionePistoniGrandi>=35 Then
   F4FnUscitaPistone=True
Else
   F4FnUscitaPistone=False
End If
If F4PistoniVasoGrande=False And F4AnimazionePistoniGrandi>=1  Then
F4AnimazionePistoniGrandi=F4AnimazionePistoniGrandi-4
End If
If F4AnimazioneCadutaVasoGrande>=3 Or F4AnimazionePistoniGrandi>=34 Then
    F4VisVasoGrande1=False
   F4VisVasoGrandeCaduta=True
F4AnimazioneCadutaVasoGrande=F4AnimazioneCadutaVasoGrande+10
End If
If F4AnimazioneCadutaVasoGrande>180 Then
   F4VisVasoGrandeCaduta=False
   F4AnimazioneCadutaVasoGrande=0
End If
```

```
'*********************************************************************
'ANIMAZIONE PISTONI PICCOLI I E SPOSTAMENTO VASO
'*********************************************************************
If F4PistoniVasoPiccolo=True And F4AnimazionePistoniPiccoli<=35  Then
F4AnimazionePistoniPiccoli=F4AnimazionePistoniPiccoli+2
End If
If  F4AnimazionePistoniPiccoli>=35 Then
   F4FnUscitaPistone2=True
Else
   F4FnUscitaPistone2=False
End If
If F4PistoniVasoPiccolo=False And F4AnimazionePistoniPiccoli>=1  Then
F4AnimazionePistoniPiccoli=F4AnimazionePistoniPiccoli-4
End If
If F4AnimazioneCadutaVasoPiccoli>=3 Or F4AnimazionePistoniPiccoli>=34 Then
    F4VisVasoPiccolo1=False
   F4VisVasoPiccoloCaduta=True
F4AnimazioneCadutaVasoPiccoli=F4AnimazioneCadutaVasoPiccoli+10
End If
If F4AnimazioneCadutaVasoPiccoli>180 Then
   F4VisVasoPiccoloCaduta=False
   F4AnimazioneCadutaVasoPiccoli=0
End If
'*********************************************************************
'SPOSTAMENTO VERTICALE
'*********************************************************************
If F4MotVerticaleStampo1=True Then
   F4AnimSalita=F4AnimSalita-2
End If
If F4MotVerticaleStampo2=True Then
   F4AnimSalita=F4AnimSalita+2
End If
'*********************************************************************
'FINE CORSA VERTICALE
'*********************************************************************
If F4AnimSalita<=-102 Then
   F4FcVerticale1=True
   Else
   F4FcVerticale1=False
End If
If F4AnimSalita>=0 Then
   F4FcVerticale2=True
   Else
   F4FcVerticale2=False
End If
'*********************************************************************
'SENSORE VASETTO PRONTO
'*********************************************************************
If F4RiempimentoVasettoPiccolo>=100 Then
F4VasettopiccoloPronto=True
F4RiempimentoVasettoPiccolo=0
F4VisVasoPiccolo1=True
F4Cnt2=F4Cnt2+1
End If
```

```
'*************************************************************************
'SELEZIONE VASO PICCOLO O GROSSO
'*************************************************************************
If nometemplate="VasiPiccoli" Then
   F4StampoVasoPiccolo=True
End If
If nometemplate="VasiGrandi" Then
   F4StampoVasoPiccolo=False
End If
'*************************************************************************
''GESTIONE ANIMAZIONE NASTRO
'*************************************************************************
   If F4MNastroStampo=True Then
      F4RotNastro0=F4RotNastro0+2.5
      F4Dente1N0=F4Dente1N0+5
      F4Dente2N0=F4Dente2N0+5
      F4Dente3N0=F4Dente3N0+5
      F4Dente4N0=F4Dente4N0+5
      F4Dente5N0=F4Dente5N0+5
      F4Dente6N0=F4Dente6N0+5
   End If
   If F4Dente1N0=500 Then
      F4Dente1N0=0
   End If
   If F4Dente2N0=400 Then
      F4Dente2N0=-100
   End If
   If F4Dente3N0=300 Then
      F4Dente3N0=-200
   End If
   If F4Dente4N0=200 Then
      F4Dente4N0=-300
   End If
   If F4Dente5N0=100 Then
      F4Dente5N0=-400
   End If
   If F4Dente6N0=0 Then
      F4Dente6N0=-500
   End If
```

```
'*************************************************************************
'GESTIONE MOVIMENTO VASETTI GRANDI SU NASTRO
'*************************************************************************
If F4AnimazioneCadutaVasoGrande>=180 Or F4AnimazioneCadutaVasoPiccoli>=180 Then
   F4ArrivoPezzo=True
Else
   F4ArrivoPezzo=False
End If
If F4AnimazioneCadutaVasoGrande>=180 And F4Ogg2_O<=5 Or F4Ogg1_O>=5 Then
   F4Ogg1_O=F4Ogg1_O+5
   F4Ogg1Vis=True
End If
If F4Ogg1_O>=640 Then
   F4Ogg1_O=0
   F4Ogg1Vis=False
End If
If F4AnimazioneCadutaVasoGrande>=180 And F4Ogg1_O>=20 Or F4Ogg2_O>=5 Then
   F4Ogg2_O=F4Ogg2_O+5
   F4Ogg2Vis=True
End If
If F4Ogg2_O>=640 Then
   F4Ogg2_O=0
   F4Ogg2Vis=False
End If
If F4AnimazioneCadutaVasoGrande>=180 And F4Ogg2_O>=20 Or F4Ogg3_O>=5 Then
   F4Ogg3_O=F4Ogg3_O+5
   F4Ogg3Vis=True
End If
If F4Ogg3_O>=640 Then
   F4Ogg3_O=0
   F4Ogg3Vis=False
End If
If F4AnimazioneCadutaVasoGrande>=180 And F4Ogg3_O>=20 Or F4Ogg4_O>=5 Then
   F4Ogg4_O=F4Ogg4_O+5
   F4Ogg4Vis=True
End If
If F4Ogg4_O>=640 Then
   F4Ogg4_O=0
   F4Ogg4Vis=False
End If
```

```
'*********************************************************************
'GESTIONE MOVIMENTO VASETTI PICCOLI SU NASTRO
'*********************************************************************
If F4AnimazioneCadutaVasoPiccoli>=180 And F4Ogg2_p<=5 And F4Ogg3_p<=5 Or F4Ogg1_p>=5 Then
   F4Ogg1_p=F4Ogg1_p+5
   F4Ogg1Visp=True
End If
If F4Ogg1_p>=640 Then
   F4Ogg1_p=0
   F4Ogg1Visp=False
End If
If F4AnimazioneCadutaVasoPiccoli>=180 And F4Ogg1_p>=20 Or F4Ogg2_p>=5 Then
   F4Ogg2_p=F4Ogg2_p+5
   F4Ogg2Visp=True
End If
If F4Ogg2_p>=640 Then
   F4Ogg2_p=0
   F4Ogg2Visp=False
End If
If F4AnimazioneCadutaVasoPiccoli>=180 And F4Ogg2_p>=20 Or F4Ogg3_p>=5 Then
   F4Ogg3_p=F4Ogg3_p+5
   F4Ogg3Visp=True
End If
If F4Ogg3_p>=640 Then
   F4Ogg3_p=0
   F4Ogg3Visp=False
End If
If F4AnimazioneCadutaVasoPiccoli>=180 And F4Ogg3_P>=20 Or F4Ogg4_p>=5 Then
   F4Ogg4_p=F4Ogg4_p+5
   F4Ogg4Visp=True
End If
If F4Ogg4_p>=640 Then
   F4Ogg4_p=0
   F4Ogg4Visp=False
End If
'*********************************************************************
'QUANTITA' ALL'INTERNO DELLA COCLEA
'*********************************************************************
If F3NastriStrizzatura.Cmd.Pos>=10000 And F3NastriStrizzatura.Cmd.Pos<11000Then
   F4VarImp=20
End If
If F3NastriStrizzatura.Cmd.Pos>=11000  And F3NastriStrizzatura.Cmd.Pos<12000 Then
   F4VarImp=40
End If
If F3NastriStrizzatura.Cmd.Pos>=12000 And F3NastriStrizzatura.Cmd.Pos<13000  Then
   F4VarImp=60
End If
If F3NastriStrizzatura.Cmd.Pos>=13000 And F3NastriStrizzatura.Cmd.Pos<14000  Then
   F4VarImp=80
End If
If F4Cnt1<1 Or F4Cnt2<1 Then
   F4memoria1=False
   Else
   F4memoria1=True
End If
If F3NastriStrizzatura.Cmd.Pos>=14000  And F4memoria1=True Then
   F4VarImp=100
End If
```

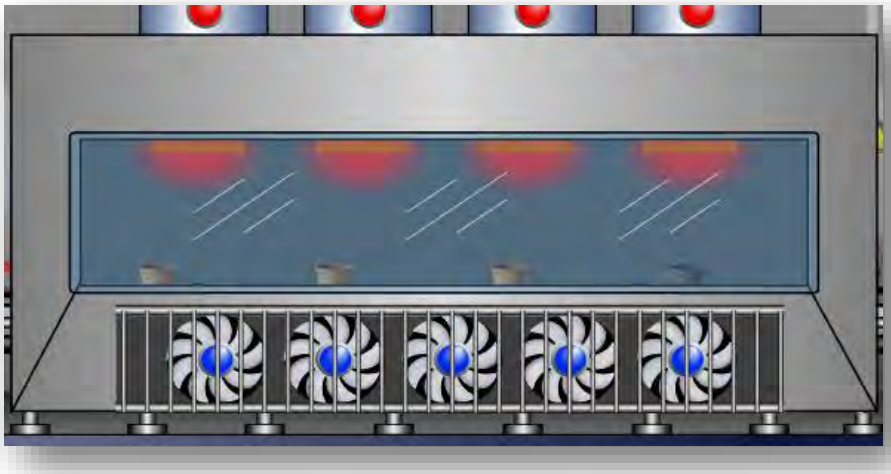
```
350 If F4Cnt1=1 Or F4Cnt2=1 Then
351     F4VarImp=80
352 End If
353 If F4Cnt1=2 Or F4Cnt2=2 Then
354     F4VarImp=60
355 End If
356 If F4Cnt1=3 Or F4Cnt2=3 Then
357     F4VarImp=40
358 End If
359 If F4Cnt1=4 Or F4Cnt2=4 Then
360     F4VarImp=20
361 End If
362 If F4Cnt1=5 Or F4Cnt2=5 Then
363     F4VarImp=0
364     F4Cnt1=0
365     F4Cnt2=0
366 End If
367 If F4VarImp>40 Or F4memoria1=True Then
368     F4PresenzaPoltiglia=True
369     Else
370     F4PresenzaPoltiglia=False
371 End If
372 End Sub
```

La pagina “FASE5”

In questa pagina avviene la fase di essiccazione dei vasetti.

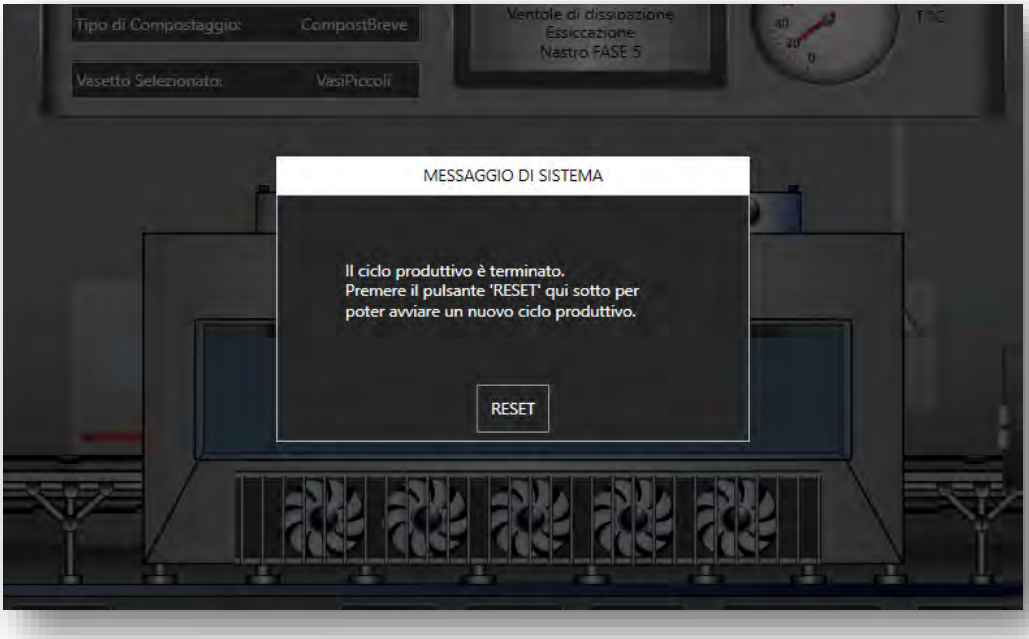
Appena terminata la fase precedente, il forno inizierà a scaldarsi ad opera di riscaldatori posti al suo interno che, insieme a delle ventole di dissipazione, manterranno la temperatura pressoché stabile intorno al valore di circa 80°C.

Una volta che la temperatura ha raggiunto il valore prestabilito, i vasetti prodotti nella fase precedente passeranno attraverso il forno che li essiccherà per il periodo di tempo determinato dalla ricetta.



I vasetti vengono trasportati all'interno del forno tramite un motore Brushless.

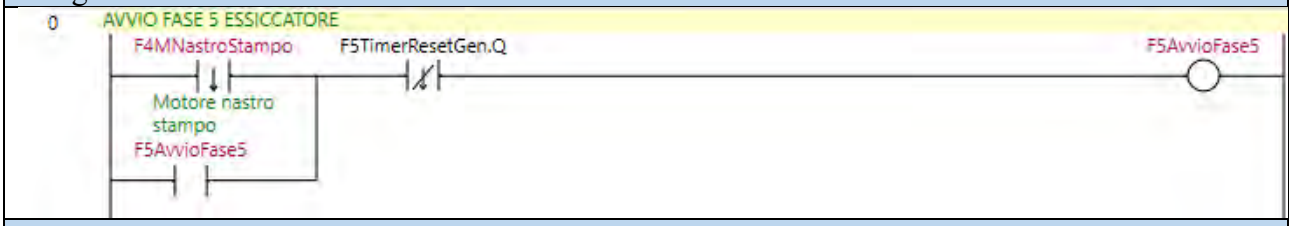
Il tipo di compostaggio scelto va a variare la velocità del nastro così da rispettare i tempi di cottura: se, ad esempio, il periodo di compostaggio selezionato è quello breve, il nastro andrà più veloce rispetto al compostaggio lungo.



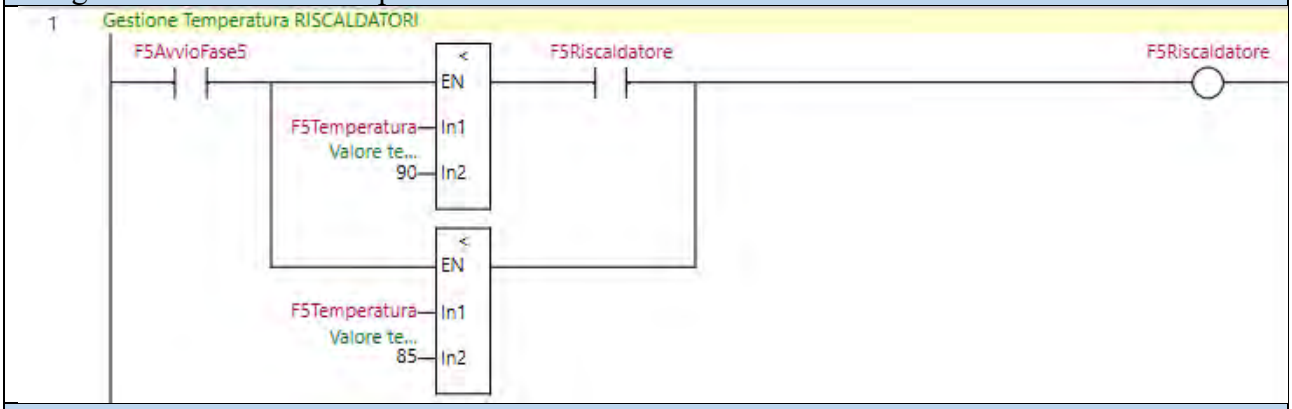
Una volta essiccati, i vasetti verranno trasportati verso lo stoccaggio e, quando l'ultimo vasetto sarà transitato in corrispondenza dell'apposito sensore, il ciclo produttivo avrà termine: il forno si spegnerà e, dopo pochi secondi, comparirà un messaggio di sistema che avvertirà della fine del ciclo di produzione. Le varie fasi produttive e i valori principali sono riportati nel visore.

Programma Ladder sezione Forno:

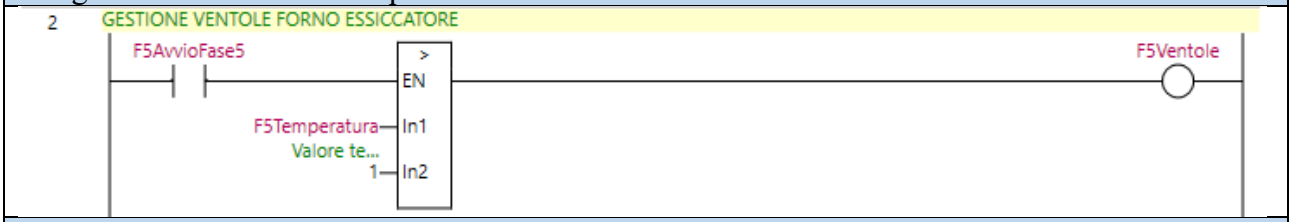
Rung 0 - Avvio Fase 5



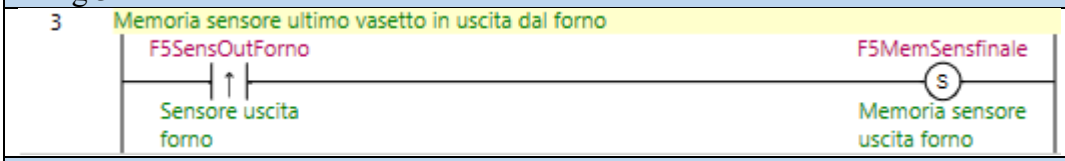
Rung 1 - Gestione della temperatura tramite riscaldatori



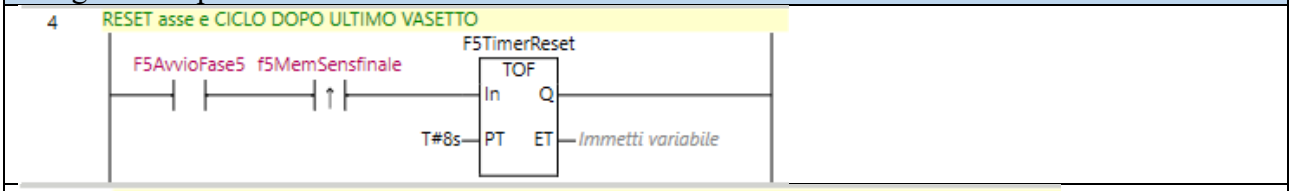
Rung 2 - Gestione della dissipazione del calore tramite ventole

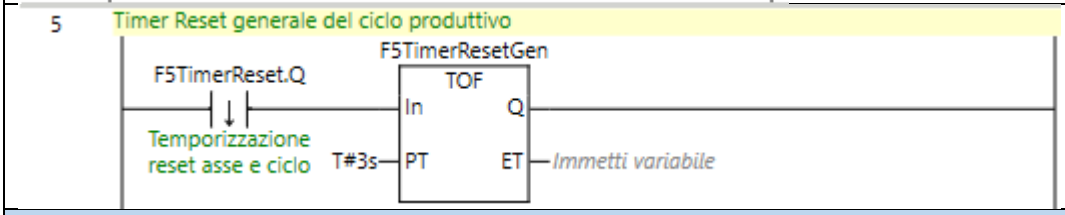


Rung 3 - Attivazione della memoria del sensore finale

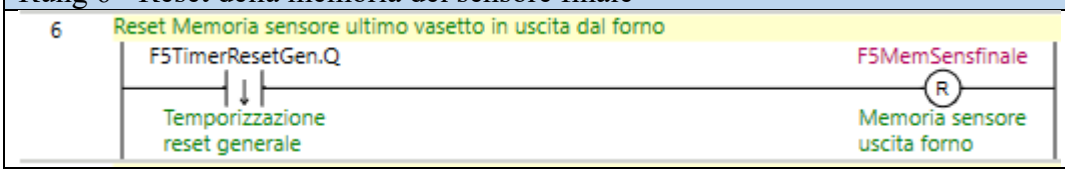


Rung 4 - Temporizzazione del reset dell'asse e del ciclo

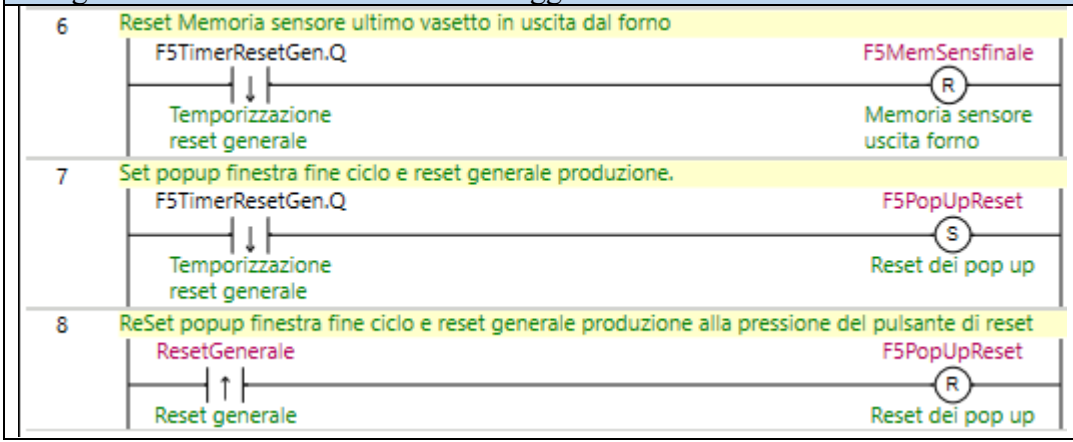




Rung 6 - Reset della memoria del sensore finale

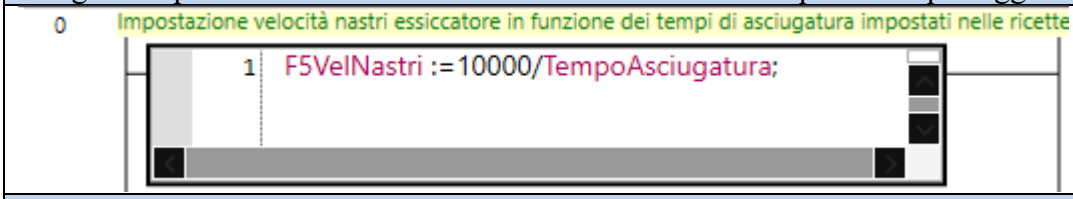


Rung 7/8 - Gestione variabile del messaggio finale

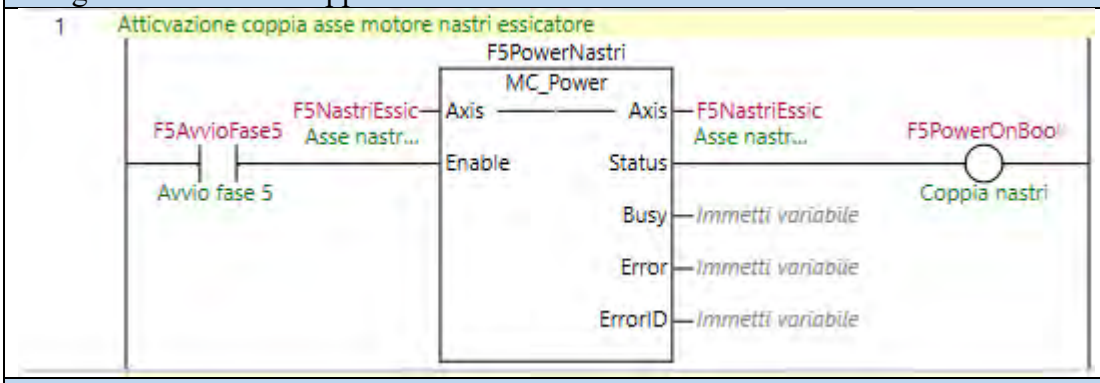


Programma ladder sezione Esiccazione:

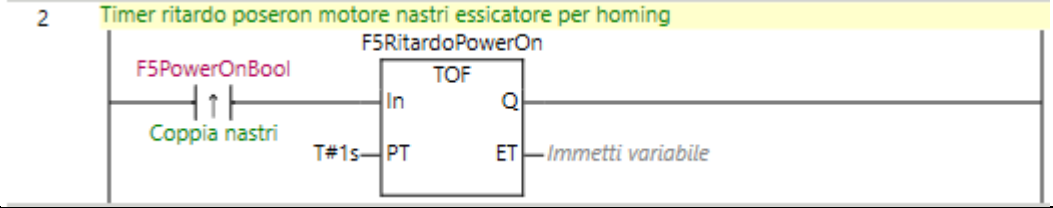
Rung 0 - Impostazione velocità del nastro in relazione al tempo di compostaggio



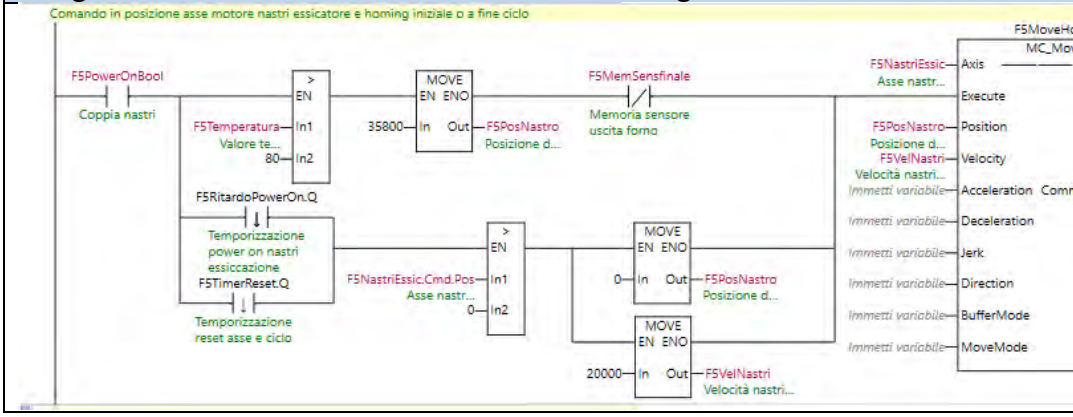
Rung 1 - Attivazione coppia del nastro



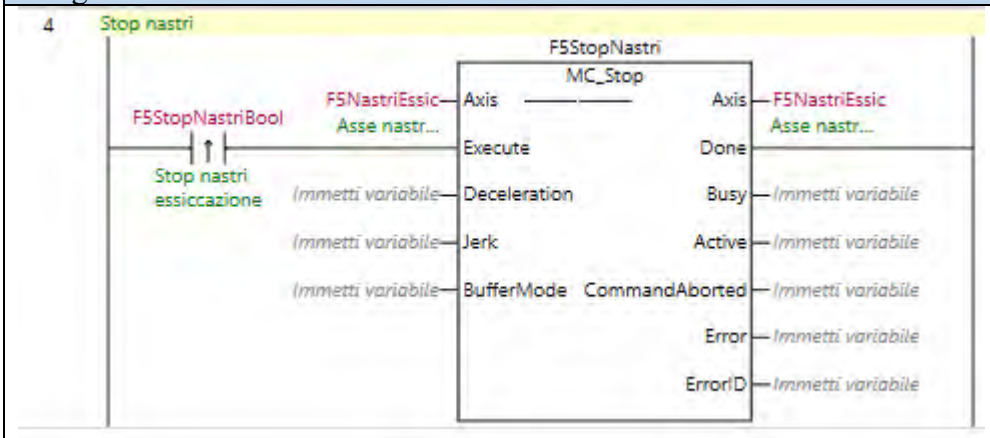
Rung 2 - Ritardo attivazione coppia



Rung 3 - Avvio del nastro e cotrollo sul suo Homing



Rung 4 - Gestione arresto del nastro



Programma Subroutine FASE 5:

Sub per la gestione della temperatura

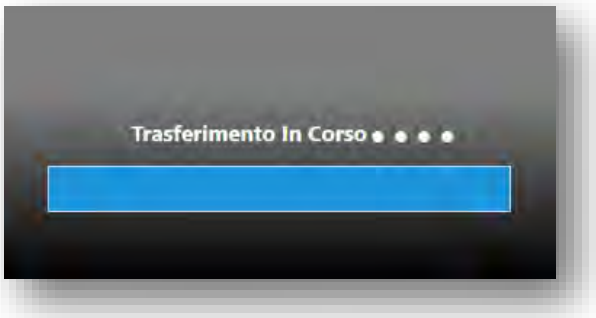
```
Sub F5GestTemperatura
'************************************
'sens reset ciclo
'************************************
If F5NastriEssic.Cmd.Pos>17000 And F5NastriEssic.Cmd.Pos<17500 Then
   F5SensOutForno=True
Else
   F5SensOutForno=False
End If
'*****************************************************
'Variabile Temperatura
'*****************************************************

If F5Riscaldatore = True Then
   F5Temperatura = F5Temperatura + 1
End If
If F5Riscaldatore = False And F5Temperatura>30 Then
   F5Temperatura = F5Temperatura - 1
End If
End Sub
```

Sub per la gestione delle animazioni

```
Sub animazioni
'*****************************************
'*   ANIMAZIONE VENTOLE FORNO
'*****************************************
If F5Ventole=True Then
   F5RotVentole=F5RotVentole-5
End If
If F5Ventole1=True Then
   F5RotVentole=F5RotVentole-20
End If
```

```
'*****************************************
'*   ANIMAZIONE NASTRI
'*****************************************
If F5VelocityAct=True Then
      F5RotNastro2=F5RotNastro2+1
      F5RotDenteN2=F5RotDenteN2+2
      F5Dente6VN2=False
      F5Dente1N2=F5Dente1N2+2
      F5Dente2N2=F5Dente2N2+2
      F5Dente3N2=F5Dente3N2+2
      F5Dente4N2=F5Dente4N2+2
      F5Dente5N2=F5Dente5N2+2
      F5Dente6N2=F5Dente6N2+2
   End If
   If F5Dente1N2=500 Then
      F5Dente1N2=0
      F5RotDenteN2=0
   End If
   If F5Dente2N2=400 Then
      F5Dente2N2=-100
      F5RotDenteN2=0
   End If
   If F5Dente3N2=300 Then
      F5Dente3N2=-200
      F5RotDenteN2=0
   End If
   If F5Dente4N2=200 Then
      F5Dente4N2=-300
      F5RotDenteN2=0
   End If
   If F5Dente5N2=100 Then
      F5Dente5N2=-400
      F5RotDenteN2=0
   End If
   If F5Dente6N2=0 Then
      F5Dente6N2=-500
      F5RotDenteN2=0
   End If
   If ResetNastro1=True Then
      F5Dente1N2=0
      F5Dente2N2=0
      F5Dente3N2=0
      F5Dente4N2=0
      F5Dente5N2=0
      F5Dente6N2=0
      F5RotDenteN2=0
   End If
End Sub
```

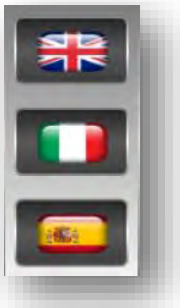
Le pagine “PopUp”



TRASFRICETTA:

Questo popup compare quando si scrive sul PLC la ricetta da produrre.

CAMBIOLINGUA:



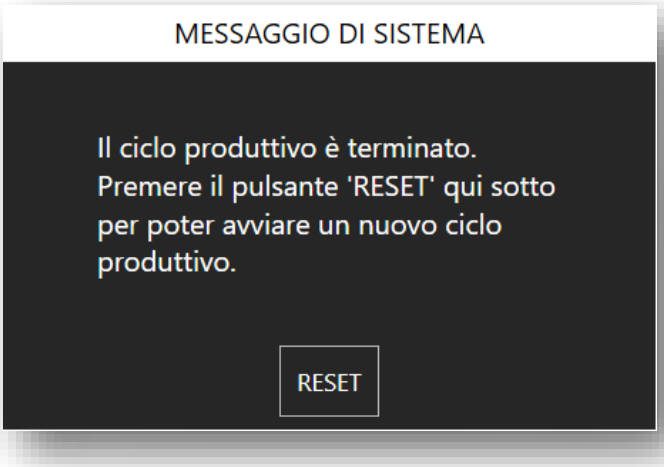
Questo popup compare quando si preme il pulsante per selezionare la lingua di sistema tra la lingua italiana, inglese o spagnola.

SEL PAGINE PROCESSO:

Questo popup permette di cambiare pagina scegliendola tra tutte quelle disponibili nel progetto.

FINE_CICLO:

Questa finestra di tipo popup compare dopo qualche secondo dalla fine del ciclo di lavoro e, dopo la pressione del pulsante “RESET”, permette all’operatore di iniziare un nuovo ciclo di lavoro mantenendo le quantità precedentemente impostate degli ingredienti.



Plant Logic Controller

< Sommario

Quanto costa al giorno d'oggi, nonostante la globalizzazione diffusa, l'importazione e l'esportazione di prodotti agricoli, spesso coltivati ed ottenuti solo grazie a molta manodopera?

P.L.C. è un progetto di serra 4.0 che nasce dall'idea di modernizzare e automatizzare il processo, a livello industriale, di crescita delle piante, offrendo un'esperienza che sappia coniugare le tecnologie moderne con la cura dell'ambiente.

ITI Leonardo Da Vinci – Carpi MO – Classi IV e V

- **Docente coordinatore**: Sandro Gualdi
- **Studenti:** Gianluca Fregni, Cheng Hao Lin, Gabriele Torelli.

SMART PROJECT OMRON 2022

Plant Logic Controller®

Plant Logic Controller

P.L.C. è un progetto di serra 4.0 che nasce dall'idea di modernizzare e automatizzare il processo, a livello industriale, di crescita delle piante, offrendo un'esperienza che sappia coniugare le tecnologie moderne con la cura dell'ambiente.

La modularità del prodotto, supportata dalla connessione in rete dei dispositivi, permette alle imprese un alto livello di supervisione e automatizzazione, oltre che a fornire diverse opzioni di personalizzazione che permettono al nostro prodotto di adattarsi a qualsiasi realtà industriale e commerciale.

ITIS LEONARDO DA VINCI CARPI
PROGETTO Plant Logic Controller

SOMMARIO

SOMMARIO 1

IL TROFEO SMART PROJECT 2

LA SCUOLA 3

Introduzione 6

Obiettivi 7

Descrizione generale progetto 9
SCHEMA A BLOCCHI DEL SISTEMA: 11

P.L.C.: ALL'INTERNO DELLA SERRA (HARDWARE) 12
SENSORE DI TEMPERATURA E UMIDITA' 12
UMIDIFICATORE E DEUMIDIFICATORE 12
RISCALDAMENTO/REFRIGERAZIONE CON POMPA DI CALORE 14
IDROPOMPA 14
ELETTROVALVOLA 15
FLOW METER 15

FUNZIONAMENTO PANNELLO OPERATORE 16
MAIN 16
WATER SYSTEM 18
MODULE VIEW 19
COLTURE EDIT POP UP 20
DATE PICKER 21
AMBIENT EDIT POP UP 22
SENSOR SIMULATOR 23

Il SOFTWARE 24
DATI E STRUTTURE 24
SUBROUTINE 26
EVENTI E AZIONI PANNELLO 31
ANIMAZIONI 34
BLOCCHI FUNZIONE 35
LIBRERIA PlantLC 43
VARIABILI INTERNE 43
PROGRAMMA MAIN 44
PROGRAMMA SIMULATOR 46

I/O PLC 49

SVILUPPI FUTURI 50

IL TROFEO SMART PROJECT

Introduzione del Prof. Sandro Gualdi Docente Coordinatore del progetto.

Il trofeo Smart Project della Omron è un'ottima opportunità, che cerco di cogliere e far cogliere ai miei studenti a ogni anno di pubblicazione.
Come Insegnante Tecnico Pratico sono sempre sensibile a concorsi, progetti e iniziative che possano unire l'aspetto pratico, didattico, creativo, concreto con una serie di Iter tipici delle scadenze e incombenze aziendali; aspetti e competenze necessarie per proseguire il percorso di studi ed inserimento nel mondo del lavoro.
Quest'anno in particolare, freschi di un corso di 16 ore sull'ambiente SYSMAC STUDIO, ho proposto la partecipazione alle due classi quarte e due quinte in cui insegno.
Inizialmente non mi pongo limiti di partecipanti o di idee, ma poi, concretizzando, dopo qualche settimana, costruisco un team che sia una classe, parte di una classe o come accaduto quest'anno un insieme di studenti provenienti da classi diverse.
L'idea emersa da uno studente dopo un brainstorming iniziale ha coinvolto e incuriosito trasversalmente tutti i partecipanti, si è dunque deciso di comune accordo di sviluppare quest'ultima.
Il mio ruolo, è principalmente quello di poter consigliare la fattibilità delle idee proposte, di dare una supervisione e di ricordare i tempi e le documentazioni necessarie, senza però entrare troppo nello sviluppo in quanto ritengo sia giusto che siano i partecipanti a sviluppare e implementare l'idea iniziale.
Quest'anno, nonostante ancora problemi legati all'aspetto epidemiologico e quindi all'indisponibiltà temporanea di alcuni membri, tutti hanno lavorato veramente in modo proficuo e positivo, un gruppo di studenti veramente esemplari!

LA SCUOLA

Leonardo da Vinci
istituto tecnico industriale

L'ITIS Leonardo da Vinci di Carpi è un istituto tecnico industriale situato nella provincia di Modena, zona altamente industrializzata e attiva nel settore elettronico e dell'automazione.

L'istituto ha 4 indirizzi di studio:

- elettronica
- meccanica
- chimica
- informatica

La scuola conta 970 studenti suddivisi in 44 classi.
In particolare il corso di elettronica ha come articolazione Automazione Industriale.

L'equipe dello smart project è composto da:11 studenti e un'insegnante di riferimento. Gli studenti appartengono alle classi: 4^BE, 5^AE e 5^BE.

tutti gli aspetti della creazione del progetto sono stati così divisi :

- Alla programmazione del controllore e del pannello sinottico hanno lavorato 3 persone:
  -Fregni Gianluca
  -Lin Cheng Hao
  -Torelli Gabriele

- Al filmato hanno lavorato 3 persone:
  -De Sarno Carmine
  -Maurizi Luca
  -Sanfelici Francesco

- Al documento tecnico hanno lavorato 5 persone:
  -Coccapani Filippo
  -De Chiara Alessandro
  -Gualdi Noah
  -Morani Enrico
  -Sanfelici Francesco

Alla base di un corretto sviluppo si è cercato di incentivare la collaborazione di tutti i membri partecipanti.
Il Dipartimento di elettronica con articolazione Automazione non ha uno storico di esperienze sul PLC, infatti, è stato introdotto da circa 5 anni. Provenendo da CxProgrammer è stata un'ulteriore sfida utilizzare il nuovo software Omron Sysmac Studio.

Immagine del team di sviluppo del progetto:

ITIS LEONARDO DA VINCI CARPI (MO)
Gruppo Multiclasse 4^BE, 5^AE e 5^BE.
4^BE: Maini, Coccapani.
5^AE: Alijat, Fregni, Lin, Sanfelici, Torelli,
5^BE: De Chiara, De Sarno, Gualdi, Maurizi, Morani.
Docente Coordinatore: Sandro Gualdi.

Introduzione

Quanto costa al giorno d'oggi, nonostante la globalizzazione diffusa, l'importazione e l'esportazione di prodotti agricoli, spesso coltivati ed ottenuti solo grazie a molta manodopera?
La proposta delle classi 4^BE, 5^AE e 5^BE e dell'istituto tecnico Leonardo Da Vinci di Carpi, è quella di una serra automatizzata, su scala industriale.
L'acquisto e la diffusione di tale progetto garantirebbe una gestita coltivazione, in quanto l'operatore avrebbe il controllo su ogni variabile che può influire sulla qualità e sulla velocità della maturazione di ciascun prodotto agricolo. Questo porterebbe anche ad un maggiore controllo delle risorse impiegate per la crescita dei prodotti, limitando gli sprechi d'acqua e di energia. Tutto ciò ridurrebbe i costi di produzione, garantendo, alle aziende produttrici, un maggior guadagno ed una maggior competitività sul mercato, mentre, ai clienti, prezzi migliori abbinati alla miglior qualità possibile ed alla certezza che, ciò che è entrato a contatto con il proprio prodotto, sia salutare e controllato.
Infine, tra i vantaggi del seguente progetto, vi è la massiva riduzione dell'importazione di prodotti agricoli, e le sue rispettive spese, questo fattore, concorre, insieme a quelli già elencati, al risparmio economico ed ambientale, a favore sia delle aziende produttrici, che dei consumatori.

Obiettivi

Ci siamo accorti che ultimamente si presta sempre più di attenzione alla provenienza di un prodotto che si vuole acquistare.

La domanda quindi che ci siamo posti nella fase iniziale è: come possiamo assicurare un'ottimizzazione del processo agricolo di crescita di ortaggi e/o frutti, mantenendo un elevato standard qualitativo e organolettico?

Con l'utilizzo del nostro sistema sarà possibile far crescere qualsiasi tipo di pianta (con condizioni e necessità differenti), a seconda delle esigenze di produzione e del prodotto coltivato.

Il sistema è stato realizzato in modo da avere una struttura modulare permettendo così una facile personalizzazione. In base alle necessità dell'azienda stessa, con poche modifiche mirate al software, è possibile adattare il programma in breve tempo.

Inoltre l'interfaccia grafica del pannello operatore è stata realizzata con il fine di rendere facilmente comprensibile e accessibile l'utilizzo del programma.

Lo sviluppo del progetto e del software ha ampiamente considerato l'aspetto didattico.
Il programma infatti contiene:

- Librerie;
- Blocchi funzione personalizzati sviluppati in ladder o in testo strutturato;
- Subroutine in VisualBasic;
- Più programmi in tasks;
- Array;
- Strutture;
- Inline ST;

Uno dei principali obiettivi durante lo sviluppo del progetto, è stato quello di renderlo efficiente dal punto di vista energetico e delle risorse. Infatti è stata presa come ispirazione l'agenda SDGs 2030, in particolare il 2° e il 12° goal:

Descrizione generale progetto

Plant Logic Controller è un sistema di controllo automatico per serre, programmato in linguaggio ladder e testo strutturato attraverso la suite Sysmac Studio, basandosi sul controllore NX1P2-9024DT1.
Il sistema gestisce fino a 6 serre contemporaneamente, controllate da un pannello sinottico centrale, dal quale è possibile regolare quantità e ritmo di irrigazione delle singole serre, controllo di umidità del terreno e controllo della temperatura e dell'umidità dell'aria oltre che a monitorare ogni passo della crescita della pianta.
Il sistema è stato costruito in modo da poter creare un habitat ideale per la crescita di ogni pianta, rendendo più efficiente la coltivazione e permettendo la coltura di piante fuori stagione.

Grazie alla sua trasversalità Il sistema può essere applicato a tutte le tipologie di serra elencate di seguito e suddivise in base a:

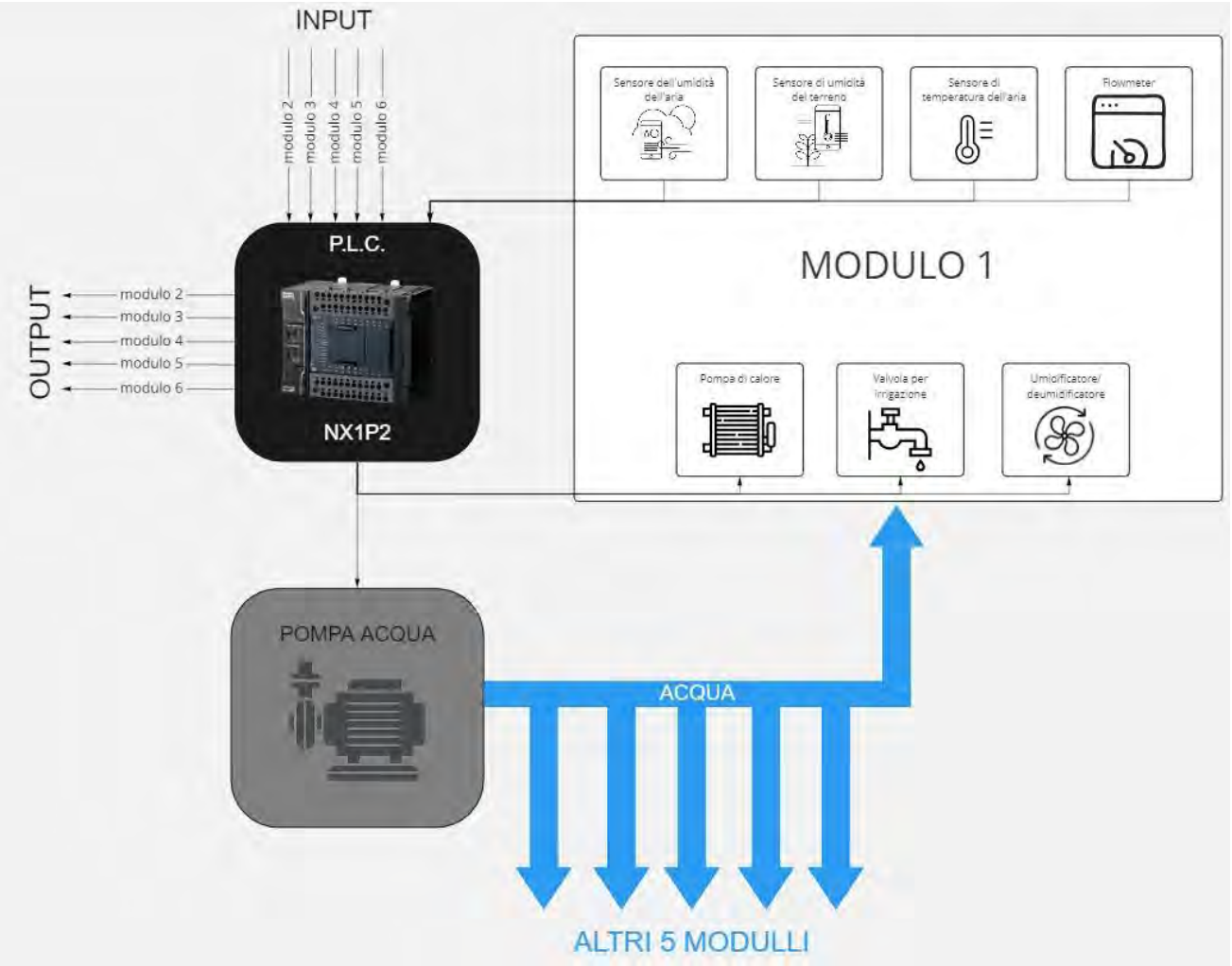
- In base all'uso
  -Serre da coltivazione: sono utilizzate per la coltivazione dell'orto.
  -Per la forzatura: sono impiegate per la crescita di piante e fiori.
  -Per la moltiplicazione : aiutano lo sviluppo delle radici di piante da fiore o da frutto.
  -Da essiccazione: è il luogo dove vengono lasciati i prodotti agricoli ad essiccare.
  -Idroponiche: prevedono l'utilizzo esclusivo dell'acqua e si basano sul dosaggio controllato dei principi nutritivi.

- In base alla struttura
  -Serra a tunnel: questa tipologia si presenta con una volta ellittica o semicircolare. Il rivestimento è in materiale plastico. Viene impiegata per coltivare fiori e ortaggi.
  -Serra a falda: è una struttura che può avere falde simmetriche o asimmetriche. Qui vi vengono coltivati ortaggi, piante grasse e fiori.

- In base alla temperatura
  -Serre fredde: la climatizzazione avviene unicamente dalla luce del sole.
  -Temperate: viene garantita una temperatura che oscilla tra 10 e 14 durante la fascia notturna.
  -Calde: di notte la temperatura va da 16 a 20 gradi.

Immagine rappresentativa della serra

SCHEMA A BLOCCHI DEL SISTEMA:



Schema a blocchi del funzionamento del sistema

P.L.C.: ALL'INTERNO DELLA SERRA (HARDWARE)

SENSORE DI TEMPERATURA E UMIDITA'

All'interno della serra è posto un sensore di temperatura.
Il sensore di temperatura è un dispositivo che rileva le variazioni di temperatura dell'aria o della temperatura superficiale di liquidi e solidi. È un trasduttore infatti trasforma la grandezza temperatura in grandezza elettrica.

Immagine del sensore di temperatura e umidità

UMIDIFICATORE E DEUMIDIFICATORE

L'umidificatore consente di gestire l'umidità all'interno della serra. Quando le temperature esterne sono particolarmente rigide, di solito, si tende a riscaldare la serra, non tenendo conto dello sbalzo di temperatura e delle conseguenze negative. L'umidificatore risolve questo problema, mantenendo il giusto livello di umidità e gestendo il microclima della serra. Senza l'umidificatore, con il calore proveniente da stufe e termosifoni, l'aria si seccherebbe e ciò creerebbe scompensi, con l'umidificatore si riescono a creare le condizioni ottimali affinché le coltivazioni non ne risentano.

Immagine umidificatore

Il deumidificatore, invece, serve per eliminare l'umidità in eccesso dalla serra. Il suo compito è quello di eliminare il tasso di umidità, sempre per evitare di creare problemi alle coltivazioni presenti nella serra. È utile in estate e soprattutto in inverno, per eliminare il freddo umido, per allontanare la formazione di muffa e batteri, ovviamente dannosi per tutto l'ecosistema della serra.

Immagine deumidificatore

- **RISCALDAMENTO/REFRIGERAZIONE CON POMPA DI CALORE**

All'interno della serra vi sarà posto un sistema di riscaldamento / refrigerazione mediante pompa di calore. Lo scopo del sistema è quello di mantenere, all'interno della serra, un clima ottimale per la crescita delle piante aumentando di conseguenza la resa del raccolto; allargando la cerchia di varietà coltivabili e rendendo l'orto perfetto anche nei mesi invernali evitando così danni o rallentamenti nei mesi più freddi.

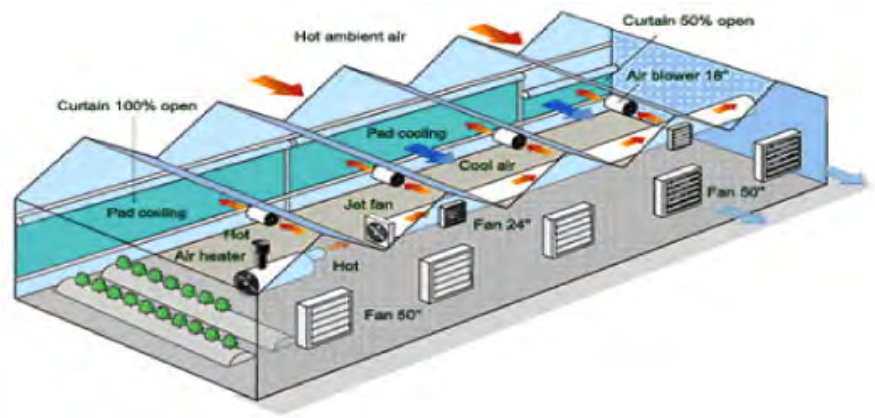


Immagine del sistema di aerazione

- **IDROPOMPA**

Un' idropompa, è una macchina idraulica che sfrutta organi meccanici per sollevare o spostare liquidi.
La pompa si attiverà solamente nel momento in cui si azionano le valvole. Dalla pompa, inoltre, sarà possibile impostare la quantità d'acqua da noi desiderata e ogni quanto annaffiare le piante all'interno della serra.

Immagine della idropompa

- **ELETTROVALVOLA**

l'elettrovalvola è un tipo di valvola che apre la pompa e permette al flusso d'acqua di irrigare le piante all'interno della serra. La sua attivazione è gestita dall'unità di controllo che si basa a sua volta su orario e data impostate dall'operatore

Immagine dell'elettrovalvola

- **FLOW METER**

Il flow meter (sensore di flusso) è un dispositivo di controllo automatico in grado di rilevare un determinato valore di portata di un fluido, liquido o gassoso.
Nella serra il sensore rileva la quantità di acqua che passa nelle pompe.

Immagine del flowmeter

FUNZIONAMENTO PANNELLO OPERATORE

- **MAIN**

Nel main sono presenti 6 serre. A seconda del colore delle serre possiamo vedere se la singola serra è attiva o disattiva.
se il modulo è in funzione si illuminerà di giallo al contrario rimarrà bienco e nero. Il modulo diventa verde quando è passato il tempo di crescita impostato. Sul Main si può vedere il nome della pianta, impostata nel ModuleView.

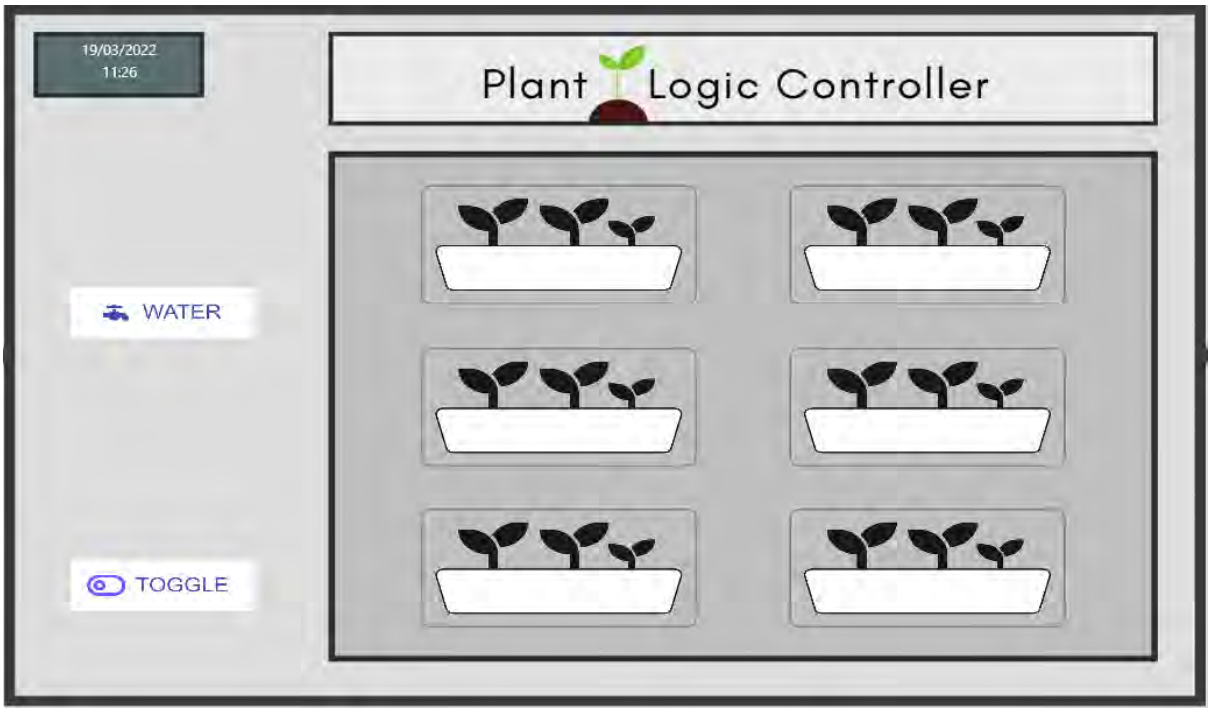


immagine della schermata Main con le 6 serre disattivate

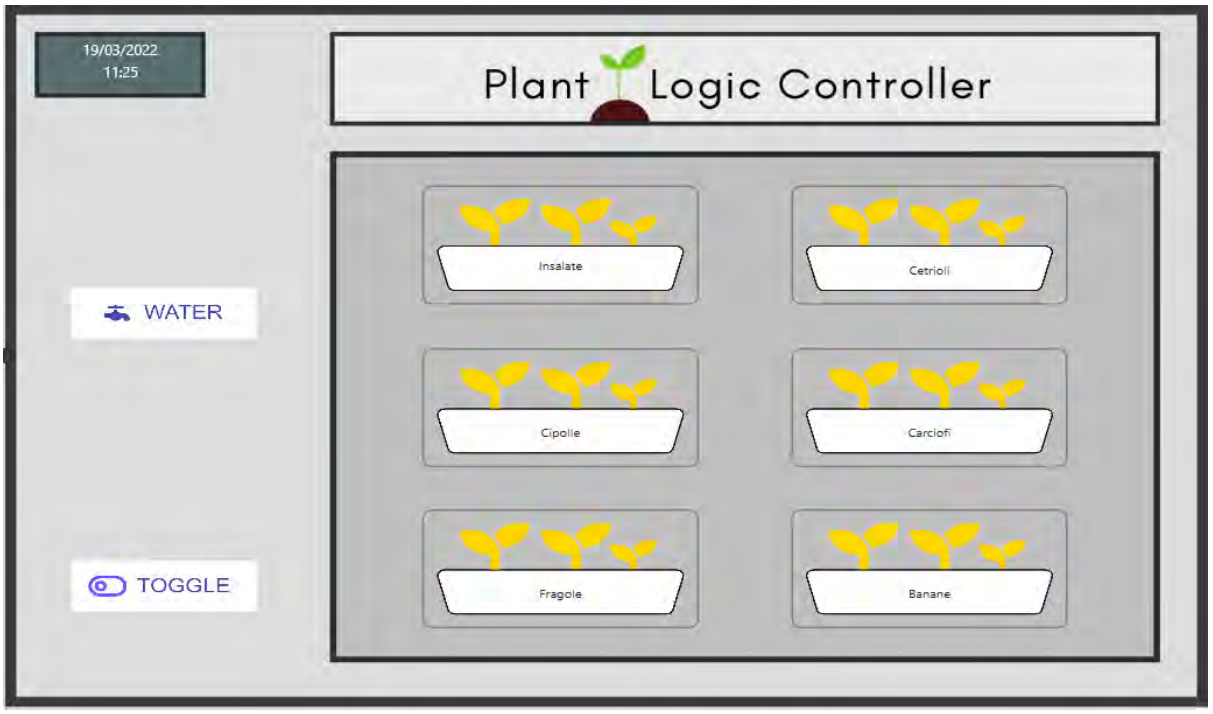
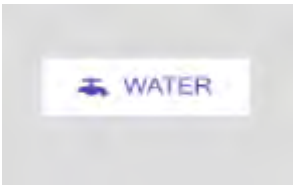


immagine della schermata Main con le 6 serre attive ma non cresciute

Cliccando su “toggle” si può selezionare le piante che si desidera attivare o disattivare quelle già attive.
Cliccando sui moduli attivi si apre la finestra ModuleView del modulo selezionato.



Cliccando su “water” si apre la finestra WaterSystem dove è possibile visualizzare lo stato attuale del sistema di irrigazione.

- **WATER SYSTEM**

La schermata Water System mostra una rappresentazione del sistema di irrigazione, permettendo di visualizzare l'attivazione della pompa e delle singole valvole dei moduli.
Inoltre tramite flowmeter è possibile visualizzare quanta acqua è stata irrigata in ogni singolo modulo(1 L/s).

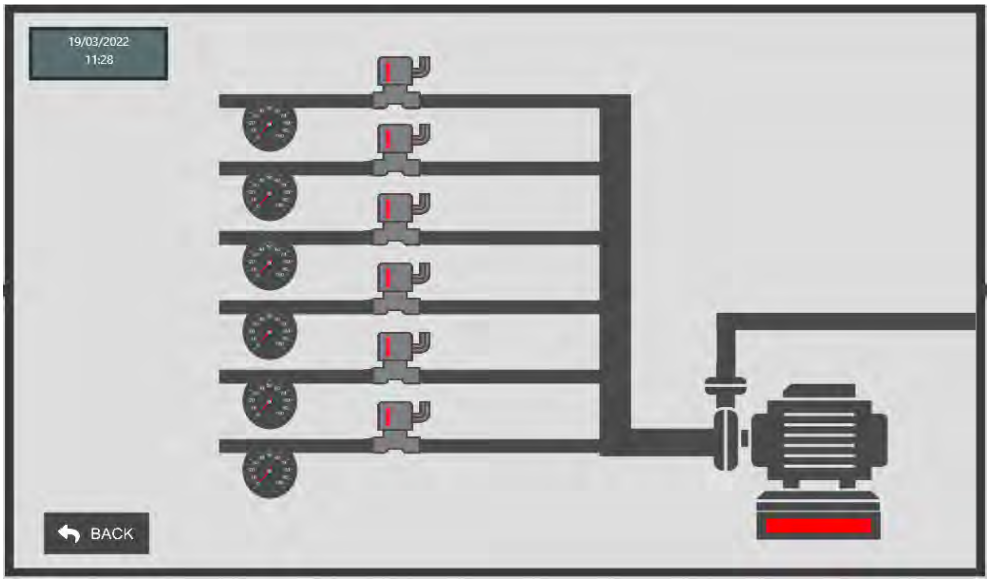


Immagine schermata WaterSystem con le valvole e la pompa disattivate

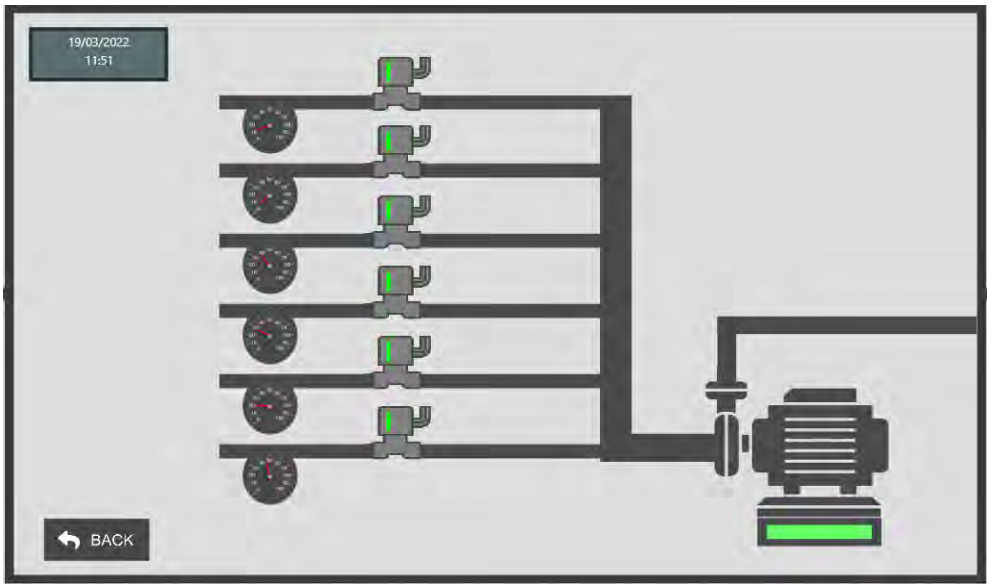
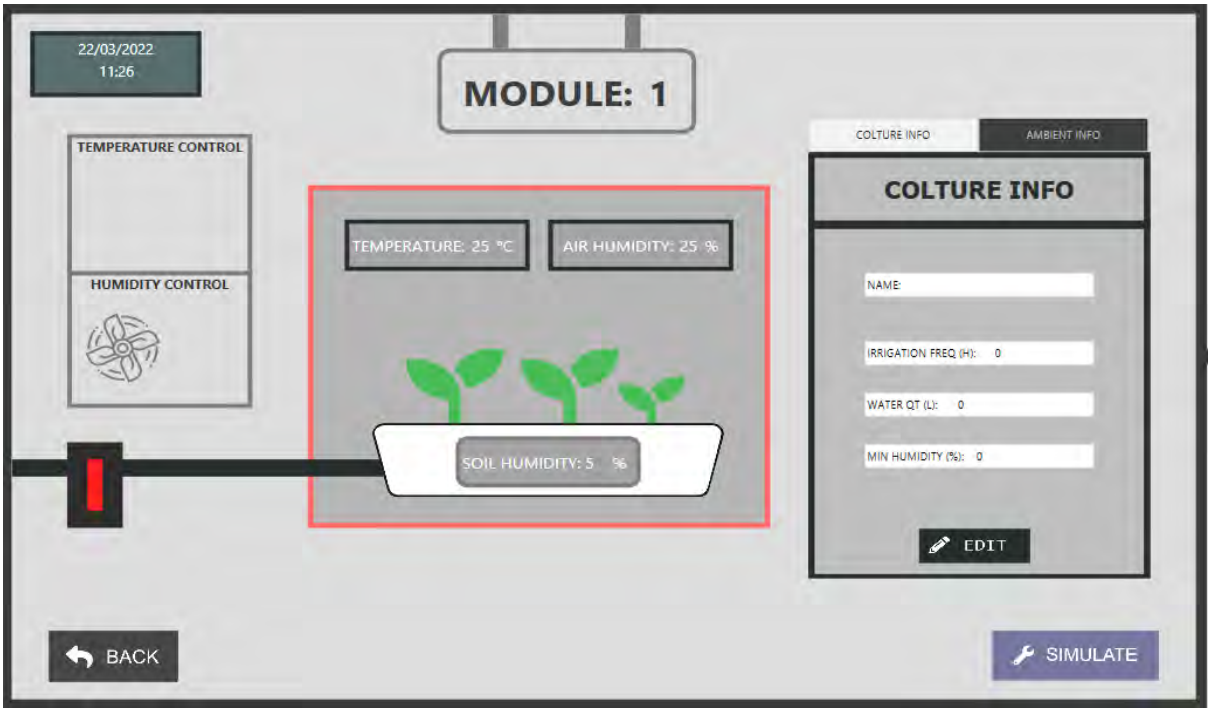


Immagine della schermata WaterSystem con le valvole e la pompa attivate

- **MODULE VIEW**



Dalla schermata Module View è possibile visualizzare temperatura, umidità dell'aria e del terreno di ogni singola serra. Inoltre è possibile visualizzare quando sono attivi il deumidificatore, l'umidificatore, la pompa di calore e la valvola per l'irrigazione, tramite apposite spie.

Attraverso la finestra "Colture Info" è possibile andare a impostare il nome del modulo e i parametri per l'irrigazione, invece tramite la finestra "Ambient Info" è possibile andare a impostare i parametri di controllo dell'ambiente.
(È stato inserito anche un tasto "Simulate" al fine di simulare il funzionamento del programma, all'interno del popup ModuleSimulate, è possibile forzare i valori relativi alla temperatura, l'umidità dell'aria e del terreno, oltre a poter scegliere di inserire alcuni dati in formato diverso).
Attraverso il pulsante di Back è possibile infine tornare alla schermata Main.

- **COLTURE EDIT POP UP**

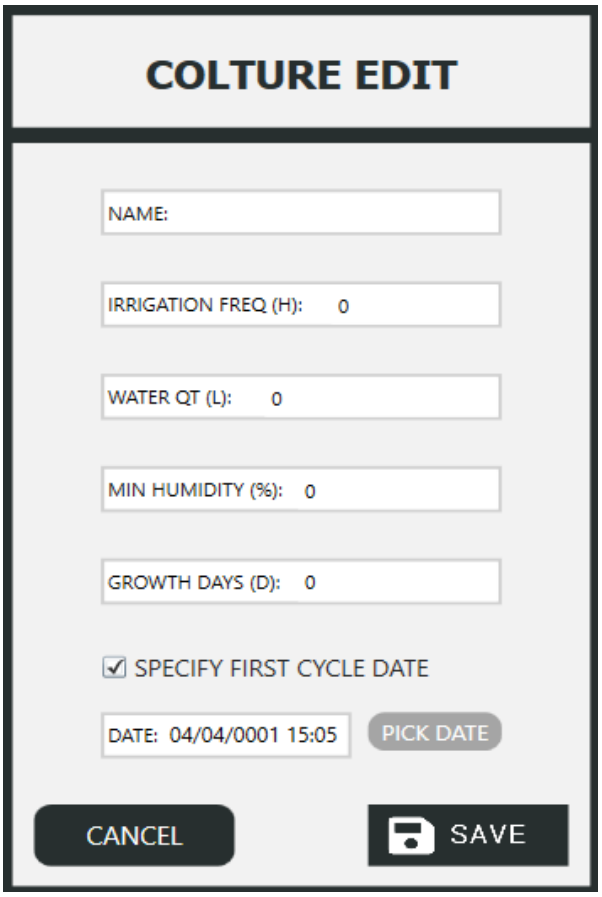


Immagine del pop-up ColtureEdit

Tramite il pop-up ColtureEdit è possibile impostare:

- Il nome del Modulo (visualizzabile anche dal Main).
- La frequenza di irrigazione.
- La quantità di acqua da irrigare in litri.
- L'umidità minima del terreno.
- Il numero di giorni necessari alla crescita della pianta.
- Premendo sul checkbox “Specify first cycle date” è possibile accedere al pop-up DatePicker.

Cliccando “SAVE” vengono salvati i valori impostati dall’utente.
Cliccando “CANCEL” viene chiuso il popup senza salvare i dati inseriti.

Il pop-up ColtureEdit è accessibile premendo “EDIT” nella finestra Colture Info, al interno della pagina ModuleView.

- **DATE PICKER**

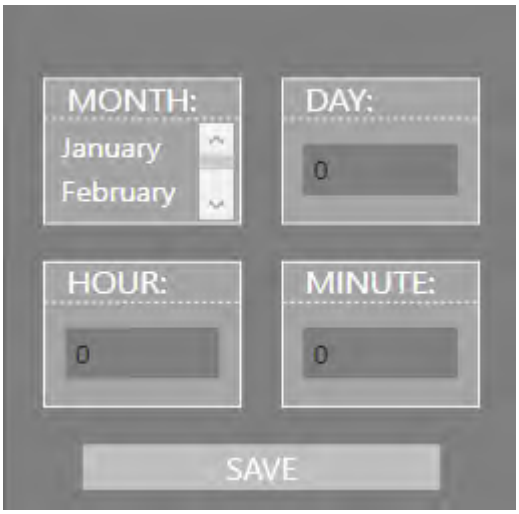


Immagine del pop-up DatePicker

Il DatePicker è un pop-up che viene visualizzato cliccando sul checkbox “Specify first cycle date” all’interno del pop-up ColtureEdit, accessibile cliccando “EDIT” nella schermata ModuleView.
Nel DatePicker è possibile decidere quando iniziare il ciclo di irrigazione impostando il mese, il giorno e il minuto dell’inizio del primo ciclo.

- **AMBIENT EDIT POP UP**

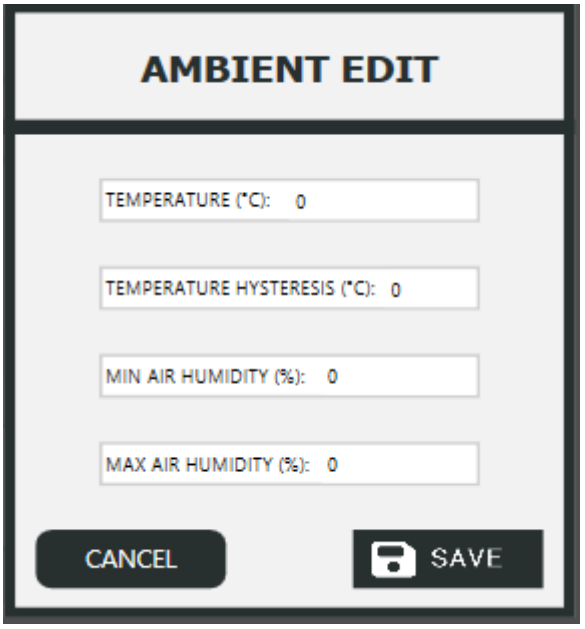


immagine del pop-up AmbientEdit

Nel pop-up AmbientEdit si può impostare:

- la temperatura ideale della serra;
- la temperatura di isteresi, ovvero l'oscillazione;
  massima della temperatura;
- l'umidità minima e massima dell'aria;

Cliccando "SAVE" vengono salvati i valori impostati dall'utente.
Cliccando "CANCEL" viene chiuso il popup senza salvare i dati inseriti.

È presente, all'interno del programma, un controllo che non permette all'operatore di inserire nel valore massimo un valore minore di quello inserito nel valore minimo.

- **SENSOR SIMULATOR**

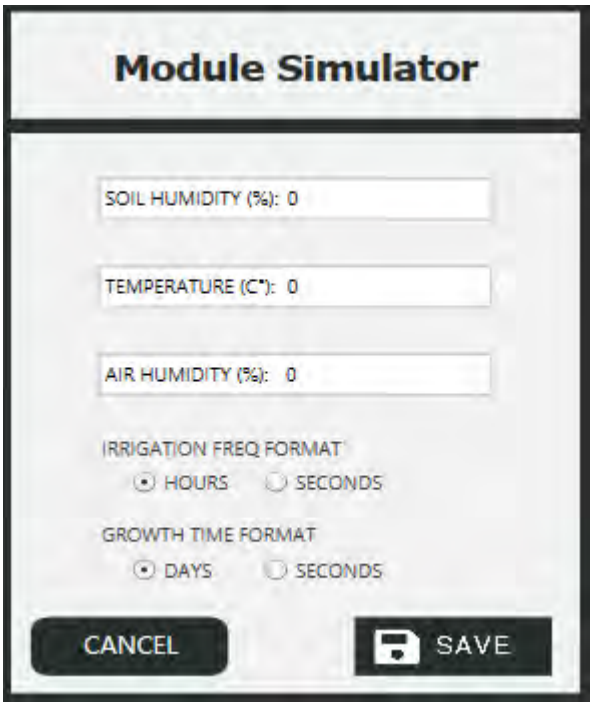


immagine del pop-up Module Simulator

Il Sensor Simulator è un pop-up che viene attivato attraverso il pulsante “SIMULATE” presente sulla finestra Module View, con il quale è possibile forzare i valori attuali di:

- temperatura;
- umidità dell’aria;
- umidità della terra;

Cliccando “SAVE” vengono salvati i valori impostati dall’utente.
Cliccando “CANCEL” viene chiuso il popup senza salvare i dati inseriti.
È possibile selezionare l’unità di misura della frequenza di irrigazione (ore / secondi) e del tempo di crescita della pianta (giorni / secondi) al fine di facilitare la simulazione del funzionamento del programma.

Il SOFTWARE

DATI E STRUTTURE

Variabili globali

	Nome	Tipo dati	Valore iniziale
	CurrentDTsec	LINT	
	Index	INT	1
	Modules	ARRAY[1..6] OF Modu	[6((Name := '', IrrigationFreq := (
	ZeroModule	ModuleData	(Name := '', IrrigationFreq := 0, V
	WaterPump	BOOL	

All'interno delle variabili globali sono presenti 6 variabili:

- WaterPump: è una variabile di tipo BOOL che viene mappata come uscita del PLC e comanda la pompa per l'irrigazione.
- ZeroModule: è una variabile di tipo ModuleData, dove ogni elemento della struct viene inizializzato a 0. La variabile viene utilizzata per resettare i valori di un Modulo quando esso viene disattivato dal pulsante TOGGLE (status=0).
- CurrentDTsec: è una variabile LINT che contiene l'attuale data e ora espressa come numero di secondi dal 1 Gennaio 1970.
- Modules: è un array di tipo ModuleData. Questo array contiene 6 elementi (Module[1], Module[2]... Module[6]). Ognuno di questi elementi contiene tutti i dati relativi al proprio Modulo. I dati dei Moduli sono stati raccolti in questo array per facilitare la modulabilità del programma, dato che basta aggiungere tanti elementi all'array quanti sono i Moduli che si vogliono aggiungere.
- Index: è una variabile inizializzata a 1 e utilizzata per evitare che all'avvio del programma l'indice globale per selezionare i moduli sia 0, dato che Modules[0] non esiste

Struct

Nome	Tipo di base	Tipo di offset	Byte di offset	Offset di bit	Commento
▼ ModuleData	STRUCT	NJ			
Name	STRING[256]				Module name
IrrigationFreq	LINT				Number of seconds between irrigations
WaterQt	INT				Liters of water to irrigate
MinHumidity	INT				Dry soil emergency threshold
GrowthTimeSec	LINT				Growth time set by operator expressed in number of seconds
CustomFirstCycle	BOOL				Abilitate the first cycle of irrigation
FirstCycleDate	DATE_AND_TIME				DT of start irrigation
IdealTemp	INT				Ideal module temperature
TempHysteresis	INT				Maximum histeresis of module temperature
MinAirHumidity	INT				Minimal air humidity allowed in module
MaxAirHumidity	INT				Maximum air humidity allowed in module
CurrentAirHumidity	INT				Current air humidity detected in module
CurrentTemp	INT				Current temperature detected in module
CurrentHumidity	INT				Current soil humidity detected in module
Status	INT				Variable used to change the status of the Module (0=off, 1=active, 2=ready)
PlantedDT	DATE_AND_TIME				Date and Time of when plants are planted in the Module
DispensedWater	INT				Quantity of water that has already been dispensed
NextIrrigationDTsec	LINT				DT of next irrigation expressend in number of seconds
WaterValve	BOOL				Module valve activation
Heating	BOOL				Moudule heater activation
Cooling	BOOL				Moudle cooler activation
Humidifier	BOOL				Module humidifier activation
Dehumidifier	BOOL				Module dehumidifier activation

Al fine di rendere il più modulabile possibile il programma, tutte le variabili relative al controll o di un Modulo sono state create al interno di una struct di nome: ModuleData.

Variabili globali HMI

Nome	Tipo dati	Valore iniziale	AT	Ritent	Costa	Velocità di a	Scala	Commento
HMI_Modules	PlantLogicCo...		PlantLogic...	☐	☐	500 millisecc	Nessuno	Array of ModuleData structure containing variables realtive to Modules
Index	Short		PlantLogic...	☐	☐	500 millisecc	Nessuno	Index relative to pressed button
WaterPump	Boolean		PlantLogic...	☐	☐	500 millisecc	Nessuno	Water pump status
EditName	String			☐	☐	Nessuna	Nessuno	Stores name before saving it in the correct module
EditIrrigationFreq	Integer			☐	☐	Nessuna	Nessuno	Stores irrigation freq before saving it in the correct module
EditWaterQt	Integer			☐	☐	Nessuna	Nessuno	Stores water qt before saving it in the correct module
EditMinHumidity	Integer			☐	☐	Nessuna	Nessuno	Stores min humidity before saving it in the correct module
EditMaxHumidity	Integer			☐	☐	Nessuna	Nessuno	Stores max humidity before saving it in the correct module
EditGrowthTime	Integer			☐	☐	Nessuna	Nessuno	Stores growth time before saving it in the correct module
EditCustomFirstCycle	Boolean			☐	☐	Nessuna	Nessuno	Stores custom first cycle before saving it in the correct module
EditFirstCycleDate	Date			☐	☐	Nessuna	Nessuno	Stores first cycle date before saving it in the correct module
EditTemperature	Integer			☐	☐	Nessuna	Nessuno	Stores temperature before saving it in the correct module
EditTempHysteresis	Integer			☐	☐	Nessuna	Nessuno	Stores temperature hysteresis before saving it in the correct module
EditMinAirHumidity	Integer			☐	☐	Nessuna	Nessuno	Stores min air humidity before saving it in the correct module
EditMaxAirHumidity	Integer			☐	☐	Nessuna	Nessuno	Stores max air humidity before saving it in the correct module
DatePickerMonth	Integer			☐	☐	Nessuna	Nessuno	Stores custom first cycle month before saving it in the custom first cycle variable
DatePickerDay	Integer			☐	☐	Nessuna	Nessuno	Stores custom first cycle day before saving it in the custom first cycle variable
DatePickerHour	Integer			☐	☐	Nessuna	Nessuno	Stores custom first cycle hour before saving it in the custom first cycle variable
DatePickerMinute	Integer			☐	☐	Nessuna	Nessuno	Stores custom first cycle minute before saving it in the custom first cycle variable
ZeroDate	Date	1970/01/01 00...		☐	☐	Nessuna	Nessuno	Resets custom first cycle date before calculating the new one
EditCurrentHumidity	Integer			☐	☐	Nessuna	Nessuno	Stores custom humidity for simulation purposes
EditCurrentAirHumidity	Integer			☐	☐	Nessuna	Nessuno	Stores custom air humidity for simulation purposes
EditCurrentTemperature	Integer			☐	☐	Nessuna	Nessuno	Stores custom temperature for simulation purposes
IrrigFreqInFormat	Integer			☐	☐	Nessuna	Nessuno	Inicates how to save irrigation freq value
GrowthTimeInFormat	Integer			☐	☐	Nessuna	Nessuno	Inicates how to save growth time value
DisplayIrrigFreq	Integer			☐	☐	Nessuna	Nessuno	Displays irrigation freq depending on IrrigationFreq format
SelectedInfoTab	Integer			☐	☐	Nessuna	Nessuno	Selector indicates currently selected tab
EditingConfiguration	Boolean			☐	☐	Nessuna	Nessuno	Toggle status for modules button
_CurrentTime	Date		PlantLogic...	☐	☐	500 millisecc	Nessuno	Current system time from plc
CurrentDTsec	Long		PlantLogic...	☐	☐	500 millisecc	Nessuno	Current system date and time in sec
Spin	Integer			☐	☐	Nessuna	Nessuno	Angle value for the fan animation
ZeroModule	PlantLogicCo...		PlantLogic...	☐	☐	500 millisecc	Nessuno	Empty clone of one Modules used to reset any module that gets deactivated

SUBROUTINE

Main

```
'Handles modules buttons function and switchs it dependig on
'current operation mode determined by toggle button state
Sub HandleModulesButtonFunction(btnIndex As Integer)

    If EditingConfiguration Then 'Modules button activates and deactivates related module
        If HMI_Modules(btnIndex).Status <> 0 Then
            HMI_Modules(btnIndex).Status = 0
            HMI_Modules(btnIndex) = ZeroModule
        Else
            HMI_Modules(btnIndex).Status = 1
        End If
    Else 'Modules button opens single module view
        If Not HMI_Modules(btnIndex).Status = 0 Then
            Index = btnIndex
            SelectedInfoTab = 0
            'Determinates irrigation freq active format for visualization
            If IrrigFreqInFormat = 0 Then
                DisplayIrrigFreq = HMI_Modules(btnIndex).IrrigationFreq / 3600
            Else
                DisplayIrrigFreq = HMI_Modules(btnIndex).IrrigationFreq
            End If
            ShowPage("ModuleView")
        End If
    End If

End Sub
```

```

'Linking button events to the handler
Sub HandleModule1Btn
    HandleModulesButtonFunction(1)
End Sub
Sub HandleModule2Btn
    HandleModulesButtonFunction(2)
End Sub
Sub HandleModule3Btn
    HandleModulesButtonFunction(3)
End Sub
Sub HandleModule4Btn
    HandleModulesButtonFunction(4)
End Sub
Sub HandleModule5Btn
    HandleModulesButtonFunction(5)
End Sub
Sub HandleModule6Btn
    HandleModulesButtonFunction(6)
End Sub

```

ColtureEditPopUp

```
2   ' "SAVE button" handler
3   Sub HandleSaveBtn
4       'Saves all edit fields on the main data struct
5       HMI_Modules(Index).Name = EditName
6       'Determinates how to save ithe irrigation freq based on the formatting option choosen
7       If IrrigFreqInFormat = 0 Then
8           HMI_Modules(Index).IrrigationFreq = EditIrrigationFreq * 3600
9       Else
10          HMI_Modules(Index).IrrigationFreq = EditIrrigationFreq
11      End If
12      DisplayIrrigFreq = EditIrrigationFreq
13      HMI_Modules(Index).WaterQt = EditWaterQt
14      HMI_Modules(Index).MinHumidity = EditMinHumidity
15      HMI_Modules(Index).CustomFirstCycle = EditCustomFirstCycle
16      If EditCustomFirstCycle Then
17          HMI_Modules(Index).FirstCycleDate = EditFirstCycleDate
18      End If
19      'Some data depends on other so its saved only if it's set
20      If EditIrrigationFreq > 0 And EditWaterQt > 0 And Not EditCustomFirstCycle Then
21          HMI_Modules(Index).NextIrrigationDTsec = CurrentDTsec
22          If GrowthTimeInFormat = 0 Then
23              HMI_Modules(Index).GrowthTimeSec = EditGrowthTime * 86400
24          Else
25              HMI_Modules(Index).GrowthTimeSec = EditGrowthTime
26          End If
27          HMI_Modules(Index).PlantedDT = _CurrentTime
28          End If
29      'Calls clear sub at closing
30      ClearEditFields()
31
32  End Sub
33
```

```
34   ' "CANCEL button" handler
35   Sub HandleCancelBtn
36       'Calls clear sub at closing
37       ClearEditFields()
38
39   End Sub
40
41   'Clears input fields
42   Sub ClearEditFields
43
44       EditName = ""
45       EditIrrigationFreq = 0
46       EditWaterQt = 0
47       EditMinHumidity = 0
48       EditMaxHumidity = 0
49       EditGrowthTime = 0
50       EditCustomFirstCycle = False
51
52   End Sub
```

AmbientEditPopUp

```
2    ' "SAVE button" handler
3    Sub HandleSaveBtn
4        'Stops user from saving if the min air humidity set is greaterthen max air humidity
5        If EditMinAirHumidity >= EditMaxAirHumidity
6            Exit Sub
7        End If
8        'Saves all edit fields on the main data struct
9        HMI_Modules(Index).IdealTemp = EditTemperature
10       HMI_Modules(Index).TempHysteresis = EditTempHysteresis
11       HMI_Modules(Index).MinAirHumidity = EditMinAirHumidity
12       HMI_Modules(Index).MaxAirHumidity = EditMaxAirHumidity
13       'Calls clear sub at closing
14       ClearEditFields()
15       ClosePage("AmbientEditPopUp")
16
17   End Sub
18
19   ' "CANCEL button" handler
20   Sub HandleCancelBtn
21       'Calls clear sub at closing
22       ClearEditFields()
23
24   End Sub
```

```
25
26  'Clears input fields
27 Sub ClearEditFields
28
29      EditTemperature = 0
30      EditTempHysteresis = 0
31      EditMinAirHumidity = 0
32      EditMaxAirHumidity = 0
33
34  End Sub
```

DatePicker

```
2   ' "SAVE button" handler
3  Sub HandleDateSave
4
5      'Cleaning EditFirstCycleDate
6      EditFirstCycleDate = ZeroDate
7
8      'Saving month
9      If _CurrentTime.Month <= DatePickerMonth Then
10         EditFirstCycleDate = EditFirstCycleDate.AddMonths(DatePickerMonth - 1)
11     Else
12         EditFirstCycleDate = EditFirstCycleDate.AddYears(1)
13         EditFirstCycleDate = EditFirstCycleDate.AddMonths(DatePickerMonth - 1)
14     End If
15
16     'Saving day
17     If _CurrentTime.Month = DatePickerMonth Then
18         If _CurrentTime.Day <= DatePickerDay Then
19             EditFirstCycleDate = EditFirstCycleDate.AddDays(DatePickerDay - 1)
20         Else
21             Exit Sub
22         End If
23     Else
24         EditFirstCycleDate = EditFirstCycleDate.AddDays(DatePickerDay - 1)
25     End If
26
27     'Saving hour
28     If _CurrentTime.Day = DatePickerDay And _CurrentTime.Month = DatePickerMonth Then
29         If _CurrentTime.Hour <= DatePickerHour
30             EditFirstCycleDate = EditFirstCycleDate.AddHours(DatePickerHour)
31         Else
32             Exit Sub
33         End If
34     Else
35         EditFirstCycleDate = EditFirstCycleDate.AddHours(DatePickerHour)
36     End If
```

```
37
38      'Saving minute
39      If _CurrentTime.Hour = DatePickerHour And _CurrentTime.Day = DatePickerDay And _CurrentTime.Month = DatePickerMonth Then
40          If _CurrentTime.Minute <= DatePickerMinute
41              EditFirstCycleDate = EditFirstCycleDate.AddMinutes(DatePickerMinute)
42          Else
43              Exit Sub
44          End If
45      Else
46          EditFirstCycleDate = EditFirstCycleDate.AddMinutes(DatePickerMinute)
47      End If
48
49      'Setting year as the current one
50      EditFirstCycleDate = EditFirstCycleDate.AddYears(_CurrentTime.Year - 1970)
51
52      ShowPage("ColtureEditPopUp")
53
54  End Sub
```

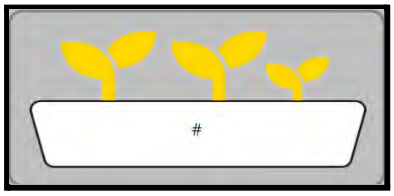
SensorSimulator

```
2   '  "SAVE button" handler
3   Sub HandleSaveBtn
4
5       'Saves all edit fields on the main data struct
6       HMI_Modules(Index).CurrentHumidity = EditCurrentHumidity
7       HMI_Modules(Index).CurrentTemp = EditCurrentTemperature
8       HMI_Modules(Index).CurrentAirHumidity = EditCurrentAirHumidity
9
10      'Calls clear sub at closing
11      ClearEditFields()
12
13  End Sub
14
15  '  "CANCEL button" handler
16  Sub HandleCancelBtn
17      'Calls clear sub at closing
18      ClearEditFields()
19
20  End Sub
21
22  'Clears input fields
23  Sub  ClearEditFields
24
25      EditCurrentHumidity = 0
26      EditCurrentTemperature = 0
27      EditCurrentAirHumidity = 0
28
29      End Sub
```

EVENTI E AZIONI PANNELLO

Events	< Seleziona evento da aggiunç
[0]	Press
Actions	< Seleziona azione da aggiunç
[0]	ShowPage("WaterSystem")

Comportamento	
Variable	EditingConfiguration

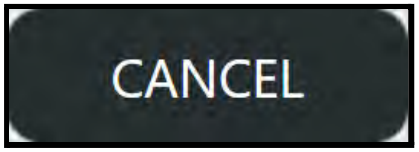


Events	< Seleziona evento da aggiungere >
[0]	Press
Actions	< Seleziona azione da aggiungere >
[0]	CallSubroutine("HandleModule1Btn")

Events	< Seleziona evento da aç
[0]	Press
Actions	< Seleziona azione da aç
[0]	ShowPage("Main")

Events	< Seleziona evento da aggiungere :
[0]	Press
Actions	< Seleziona azione da aggiungere :
[0]	ShowPage("ColtureEditPopUp")

Events	< Seleziona evento da aggiungere :
[0]	Press
Actions	< Seleziona azione da aggiungere :
[0]	ShowPage("SensorSimulator")



Events	< Seleziona evento da aggiungere >
[0]	Press
Actions	< Seleziona azione da aggiungere >
[0]	CallSubroutine("HandleCancelBtn")
[1]	ClosePage("ColtureEditPopUp")

Events	< Seleziona evento da aggiungere >
[0]	Press
Actions	< Seleziona azione da aggiungere >
[0]	CallSubroutine("HandleSaveBtn")
[1]	ClosePage("ColtureEditPopUp")

Events	< Seleziona evento da aggiu
[0]	Press
Actions	< Seleziona azione da aggiu
[0]	ShowPage("DatePicker")

Comportamento	
Variable	EditCustomFirstCycle

Events	< Seleziona evento da aggiungere >
[0]	Press
Actions	< Seleziona azione da aggiungere >
[0]	CallSubroutine("HandleDateSave")

Comportamento	
Variable	IrrigFreqInFormat
Group	IrrigFreqFormat
SelectedValue	0

Comportamento	
Variable	IrrigFreqInFormat
Group	IrrigFreqFormat
SelectedValue	1

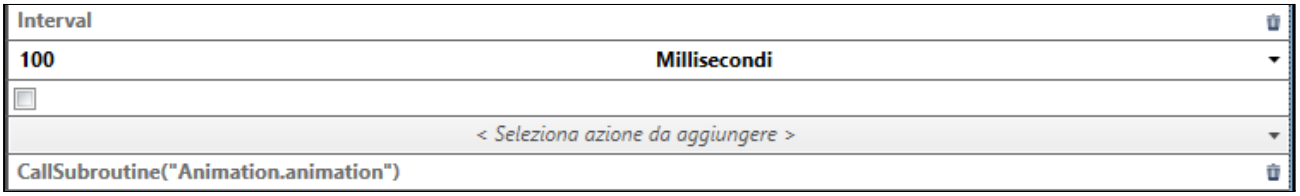
Comportamento	
Variable	GrowthTimeInFormat
Group	GrowthTimeFormat
SelectedValue	0

Comportamento	
Variable	GrowthTimeInFormat
Group	GrowthTimeFormat
SelectedValue	1

ANIMAZIONI

```
1  'Subroutine for rotation animation for Humidifier/Deumidifier signals'
2
3  Sub animation
4
5  Dim RotateSpin = 5
6
7  If HMI_Modules(Index).Humidifier Then
8     Spin +=  RotateSpin
9  End If
10
11 If HMI_Modules(Index).Dehumidifier Then
12    Spin -= RotateSpin
13 End If
14
15 End Sub
```

La subroutine “animation” è stata creata come subroutine globale del HMI ed è responsabile della rotazione delle spie per l’umidificatore e del deumidificatore. La subroutine viene chiamata ogni 100 milisecondi dall’evento globale:

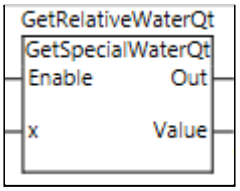


BLOCCHI FUNZIONE

- **GetSpecialWaterQt**

```
1  //Function block in ST used to calculate
2  //the special water quantity used in the Special irrigation
3
4  IF Enable THEN
5      Remaining := LINT_TO_REAL(In:=(Modules[x].NextIrrigationDTsec - CurrentDTsec));
6      Ratio := Remaning / LINT_TO_REAL(In:=Modules[x].IrrigationFreq);
7      Value := REAL_TO_INT(Ratio * INT_TO_REAL(Modules[x].WaterQt));
8  END_IF;
9
10 Out := Enable;
```

Nome	In/Out	Tipo dati
Enable	Ingresso	BOOL
Out	Uscita	BOOL
x	Ingresso	INT
Value	Uscita	INT



Il blocco funzione “GetSpecialWaterQt” è realizzato in testo strutturato e ha la funzione di calcolare un quantitativo di litri d’acqua espresso in INT. Il valore ottenuto sarà utilizzato nel caso l’umidità del terreno del Modulo scenda sotto il valore minimo impostato e sia quindi necessaria un’irrigazione di emergenza. Il valore viene calcolato in base a quanto tempo manca alla prossima irrigazione.

All’attivazione dell’ingresso Enable, si attiverà il blocco funzione e l’uscita Out.
Nell’ingresso x dovrà essere specificato l’indice del Modulo mentre nell’uscita Value dovrà essere indicata la variabile dove salvare la quantità di acqua calcolata.

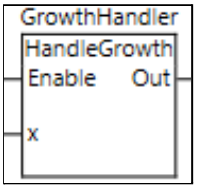
All’attivazione del ingresso Enable, la condizione dell’IF diventa veritiera, quindi la variabile interna Remaining (tempo rimanente alla prossima irrigazione) diventerà uguale alla sottrazione tra il Date and Time espresso in secondi della prossima irrigazione e l’attuale Date and Time espresso in secondi.

Il blocco poi calcola il rapporto tra Remaining e la frequenza di irrigazione impostata per poi moltiplicarlo per la quantità d'acqua impostata dall'operatore, in modo da ottenere la quantità d'acqua per l'irrigazione d'emergenza.

- **HandleGrowth**

```
1  //Funciton Block in ST used to update the plant status,
2  //viewable from the Main and Module view pages,
3  //based on the growth time.
4
5  Planted := DtToSec(In:=Modules[x].PlantedDT);
6  Target := Modules[x].GrowthTimeSec + Planted;
7
8  IF Enable And Modules[x].Status > 0 THEN
9      IF CurrentDTsec >Target And Modules[x].GrowthTimeSec > 0 THEN
10         Modules[x].Status := 2;
11     ELSE
12         Modules[x].Status := 1;
13     END_IF;
14 END_IF;
15
16 Out := Enable;
```

	Enable	Ingresso	BOOL
	x	Ingresso	INT
	Out	Uscita	BOOL



Il blocco funzione "HandleGrowth" è realizzato in ST e ha la funzione di cambiare lo status di un Modulo da ATTIVO (status=1, colore giallo sul pannello operatore) a PRONTO (Status=2 colore verde sul pannello operatore) quando è trascorso il tempo di crescita impostato dall'operatore.
Il blocco svolge la sua funzione solamente se lo stato del Modulo è diverso da 0, ovvero non è DISATTIVATO.
Il blocco viene attivato dall'ingresso Enable, e agisce sulle variabili del Modulo selezionabile tramite la variabile di ingresso x (per esempio se in x viene inserito 1, il blocco agirà sul Modulo 1)

Il blocco converte in un INT di secondi la data in cui sono state piantate le piante nel modulo, e a questo valore viene sommato il tempo di crescita delle piante, salvando il risultato nella variabile interna “Target”. Quando il Date and Time attuale diventa maggiore del Target, ovvero è trascorso il tempo di crescita impostato, la condizione del IF diventa veritiera e lo status del Modulo diventa uguale a 2 (Verde).

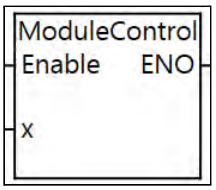
- **ModuleControl**

VARIABILI INTERNE

Irrigate	BOOL
FirstTimeOfset	LINT
IrrigateSpecial	BOOL
CanIrrigateSpecial	BOOL
SpecialWaterQt	INT
ValveActivation_A	BOOL
ValveActivation_B	BOOL
GetRelativeWaterQt	GetSpecialWaterQt
GrowthHandler	HandleGrowth

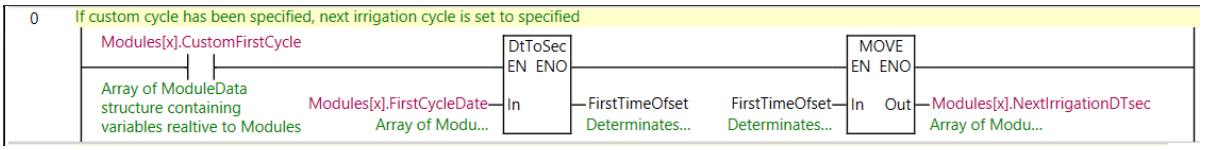
I/O

ENO	Uscita	BOOL
Enable	Ingresso	BOOL
x	Ingresso	INT



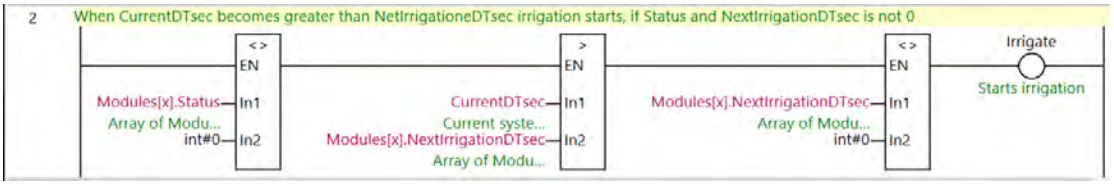
Il blocco funzione ModuleControl è realizzato in ladder e gestisce le tempistiche e le quantità dell'irrigazione di un Modulo.
Il Modulo gestito è indicato attraverso la variabile INT di ingresso “x” (per esempio x=1 controlla il modulo 1).
Tramite il blocco ModuleControl è possibile controllare il ritmo di irrigazione regolare, impostato dall’operatore, inoltre è presente la funzione del “First cycle date” che dà all’operatore la possibilità di fissare data e ora dell’inizio dei cicli di irrigazione.
Sempre all’interno del blocco viene effettuato un controllo costante dell’umidità del terreno del Modulo, e nel caso scenda sotto il valore minimo impostato viene attivata l’irrigazione di emergenza, calcolando la quantità d’acqua ottimale tramite il blocco GetSpecialWaterQt.
L’irrigazione di emergenza può essere effettuata solo una volta per ciclo di irrigazione.

Rung 0: Set del primo ciclo di irrigazione da operatore



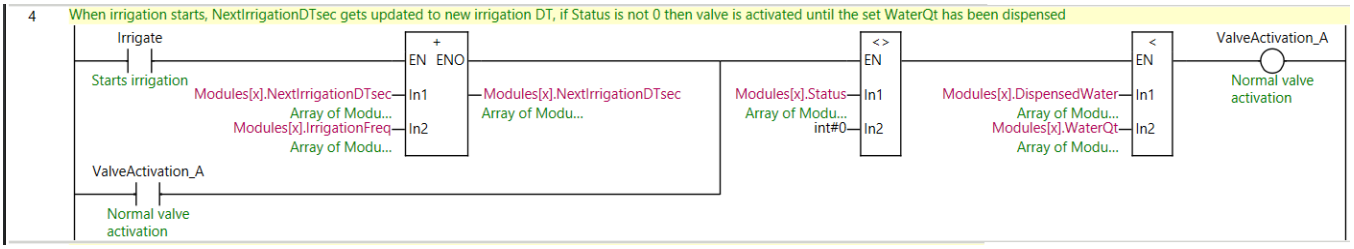
Rung 1: Reset del primo ciclo di irrigazione una volta impostato

Rung 2: Attivazione dell'irrigazione se CurrentDTsec > NextIrriationDTsec, se Status e NextIrriationDTsec sono diversi da 0

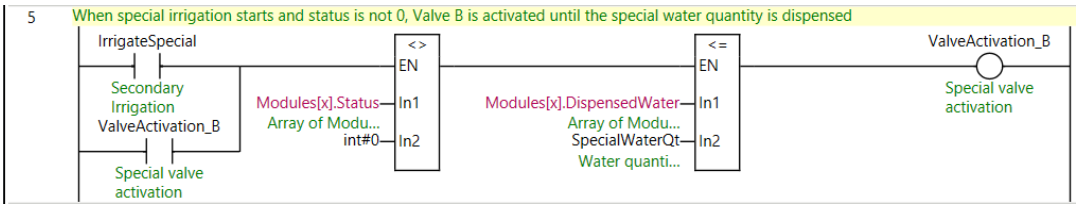


Rung 3:Abilitazione dell'irrigazione di emergenza per il corrente ciclo quando avviene l'irrigazione regolare.

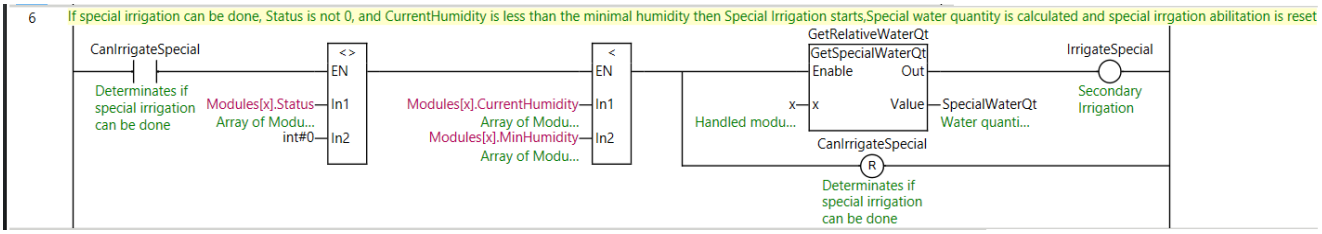
Rung 4: Attivazione del comando A della valvola fino al raggiungimento del valore d'acqua impostato, quando l'irrigazione regolare viene attivata, se status diverso da 0. NextIrrigationDTsec viene aggiornato al nuovo valore.



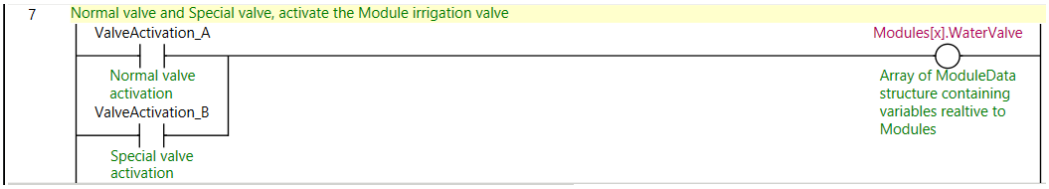
Rung 5: Attivazione del comando B della valvola fino al raggiungimento del valore d'acqua impostato, quando l'irrigazione di emergenza viene attivata, se Status diverso da 0.



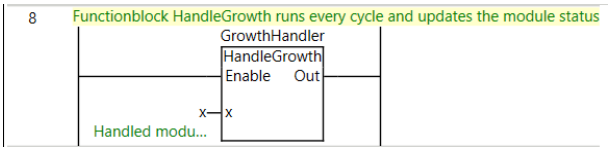
Rung 6: Attivazione del comando di irrigazione di emergenza quando CanIrrigateSpecial viene attivata, CurrentHumidity < MinHumidity e Status diverso da 0.
Rimane attiva fino a quando non è stata raggiunta la quantità d'acqua specificata.



Rung 7: Attivazione dell'elettrovalvola del Modulo se uno dei due comandi valvola (A-B) viene attivato.



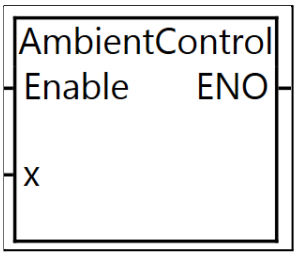
Rung 8: Attivazione ciclica del blocco GrowthHandler



- **AmbientControl**

VARIABILI INTERNE

MaxHysteresis	INT
MinHysteresis	INT
sum	INT
IdealHumidity	INT

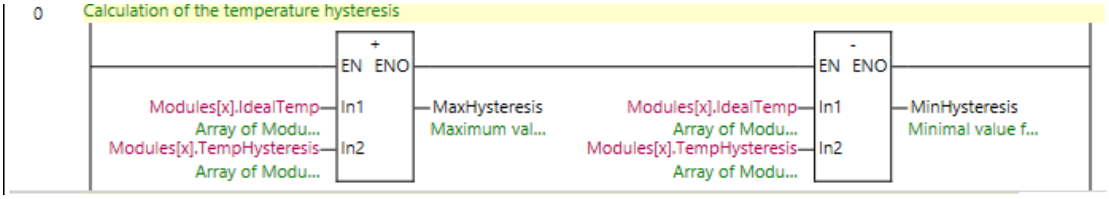


I/O

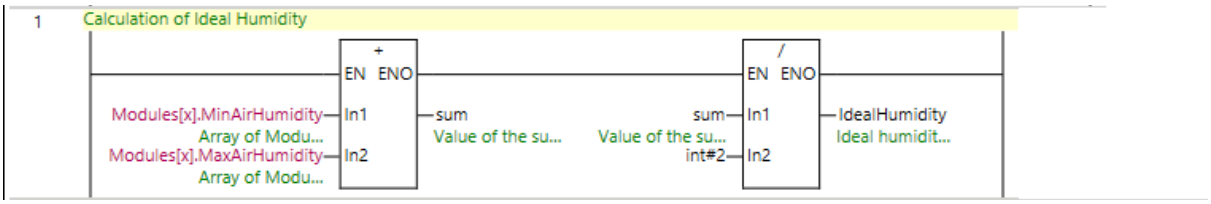
ENO	Uscita	BOOL
Enable	Ingresso	BOOL
x	Ingresso	INT

Il blocco AmbientControl è realizzato in ladder e gestisce il costante controllo dell'ambiente della serra in base ai valori di temperatura e umidità impostati dall'operatore.
Il Modulo gestito è indicato attraverso la variabile INT di ingresso "x" (per esempio x=1 controlla il modulo 1).
Tramite il blocco, viene ciclicamente controllato che sia la temperatura e l'umidità rimangano all'interno dei range impostati nel pannello operatore.
Sempre all'interno del blocco sono presenti i comandi per pompa di calore, umidificatore e deumidificatore del Modulo.

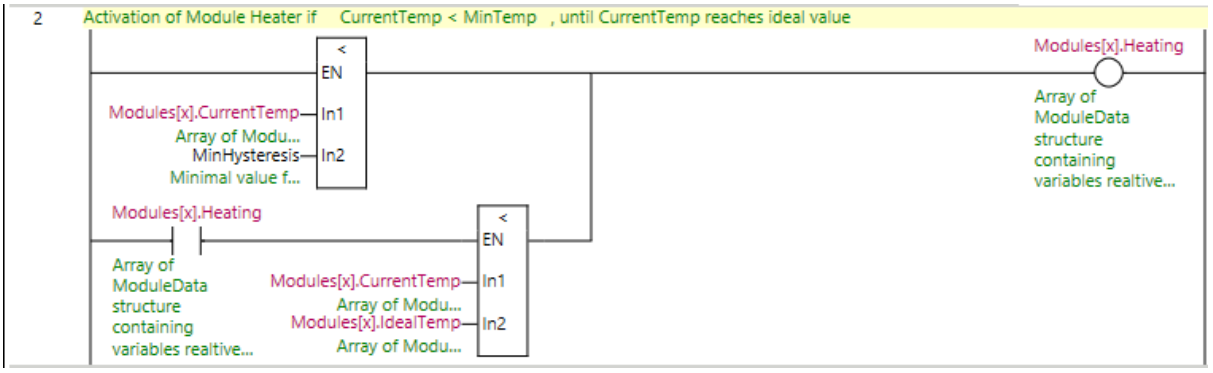
Rung 0: Calcolo della temperatura di isteresi



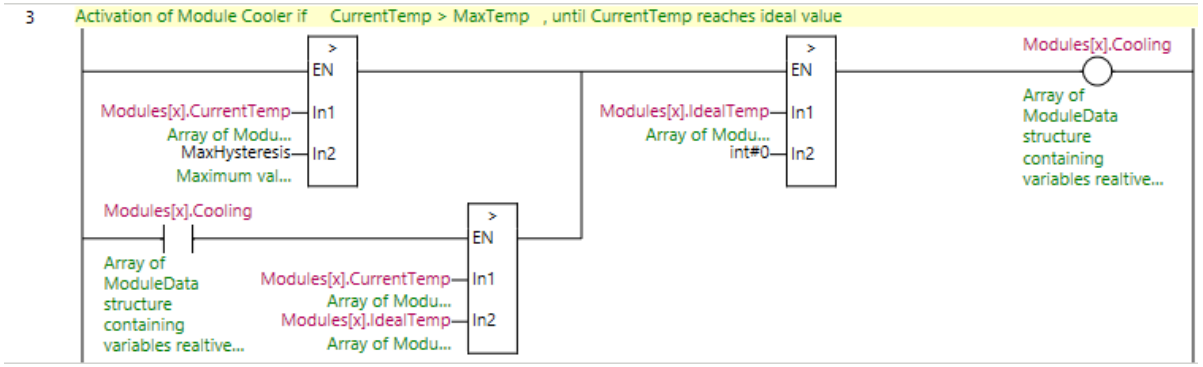
Rung 1: Calcolo dell'umidità ideale



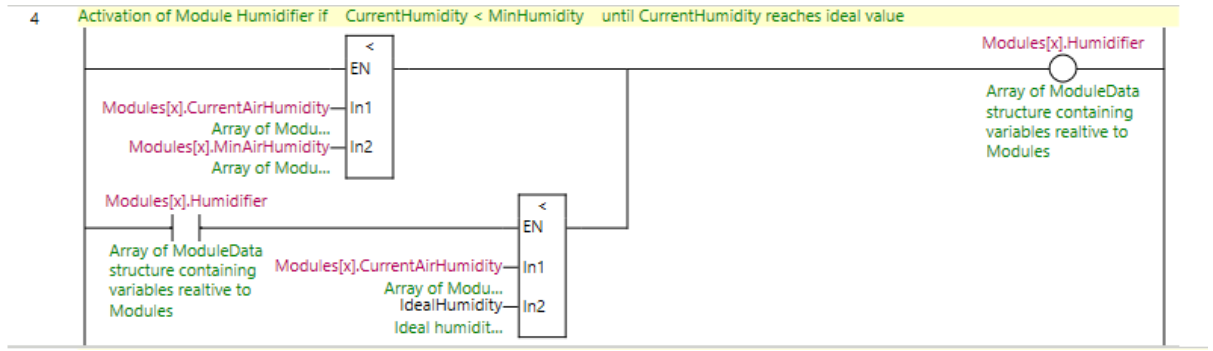
Rung 2: Attivazione del modulo di calore se CurrentTemp < MinTemp, fino a che non raggiunge il valore ideale



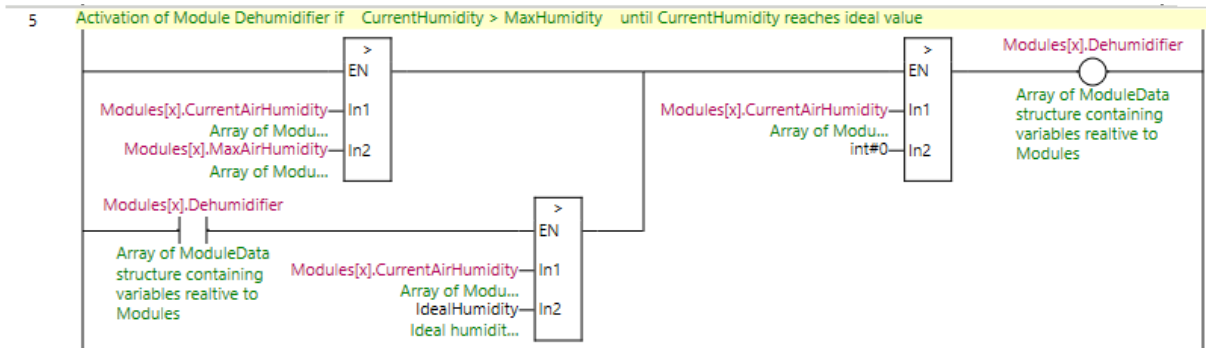
Rung 3: Attivazione del modulo di raffreddamento se CurrentTemp > MaxTemp, fino a che CurrentTemp non raggiunge il valore ideale



Rung 4: Attivazione del modulo umidificatore se CurrentHumidity < MinHumidity, fino a che CurrentHumidy non raggiunge i valori ideali



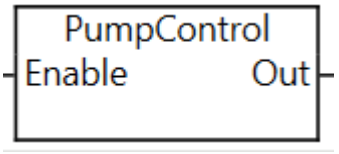
Rung 5: Attivazione del modulo umidificatore se CurrentHumidity > MaxHumidity, fino a che CurrentHumidity non raggiunge il valore ideale



- **PumpControl**

I/O

	Enable	Ingresso	BOOL
	Out	Uscita	BOOL



Il blocco PumpControl è realizzato in ladder e gestisce l'attivazione della valvola di innaffiamento.
Si attiva quando WaterValve di un qualsiasi Modules viene attivata.

Rung1: Le valvole di ogni modulo attivano la pompa

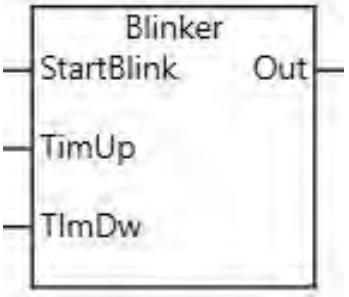
LIBRERIA PlantLC

- **BLINKER**

```
1  Timer1(In:=StartBlink & NOT Tim2, PT:=TImDw, Q=>Out);
2  Timer2(In:=StartBlink & Out, PT:=TimUp, Q=>Tim2);
```

VARIABILI INTERNE

	Timer1	TON
	Timer2	TON
	Tim2	BOOL



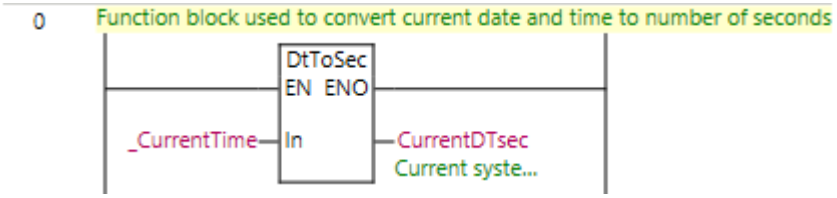
I/O

	StartBlink	Ingresso	BOOL
	Out	Uscita	BOOL
	TimUp	Ingresso	TIME
	TImDw	Ingresso	TIME

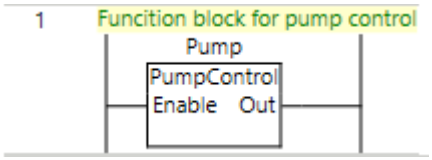
Il blocco funzione Blinker, facente parte della libreria PlantLC, è realizzato in ST e crea un segnale di intermittenza con Tup e Tdw impostabili dall'operatore.

PROGRAMMA MAIN

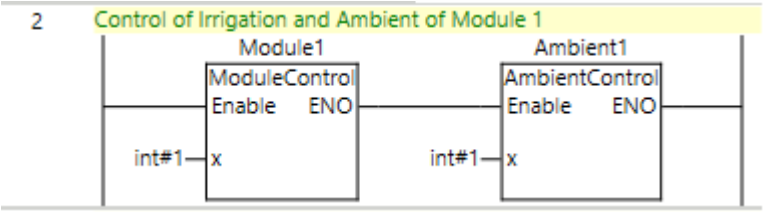
Rung 0: current time(flag di sistema che prende il tempo attuale ed è una variabile date and time) è un tipo di data che prende la data e la trasforma in secondi per confrontarla con la data che desideriamo



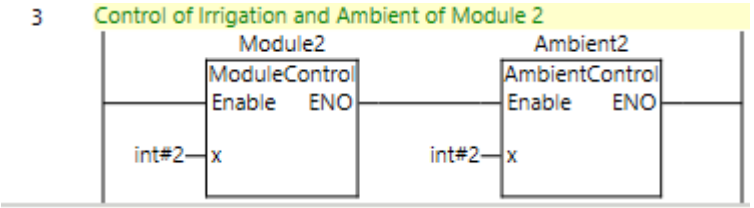
Rung 1: Pump control è un blocco funzione creato da noi. All'interno di esso è presente un ingresso enable



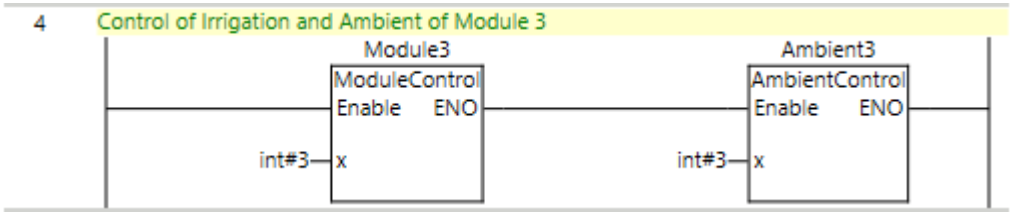
Rung 2: Controllo dell'irrigazione e dell'ambiente del modulo 1



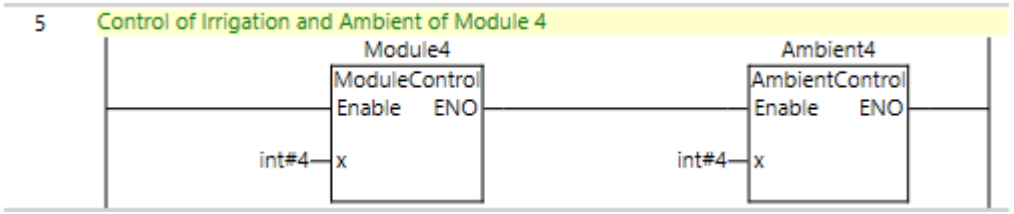
Rung 3: Controllo dell'irrigazione e dell'ambiente del modulo 2



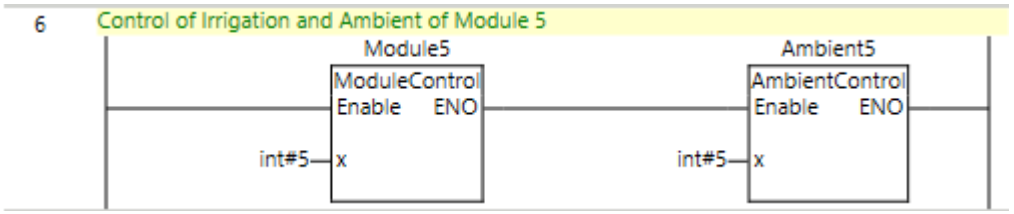
Rung 4: Controllo dell'irrigazione e dell'ambiente del modulo 3



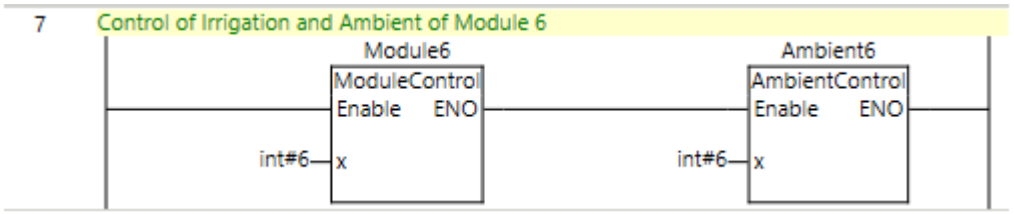
Rung 5: Controllo dell'irrigazione e dell'ambiente del modulo 4



Rung 6: Controllo dell'irrigazione e dell'ambiente del modulo 5

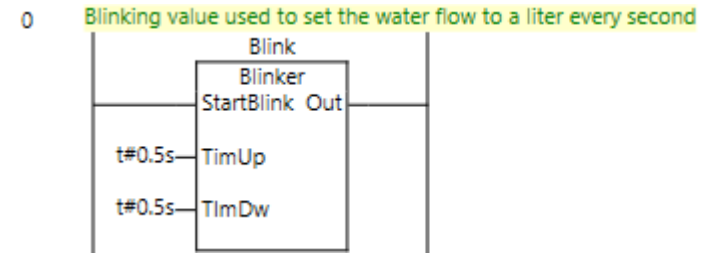


Rung 7: Controllo dell'irrigazione e dell'ambiente del modulo 6

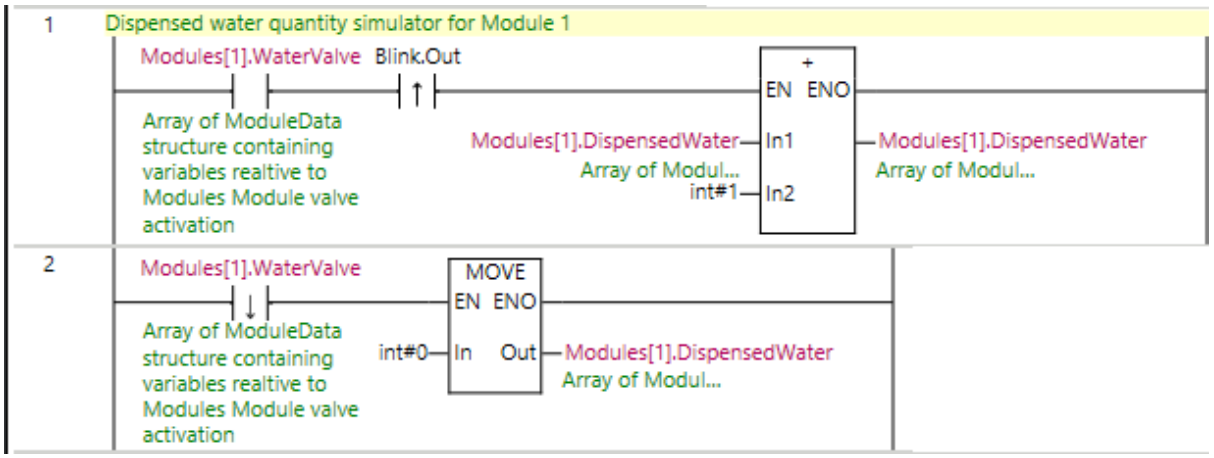


PROGRAMMA SIMULATOR

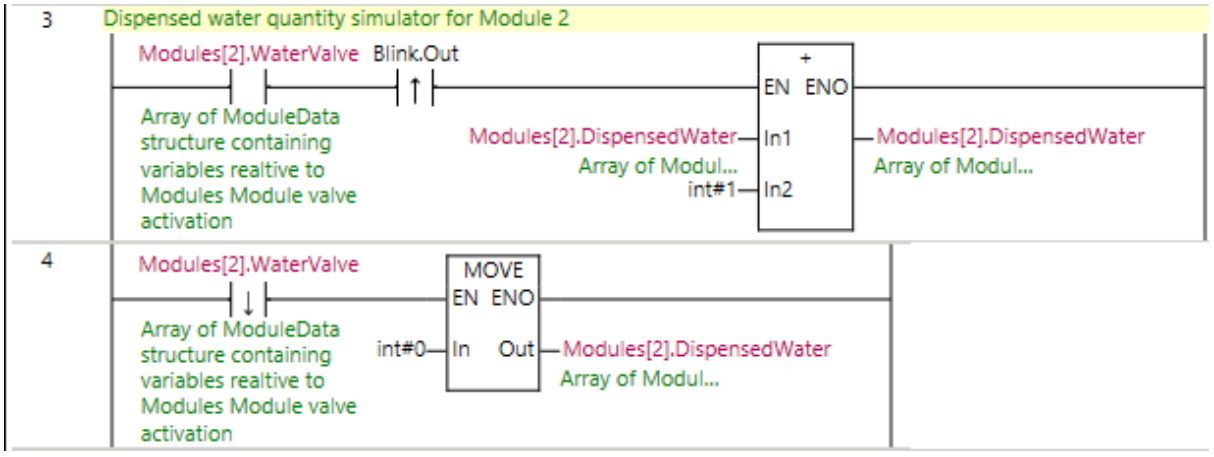
Rung 0: Blinking value utilizzato per impostare il flusso d'acqua a un litro ogni secondo



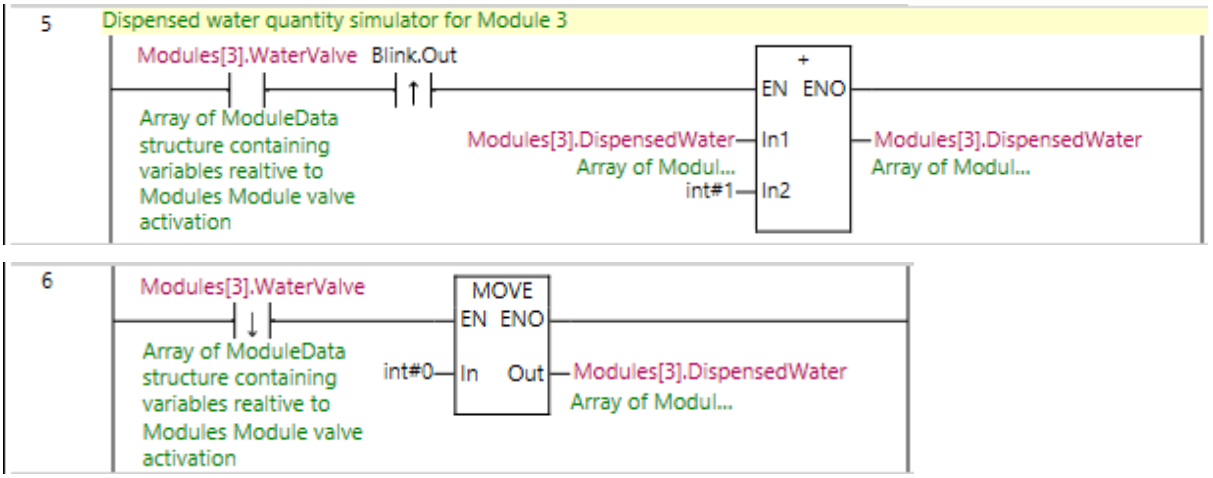
Rung 1-2: Simulatore della quantità di acqua erogata per il Modulo 1



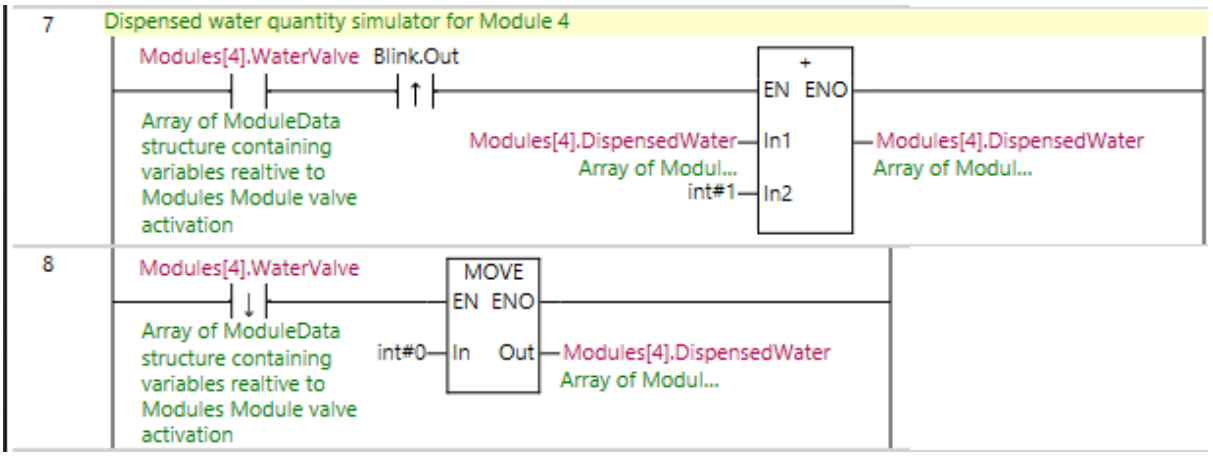
Rung 3-4: Simulatore della quantità di acqua erogata per il Modulo 2



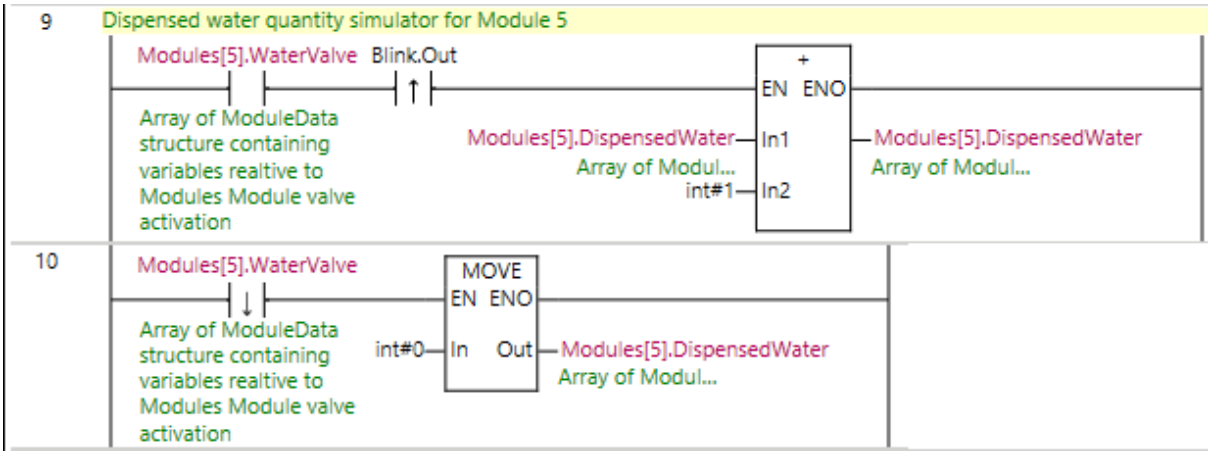
Rung 5-6: Simulatore della quantità di acqua erogata per il Modulo 3



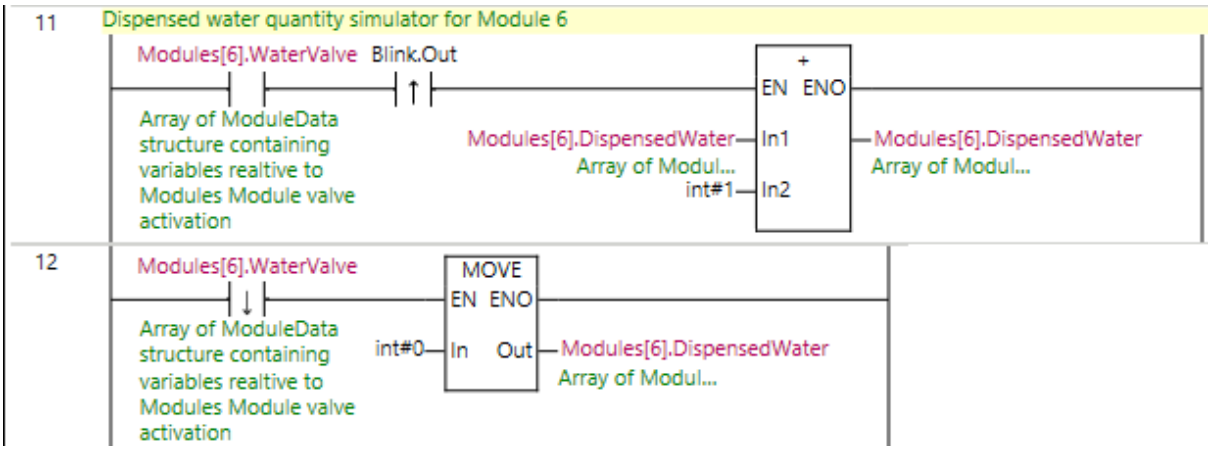
Rung 7-8: Simulatore della quantità di acqua erogata per il Modulo **4**



Rung 9-10: Simulatore della quantità di acqua erogata per il Modulo 5



Rung 11-12: Simulatore della quantità di acqua erogata per il Modulo 6



I/O PLC

La configurazione del PLC non richiede nessun rack di espansione.
Tutti i sensori necessari al controllo delle serre sono collegati in IO link e sono gestiti da una scheda di controllo, una per serra, che poi a sua volta comunica con il PLC tramite EtherCat.
Ogni serra possiede molteplici sensori di temperatura sparsi per tutto il modulo, la lettura di ogni sensore viene quindi utilizzata dall'unità di controllo per calcolare il valore medio di temperatura. Nonostante un sistema come una serra sia di natura stabile, esente da rapide variazioni di temperatura che potrebbero danneggiare la pompa di calore, si immagina comunque che l'unità di controllo applichi un filtraggio a media mobile degli ultimi 25 valori con una lettura ogni 400ms. Questo permette la rimozione di qualsiasi picco imprevisto mantenendo comunque una buona velocità di risposta (circa 20 ms di ritardo).
Lo stesso concetto viene applicato anche per gli altri sensori.
Questo sistema permette di gestire anche serre di dimensioni diverse fra loro dato che gli algoritmi di gestione processano un solo valore; non necessitano quindi di conoscere le dimensioni della serra o il numero di sensori installati. Questo rende il progetto facilmente espandibile o ridimensionabile in qualunque momento dato che le uniche modifiche necessarie sono relative alla UI dell'HMI facilmente personalizzabile e adattabile.

SVILUPPI FUTURI

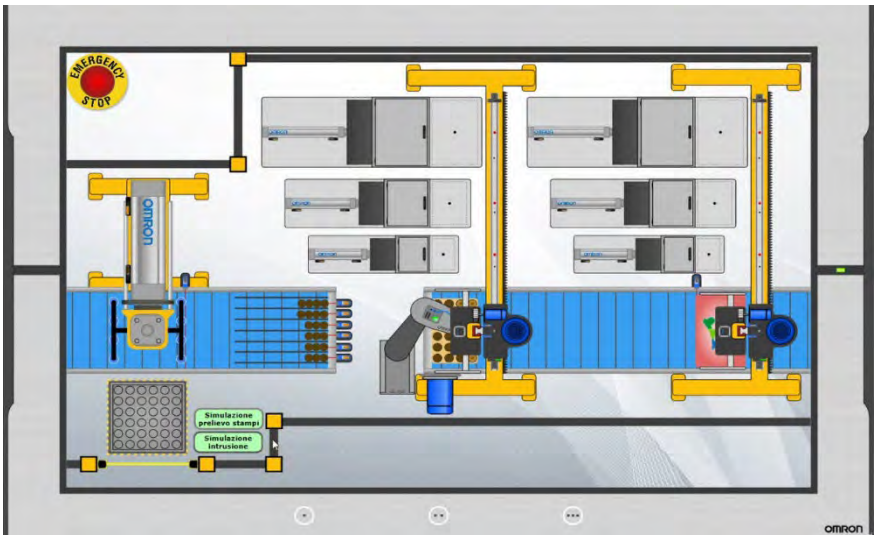
Il progetto, oltre ad essere presentato come esercizio nelle classi degli anni successivi, sicuramente verrà ulteriormente aggiornato.

Principalmente lo sviluppo comprenderà l'utilizzo di sensori collegati in IO-Link e parti in Ethercat per fissare e ampliare la rete di informazioni e la interconnettività tra moduli.

La parte di interfaccia UOMO-MACCHINA sarà ulteriormente curata in modo da rendere ancora più semplice l'immissione di dati per ampliare il database delle piante o ortaggi inseribili.

Inoltre tutti i dati relativi alla quantità e qualità di prodotto raccolto verranno raccolti e analizzati dal nostro team di sviluppo per migliorare sempre di più il processo.

Produzione e confezionamento cioccolatini



< Sommario

Il progetto è una linea di produzione di cioccolatini, dalla materia prima fino al confezionamento. L'utente può decidere come comporre la confezione di cioccolatini selezionando i gusti: misti o con un solo gusto di cioccolato (fondente, latte o bianco). In fase di selezione è possibile selezionare anche la dimensione della confezione: grande, media o piccola.

IIS Nobili – Reggio Emilia RE - Classe V

- **Docente coordinatore**: Domenico Parisoli
- **Studenti:** Salvatore D'Amicis, Lorenzo Salerno, SimoneFerrari, Catalin Shopu, Adam Ibrahim, Alessandro Simonetti, Mattia Prandi, Matteo Truzzi, Mattia Saccheggiani, Simone Zuliani.

Indice:

1. Introduzione
2. Architettura del sistema di controllo
3. Ingressi e Uscite
4. Gestione azionamenti
5. Inizializzazione
6. Produzione cioccolato
7. Produzione cioccolatini
8. Fase di raffreddamento e ribaltamento degli stampi
9. Fase di confezionamento
10. Fase di applicazione sigillo e inscatolamento

1.Introduzione

Il seguente impianto è una linea di produzione di cioccolatini, dalla materia prima fino al confezionamento. L'utente può decidere come comporre la confezione di cioccolatini selezionando i gusti: misti o con un solo gusto di cioccolato (fondente, latte o bianco). In fase di selezione è possibile selezionare anche la dimensione della confezione: grande, media o piccola. Il PLC gestisce la produzione del cioccolato nei suoi 3 gusti base: fondente, al latte e bianco. Dopo di che inizia la produzione dei cioccolatini e successivamente vengono posizionati nella confezione da un robot scara i4L-550L Omron. Una volta pronte, le confezioni di cioccolatini vengono sigillate e imballate. L'HMI permette all'operatore di supervisionare il processo produttivo, inoltre solo un addetto specializzato, tramite autenticazione, può impostare dei parametri macchina per modificare la ricetta del cioccolato. Sulla linea sono presenti sistemi di sicurezza in grado di prevenire infortuni.

2. Architettura del sistema di controllo

Il controller NX1P29024DT1 può dialogare con il campo nelle seguenti modalità:

14 DI, 10 DO, 8 unità/espansioni (ad esempio: DI, DO, AI, AO), 2 schede opzionali, fino a 16 dispositivi Ethercat all'interno dei quali fino a 4 assi discreti (point to point).

Il sistema progettato e simulato è costituito da 5 fasi distinte come funzione (produzione cioccolato, iniezione cioccolato negli stampi, raffreddamento e ribaltamento stampi, confezionamento, inscatolamento) ma anche come posizione dei macchinari, in conseguenza di ciò si è deciso di sfruttare le potenzialità del bus di campo Ethercat per gestire i motori elettrici, con topologia 'Daisy Chain', poiché consente la riduzione dei cavi di collegamento e permette anche un distanziamento massimo di 100 m fra due dispositivi, vincolo facilmente soddisfatto nel nostro sistema di produzione e confezionamento cioccolatini.

Il sistema comprende 9 Motori Asincroni Trifase, azionati da Inverter MX2 dotati di scheda opzionale Ethercat, con l'obiettivo di poter regolare la velocità dei 3 mixer utili al mescolamento del cioccolato fuso, dei motori progettati per il posizionamento delle confezioni e dei coperchi, dei motori che costituiscono il sistema di spostamento delle confezioni nelle scatole. Oltre alla velocità regolabile, naturalmente si avrà cura di impostare le rampe di accelerazione e decelerazione. Le cinque fasi produttive prevedono inoltre dei movimenti con controllo di posizione: movimentazione sistema ribaltamento stampo, apertura e chiusura pinze per il sistema di posizionamento delle confezioni e dei relativi coperchi. Si è deciso quindi di adottare un azionamento servomotore Ethercat per ognuno di questi tre posizionamenti, per la versatilità precedentemente descritta circa il bus di campo e per l'efficacia del modulo Motion Control presente in Sysmac Studio per il controllo dei 3 assi. Si osservi che il Controller NX1P2 può controllare fino a 4 assi punto punto, quindi è idoneo al nostro progetto.

Infine si è deciso di sfruttare gli I/O integrati nel Controller (14 Input Digitali e 10 Output Digitali) e 7 moduli su bus NX per i segnali digitali in ingresso e uscita oltre che ai tre segnali analogici in ingresso e ai tre segnali analogici in uscita; i moduli previsti sono: NX-AD3603 (4 AI +/-10V), NX-DA3603 (4 AO +/-10V), NX-ID6142-5 (32 DI), NX-ID5442 (16 DI), NX-ID4442 (8 DI), NX-OD6256 (32DO), NX-MD6256-5 (16 DI e 16 DO) per gestire complessivamente 80 segnali digitali in ingresso, 53 digitali in uscita, 3 segnali analogici in ingresso e 3 analogici in uscita.

Tabella riassuntiva dell'architettura adottata:

Movimento	Azionamento	Modalità di comunicazione con Controller NX1P2
n. 3 Mixer produzione cioccolato	n. 3 Inverter MX2	Bus Ethercat
Movimento secondo le direzioni Y e Z del posizionatore confezioni	n. 2 Inverter MX2	Bus Ethercat
Movimento secondo le direzioni Y e Z del posizionatore coperchi	n. 2 Inverter MX2	Bus Ethercat

Sistema di spostamento secondo le direzioni X e Z delle confezioni nelle scatole	n. 2 Inverter MX2	Bus Ethercat
Sistema ribaltamento stampo	Servo 1SN01H	Bus Ethercat
Apertura/chiusura pinze per il sistema di posizionamento delle confezioni	Servo 1SN01H	Bus Ethercat
Apertura/chiusura pinze per il sistema di posizionamento dei coperchi	Servo 1SN01H	Bus Ethercat

3. Ingressi e Uscite

Di seguito la tabella riassuntiva degli ingressi e delle uscite del controller utilizzate nell'applicazione

Ingressi e uscite	Modulo	Commento
EMERGENCY	NX-ID6142-5	pulsante emergenza (NC)
Production_state	DI INTEGRATO	Pulsante start
P1_D_powder_min	DI INTEGRATO	Sensore livello minimo cacao (NO)
P1_D_butter_min	DI INTEGRATO	Sensore livello minimo burro (NO)
P1_D_sugar_min	DI INTEGRATO	Sensore livello minimo zucchero (NO)
P1_D_mixer_min	DI INTEGRATO	Sensore livello minimo crema mixer (NO)
P1_D_powder_valve	DO INTEGRATO	Valvola cacao
P1_D_butter_valve	DO INTEGRATO	Valvola burro
P1_D_sugar_valve	DO INTEGRATO	Valvola zucchero
P1_D_mixer_valve	DO INTEGRATO	Valvola mixer
P1_D_mixer_pump	DO INTEGRATO	Pompa mixer
P1_D_heating	NX-DA3603	Resistenza riscaldamento
P1_D_temp_sens	NX-AD3603	Termometro mixer fondente
P1_M_powder_min	DI INTEGRATO	Sensore livello minimo cacao (NO)
P1_M_butter_min	DI INTEGRATO	Sensore livello minimo burro (NO)
P1_M_milk_min	DI INTEGRATO	Sensore livello minimo latte (NO)
P1_M_sugar_min	DI INTEGRATO	Sensore livello minimo zucchero (NO)
P1_M_mixer_min	DI INTEGRATO	Sensore livello minimo (NO)
P1_M_powder_valve	DO INTEGRATO	Valvola cacao
P1_M_butter_valve	DO INTEGRATO	Valvola burro

P1_M_milk_valve	DO INTEGRATO	Valvola latte
P1_M_sugar_valve	DO INTEGRATO	Valvola zucchero
P1_M_mixer_valve	DO INTEGRATO	Valvola mixer
P1_M_mixer_pump	NX-OD6256	Pompa mixer
P1_M_heating	NX-DA3603	Resistenza riscaldamento
P1_M_temp_sens	NX-AD3603	Termometro mixer al latte
P1_W_powder_min	DI INTEGRATO	Sensore livello minimo cacao (NO)
P1_W_butter_min	DI INTEGRATO	Sensore livello minimo burro (NO)
P1_W_sugar_min	DI INTEGRATO	Sensore livello minimo zucchero (NO)
P1_W_mixer_min	NX-ID6142-5	Sensore livello minimo crema mixer (NO)
P1_W_powder_valve	NX-OD6256	Valvola cacao
P1_W_butter_valve	NX-OD6256	Valvola burro
P1_W_sugar_valve	NX-OD6256	Valvola zucchero
P1_W_mixer_valve	NX-OD6256	Valvola mixer
P1_W_mixer_pump	NX-OD6256	Pompa mixer
P1_W_heating	NX-DA3603	Resistenza riscaldamento
P1_W_temp_sens	NX-AD3603	Termometro mixer bianco
P2_D_tank_min	NX-ID6142-5	Sensore livello minimo fondente (NO)
P2_D_tank_max	NX-ID6142-5	Sensore livello massimo fondente (NO)
P2_M_tank_min	NX-ID6142-5	Sensore livello minimo al latte (NO)
P2_M_tank_max	NX-ID6142-5	Sensore livello massimo al latte (NO)
P2_W_tank_min	NX-ID6142-5	Sensore livello minimo bianco (NO)
P2_W_tank_max	NX-ID6142-5	Sensore livello massimo bianco (NO)
P2_D_pump	NX-OD6256	Pompa fondente
P2_M_pump	NX-OD6256	Pompa al latte
P2_W_pump	NX-OD6256	Pompa bianco
P2_D_valve	NX-OD6256	Valvola fondente
P2_M_valve	NX-OD6256	Valvola al latte
P2_W_valve	NX-OD6256	Valvola bianco
P2_middle_valve	NX-OD6256	Valvole centrali
P2_M1	NX-OD6256	Nastro 1
P2_M2	NX-OD6256	Motore magazzino
P2_FC_mold	NX-ID6142-5	Fotocellula presenza stampo (NO)
P2_FC_1	NX-ID6142-5	Fotocellula discesa stampo (NO)
P2_FC_2	NX-ID6142-5	Fotocellula ugelli (NO)
P2_safety_curtains	NX-ID6142-5	Barriera di sicurezza (NC)
P3_FC_1	NX-ID6142-5	Fotocellula arrivo stampo (NO)
P3_FC_2	NX-ID6142-5	Fotocellula stampo girato (NO)
P3_M1	NX-OD6256	Nastro 2
P4_FC_1	NX-ID6142-5	Fotocellula robot pneumatico (NO)
P4_RP_dw	NX-OD6256	Pistone giù
P4_RP_up	NX-OD6256	Pistone su
P4_RP_fw	NX-OD6256	Pistone avanti
P4_RP_rear	NX-OD6256	Pistone indietro
P4_RP_reed_dw	NX-ID6142-5	Sensore pistone giù (NO)
P4_RP_reed_up	NX-ID6142-5	Sensore pistone su (NO)
P4_RP_reed_fw	NX-ID6142-5	Sensore pistone avanti (NO)
P4_RP_reed_rear	NX-ID6142-5	Sensore pistone dietro (NO)
P4_RP_gripper	NX-OD6256	Ventose
P4_FC_pos_1	NX-ID6142-5	Sensore cioccolatino pos 1 (NO)
P4_FC_pos_2	NX-ID6142-5	Sensore cioccolatino pos 2 (NO)
P4_FC_pos_3	NX-ID6142-5	Sensore cioccolatino pos 3 (NO)
P4_FC_pos_4	NX-ID6142-5	Sensore cioccolatino pos 4 (NO)
P4_FC_pos_5	NX-ID6142-5	Sensore cioccolatino pos 5 (NO)
P4_FC_pos_6	NX-ID6142-5	Sensore cioccolatino pos 6 (NO)
P4_FC_2	NX-ID6142-5	Sensore robot copercio (NO)

P4_D1_6_push	NX-OD6256	Pistone spinta dispenser confezioni da 6
P4_D1_6_home	NX-OD6256	Pistone ritorno dispenser confezioni da 6
P4_D1_6_reed_push	NX-ID6142-5	Reed spinta dispenser confezioni da 6 (NO)
P4_D1_6_reed_home	NX-ID6142-5	Reed ritorno dispenser confezioni da 6 (NO)
P4_D1_12_push	NX-OD6256	Pistone spinta dispenser confezioni da 12
P4_D1_12_home	NX-OD6256	Pistone ritorno dispenser confezioni da 12
P4_D1_12_reed_push	NX-ID6142-5	Reed spinta dispenser confezioni da 12 (NO)
P4_D1_12_reed_home	NX-ID6142-5	Reed ritorno dispenser confezioni da 12 (NO)
P4_D1_24_push	NX-OD6256	Pistone spinta dispenser confezioni da 24
P4_D1_24_home	NX-OD6256	Pistone ritorno dispenser confezioni da 24
P4_D1_24_reed_push	NX-ID6142-5	Reed spinta dispenser confezioni da 24 (NO)
P4_D1_24_reed_home	NX-ID6142-5	Reed ritorno dispenser confezioni da 24 (NO)
P4_D2_6_push	NX-OD6256	Pistone spinta dispenser coperchi da 6
P4_D2_6_home	NX-OD6256	Pistone ritorno dispenser coperchi da 6
P4_D2_6_reed_push	NX-ID5442	Reed spinta dispenser coperchi da 6 (NO)
P4_D2_6_reed_home	NX-ID5442	Reed ritorno dispenser coperchi da 6 (NO)
P4_D2_12_push	NX-OD6256	Pistone spinta dispenser coperchi da 12
P4_D2_12_home	NX-OD6256	Pistone ritorno dispenser coperchi da 12
P4_D2_12_reed_push	NX-ID5442	Reed spinta dispenser coperchi da 12 (NO)
P4_D2_12_reed_home	NX-ID5442	Reed ritorno dispenser coperchi da 12 (NO)
P4_D2_24_push	NX-OD6256	Pistone spinta dispenser coperchi da 24
P4_D2_24_home	NX-MD6256-5	Pistone ritorno dispenser coperchi da 24
P4_D2_24_reed_push	NX-ID5442	Reed spinta dispenser coperchi da 24 (NO)
P4_D2_24_reed_home	NX-ID5442	Reed ritorno dispenser coperchi da 24 (NO)
P4_FC_box_6	NX-ID5442	Sensore presenza confezione 6 (NO)
P4_FC_box_12	NX-ID5442	Sensore presenza confezione 12 (NO)
P4_FC_box_24	NX-ID5442	Sensore presenza confezione 24 (NO)
P4_FC_lid_6	NX-ID5442	Sensore presenza coperchio 6 (NO)
P4_FC_lid_12	NX-ID5442	Sensore presenza coperchio 12 (NO)
P4_FC_lid_24	NX-ID5442	Sensore presenza coperchio 24 (NO)
P4_R1_FC_up	NX-ID5442	Fine corsa su robot 1 (NC)
P4_R1_FC_dw	NX-ID5442	Fine corsa giù robot 1 (NC)
P4_R1_FC_home	NX-ID5442	Fine corsa home robot 1 (NC)
P4_R1_pos_sensor	NX-ID5442	Sensore posizione robot 1
P4_R2_FC_up	NX-ID4442	Fine corsa su robot 2 (NC)
P4_R2_FC_dw	NX-ID4442	Fine corsa giù robot 2 (NC)
P4_R2_FC_home	NX-ID4442	Fine corsa home robot 2 (NC)
P4_R2_pos_sensor	NX-ID4442	Sensore posizione robot 2 (NO)
P4_M1	NX-MD6256-5	Nastro 3
P5_M1	NX-MD6256-5	Nastro 4
P5_M2_up_A	NX-MD6256-5	Motore calibrazione up
P5_M2_dw_A	NX-MD6256-5	Motore calibrazione dw
P5_M2_up_B	NX-MD6256-5	Motore calibrazione up
P5_M2_dw_B	NX-MD6256-5	Motore calibrazione dw
P5_labeling	NX-MD6256-5	Comando di applicazione sigillo
P5_FC_up	NX-ID4442	Fine corsa guida up (NC)
P5_FC_dw	NX-ID4442	Fine corsa guida dw (NC)
P5_pos_sens_up	NX-ID4442	Sensore posizione up (NO)
P5_pos_sens_dw	NX-ID4442	Sensore posizione dw (NO)
P5_FC_label_up	NX-MD6256-5	Sensore sigillo up (NO)
P5_FC_label_dw	NX-MD6256-5	Sensore sigillo dw (NO)
P5_sensor_6	NX-MD6256-5	Sensore confezione 6 (NO)
P5_sensor_12	NX-MD6256-5	Sensore confezione 12 (NO)
P5_sensor_24	NX-MD6256-5	Sensore confezione 24 (NO)
P5_end_pos	NX-MD6256-5	Sensore fine linea (NO)
P5_box_sensor	NX-MD6256-5	Sensore scatolone (NO)

P5_R1_load	NX-MD6256-5	Fine corsa robot 1 (NC)
P5_R1_unload	NX-MD6256-5	Fine corsa robot 1 (NC)
P5_R1_up	NX-MD6256-5	Fine corsa robot 1 (NC)
P5_R1_dw	NX-MD6256-5	Fine corsa robot 1 (NC)
P5_R1_gripper	NX-MD6256-5	Venstose
P5_safety_curtains	NX-MD6256-5	Barriera di sicurezza (NC)

4. Gestione azionamenti

Il collegamento Ethercat consente una comunicazione full duplex ad alta velocità (100 Mbps) attraverso lo scambio di messaggi denominati PDO (Process Data Object) scambiati ciclicamente e SDO (Service Data Object) scambiato solo su richiesta.

Servo (1SAN02H)

Per quanto riguarda i Servomotori viene usata la mappa PDO proposta di default (Uscita: 26, 17 Ingresso: 259, 17, 289, 512), tuttavia le relative variabili di scambio, presenti nella mappa I/O, non sono associate a variabili del programma. L'unica variabile necessaria alla simulazione dei movimenti è la variabile Actual Position assegnata all'interno del programma di controllo.

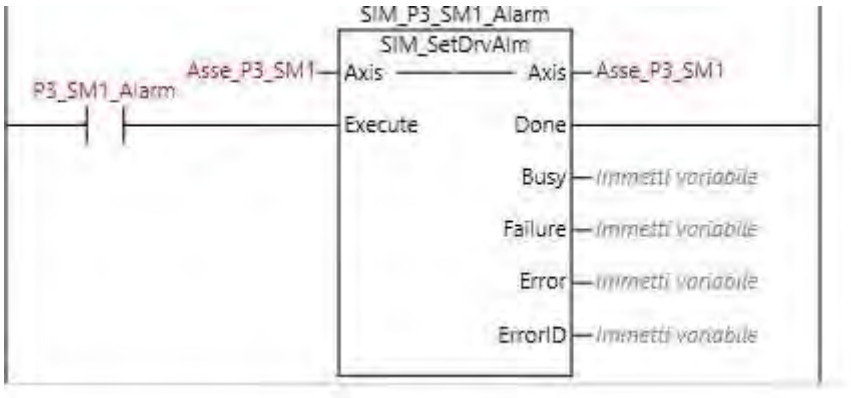
Tre assi vengono impostati come assi servoazionamento, nel seguente modo:

1048576 impulso/rev (encoder incrementale a 20 bit)
Velocità massima 360 °/s, Accelerazione e decelerazione massima di 720 °/s^2
Modalità lineare con encoder incrementale

Il Blocco Funzione principale utilizzato per la movimentazione dei servomotori è MC_Move, attivo sul fronte di salita Execute.

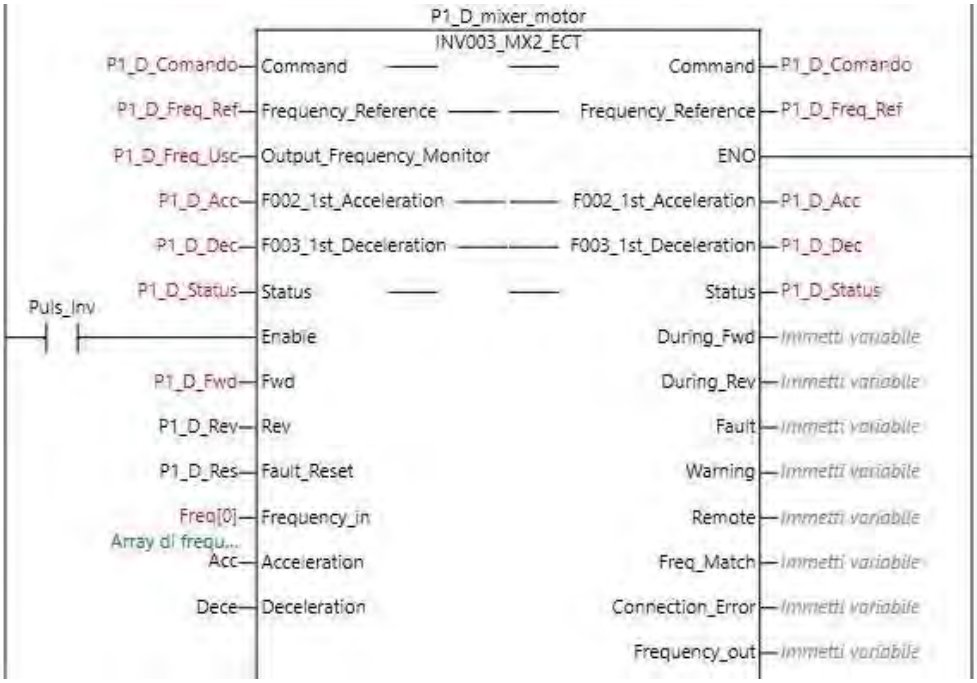
Facendo riferimento alla figura (relativa alla sezione motor_setup), ad ogni fronte di salita della variabile booleana P3_SM1_goto, viene movimentato il servo fino a raggiungere la posizione contenuta nella variabile P3_SM1_target_Pos. La variabile di posizione del servo, Asse_P3_SM1.Act.Pos, viene simulata dall'ambiente Sysmac Studio e quindi viene utilizzata nel pannello HMI per movimentare la grafica.

Viene sfruttata anche la possibilità che Sysmac Studio offre di simulare l'allarme relativo ad un Servo, come illustrato nella figura seguente



Inverter MX2

Per quanto riguarda gli inverter MX2 viene modificata la mappa PDO (Uscita: 1, 2, 258; Ingresso: 258, 512) rispetto a quella proposta di default (Uscita: 258; Ingresso: 258, 512), per avere in scambio anche i tempi di accelerazione e decelerazione. Le relative variabili di scambio sono presenti nella mappa I/O (Command, Frequency reference, F002 1st Acceleration time 1, F003 1st Deceleration time 1, Status, Output Frequency Monitor) e vengono associate a variabili del programma di controllo. Per la gestione dell'Inverter MX2 tramite protocollo Ethercat occorre caricare la libreria INV00x_MX2_ECT.slr che rende disponibili blocchi funzioni, fra i quali il seguente, usato nel nostro progetto:



Nella parte alta del blocco funzione sono riportate le variabili di scambio in uscita dal Controller (Command, Frequency_Reference, F002_1st_Acceleration, F003_1st_Deceleration) e in ingresso al Controller (Output_Frequency_Monitor, Status); nella parte bassa del blocco funzione sono riportati i comandi utili al funzionamento dell'Inverter, impostabili da programma.

Per quanto riguarda i parametri, le impostazioni attivate sono le seguenti:

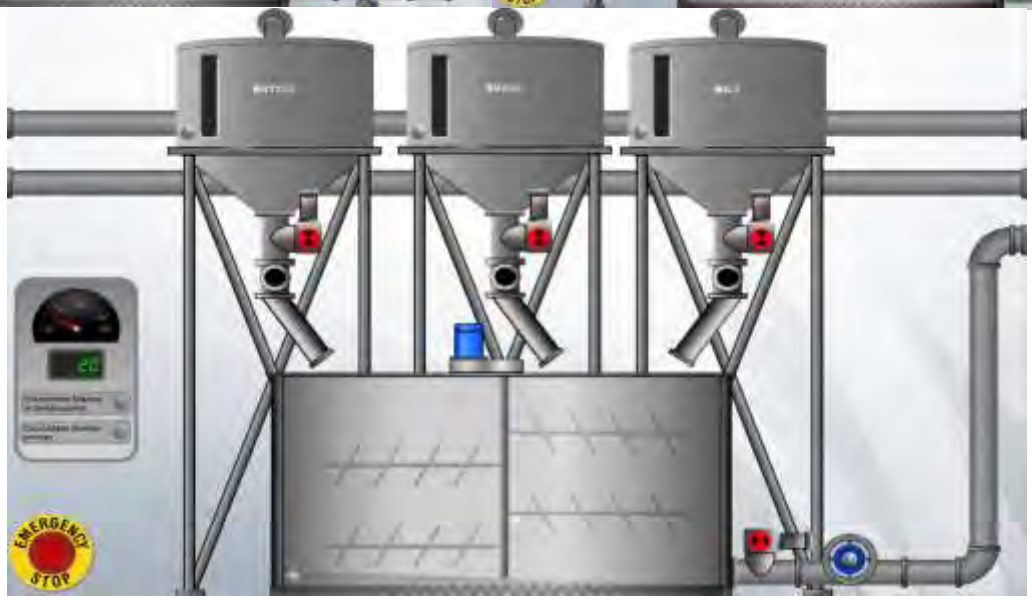
i parametri A001(sorgente frequenza) e A002 (sorgente comando Run) vengono settati per essere gestiti con la scheda opzione (impostazione etichettata con 4); il parametro A004 (impostazione frequenza massima) viene settato a 50. I parametri A097 e A098 consentono di definire il tipo di curva di accelerazione e decelerazione, di default sono impostati con curva ad S utile ad addolcire la partenza e la frenatura.

5. Inizializzazione

Ogni volta che viene avviata una nuova produzione, il sistema viene inizializzato e calibrato in modo che alla partenza tutto si trovi dove deve essere: i robot vengono portati nella posizione di home, i pistoni vengono ritirati e le etichettatrici si posizionano a seconda della dimensione di confezione selezionata. Quando l'inizializzazione è conclusa viene messa a TRUE la variabile di stato sys_ready in modo che tutti gli automi possano attivarsi.

```
47
48  IF NOT INIT_P5 THEN...
145
146
147 IF NOT INIT_P4 THEN...
291
292 IF NOT INIT_P3 THEN...
307
308 IF INIT_P3 AND INIT_P4 AND INIT_P5 THEN
309     INIT := FALSE;
310     sys_ready := TRUE;
311 END_IF;
```

6. Produzione cioccolato



Per iniziare la produzione il programma controlla che i silos contenenti gli ingredienti con i quali andremo a produrre i cioccolatini richiesti, siano pieni. Nel caso in cui fossero vuoti, il programma mostra un pop-up che segnala l'evento. Questo pop-up non farà avviare la produzione prima che l'operatore riempia i silos vuoti. Una volta riempiti, il pop-up si potrà chiudere, e la produzione si avvierà. Si consideri ad esempio la produzione di cioccolato fondente: inizialmente il motore che si occupa della miscelazione, azionato ad inverter, viene avviato a velocità massima (50Hz), poi inizia l' immissione degli ingredienti, la cui quantità prevista in ricetta, viene controllata tramite un timer TON. Dopo l'erogazione dello zucchero, la temperatura interna al mixer passa da 30°C a 55°C, tramite controllo proporzionale. Dopo il raggiungimento della temperatura, inizia a scendere la polvere di cacao ed infine scende il burro sempre per un tempo specifico per rientrare nelle proporzioni del composto finale. Quando il burro di cacao finisce di scendere, il mixer continua a mescolare per un tempo prefissato. Come ultima azione, la temperatura si abbassa a 30°C, le pale ruotano alla metà della velocità e, in caso siano vuote le cisterne della fase di produzione, la pompa le alimenta, abilitando il flusso del cioccolato fuso. Quando il livello di cioccolato raggiunge il valore minimo del mixer ed è richiesto altro cioccolato, viene messa in produzione altra crema di cioccolato.

```
99      // polvere di cacao
100     5:
101        P1_D_powder_valve := TRUE;
102        P1_D_butter_valve := FALSE;
103        P1_D_sugar_valve := FALSE;
104        P1_D_mixer_valve := FALSE;
105        P1_D_mixer_pump := FALSE;
106        Freq[0] := 50;
107        //la temperatura non cambia
108
109        TMR_2_ON := TRUE;
110
111        IF TMR_2_OUT THEN
112           TMR_2_ON := FALSE;
113           state := 6;
114        END_IF;
115
116     // burro
117     6:
118        P1_D_powder_valve := FALSE;
119        P1_D_butter_valve := TRUE;
120        P1_D_sugar_valve := FALSE;
121        P1_D_mixer_valve := FALSE;
122        P1_D_mixer_pump := FALSE;
123        Freq[0] := 50;
124        //la temperatura non cambia
125
126        TMR_3_ON := TRUE;
127
128        IF TMR_3_OUT THEN
129           TMR_3_ON := FALSE;
130           state := 7;
131        END_IF;
```

Commenti codice

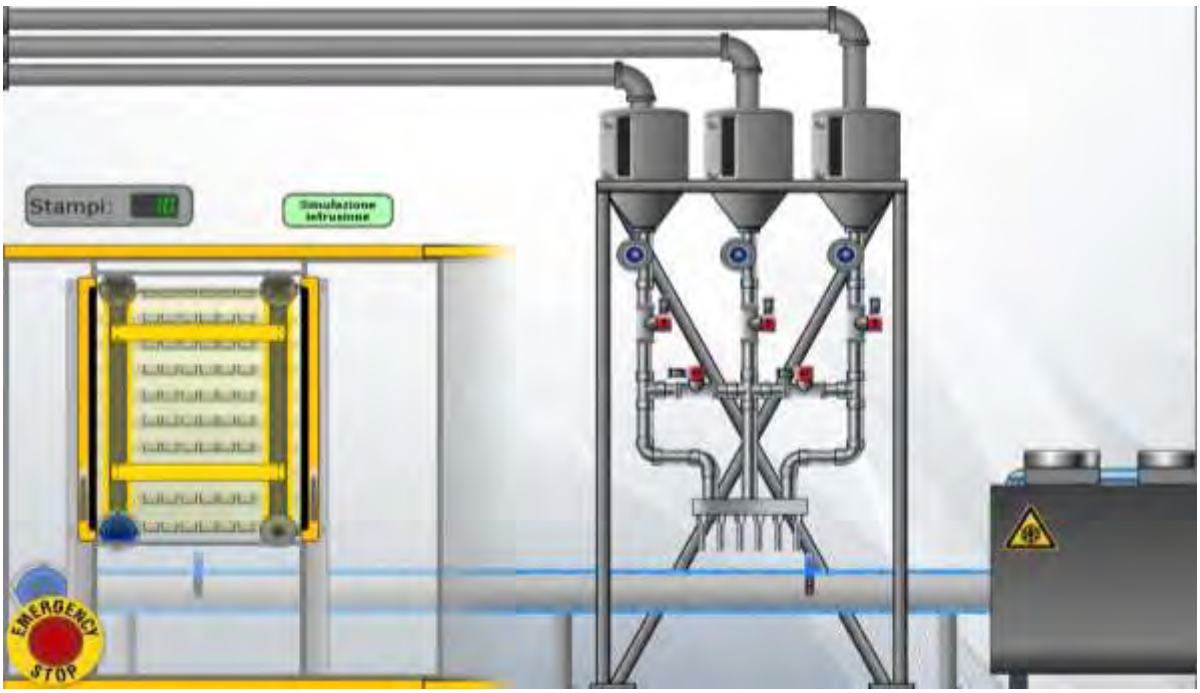
Lo stato 5 e lo stato 6 del codice regolano la discesa della polvere e del burro di cacao nel mixer. Nello stato 5, infatti, tutti gli output booleani sono a FALSE, tranne la valvola della polvere che fa sì, appunto, che scenda la polvere di cacao; per passare nello stato successivo si utilizza un timer "TON". Subito si avvia il conteggio del tempo, poi, una volta passato il tempo impostato, si resetta il timer e avviene il passaggio di stato.

La stessa logica di controllo viene implementata nello stato 6, in cui avviene l'erogazione del burro di cacao, secondo un tempo calcolato in base alla quantità prevista dalla ricetta.

```
26  ' gestione pale mixer con doppia velicità tramite inverter
27  If freq(0)=25 Then
28      P1_D_paddel = F_25
29  Elself Freq(0) =50 Then
30      P1_D_paddel = F_50
31      Else
32          P1_D_paddel = False
33  End If
34
```

In questa parte viene impostato il controllo a doppia velocità delle pale del mixer, possibile grazie all'utilizzo dell'azionamento ad inverter del motore. La simulazione della rotazione sul pannello operatore sfrutta le variabili booleane F_25 e F_50 che invertono il loro valore ciclicamente negli eventi globali (evento Interval che richiama un'azione InvertVariable) uno con il tempo doppio dell'altro. La variabile P1_D_paddel è legata all'animazione IsVisible e ciò porta alla scomparsa e comparsa delle 2 pale mostrate sul pannello operatore. Tramite un array chiamato "Freq" si ha accesso alle frequenze dei 9 inverter, la frequenza di indice 0 è quella del motore del primo mixer. La frequenza massima è di 50Hz mentre quando funziona a metà è impostata a 25Hz.

7. Produzione cioccolatini



In questa fase le tre creme di cioccolato (fondente, al latte e bianco) arrivano allo stabilimento di produzione, ognuna in una cisterna specifica. Le tre cisterne sono dotate di sensori per rilevare il livello massimo e minimo di crema; inoltre è presente una conduttura che consente, tramite valvole opportunamente attivate dal controller, di portare agli iniettori la crema prevista dalla ricetta selezionata. È presente un magazzino con la funzione di calare, sul nastro trasportatore, gli stampi vuoti che, tramite nastro trasportatore, vengono mandati agli iniettori dove saranno riempiti. Una volta pieni il nastro trasportatore porterà gli stampi dentro ad un frigorifero con lo scopo di solidificare il cioccolato. Il magazzino è dotato di barriere di sicurezza che, qualora fossero violate, causerebbero l'arresto istantaneo dell'azione prevista nel magazzino. Una volta rimossa la causa che ha attivato la barriera, il magazzino riprende il suo normale funzionamento. Nel caso vi fosse un problema si ha la possibilità di premere il pulsante di emergenza che andrà ad arrestare il tutto. Al riarmo del pulsante a fungo, apparirà un popup avvisando che l'emergenza è stata ripristinata e chiede se si vuole riprendere la produzione: premendo "SI" farà ripartire la produzione, in caso contrario verrà chiesto se si vuole annullarla.

Commenti codice

```
24  IF P2_safety_curtains = FALSE AND old_safety_curtains = TRUE THEN
25      P2_M2 := FALSE;
26  END_IF;
133         // magazzino fa scendere lo stampo
134         3:
135             P2_D_pump := FALSE;
136             P2_M_pump := FALSE;
137             P2_W_pump := FALSE;
138
139             P2_D_valve := FALSE;
140             P2_M_valve := FALSE;
141             P2_W_valve := FALSE;
142             P2_middle_valve := FALSE;
143
144             TMR_4_ON := TRUE;
145
146             old_P2_FC2 := P2_FC_2;
147
148             IF P2_safety_curtains THEN
149                 P2_M2 := TRUE;
150             END_IF;
151
152             IF P2_FC_1 THEN
153                 state := 4;
154                 TMR_4_ON := FALSE;
155             END_IF;
156
157             IF TMR_4_OUT THEN
158                 state := 2;
159                 TMR_4_ON := FALSE;
160             END_IF;
```

Lo stato 3 dell'automa che si dedica alla produzione dei cioccolatini gestisce la discesa dello stampo. In caso le barriere rilevino un'intrusione, non permettono al magazzino di muoversi, poichè l'apertura del contatto NC (variabile P2_safety_curtains) disattiva il motore P2_M2. Inoltre quando viene rilevata l'attivazione della prima fotocellula, che segnala il passaggio dello stampo dal magazzino al nastro, allora si passa allo stato 4. In contemporanea viene fatto partire un timer. Se il timer dovesse scattare significa che il magazzino è vuoto e sta girando senza far scendere nulla, in questo caso va allo stato 2 per segnalare l'utente.

```
344     'animazione cioccolato
345     If P2_D_valve Or P2_M_valve Or P2_W_valve Then
346        choco_fountain = True
347        choco_fill = choco_fill + 3
348     Else
349        choco_fountain = False
350     End If
351
352     If P2_D_valve And P2_tank_D_fill >= 0 Then
353           P2_tank_D_fill = P2_tank_D_fill - 2
354     End If
355
356     If P2_M_valve And P2_tank_M_fill >= 0 Then
357           P2_tank_M_fill = P2_tank_M_fill - 2
358     End If
359
360     If P2_W_valve And P2_tank_W_fill >= 0 Then
361           P2_tank_W_fill = P2_tank_W_fill - 2
362     End If
363
```

Questa è la subroutine che si occupa delle animazioni dei cioccolatini sul pannello operatore HMI.

In caso ci siano delle valvole aperte allora rende visibile la colata di cioccolato e incrementa la variabile responsabile dell'animazione del riempimento degli stampi.

Sotto invece, a seconda della valvola aperta, viene decrementata la variabile legata al livello di cioccolato nelle cisterne in alto.

8. Fase di raffreddamento e ribaltamento degli stampi

Una volta che lo stampo esce dal congelatore con il cioccolato solidificato e raggiunge la posizione di rotazione, il servomotore aziona il sistema di ribaltamento dello stampo sull'altro nastro per poi avviarlo verso la linea successiva in cui è presente il robot cartesiano di rimozione stampo. Occorre sottolineare che l'azione di ribaltamento viene abilitata dal controller solo quando i cioccolatini presenti nella successiva stazione di confezionamento siano in numero esiguo, vale a dire meno di

12 cioccolatini.. È presente un tasto per simulare un errore al servomotore e un tasto per resettare il servo e risolvere l'errore.

Commenti codice

```
50
51      2:
52          // porto il servomotore a 0
53          P3_SM1_goto := TRUE;
54          P3_SM1_target_pos := 0;
55          mold_turned := TRUE;
56          IF P3_SM1_servo_pos <= 0 THEN
57              P3_SM1_goto := FALSE;
58              state := 0;
59          END_IF;
60
```

In questo stato il servomotore viene riportato nella posizione iniziale. Viene attivata la variabile di movimento, quella di posizione viene impostata a 0 e messa a TRUE la variabile di stato che indica la presenza sul nastro di uno stampo rovesciato (non è possibile avere più di uno stampo rovesciato sul nastro).

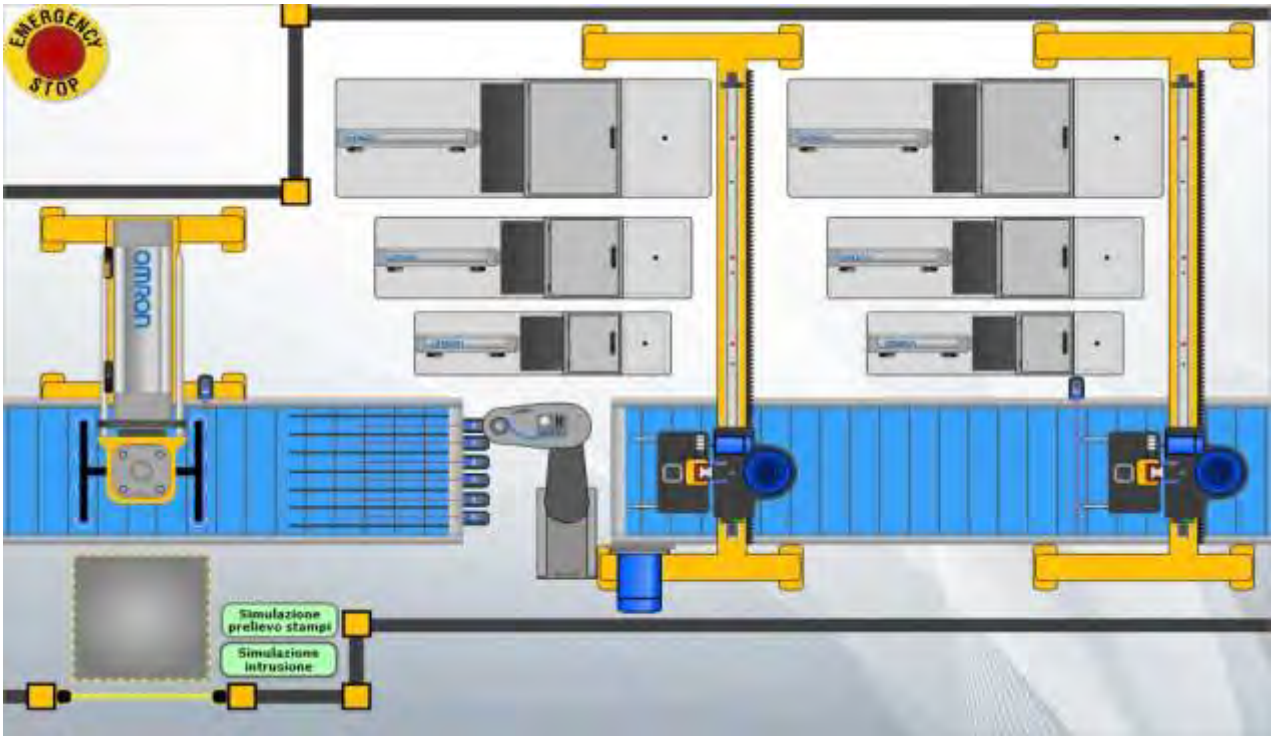
Quando la posizione del servo raggiunge la posizione iniziale allora resetta la variabile di movimento e l'automa si sposta nello stato 0.

```
123
124     If P3_mold_1_move>=515 And P3_mold_1_move<= 650 Then
125         P3_FC_1= True
126     Else
127         P3_FC_1= False
128     End If
129
130     If P3_SM1_servo_pos >=179 Or (P3_mold_3_visible And P3_mold_3_move <= 130) Then
131         P3_FC_2= True
132     Else
133         P3_FC_2= False
134     End If
135
```

Questa è la subroutine della pagina 3 dove vengono simulate le fotocellule, in caso il primo stampo si sia mosso nel range che va da 515 a 650 pixel allora la prima fotocellula si attiva mentre in caso contrario risulta un contatto aperto.

La seconda invece si chiude in caso la posizione del servomotore sia superiore a 179° o il terzo stampo (ovvero quello che avanza ribaltato, il secondo ruota insieme all'asta) è visibile e si sia mosso di meno di 130 pixel.

9. Fase di confezionamento



In questa fase lo stampo dei cioccolatini ribaltato arriva dalla fase precedente ed un robot pneumatico provvede a rimuovere lo stampo per essere posizionato nel deposito di fronte al nastro. Gli stampi vuoti possono essere prelevati e usati per rifornire il magazzino verticale nella fase di produzione cioccolatini.

I cioccolatini rimasti sul nastro vengono divisi in 6 file mediante dei separatori; una volta arrivati a fine linea il robot scara provvede a prelevarne uno ad uno ed inserirli nell'apposita confezione, la quale può ora avanzare sino al prossimo stadio dove verrà applicato il coperchio in base alla confezione scelta. Sia il coperchio che la confezione vengono preventivamente espulsi dai dispenser per poi essere presi dai robot. Se i cioccolatini rimasti sul nastro sono in un numero superiore a 12 la produzione si mette in pausa in attesa che il numero diminuisca per evitare un accumulo nella linea.

Nel caso in cui qualcuno violi le barriere per prelevare gli stampi il robot pneumatico si arresta sino a quando non viene ripristinata la sicurezza.

Commenti codice

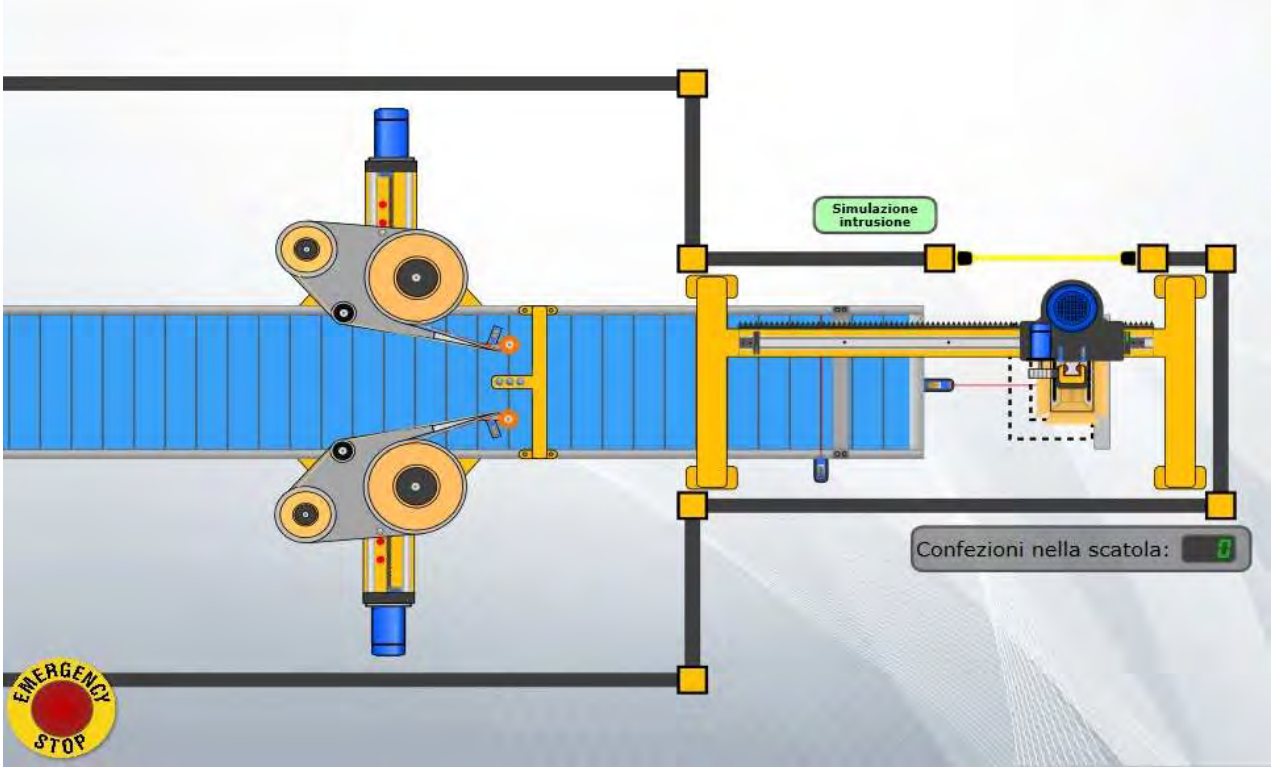
```
490        // robot 2 scende
491        14:
492           P4_M1 := FALSE;
493           Freq[6] := 25; //P4_R2_MZ
494
495           P4_R2_MZ_dw := TRUE; // mando il robot 2 giù
496
497           IF NOT P4_R2_FC_dw THEN
498              state := 15;
499           END_IF;
500
501        // robot 2 apre la pinza
502        15:
503           Freq[6] := 0; //P4_R2_MZ
504
505           P4_R2_gripper_target_pos :=  open_position[package_size];
506           P4_R2_gripper_goto := TRUE;
507
508           TMR_5_ON := TRUE;
509
510           IF TMR_5_OUT AND  P4_R2_servo_pos >= (open_position[package_size]-0.1) THEN
511              TMR_5_ON := FALSE;
512              state := 16;
513              package_done := package_done + 1;
514              P4_R2_gripper_goto := FALSE;
515           END_IF;
516
```

Il codice riportato è legato alla macchina stati dei robot cartesiani, in particolare la fase di deposito del coperchio. Lo stato 14 arresta il nastro ed imposta la frequenza del motore legato al movimento dell'asse Z alla metà supportata (25Hz), dato che è un movimento di precisione si preferisce utilizzare una velocità ridotta. Viene anche assegnata la direzione che deve avere il motore. Una volta arrivato al finecorsa NC, assegnato alla posizione "Robot giù", l'automa passa allo stato 15 che ha lo scopo di arrestare il motore e di aprire la pinza, assegnando la posizione da raggiungere tramite variabile estratta da un array indicizzato dalla dimensione della confezione package_size.

```
125 Sub P4_RP
126     'SENSORI ROBOT PNEUMATICO
127     If P4_RP_move_Y >= 160 Then
128         P4_RP_reed_fw = False
129     Else
130         P4_RP_reed_fw = True
131     End If
132
133     If P4_RP_move_Y <= 0 Then
134         P4_RP_reed_rear = False
135     Else
136         P4_RP_reed_rear = True
137     End If
138
139     If P4_RP_move_Z >= 100 Then
140         P4_RP_reed_up = False
141     Else
142         P4_RP_reed_up = True
143     End If
144
145     If P4_RP_move_Z <= 0 Then
146         P4_RP_reed_dw = False
147     Else
148         P4_RP_reed_dw = True
149     End If
```

A lato HMI invece la seguente subroutine gestisce i reed del robot pneumatico (è composto da un pistone che si occupa della posizione in alto e in basso e da un altro pistone che sposta la testa nella posizione avanti e indietro). Dato che i reed funzionano in logica negativa, quando la variabile di posizione legata al movimento dell'asse rientra negli estremi del movimento, il reed va a False. Quando si trova in una posizione che non è agli estremi assume il valore True.

10. Fase di applicazione sigillo e inscatolamento



In questa ultima fase di applicazione sigillo due etichettatrici provvedono ad applicare dei sigilli adesivi ai lati della confezione. Nella fase di inizializzazione due motori le portano nella posizione

corretta (si muovono su una slitta grazie ad una vite senza fine), dipendente dalla dimensione della confezione. Una volta ultimata sigillata, un robot preleva la confezione e la ripone nella scatola.

Nel caso in cui qualcuno attraversi le barriere di prelievo, il robot si arresta sino a quando non c'è nulla ad invadere la barriera.

Al sopraggiungere delle confezioni, la produzione va in uno stato di pausa e il nastro si arresta, quando si verifica una delle seguenti condizioni:

- il robot preposto al prelievo è in arresto
- il robot è in funzione ma non è presente una scatola vuota
- il robot è in funzione ma la scatola è piena

Al ripristino il nastro riprende a funzionare.

Commenti codice

```
143     // viene rilasciata la confezione
144     5:
145        P5_R1_MZ_dw := FALSE;
146        Freq[7] := 0;
147        Freq[8] := 0;
148        P5_R1_gripper := FALSE;
149
150        TMR_1_ON := TRUE;
151
152        IF TMR_1_OUT THEN
153           n_items := n_items + 1;
154           items_produced := items_produced + 1;
155           state := 6;
156           TMR_1_ON := FALSE;
157        END_IF;
158
```

Lo stato 5 della macchina a stati del robot cartesiano si occupa del rilascio della confezione nello scatolone. Dopo aver arrestato i motori, spegne le ventose che reggevano la confezione ed avvia un timer per dar tempo che la scatola si stacchi e cada nello scatolone. Allo scadere viene incrementata la variabile che tiene conto degli oggetti nella scatola da riempire e una variabile che tiene in memoria la quantità totale delle confezioni prodotte. Dopo di chè passa allo stato successivo e resetta il timer.

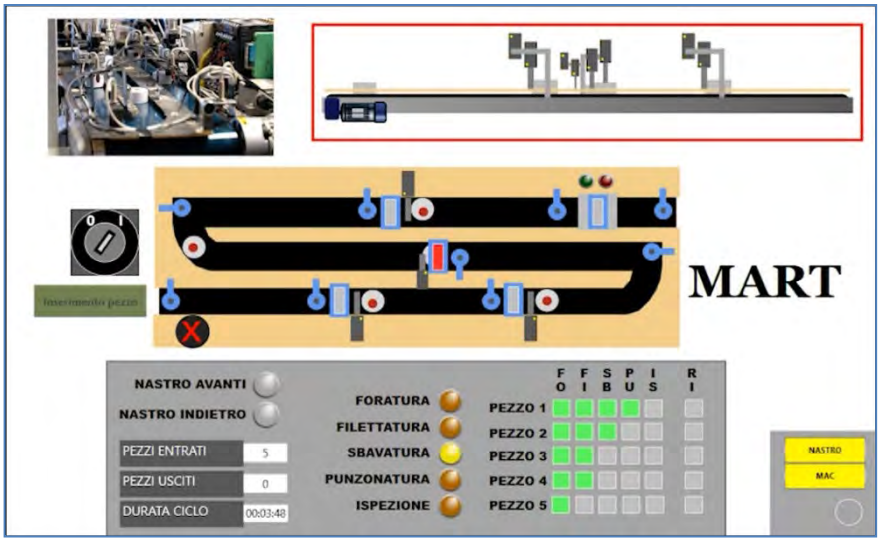
```
260     If Not P5_R1_MX_fw And  Freq.Item(7)  = 50 And P5_R1_move_X >= 0 Then
261        P5_R1_move_X = P5_R1_move_X - px_td_fast
262
263        'ANIMAZIONE SCATOLA
264        If P5_view_package_2 Then
265        P5_move_package_2_X = P5_move_package_2_X + px_td_fast
266        End If
267     End If
```

Questa parte di subroutine gestisce il movimento grafico sull'asse X del robot in direzione dello scatolone. Infatti per decrementare la variabile di movimento del robot si devono verificare le condizione in cui:

- Il motore deve ruotare della direzione corretta
- È impostata la velocità massima
- la posizione del robot deve essere maggiore di 0 (per essere sicuri che non si muova oltre il dovuto)

Insieme ad esso, se la confezione 2 (la prima è sul nastro mentre la seconda si muove con il robot) è visibile, la sua posizione viene incrementata (robot e scatola hanno punti di riferimento opposti).

SMART - System Model for Automation Resource Training

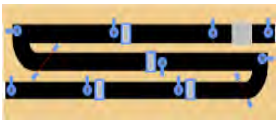


< Sommario

Un progetto che affianca alla simulazione del processo anche una realizzazione pratica volta a verificare tutte le variabili difficili da prevedere nel modello simulato. Ecco quindi il perché del nome dato al progetto, un "modello di sistema per effettuare esercitazioni di automazione", che ci si augura potrà essere un esempio seguito in tante altre realtà che svolgono formazione sull'automazione.

IIS Fermo Corni – Modena MO - Classe V

- **Docente coordinatore**: Claudio Ferrari
- **Studenti:** Francesco Annovi, Simone Cavani..



MART OMRON

System Model for Automation Resource Training

Negli ultimi anni è esponenzialmente aumentata, da parte delle aziende, la ricerca di studenti che sappiano configurare e programmare un PLC e come collegarlo alle apparecchiature e ai dispositivi presenti a bordo macchina.

La continua innovazione tecnologica, inoltre, comporta che tali competenze siano costantemente aggiornate.

Come risponde la scuola tecnica a queste necessità?

Recentemente vi è stato un notevole processo di adeguamento delle attrezzature presenti nei laboratori, grazie agli investimenti che sono stati resi disponibili sfruttando i progetti PON e, soprattutto, al supporto che le aziende, OMRON in particolare, hanno garantito alle scuole, in termini sia di formazione sia di vendita di apparecchiature a costi assolutamente accessibili.

Di pari passo sono anche state sviluppate piattaforme software che, oltre a permettere la programmazione del PLC fisico, consentono di realizzare gemelli digitali degli impianti reali, al fine di testare virtualmente il proprio progetto.

Quest'ultima soluzione rappresenta un efficace strumento per favorire l'apprendimento, in quanto consente anche agli studenti di esercitarsi a casa.

Ma è indubbio che solo lavorando su una macchina vera, nella quale spesso occorre risolvere problematiche che nel modello simulato non sempre si riescono a prevedere e di conseguenza a integrare nelle casistiche implementate, lo studente accresce e completa le proprie competenze.

Sentire il rumore proveniente da un motore o il sibilo emesso da un cilindro pneumatico, vedere una valvola che si apre o un nastro trasportatore che avanza inducono molto più interesse e coinvolgimento rispetto al corrispondente modello digitale.

Per arrivare a ciò, non è obbligatorio acquistare apparecchiature complesse e dispendiose: in questo progetto è stato realizzato un prototipo di costo contenuto, nel quale è simulato un processo produttivo il cui funzionamento dipende dall'implementazione di tecnologia hardware e di supporti software disponibili nel catalogo OMRON.

Con l'ulteriore obiettivo di redigere una guida pratica nella quale sono elencate le principali fasi attraverso le quali effettuare la configurazione e la messa in servizio dei dispositivi utilizzati, che si spera possa rappresentare un'utile base di partenza per chiunque volesse intraprendere un percorso analogo.

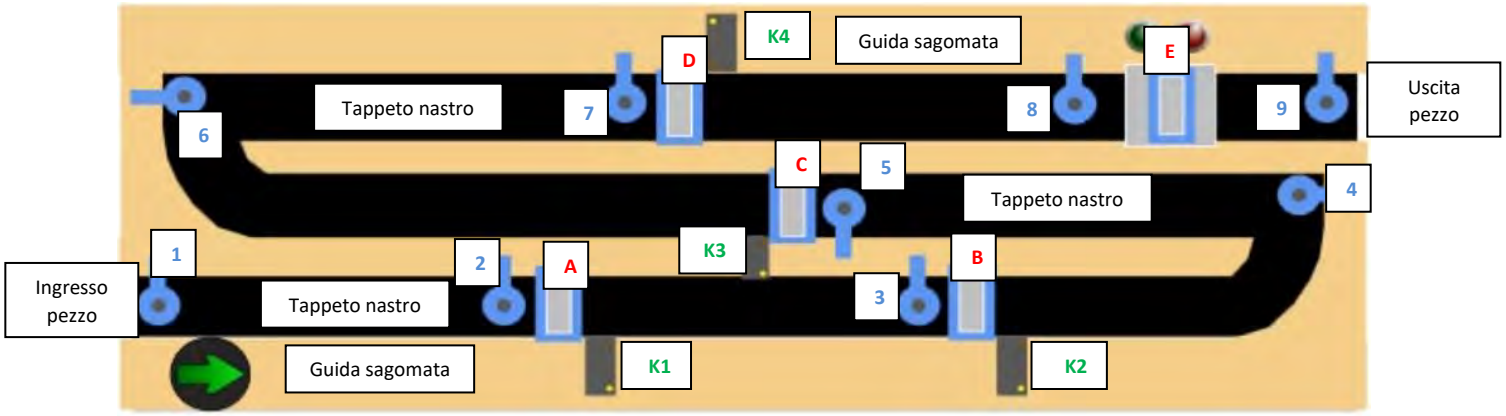
Ecco quindi il perché del nome dato al progetto, un “modello di sistema per effettuare esercitazioni di automazione”, che ci si augura potrà essere un esempio seguito in tante altre realtà che svolgono formazione su questa affascinante scienza.

Il progetto sviluppato su un gemello digitale

L’idea alla base del progetto consiste nell’effettuare una serie di lavorazioni su cinque pezzi cilindrici metallici che vengono trasportati tra stazioni successive per mezzo di un unico nastro, ottimizzando al massimo lo spazio occupato dall’impianto grazie a un’oculata gestione del posizionamento delle stazioni e del verso di avanzamento del nastro stesso nonché di una guida opportunamente sagomata che vincola il tragitto compiuto da ciascun pezzo a un seguire un percorso delineato.

Le lavorazioni effettuate sul pezzo sono foratura, maschiatura, fresatura per l’eliminazione di eventuali bave e punzonatura; al termine del processo, un sistema di visione artificiale opportunamente programmato verifica se il pezzo soddisfa le specifiche richieste.

La figura successiva mostra la vista dell’impianto dall’alto.



A) Stazione di foratura **B**) Stazione di maschiatura

C) Stazione di fresatura **D**) Stazione di punzonatura

E) Stazione con smart camera

1..9) Sensori induttivi **K1..K4**) Cilindri pneumatici stopper

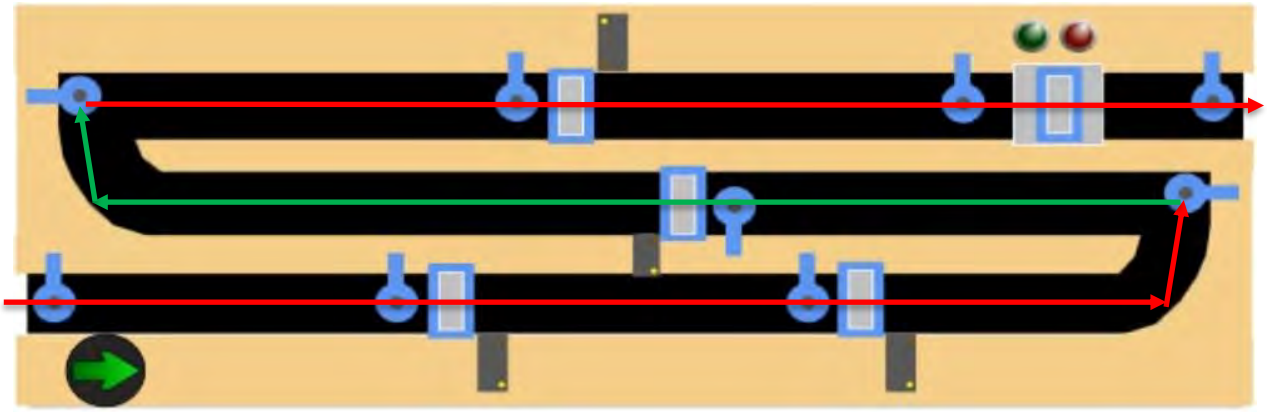
La procedura prevede che il pezzo immesso sul nastro sia trasportato verso la stazione A, dove subisce la prima lavorazione, per poi procedere verso la stazione B, dove viene effettuata la seconda lavorazione.

Dopodichè il nastro continua a far avanzare il pezzo che raggiunge la prima curvatura realizzata nella sagoma; il pezzo continua quindi a avanzare fino a incontrare il sensore 4.

Il nastro inverte il senso di marcia al fine di trasportare il pezzo in corrispondenza della stazione C, dove viene eseguita la terza lavorazione.

Poi il pezzo prosegue verso il sensore 6; qui giunto, il nastro inverte nuovamente il verso di marcia trasportandolo verso l'uscita, attraverso la quarta stazione e la stazione di controllo qualità.

La figura successiva illustra il percorso compiuto dal pezzo e con diverso colore i due sensi di avanzamento del nastro durante il ciclo produttivo.



Ragionando in ottica Industry 4.0, si è dapprima creato un modello virtuale dell'impianto, al fine di poter implementare e testare il codice, andando eventualmente a intervenire sull'hardware fino ad ottenere la soluzione la più efficiente e performante possibile.

Nel modello virtuale sono state implementate, in uno script dedicato, le funzioni di animazione inerenti ai movimenti dei pezzi e degli stopper e le funzioni che simulano il funzionamento dei sensori / attuatori presenti nell'impianto, in modo che il PLC virtuale riceva le informazioni sullo stato corrente dell'impianto e a sua volta possa inviargli i comandi per gli azionamenti come determinato dal programma in esecuzione.

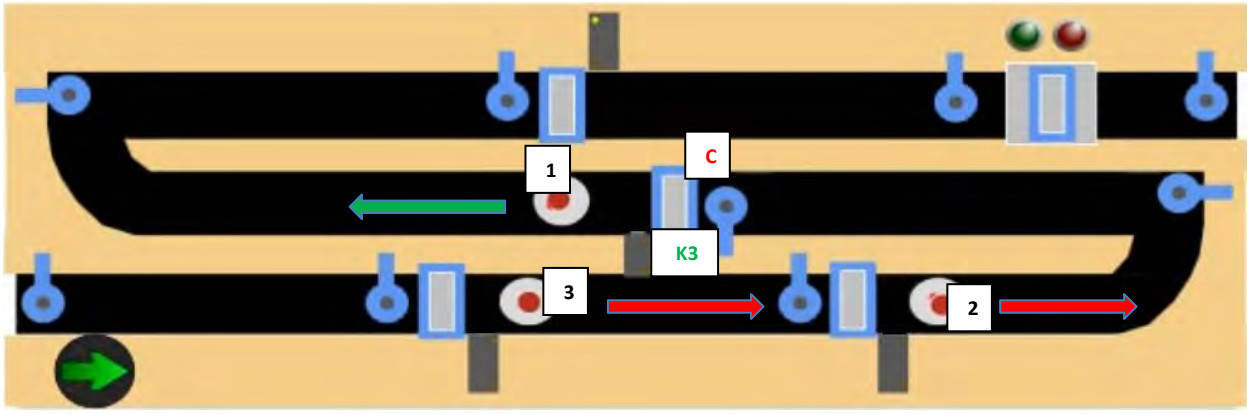
La prima soluzione ipotizzata prevedeva la lavorazione di un solo pezzo alla volta, ovvero sul nastro non poteva essere presente più di un pezzo.

Questa soluzione, sicuramente semplice dal punto di vista realizzativo, presentava il problema di richiedere molto tempo per completare le lavorazioni su tutti e cinque i pezzi: nel modello simulato, infatti, il tempo impiegato era superiore a 13 minuti.

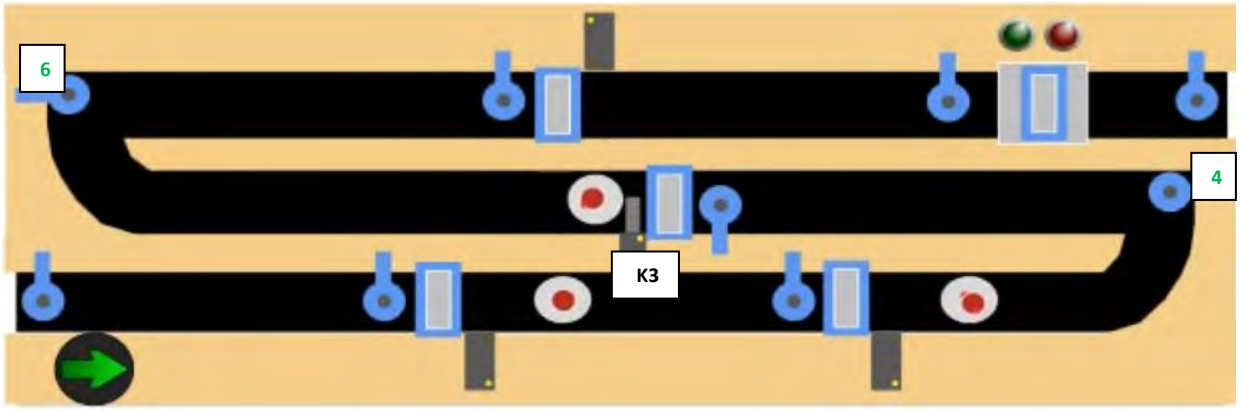
Un'attenta analisi del sistema ha portato a una soluzione molto più efficiente, caratterizzata dalla gestione di più pezzi contemporaneamente presenti sul nastro; a fronte di una notevole complicazione del sistema, dal punto di vista sia software che hardware, si è ottenuto un notevole miglioramento del tempo richiesto per completare il ciclo, che si è ridotto a circa 8 minuti.

Ciò ha richiesto la scrittura di un codice piuttosto complesso, nel quale si è dovuto sincronizzare il movimento del nastro rispetto alle posizioni dei pezzi, avvalendosi per questo di opportuni semafori hardware (stopper pneumatici).

La figura successiva rappresenta un caso che evidenzia la principale problematica che si è dovuta risolvere: mentre il processo di lavorazione del pezzo 1 richiederebbe il movimento del nastro da destra a sinistra, i pezzi 2 e 3 dovrebbero muoversi nel verso opposto: ovviamente il software deve prendere una decisione su quale sia il verso di avanzamento del nastro da comandare, e nella fattispecie si è optato per prioritizzare il movimento che consente a più pezzi di procedere verso le successive stazioni.



Per evitare il ritorno del pezzo 1 verso la stazione C, il programma comanda l'uscita dello stopper K3; a quel punto il nastro può essere attivato con verso da sinistra a destra, in modo da far avanzare i pezzi 2 e 3.



Più in generale nel software sono state implementate le seguenti regole:

a) prima che sia eseguita una inversione del senso di marcia occorre che ogni pezzo abbia superato la stazione che ha davanti a sé;

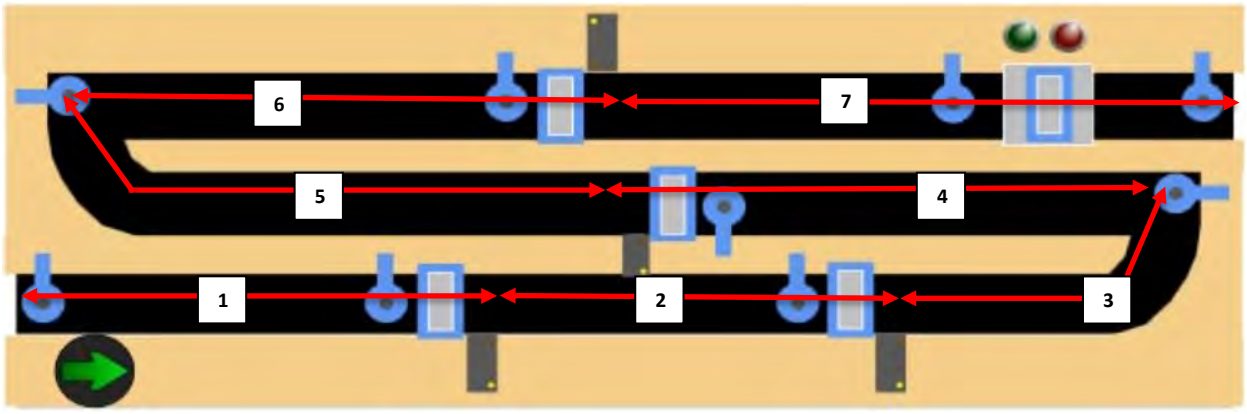
b) a ogni inversione del senso di marcia escono gli stopper;

c) l'inversione del verso di marcia dipende dallo stato dei sensori 4 e 6, purché siano verificati i punti a) e b).

Affinché le regole siano rispettate, il programma deve conoscere sempre dove si trovano i pezzi; per questo motivo il percorso è stato suddiviso in 7 settori e per ciascun pezzo viene memorizzato nel vettore ***tracciatura*** il numero corrispondente al settore in cui si trova.

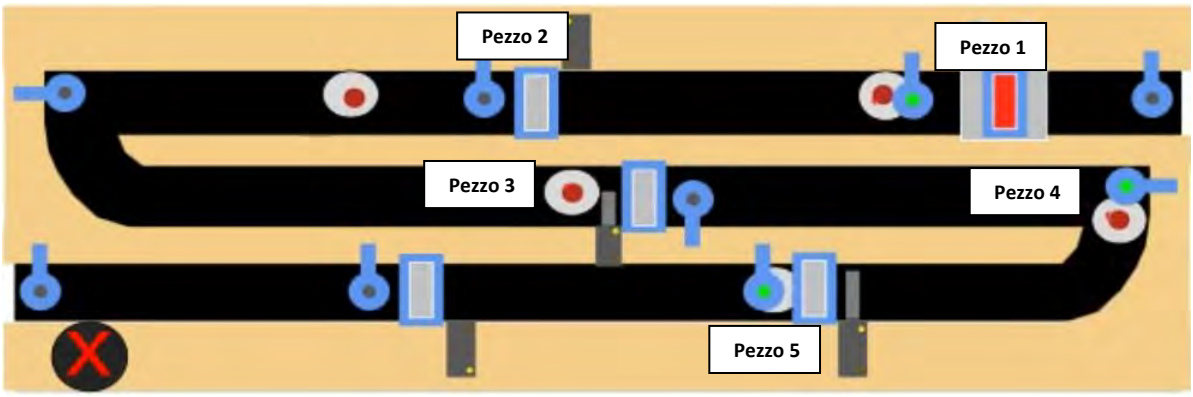
In particolare, a ogni pezzo è assegnata una posizione (ad esempio, *tracciatura[0]* dedicata al pezzo 1, *tracciatura[1]* al pezzo 2 e così via) e il contenuto di tale locazione viene aggiornata

man mano che il pezzo avanza sul nastro, inserendo il codice corrispondente alla sezione in cui il pezzo si trova a transitare in quel momento.



Ad esempio, quando il pezzo 1 si trova nella sezione 1, in *tracciatura[0]* sarà caricato il valore 1, quando si trova nella sezione 2, in *tracciatura[1]* sarà caricato il valore 2 e così via

Con riferimento alla situazione rappresentata nella figura successiva,



Il vettore *tracciatura* risulta compilato come riportato di seguito

Watch (Project)1

Nome dispositivo	Nome	Valore online
PLC	stato_staz_2	20
PLC	stato_staz_3	0
PLC	stato_staz_4	20
PLC	stato_inv_1	5
PLC	stato_inv_2	0
PLC	tracciatura[0]	7
PLC	tracciatura[1]	6
PLC	tracciatura[2]	5
PLC	tracciatura[3]	3
PLC	tracciatura[4]	2
PLC	stato_staz_smart	25

Oltre alle tre regole indicate precedentemente, è stato necessario implementarne una quarta:

d)gli stopper possono uscire per impedire l'avanzamento del pezzo durante la sua lavorazione.

Questa regola è applicata in relazione al funzionamento della smart camera.

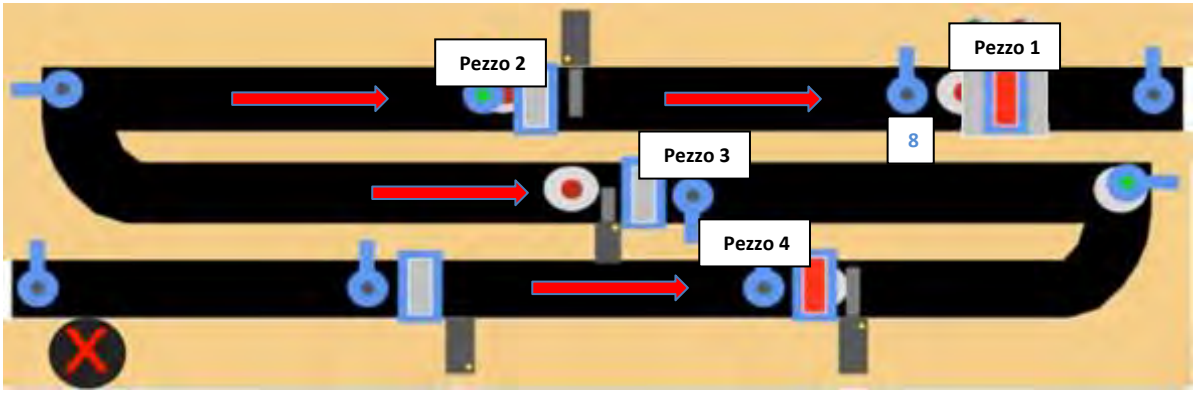
L'acquisizione dell'immagine è infatti sincronizzata al rilevamento del pezzo in arrivo effettuato dal sensore 8; da questo momento trascorre un certo tempo durante il quale il nastro trasporta il pezzo al centro del campo visivo della smart camera in modo che possa essere acquisita la migliore immagine possibile per la successiva elaborazione.

La durata della temporizzazione dipende dalla velocità di avanzamento del nastro e dalla distanza esistente tra l'asse focale della telecamera e il sensore di sincronizzazione.

Se durante questa fase un altro pezzo raggiungesse le stazioni 1, 2 o 4, in assenza di un'idonea soluzione questo potrebbe, a seconda del tipo di lavorazione prevista, oltrepassare la stazione stessa oppure esercitare una forza sull'utensile durante la sua fase operativa, con ovvie conseguenze negative sul processo di produzione.

La soluzione al problema prevede l'uscita degli stopper in modo da bloccare l'avanzamento del pezzo durante la sua lavorazione, pur se il nastro sottostante continua ad essere in movimento.

La figura successiva evidenzia proprio un caso nel quale mentre il pezzo 1 si trova nel tratto del nastro compreso tra il sensore 8 e la smart camera (e quindi il nastro non può essere fermato), i pezzi 2 e 4 sono o saranno bloccati nell'avanzamento dagli stopper per effettuare la relativa lavorazione; contemporaneamente il pezzo 3 non rientra verso la stazione che lo ha appena trattato perché lo stopper lo impedisce.



Il software di gestione del processo è scritto in linguaggio ST e presenta una raffinata gestione delle stazioni di lavorazione e degli stopper effettuata mediante blocchi funzioni parametrizzati: in questo modo, l'eventuale aggiunta di stazioni poste lungo il percorso del pezzo non comporterebbe stravolgimenti del software eccezion fatta per l'inserimento della chiamata al blocco funzione, eseguita con istruzioni simili alle seguenti

gestore_stazione_1(stato_staz_1,DI_staz_1,stato_staz_2,stato_staz_3,stato_staz_4,DQ_STAZ_1,indice2,2);

gestore_stopper_1(stato_stopper_1,DQ_STOPPER_1,DQ_STAZ_1,di_staz_1,s2,indietro,avanti);

Nei blocchi funzione sono implementati automi a stati; di una certa complessità è quello che gestisce il funzionamento delle stazioni, in quanto in esso viene anche sincronizzato il senso

di avanzamento del nastro in funzione dello stato delle lavorazioni in esecuzione: di seguito è proposta una parte del codice, riferita proprio alla sincronizzazione.

```
. . .

20:
DQ_STAZ:=TRUE;
timer_pt:=t#5000ms;       //viene eseguita la lavorazione, che si suppone duri 5 secondi
Timer_in:=true;
 IF timer_q THEN          //al termine dalla quale . . .  (stato 30)
          Timer_in:=FALSE;
          stato_staz:=30;                                                                    END_IF;
25:
if stato_staz_a <> 20 and stato_staz_b <> 20 and stato_staz_c <> 20 then       //(da stato 15)   quando la stazione che aveva causato l'arresto del nastro si libera
          avanti:=TRUE;             //il nastro riparte   (Attivazione senza mantenimento del comando, in modo che altre
          stato_staz:=26;           //stazioni possano a loro volta comandare il motore)
END_IF;
26:
timer_pt:=SUB_TIME(In1:=t#3600ms, In2:=tempo);    //e resta attivo per il tempo rimanente
Timer_in:=true;
IF timer_q THEN
          Timer_in:=FALSE;
          avanti:=false;      //terminato il quale il pezzo ha raggiunto la stazione di lavorazione e quindi il nastro si ferma
          stato_staz:=20;    //e viene eseguita la lavorazione (stato 20)
           END_IF;
30:
DQ_STAZ:=false;                    //la lavorazione viene terminata
if stato_staz_a <> 20 and stato_staz_b <> 20 and stato_staz_c <> 20 then        //se nessuna altra stazione in questo momento sta eseguendo una lavorazione
           avanti:=TRUE;   //il nastro riparte
          stato_staz:=40;
 END_IF;
40:
 timer_pt:=t#4000ms;               //il nastro continua ad avanzare finchè il pezzo ha sicuramente oltrepassato lo stopper
Timer_in:=true;

. . .
```

Le istanze dei blocchi funzioni sono eseguite contemporaneamente: nella figura a lato sono evidenziati alcuni valori memorizzati nelle variabili di stato acquisiti in un preciso istante durante la lavorazione

Il progetto sviluppato su un prototipo reale

Gli obiettivi

Come già discusso nell'introduzione, dal punto di vista didattico il valore aggiunto attribuito alla realizzazione di un progetto sta nel poterlo testare su un modello reale.

Data la relativa semplicità costruttiva dell'impianto e considerata la dotazione presente nel laboratorio, si è quindi passati alla realizzazione di un ***prototipo***, partendo proprio dal presupposto che, per quanto possa essere realizzato meticolosamente il gemello digitale, le problematiche che tipicamente si presentano in una macchina vera sono di gran lunga più complesse e interessanti da affrontare.

Per risolvere queste problematiche è stato individuato un altro obiettivo, ovvero come sfruttare la risorsa rappresentata dalla navigazione in rete al fine di recuperare informazioni e esempi concernenti le tecnologie impiegate nel progetto, ovvero come reperire il know-how necessario per permetterne l'impiego.

Infine, obiettivo del progetto è stato quello di redigere una sorta di guida rapida contenente degli spunti utili per quanti, in particolare docenti, volessero in futuro intraprendere un percorso simile utilizzando le medesime tecnologie disponibili nel portfolio OMRON.

Il prototipo

Come anche documentato nel video di accompagnamento al progetto, si è trattato di un revamping di una macchina già presente in laboratorio, il che ha comportato la sostituzione di tutta la componentistica per automazione (nello specifico PLC, periferia decentrata, pannello operatore e inverter) di un brand concorrente con apparecchiature OMRON.

Rispetto al progetto virtuale sono state apportate notevoli modifiche e integrazioni tecnologiche che d'altra parte non potevano essere efficacemente implementate in quella modalità operativa.

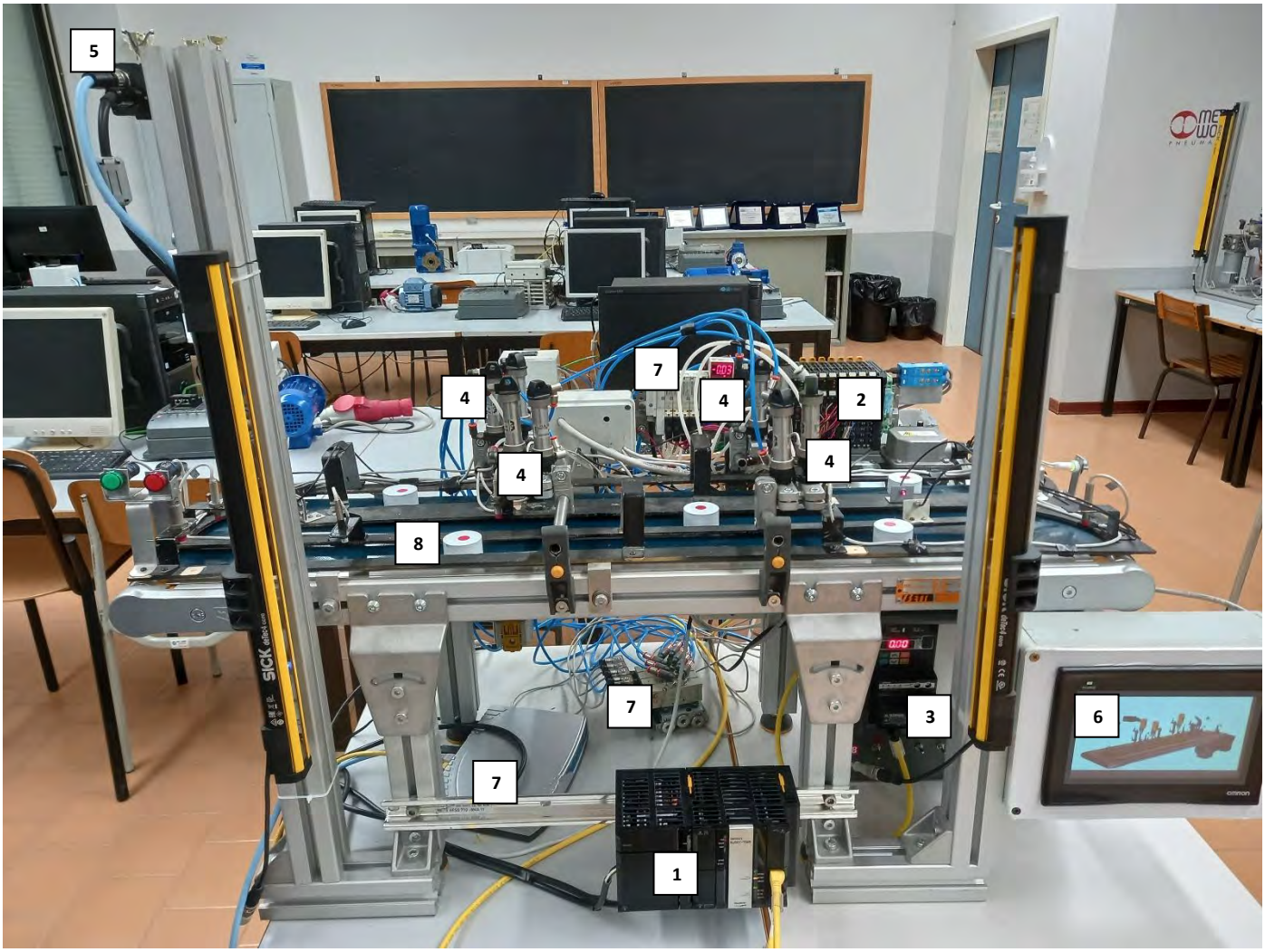
Tali varianti sono state anche un modo per applicare a lato pratico conoscenze sviluppate durante il percorso didattico, inerenti ad esempio la comunicazione industriale e la visione artificiale.

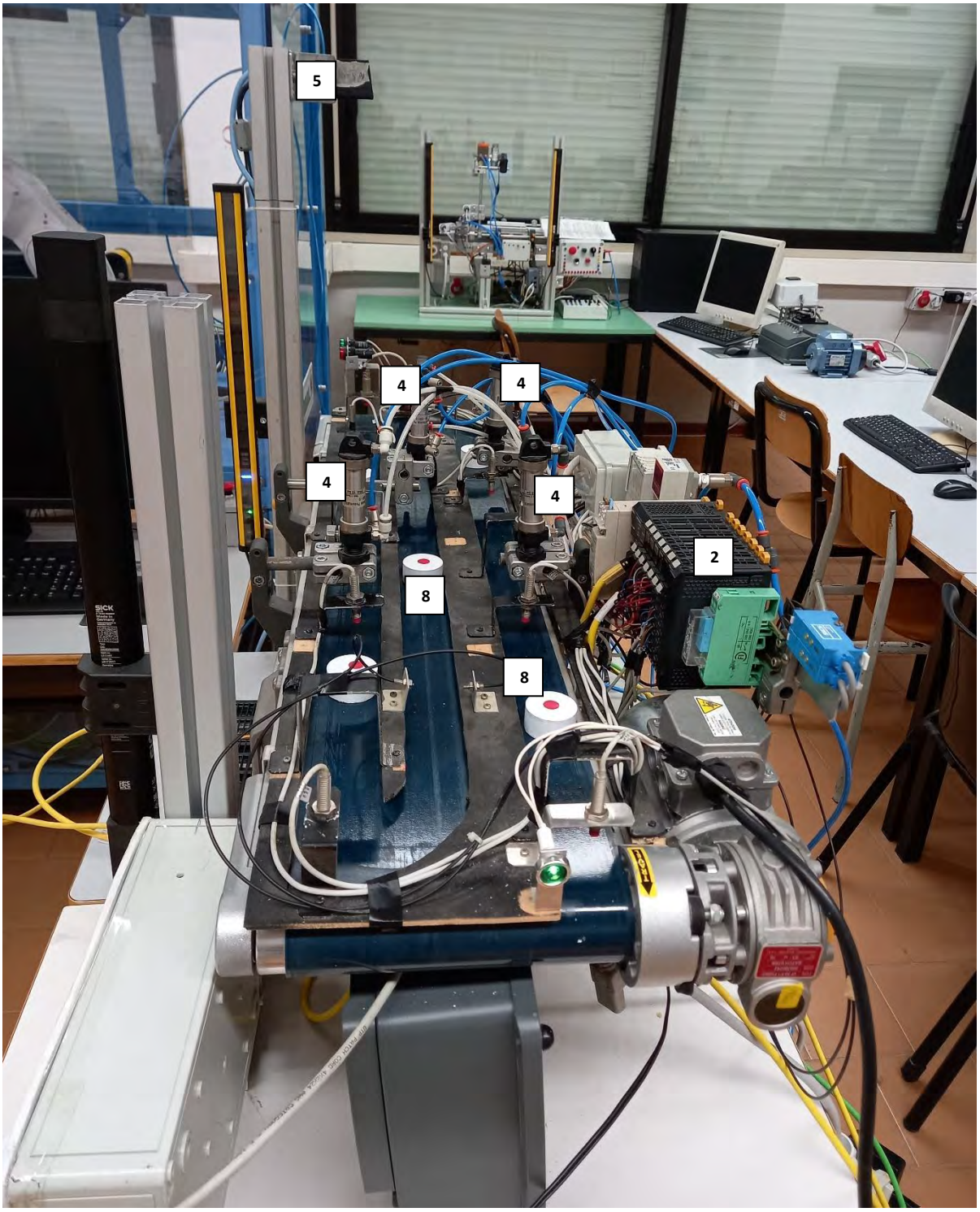
È quindi stata installata una smart camera in prossimità dell'uscita dal nastro, programmata per eseguire un controllo di qualità sul pezzo lavorato al fine di verificare che il foro sia stato eseguito al centro del pezzo.

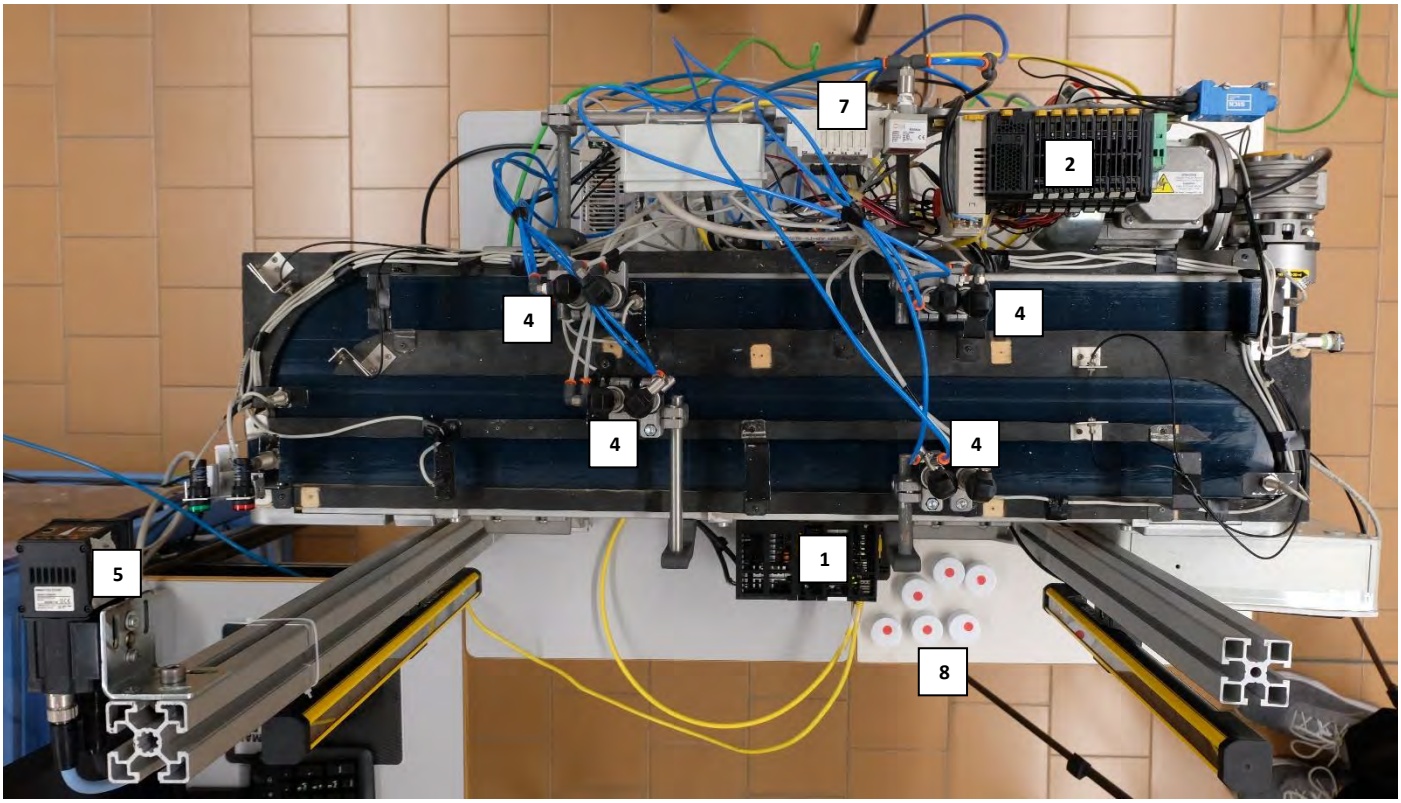
Si è implementato un collegamento via protocollo Modbus TCP tra NJ e PC (purtroppo data la versione non molto recente del firmware del MAC NJ non è strato possibile configurare una comunicazione avvalendosi del protocollo OPC-UA, che sarebbe stata molto più performante e in armonia con i paradigmi alla base di Industry 4.0), con la trasmissione dello stato di tutti i sensori e attuatori ad un applicativo SCADA scritto appositamente.

Nel prototipo è presente un nastro trasportatore il cui tappeto è sufficientemente largo (25 cm. per 1 metro di lunghezza), per consentire l'installazione sopra di esso della guida pezzi opportunamente sagomata realizzata in compensato, sulla quale sono anche fissati i vari sensori.

Le figure di seguito rappresentano il prototipo inquadrato da due punti di vista.




5
4
4
4
4
2
8
8



Si possono notare i seguenti elementi:

1)MAC NJ-500 CPU 1500;

2)periferia decentrata basata sul terminale di accoppiamento NX201 con moduli per l'IO digitale ID4442 e OD4256 collegata a NJ con EtherCAT; a questa unità sono collegati tutti i sensori di prossimità, le elettrovalvole dalle quali dipendono gli azionamenti dei cilindri pneumatici e delle lampade di segnalazione;

3)inverter MX2 collegato a NJ con EtherCAT, per l'azionamento del motore asincrono trifase responsabile della movimentazione del nastro;

4)quattro postazioni di lavoro; i compiti da svolgere (foratura, maschiatura, ecc.) sono simulati mediante l'azionamento di altrettanti cilindri pneumatici. Ciascuna stazione è anche provvista del cilindro pneumatico che esegue la funzione di stopper;

5)smart camera FQ2;

6)touch panel NB7W-TW01;

7)isole di elettrovalvole;

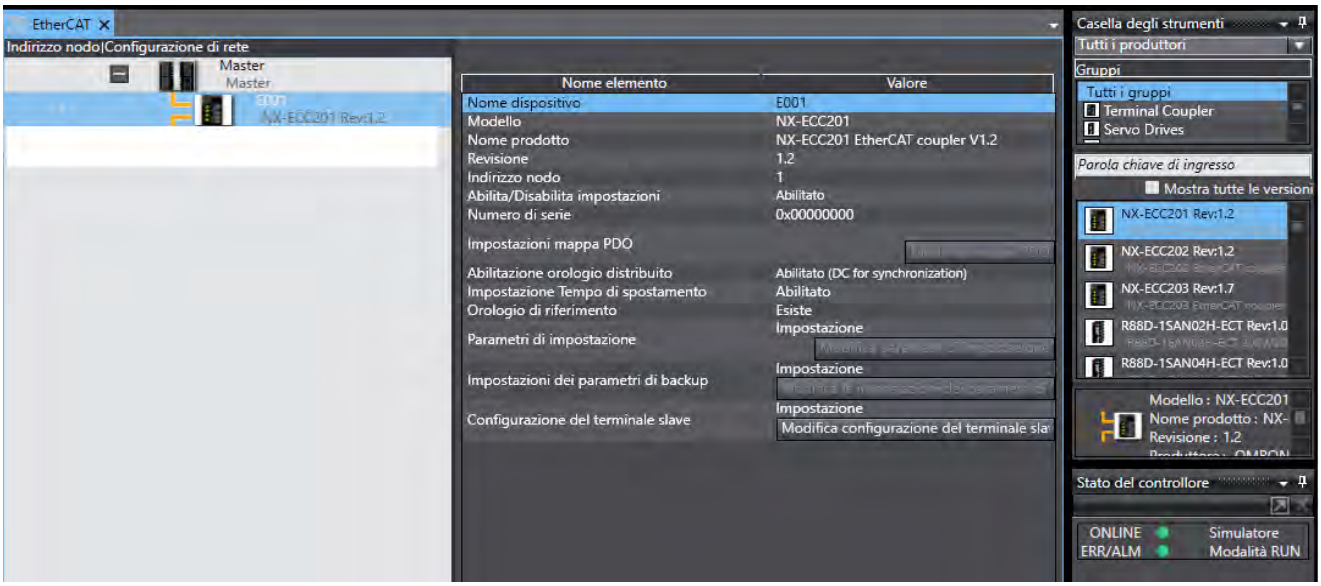
8)cilindretti metallici che corrispondono ai pezzi sui quali effettuare la lavorazione; dato che in realtà non viene effettuato alcun foro, sui cilindretti sono stati applicati degli adesivi di forma circolare che rappresentano il foro, alcuni dei quali in posizione scentrata rispetto all'asse del cilindro, in modo da poter così simulare il caso di un pezzo difettoso.

Le sfide affrontate e come sono state risolte

1)Collegamento di sensori e attuatori al MAC NJ.

Il MAC NJ non mette a disposizione linee di I/O integrate, trattandosi di un dispositivo modulare; pertanto per collegare i sensori, le elettrovalvole e le lampade è stata installata una periferia decentrata NX201 con moduli per l'IO collegata a NJ in Ethercat.

Ciò ha permesso di approfondire la tematica della configurazione e parametrizzazione di una rete EtherCAT, nonché della mappatura degli ingressi / uscite fisiche alle variabili poi utilizzate nel programma.

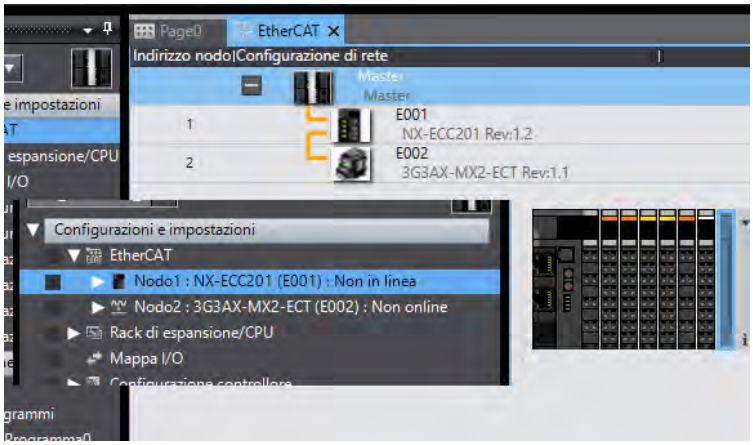


EtherCAT | Mappa I/O

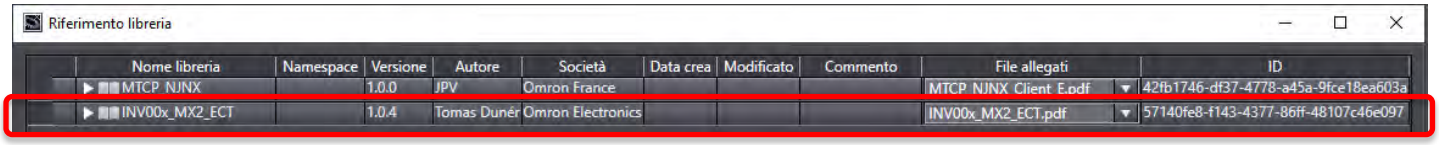
Posizione	Porta	Descrizione	R/W	Tipo dati	Valore	Variabile
	Configurazione di rete EtherCAT					
Nodo1	NX-ECC201					
	Sysmac Error Status	Sysmac error status on Slav	R	BYTE	16#0	
	NX Unit Registration Status 125	Status whether the NX Unit	R	ARRAY[0..12		
	NX Unit I/O Data Active Status 125	Status whether the NX Unit	R	ARRAY[0..12		
Modulo 1	NX-ID4442					
	Input Bit 8 bits	Input bit (8 bits)	R	BYTE	16#0	DI_chan_2
	Input Bit 00	Input Bit 00	R	BOOL	FALSE	DI_uscita
	Input Bit 01	Input Bit 01	R	BOOL	FALSE	DI_staz_1
	Input Bit 02	Input Bit 02	R	BOOL	FALSE	
	Input Bit 03	Input Bit 03	R	BOOL	FALSE	DI_cambio_2
	Input Bit 04	Input Bit 04	R	BOOL	FALSE	DI_pressostato
	Input Bit 05	Input Bit 05	R	BOOL	FALSE	DI_Ingresso
	Input Bit 06	Input Bit 06	R	BOOL	FALSE	
	Input Bit 07	Input Bit 07	R	BOOL	FALSE	DI_staz_3
Modulo 2	NX-ID4442					
	Input Bit 8 bits	Input bit (8 bits)	R	BYTE	16#0	DI_chan_1
	Input Bit 00	Input Bit 00	R	BOOL	FALSE	DI_staz_4
	Input Bit 01	Input Bit 01	R	BOOL	FALSE	DI_fibra_2
	Input Bit 02	Input Bit 02	R	BOOL	FALSE	
	Input Bit 03	Input Bit 03	R	BOOL	FALSE	DI_cambio_1
	Input Bit 04	Input Bit 04	R	BOOL	FALSE	DI_staz_2
	Input Bit 05	Input Bit 05	R	BOOL	FALSE	DI_fibra_1
	Input Bit 06	Input Bit 06	R	BOOL	FALSE	
	Input Bit 07	Input Bit 07	R	BOOL	FALSE	DI_trig_FQ
Modulo 3	NX-OD4256					
	Output Bit 8 bits	Output Bit (8 bits)	W	BYTE	16#0	DO_chan_1
	Output Bit 00	Output Bit 00	W	BOOL	FALSE	DQ_STAZ_3
	Output Bit 01	Output Bit 01	W	BOOL	FALSE	DQ_STAZ_1
	Output Bit 02	Output Bit 02	W	BOOL	FALSE	DQ_STAZ_4
	Output Bit 03	Output Bit 03	W	BOOL	FALSE	DQ_STAZ_2
	Output Bit 04	Output Bit 04	W	BOOL	FALSE	

2)Azionamento del motore asincrono trifase

Il nastro trasportatore è azionato con un motore asincrono trifase pilotato da un inverter MX2 collegato in EtherCAT al MAC NJ.



Per la gestione di MX2 in Ethercat, è stata utilizzata la libreria INV00x_MX2_ETC e in particolare la funzione INV003_MX2_ECT che permette di il completo controllo dell'inverter, grazie alla possibilità di impostare da programma i parametri di funzionamento e i comandi di moto, previa definizione delle opportune variabili da associare ai parametri di I/O della funzione stessa.




```
INV003_MX2_ECT(ENO=>var0, Command:=var1,
Frequency_Reference:=var2,
Output_Frequency_Monitor:=var3,
F002_1st_Acceleration:=var4,
F003_1st_Deceleration:=var5, Status:=var6,
During_Fwd=>var7, During_Rev=>var8, Fault=>var9,
Warning=>var10, Remote=>var11,
Freq_Match=>var12, Connection_Error=>var13,
Enable:=var14, Fwd:=var15, Rev:=var16,
Fault_Reset:=var17, Frequency_in:=var18,
Acceleration:=var19, Deceleration:=var20,
Frequency_out=>var21);
```

3)Collegamento e gestione della smart camera

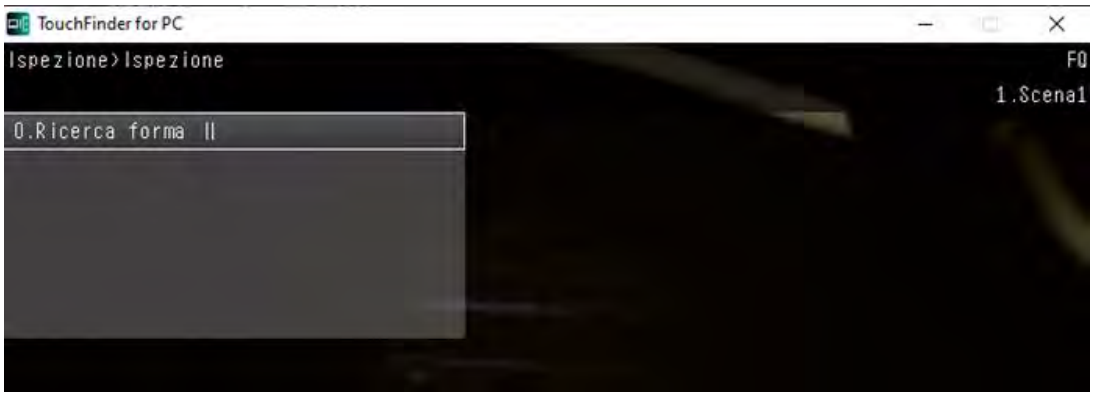
Il controllo qualità è sempre più spesso demandato a sistemi di visione artificiale.

Nel progetto si è supposto che fosse necessario verificare l'effettiva centratura del foro (a tal proposito, sono stati predisposti pezzi con il foro volutamente scentrato).

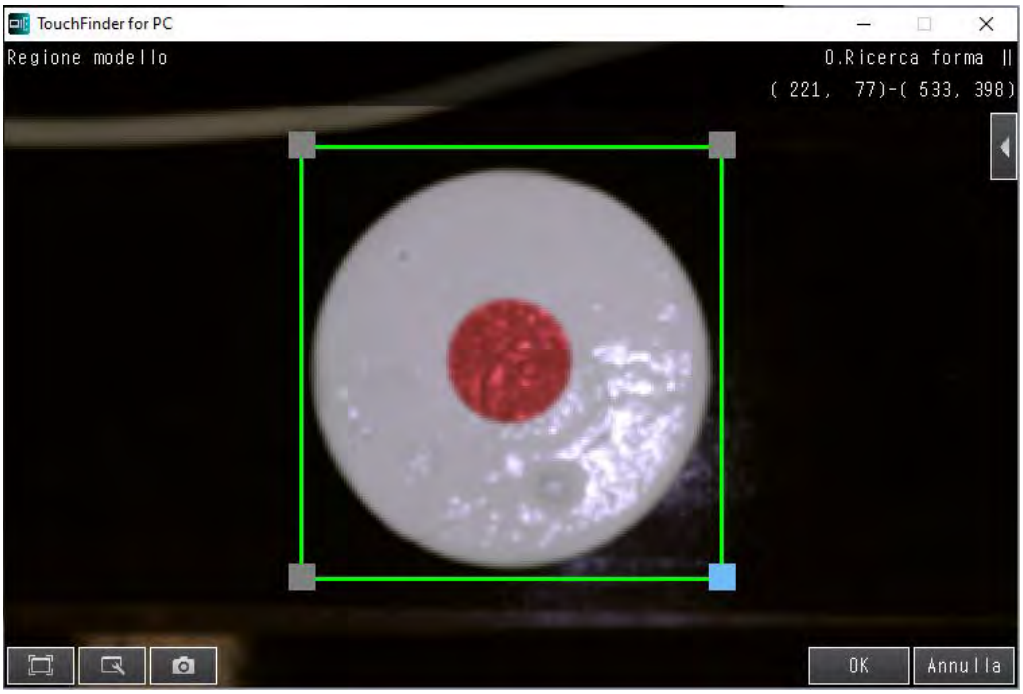
Nel portfolio OMRON è disponibile la smart camera FQ2, un dispositivo che consente di realizzare in maniera relativamente semplice le principali funzioni di machine vision, che può essere collegato ad un NJ/NX attraverso una rete Ethernet / IP.

Nel prototipo la smart camera è stata configurata avvalendosi del software ***Touchfinder for Cameras***, che permette di effettuare la maggior parte delle operazioni di commissioning dell'apparecchio senza doversi munire del un costoso touch panel dedicato.

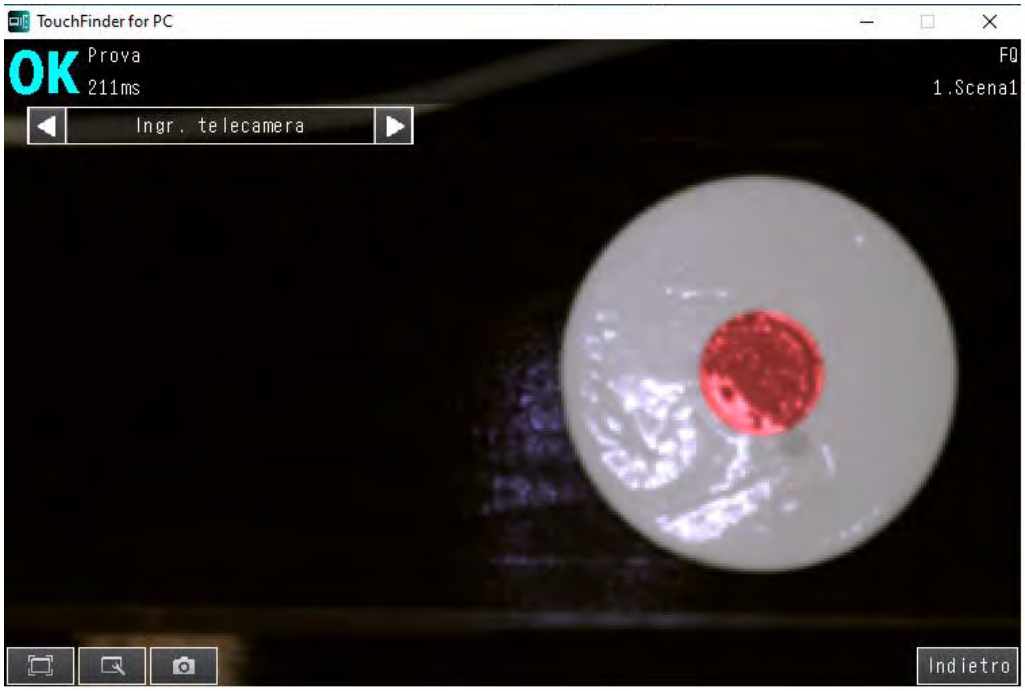
Grazie al suddetto software, è stata impostata la tipologia di analisi da effettuare, nella fattispecie una ricerca di forma



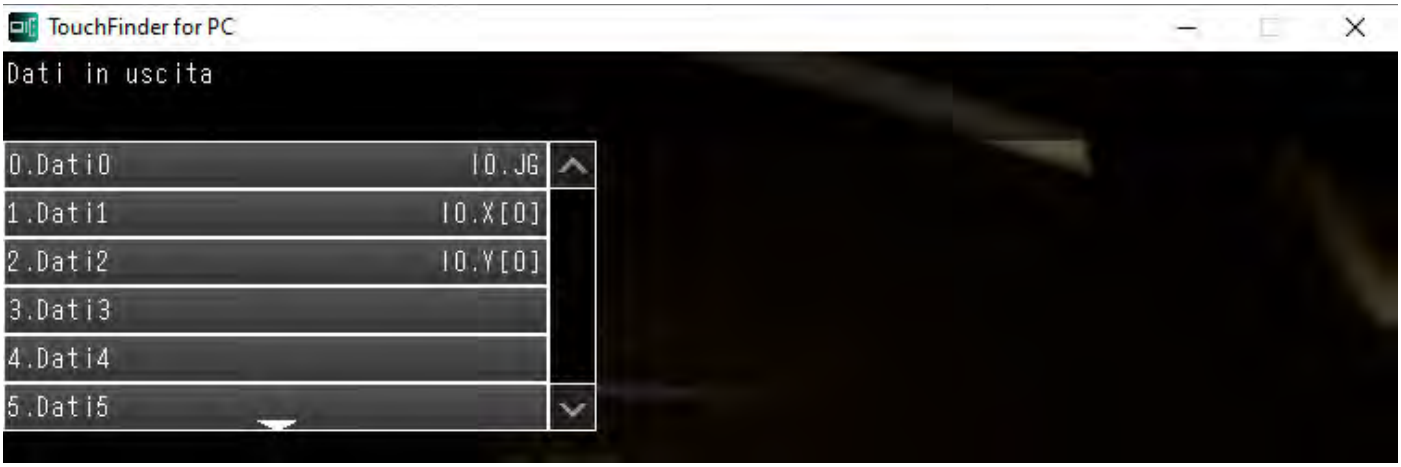
per la quale è stato definito il modello da ricercare nelle immagini dei pezzi acquisite prima della loro uscita dal nastro.



Al termine dell'elaborazione effettuata sull'immagine acquisita, Touchfinder visualizza l'esito del confronto (OK / NG) . . .



. . . e invia su rete Ethernet / IP i parametri precedentemente configurati, ovvero il risultato del giudizio (JG) e le coordinate X e Y del centro del campione rintracciato nell'immagine acquisita.

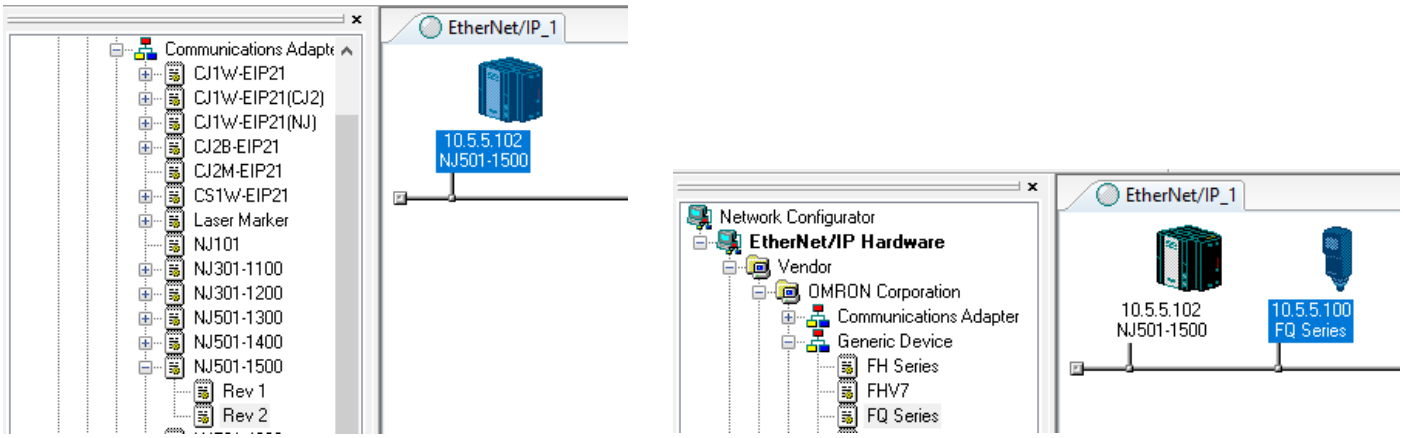


Per acquisire tali valori nell'applicazione in funzione su NJ sono stati fondamentali i contenuti di due video pubblicati ai seguenti link:

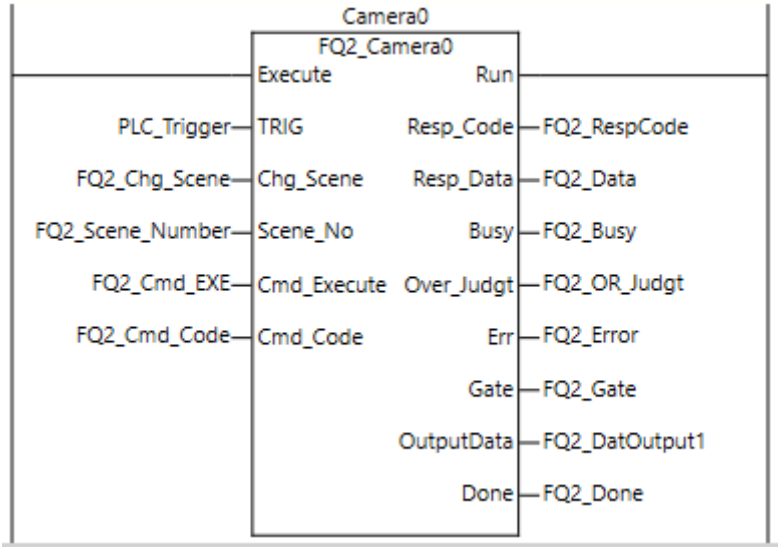
[How to use Omron NX102 PLC to communicate to FQ2 Camera via Ethernet/IP network. - YouTube]

[FQ2 to NX102 EIP Communication (Part1)| Automation Paradise - YouTube]

nei quali sono elencate le operazioni da eseguire per configurare la comunicazione tra NX (le modifiche da apportare per adattare il tutto a NJ sono minimali) e FQ2 via Ethernet / IP avvalendosi dell'utility ***Network configurator*** (disponibile nel bundle Sysmac Studio),



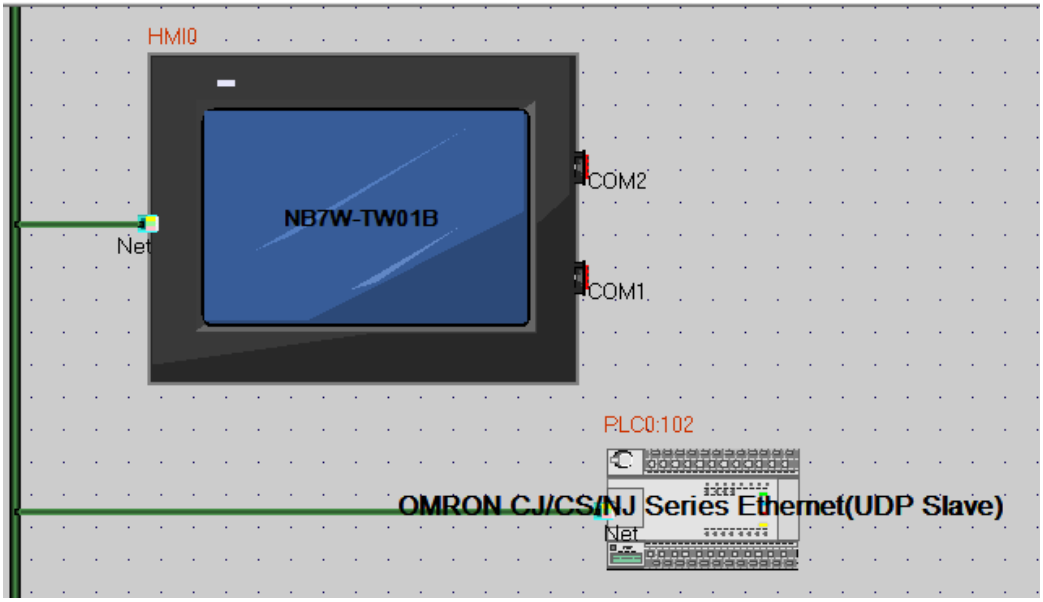
e come utilizzare la funzione per la gestione della smart camera da programma ***FQ2_Camera***, ideata dal sig. Yang Qiu e da lui gentilmente messa a nostra disposizione.



4)Collegamento al pannello operatore

Sul pannello operatore NB7W-TW01 sono visualizzati gli stati operativi di ciascuna postazione (attivazione utensile, stopper azionato) e per ciascun pezzo in uscita se questo ha rispettato le specifiche richieste una volta transitato dalla stazione di controllo.

Per la configurazione del pannello operatore si è utilizzato il software NB-Designer, dapprima per impostare le risorse di collegamento tra NJ e NB7W basate su protocollo TCP/IP . . .

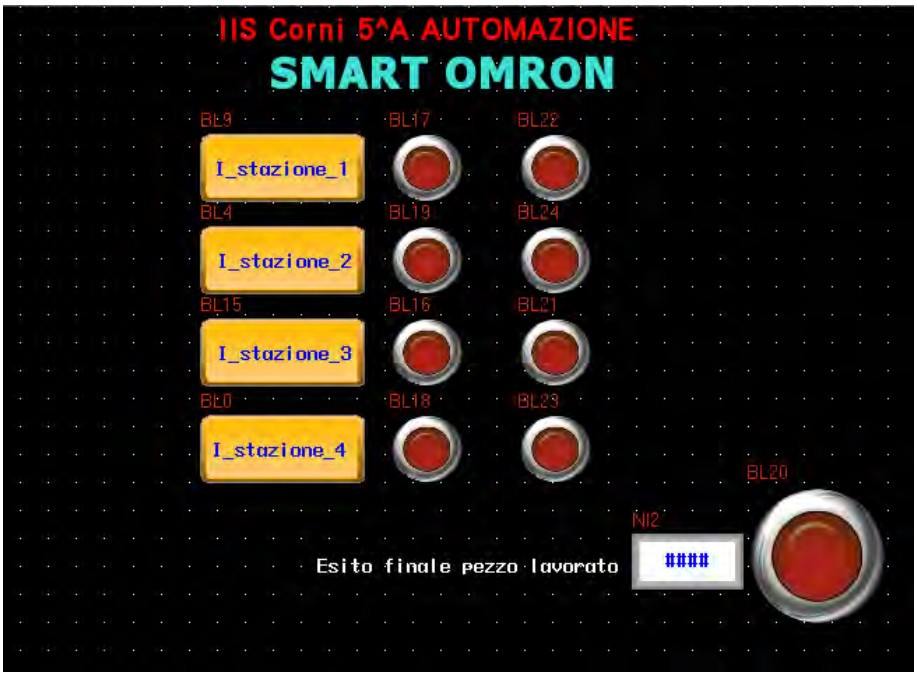


. . . quindi per definire la tabella delle variabili condivise con NJ utilizzate all'interno della pagina visualizzata, ovvero le word contenenti lo stato di tutti gli ingressi / uscite del prototipo . . .

Address Tag

Nome	N. HMI	Num. PLC:Nu...	Tipo di dati	Tipo di Indirizzo	Indirizzo
n1	HMI0	PLC0:102	Word	D	105
n2	HMI0	PLC0:102	Word	D	109
n3	HMI0	PLC0:102	Word	D	110
n4	HMI0	PLC0:102	Word	D	111

. . . infine per progettare le pagine che poi sono visualizzate sul dispositivo HMI durante la sua fase operativa; in particolare, sono state realizzate una pagina dove in forma tabellare sono visualizzati gli stati di tutti gli ingressi e uscite del sistema . . .



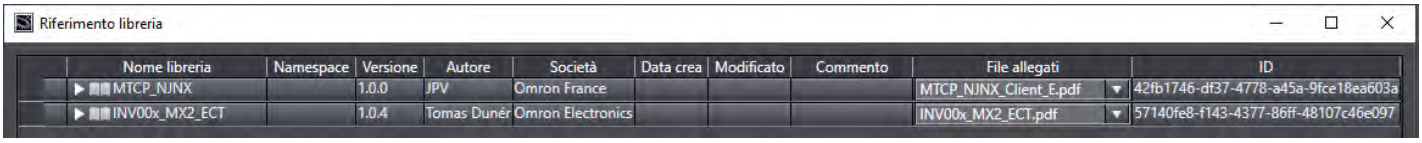
e una pagina nella quale in una visualizzazione 3D sono state evidenziate le animazioni relative ai movimenti degli utensili e degli stopper nonché lo stato dei sensori.

5)Collegamento allo SCADA

Nel progetto è stato implementato un collegamento tra NJ e un personal computer sul quale è in esecuzione uno SCADA appositamente realizzato in LabVIEW.

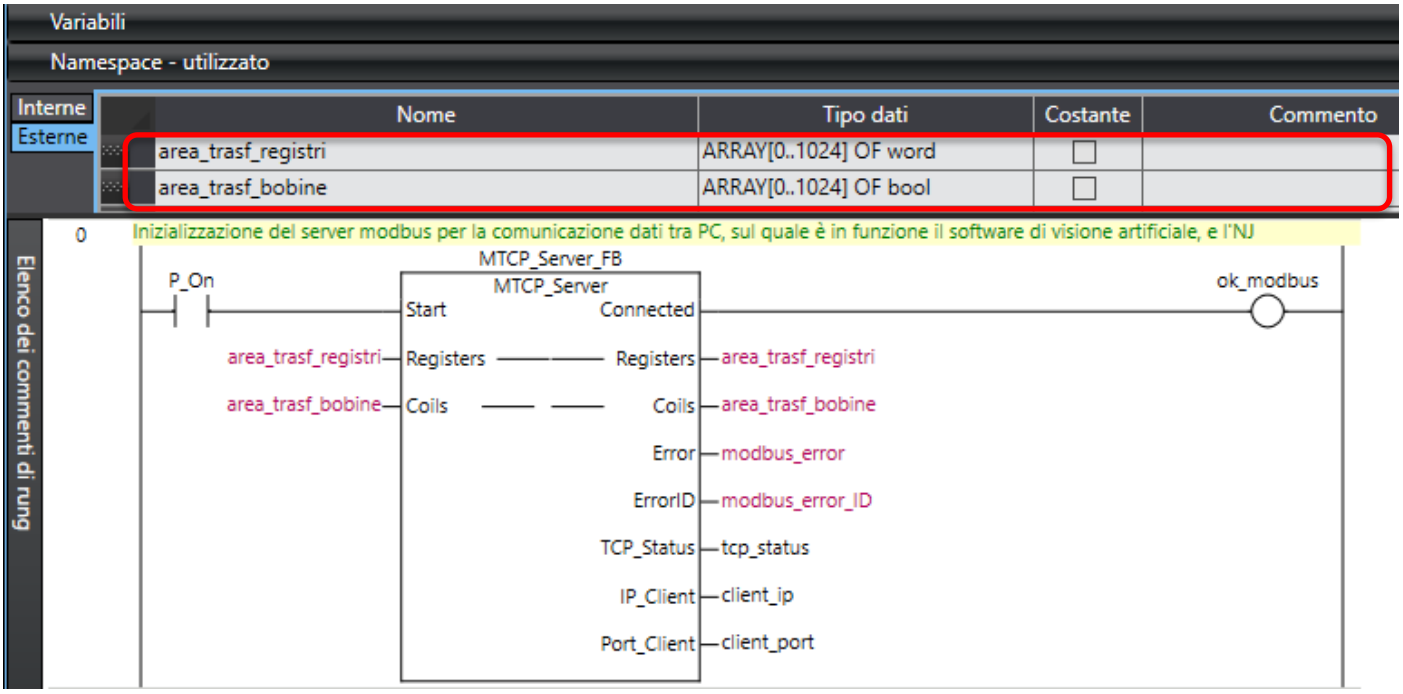
Questa tecnologia permette di monitorare lo stato di funzionamento del prototipo, andando eventualmente a modificare i parametri della produzione (ad esempio accelerare / rallentare la velocità del nastro per ottemperare a mutate esigenze di produzione) e più in generale di memorizzare sul cloud tutte le informazioni necessarie a un'analisi statistica dell'intero processo produttivo, insomma far assumere al progetto una connotazione tale da inserirlo potenzialmente in un contesto di Industry 4.0.

Il collegamento si basa sull'utilizzo del protocollo Modbus TCP, configurando NJ come server e il personal computer come client; in fase di esecuzione, la comunicazione è garantita grazie all'utilizzo della funzione ***MTCP_Server*** disponibile nella libreria MTCP_NJNX gentilmente fornita dal Sig. JP Viskovic di OMRON France.


Riferimento libreria

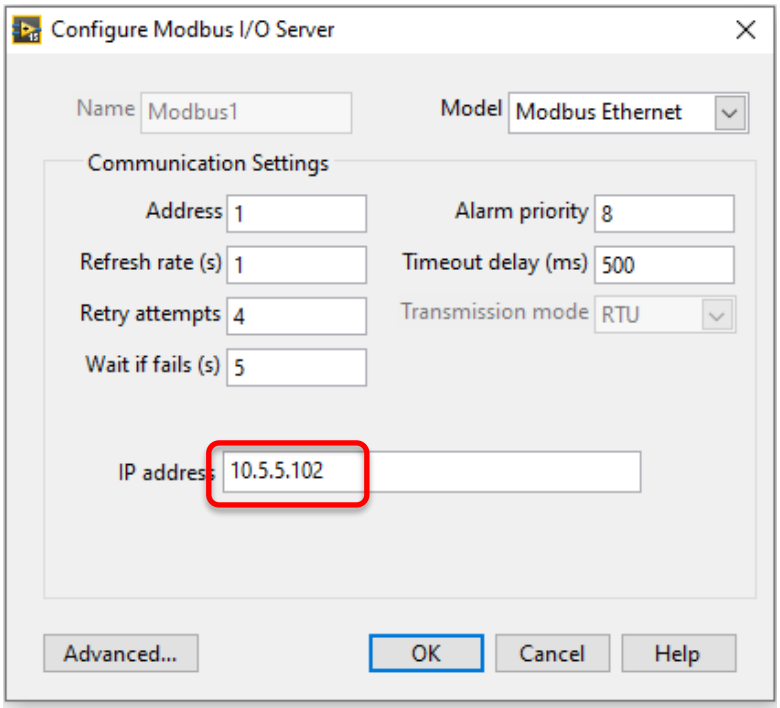
Nome libreria	Namespace	Versione	Autore	Società	Data crea	Modificato	Commento	File allegati	ID
MTCP_NJNX		1.0.0	JPV	Omron France				MTCP_NJNX_Client_E.pdf	42fb1746-df37-4778-a45a-9fce18ea603a
INV00x_MX2_ECT		1.0.4	Tomas Dunér	Omron Electronics				INV00x_MX2_ECT.pdf	57140fe8-f143-4377-86ff-48107c46e097

I vincoli previsti dallo standard per ottenere una comunicazione funzionante hanno comportato l'implementazione di un'area di scambio tra NJ e SCADA basata su due vettori, uno per ospitare dati numerici e l'altro per dati booleani.

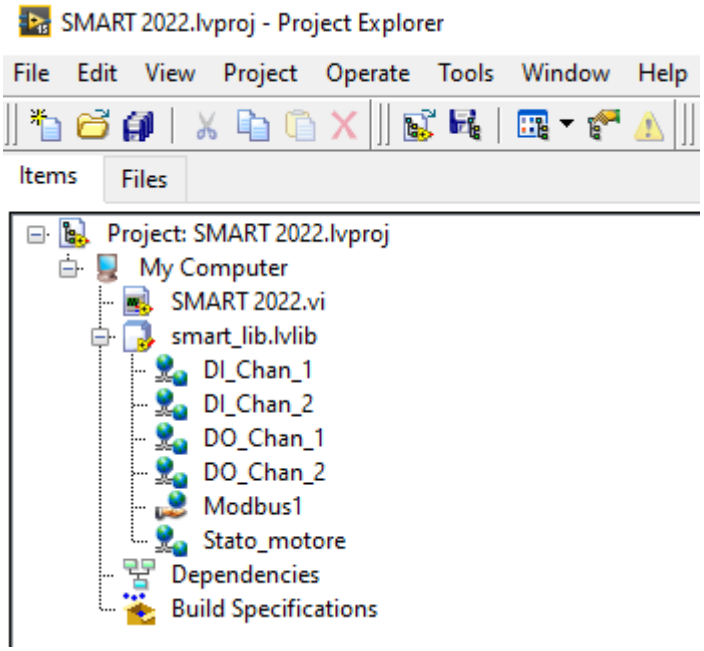


In particolare è stato utilizzato il vettore dei dati numerici nel quale, grazie a operazioni di movimento dati, sono stati memorizzati i valori dei due canali di ingresso e dei due canali di uscita.

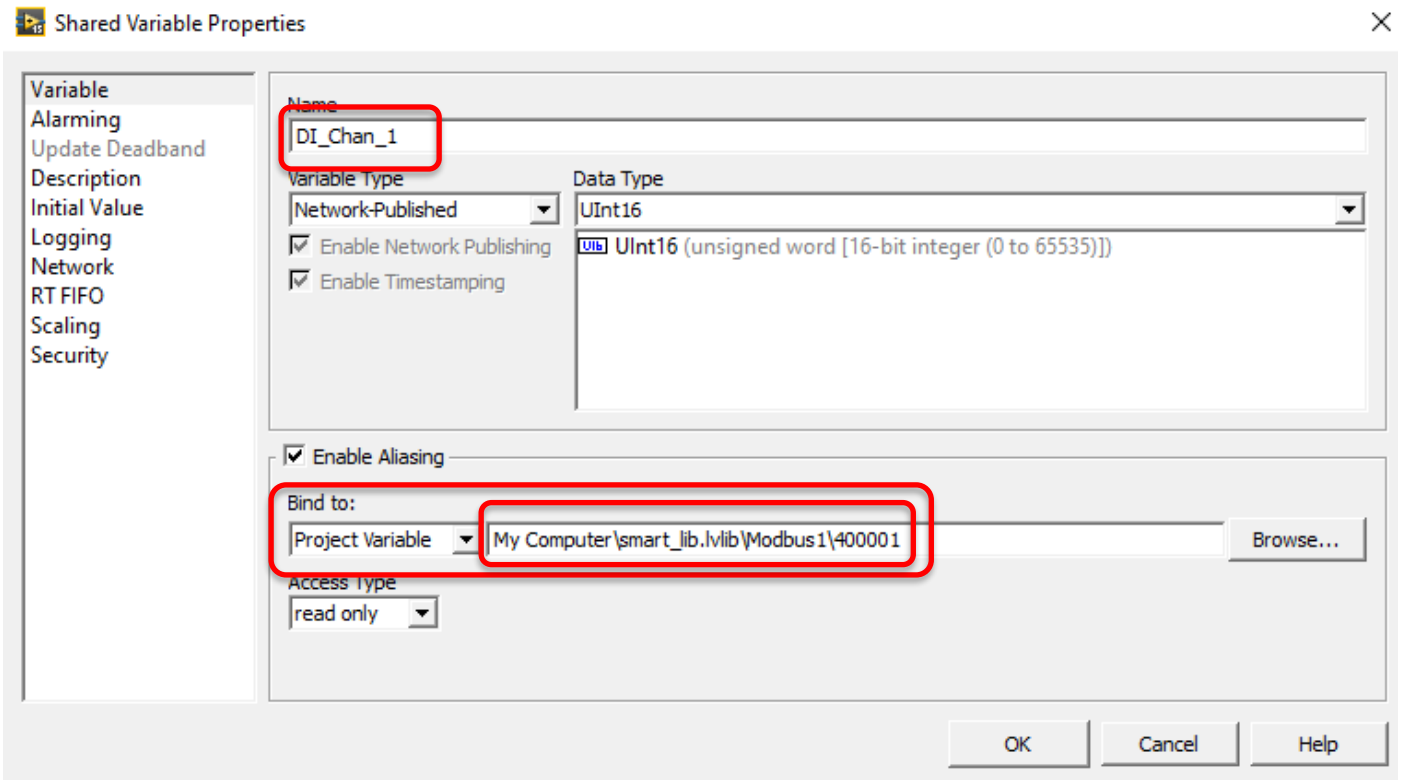
A lato personal computer, è stato creato un progetto LabVIEW nel quale dapprima è stata configurata la presenza nell'applicativo di un client Modbus collegato al server presente su NJ.



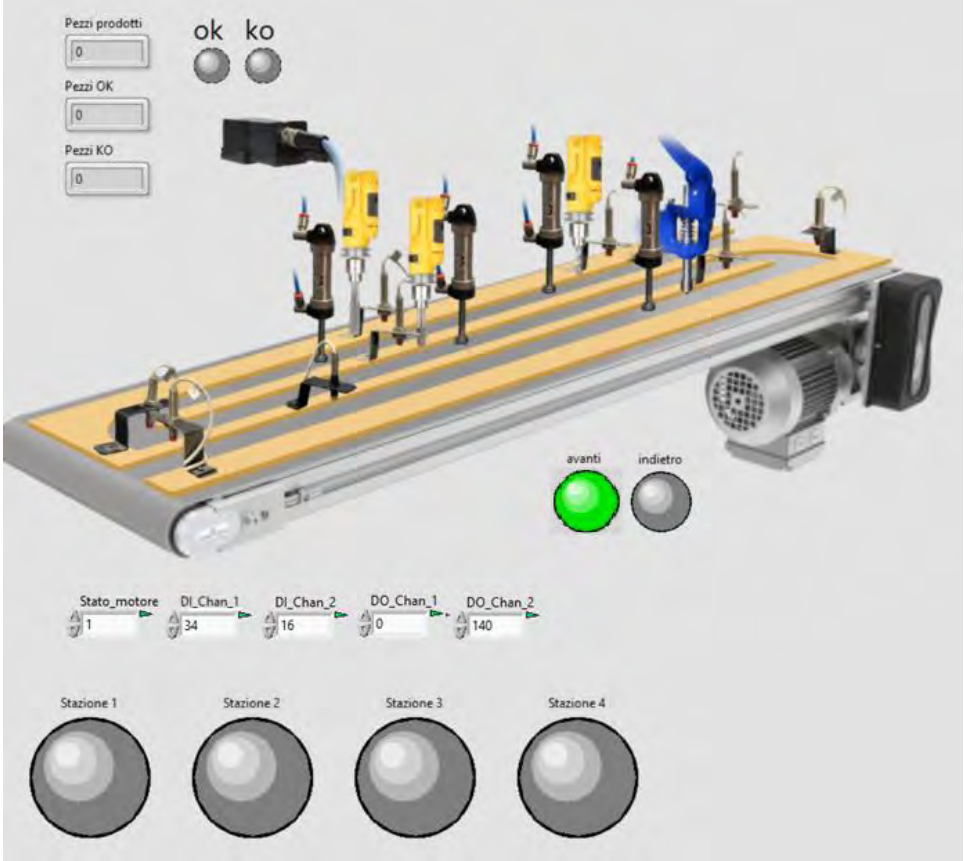
Successivamente nel progetto sono state configurate altrettante variabili dedicate a ricevere questi dati, . . .



. . . variabili che sono state mappate a precisi indirizzi in accordo alle specifiche previste dal protocollo Modbus.



Infine tutte le variabili dichiarate sono state associate all'interfaccia operatore (il pannello frontale) dell'applicativo in modo che un operatore che si trova in remoto possa ricevere informazioni in tempo reale sul suo stato di funzionamento.



La realizzazione dello SCADA mediante un potente strumento come LabVIEW mette a disposizione funzionalità proprie dell'ambito Industry 4.0, quali ad esempio il datalogging, l'immagazzinamento e l'elaborazione statistica dei dati nel cloud e, di conseguenza, rendendo possibili ulteriori approfondimenti ed esperimenti basati sull'utilizzo di dati condivisi.

Documentazione a supporto del progetto

Nella cartella "Programmi" si trova:

- il progetto denominato "SMART_Omron_virtuale", debitamente commentato nelle sue parti fondamentali, nel quale viene sviluppata la soluzione funzionante sul gemello digitale del prototipo;
- il progetto denominato "SMART Omron reale", nel quale viene sviluppata la soluzione in esecuzione sul prototipo.

Nella cartella "Filmati" si trova:

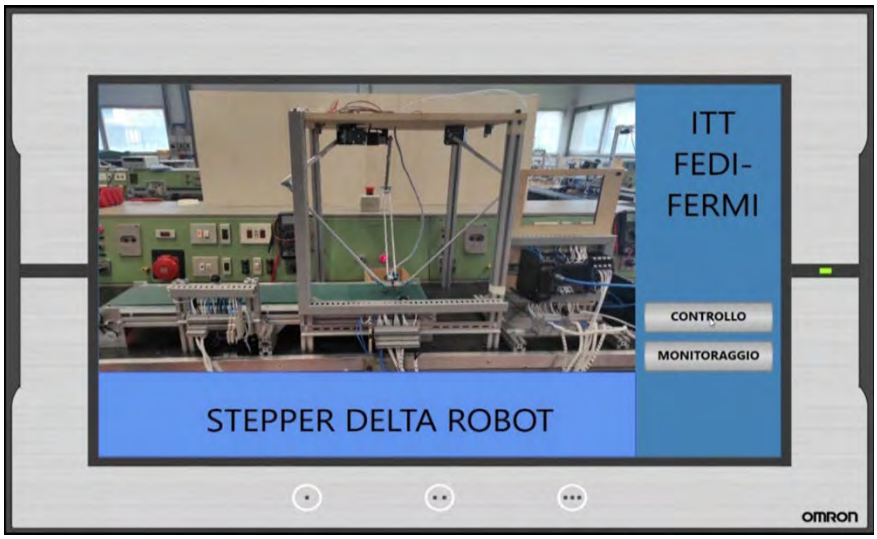
- il video "Animazione lavorazione su un solo pezzo", realizzato sul gemello digitale, nel quale si evidenzia il tempo necessario al completamento di un ciclo effettuato su un solo pezzo presente sul nastro (oltre 2 minuti), dal quale si desume che il tempo complessivo per eseguire la lavorazione completa sarà cinque volte tanto, ovvero oltre 12 minuti

- il video “Animazione lavorazione su 5 pezzi”, realizzato sul gemello digitale, nel quale si evidenzia il tempo necessario al completamento dell’intero processo di trattamento simultaneo dei cinque pezzi, dal quale si evince il notevole risparmio in termine di tempo per completare il processo, che infatti scende a circa 8 minuti;
- il video “Video processo macchina”, realizzato sul prototipo, che presenta l’intero processo di trattamento simultaneo dei cinque pezzi;
- il video Fun “Video Funny”, che illustra alcuni tra i momenti più significativi inerenti la realizzazione e la messa in servizio del prototipo.

Nella cartella “HMI” si trova:

- il progetto per il pannello operatore sviluppato con NB-Designer.

Stepper Delta Robot



< Sommario

Il progetto si pone come obiettivo la realizzazione di un delta robot, o robot a cinematiche parallele, che possa essere controllato in modo manuale da un operatore oppure essere utilizzato per un sistema automatizzato tipo pick and place, prevedendo anche la realizzazione pratica di un robot reale, azionato tramite dei motoriduttori stepper di piccola taglia.

ITTS Fedi Fermi – Pistoia PT- Classe V

- **Docente coordinatore**: Bruno Biagini
- **Studenti:** Alessio Bruni, Fabio Calistri, Matteo Di Marzo, Samuele Giannini, Lorenzo Tondini.

Codice meccanografico scuola	**PTTF01000R**
Nome e indirizzo scuola	**ITTS “FEDI – FERMI” via Panconi, 14 - 51100 - Pistoia**
Nome docente	**Biagini Bruno**
Nome studente 1	
Nome studente 2	

Titolo del Progetto:

Stepper Delta robot

Smart Project OMRON 2022

STEPPER DELTA ROBOT

DOCUMENTO DESCRITTIVO E FUNZIONALE

PREMESSA **4**
Obbiettivo: 4
Valore didattico del progetto: 4
Studenti che hanno collaborato al progetto: 4
DELTA ROBOT O ROBOT A CINEMATICHE PARALLELE: **5**
DESCRIZIONE DEL SISTEMA **6**
PROGRAMMA PLC **8**
Moduli e assi: 8
Motion control: 8
Cinematica: 9
Dinamica di movimento 12
SUPERVISIONE **13**
DESCRIZIONE DEL ROBOT FISICO **16**
HARDWARE 16
Pannello PLC 16
Scheda di interfaccia PLC Stepper Delta Robot 17
Circuito di condizionamento dei sensori Hall 19
Pilotaggio dell’elettromagnete 19
STRUTTURA ROBOT: 20
CINEMATICA: 22
Obiettivo cinematica : 24
CINEMATICA INVERSA: 24
Analisi Geometrica: 24
Analisi algebrica: 24
CINEMATICA DIRETTA: 26
Analisi geometrica: 26
Analisi Algebrica e Vettoriale: 26
PROCESSO AUTOMATIZZATO CON DELTA ROBOT **29**

PREMESSA

Obbiettivo:

Il seguente progetto si pone come obiettivo la realizzazione di un delta robot, o robot a cinematiche parallele, il quale possa essere controllato in modo manuale da un operatore oppure essere utilizzato per un sistema automatizzato tipo pick and place.
Lo sviluppo del progetto quindi ha visto, oltre alla realizzazione del programma e dell’HMI richiesta per la simulazione, anche la realizzazione pratica di un robot reale, azionato tramite dei motoriduttori stepper di piccola taglia.
Anzi, è grazie alle prove effettuate con il robot reale che abbiamo potuto testare e mettere a punto i vari parametri coinvolti nel complesso funzionamento di questa macchina.
Nell’ultima fase del progetto al robot è stato abbinato un nastro trasportatore per realizzare un’automazione più articolata.

Valore didattico del progetto:

Particolare valore dal punto di vista didattico è rivestito dai seguenti aspetti caratteristici del progetto:

- Utilizzo dei moduli per le uscite a impulsi (NX-PG0122) e funzioni motion;
- Implementazione di matematiche complesse per le cinematiche diretta e inversa del robot;
- Sperimentazione per la rilevazione dei parametri dinamici del robot.

Studenti che hanno collaborato al progetto:

Alcuni degli alunni della classe quinta dell’indirizzo automazione hanno collaborato alla stesura del progetto. Si riportano di seguito i nominativi.

BRUNI ALESSIO

CALISTRI FABIO

DI MARZO MATTEO

GIANNINI SAMUELE

TONDINI LORENZO

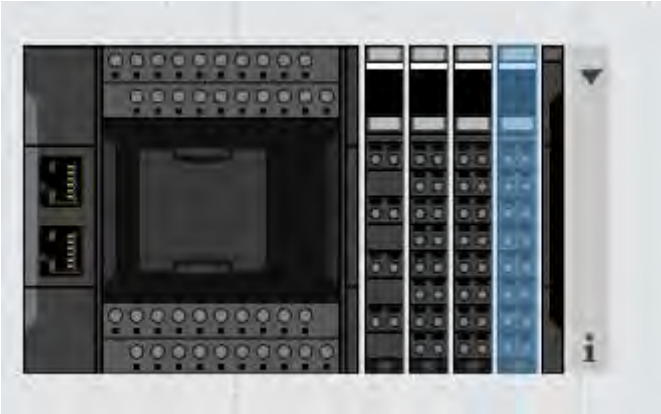
DELTA ROBOT O ROBOT A CINEMATICHE PARALLELE:

Ormai questo tipo di macchina è diventato di uso abbastanza comune. Dal punto di vista della costruzione meccanica, rispetto ad altre macchine per la movimentazione in uno spazio x-y-z, presenta il vantaggio avere delle cinematiche piuttosto semplici. In sostanza bastano 3 assi rotativi e nessuna vite e chiocciola o cinghia e puleggia. L’unico elemento meccanico “particolare” è costituito dagli snodi sferici dei bracci paralleli ma si tratta sempre di componenti relativamente poco costosi.
Un’altra caratteristica di queste macchine è la grande velocità di esecuzione, anche se l’area di lavoro risulta piuttosto limitata.

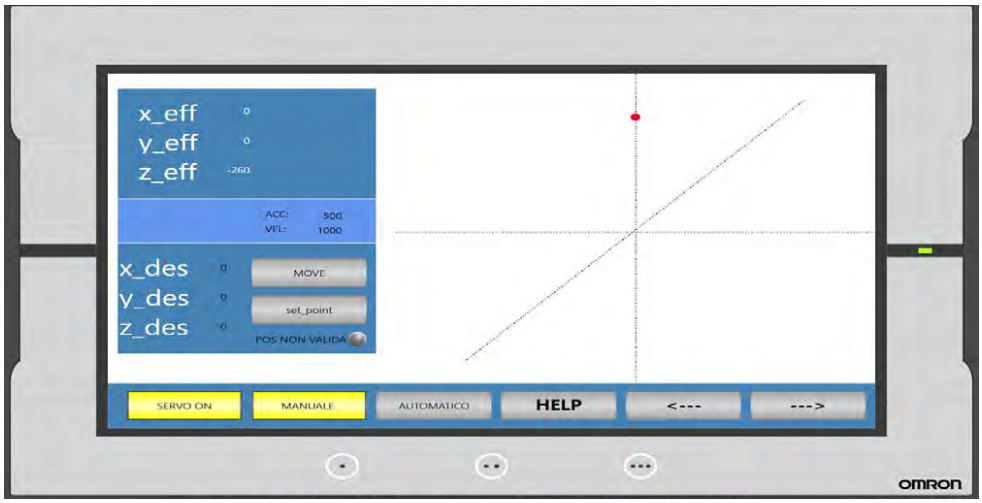
L’applicazione tipica è senz'altro il pick and place. Nella figura seguente abbiamo un esempio di un sistema in cui si utilizza un delta robot per lo spostamento di oggetti tra due nastri.

DESCRIZIONE DEL SISTEMA

Per controllare il robot abbiamo usato un PLC NX1P2-9024DT1 con 1 modulo NX-PF0730 per l’alimentazione del bus e 3 moduli con uscite a treno di impulsi NX-PG0122, uno per asse.

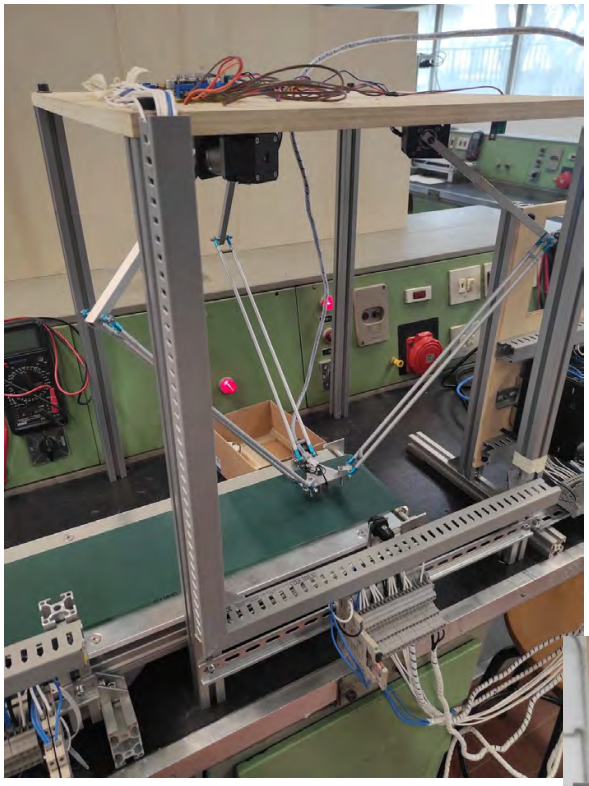


Il controllo del sistema simulato avviene tramite un’interfaccia grafica (supervisione). Dall’interfaccia è possibile manovrare il robot “virtuale” in modalità manuale, impostando delle coordinate x-y-z, oppure effettuare un ciclo automatico preimpostato.



Dal pannello è possibile anche controllare la velocità e l’accelerazione degli spostamenti.

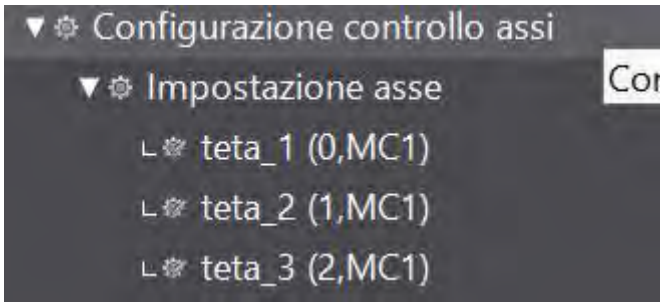
Però, per sfruttare pienamente il progetto dal punto di vista didattico, oltre alla simulazione con l’ambiente Sysmac Studio e l’HMI abbiamo implementato un delta robot DIY basato su piccoli motoriduttori stepper disponibili in laboratorio e un pannello con un PLC NX1P2-9024DT1 dotato dei moduli a treno di impulsi suddetti.



PROGRAMMA PLC

Moduli e assi:

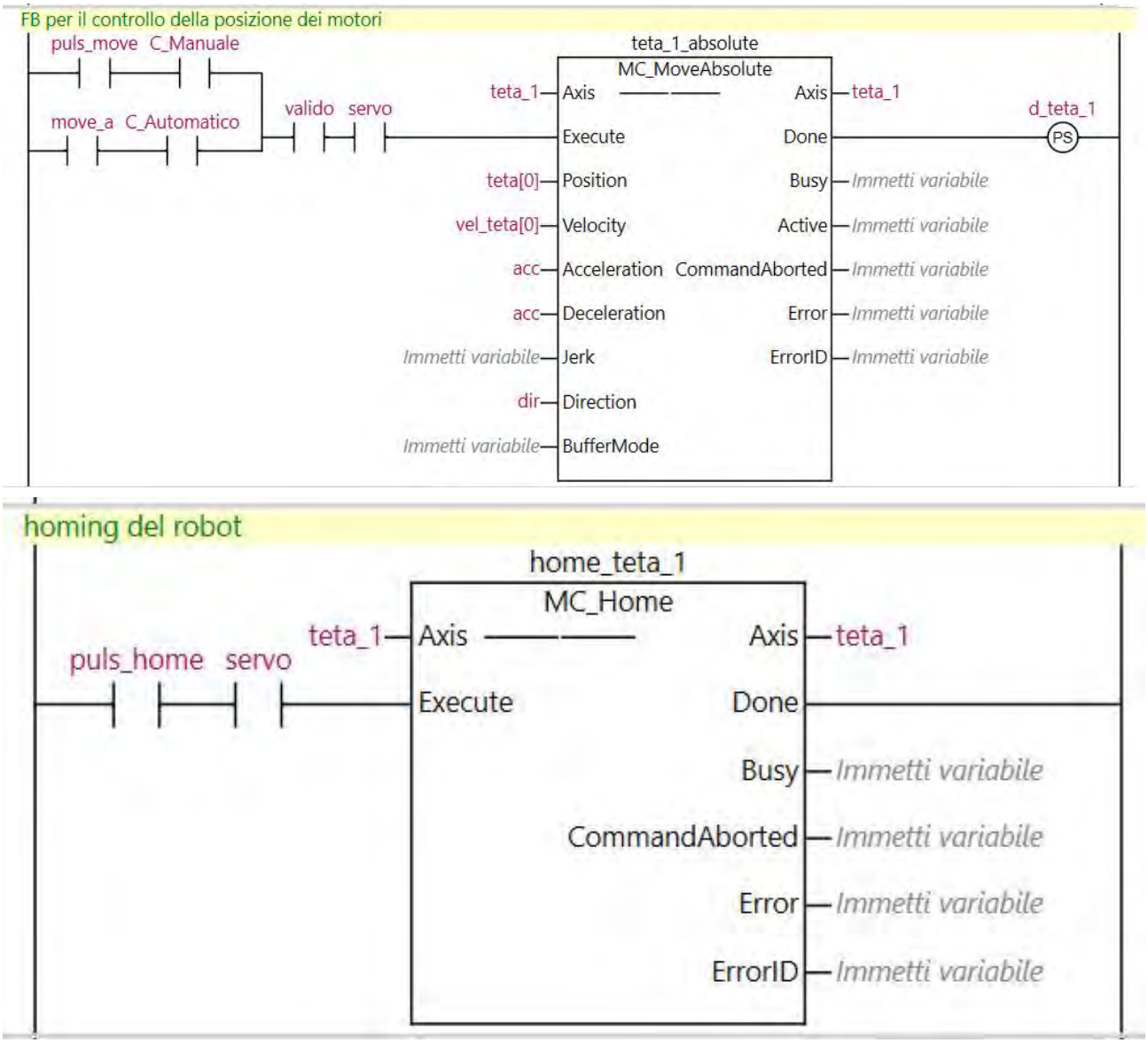
Il primo passo è stato impostare i moduli delle uscite a impulsi e creare gli assi andando a inserire tutti i parametri.



Dopo è stata utilizzata la funzione “test MC” per poter verificare il funzionamento dei motori e la correttezza dei parametri inseriti, ciò ha inoltre permesso uno studio sulle velocità e le accelerazioni che i motori erano in grado di sostenere.

Motion control:

Per il movimento del robot è stato creato un unico programma in ladder contenente i FB che controllano il movimento del robot.
I parametri dei FB sono associati a delle variabili globali richiamate poi dai programmi utilizzati per calcolare la cinematica e la dinamica.



Ecco come sono impostati i rung contenenti i FB motion utilizzati, ovviamente sono replicati anche per ogni singolo asse

Cinematica:

La cinematica è interpretata e attuata tramite i programmi IPK ed FPK.
L'IPK calcola, data una posizione target, le posizioni angolari dei 3 assi controllandone anche la validità, associata nel programma alla variabile "valido".
L'FPK calcola in diretta la posizione x-y-z in cui si trova l'end-effector conoscendo l'angolo dei 3 assi. Ciò permette di verificare tramite l'HMI le traiettorie e gli spostamenti del robot.
In un'applicazione con encoder posto sul asse dei motori di azionamento del robot permetterebbe di conoscere, in tempo reale, l'effettiva posizione del end-effector e quindi di sapere se uno spostamento comandato è stato eseguito correttamente.

IPK

```
// questo if imposta al primo ciclo della CPU i valori dei parametri necessari per la cinematica
IF P_First_Run THEN
 Rb:=(sqrt(3)/6)*sb;
 ub:=(sqrt(3)/3)*sb;
 wp:=(sqrt(3)/6)*sp;
 Rp:=(sqrt(3)/3)*sp;
 a:=  Rb-Rp;
 b:=  (0.5*sp)-((sqrt(3)/2)*Rb);
 c:=  wp-(0.5*Rb);
 END_IF;
```

```
//esefuizione cinematica inversa se dato  il comando set point
IF Set_point THEN
   // calcolo dei parametri per l'equazione
 E[0]:=2*L*(y_des+a);
 F[0]:=2*z_des*L;
 G[0]:=x_des**2+y_des**2+z_des**2+a**2+L**2+(2*y_des*a)-l_2**2;

 E[1]:=-L*((1.732*(x_des+b))+y_des+c);
  (Variable)  [ARRAY[0..2] OF LREAL]  G
                                    **2+L**2+2*((x_des*b)+(y_des*c))-l_2**2;

 E[2]:=L*((1.732*(x_des-b))-y_des-c);
 F[2]:=2*z_des*L;
 G[2]:=x_des**2+y_des**2+z_des**2+b**2+c**2+L**2+2*((-x_des*b)+(y_des*c))-l_2**2;

 //ciclo for che risolve l'equazione per tutti e 3 gli angoli da calcolare
FOR i:=0 TO 2 BY 1 DO
   t[i]:=(  -F[i]-sqrt(E[i]**2+F[i]**2-(G[i]**2))  )  /  (G[i]-E[i]);
  teta[i]:=RadToDeg(In:=2*atan(t[i]));
 END_FOR;
END_IF;

//questo if valuta se i valori delle coordinate del punto sono idonee, se si calcola gli angoli se no restituisce  "valido=false"
//abilitazione movimento
IF teta[0]>0 AND teta[0]<85 AND teta[1]>0 AND teta[1]<85 AND teta[2]>0 AND teta[2]<85 AND vel_teta[0]>0 AND vel_teta[1]>0 AND vel_teta[2]>0 THEN
   valido:=TRUE;
 ELSE
   valido:=FALSE;
END_IF;
```

FPK

```
//angoli di riferimento per i vettori dei 3 bracci rispatto a x
alfa1:=180;
alfa2:=300;
alfa3:=60;

//esplicitazione componenti dei vettori in x y e z
a1x:=cos(degtorad(alfa1))*a;
a1y:=sin(degtorad(alfa1))*a;
a2x:=cos(degtorad(alfa2))*a;
a2y:=sin(degtorad(alfa2))*a;
a3x:=cos(degtorad(alfa3))*a;
a3y:=sin(degtorad(alfa3))*a;

L1x:=cos(degtorad(alfa1))*cos(degtorad(teta_1.Cmd.Pos))*L;
L1y:=sin(degtorad(alfa1))*cos(degtorad(teta_1.Cmd.Pos))*L;
L1z:=-sin(degtorad(teta_1.Cmd.Pos))*L;

L2x:=cos(degtorad(alfa2))*cos(degtorad(teta_2.Cmd.Pos))*L;
L2y:=sin(degtorad(alfa2))*cos(degtorad(teta_2.Cmd.Pos))*L;
L2z:=-sin(degtorad(teta_2.Cmd.Pos))*L;

L3x:=cos(degtorad(alfa3))*cos(degtorad(teta_3.Cmd.Pos))*L;
L3y:=sin(degtorad(alfa3))*cos(degtorad(teta_3.Cmd.Pos))*L;
L3z:=-sin(degtorad(teta_3.Cmd.Pos))*L;

//parametri dei piani originati dall'intersezione tra le sfere
m1:=2*(a1x+L1x-a3x-L3x);
m2:=2*(a1y+L1y-a3y-L3y);
m3:=2*(L1z-L3z);
m4:=2*((a3x*L3x) + (a3y*L3y) - (a1x*L1x) - (a1y*L1y));
m5:=2*(a2x + L2x - a3x - L3x);
m6:=2*(a2y + L2y - a3y - L3y);
m7:=2*(L2z - L3z);
m8:=2*((a3x*L3x) + (a3y*L3y) - (a2x*L2x) - (a2y*L2y));
//parametri della retta originata dal intersezione tra i due piani
m9:=(m6*m4 - m8*m2)/(m5*m2 - m6*m1);
m10:=(m6*m3 - m7*m2)/(m5*m2 - m6*m1);
m11:=(m1*m9 + m4)/m2;
m12:=(m1*m10 + m3)/m2;

//parametri dell'equazione di secondo grado che restituisce i 2 valori di z possibili
Ar := m10**2 + m12**2 + 1;
Br := 2* (m9*m10 + m11*m12 - m10*(a1x + L1x) - m12*(a1y + L1y) - L1z);
Cr := -(l_2**2) + m9**2 + m11**2 + a**2 + L**2 + 2*(a1x*L1x + a1y*L1y - m9*(a1x + L1x) - m11*(a1y + L1y));


z_eff := (-Br - sqrt(Br**2 - 4*Ar*Cr))/(2*Ar);
y_eff := m9 + m10*z_eff;
x_eff := m11 + m12*z_eff;
```

Dinamica di movimento

Per rendere le traiettorie di movimento del robot più fluide possibile è necessario un programma che calcoli le velocità con cui i 3 motori si devono muovere prendendo come riferimento un tempo di transito totale per lo spostamento da eseguire dal end-effector.
Questa funzione viene svolta dal programma “dinamica”.
Le velocità con cui si devono muovere gli assi per ottenere una traiettoria di spostamento rettilinea non sono lineari nel tempo. Essendo infatti la cinematica del robot legata alla trigonometria pure le leggi orarie dei singoli assi, se si desidera calcolare una traiettoria rettilinea, lo sono.
Vista l’applicazione didattica, però, ci siamo accontentati di traiettorie non perfettamente rettilinee e abbiamo impostato un programma che, data una velocità di spostamento media, calcola le tre velocità dei singoli assi in modo che le tre rotazioni siano eseguite nel solito lasso di tempo.

```
//Questo programma calcola le velocita con cui si devono muovere gli assi in modo da creare una traiettoria di movimento quanto piu rettilinea
IF Set_point THEN
t_1:=(teta[0]-teta_1.Cmd.Pos)/vel_media; IF t_1<0 THEN t_1:=t_1*-1; END_IF;

t_2:=(teta[1]-teta_2.Cmd.Pos)/vel_media; IF t_2<0 THEN t_2:=t_2*-1; END_IF;

t_3:=(teta[2]-teta_3.Cmd.Pos)/vel_media; IF t_3<0 THEN t_3:=t_3*-1; END_IF;

 t_move:=(t_1+t_2+t_3 )/3;

 vel_teta[0]:=(teta[0]-teta_1.Cmd.Pos)/t_move;
 vel_teta[1]:=(teta[1]-teta_2.Cmd.Pos)/t_move;
 vel_teta[2]:=(teta[2]-teta_3.Cmd.Pos)/t_move;

FOR i:=0 TO 2 By 1 DO
   IF vel_teta[i]<0 THEN
    vel_teta[i]:=vel_teta[i]*-1;
    END_IF;
 END_FOR;
 Set_point:=FALSE;

 END_IF ;
```

SUPERVISIONE

La supervisione è composta dalle seguenti pagine:

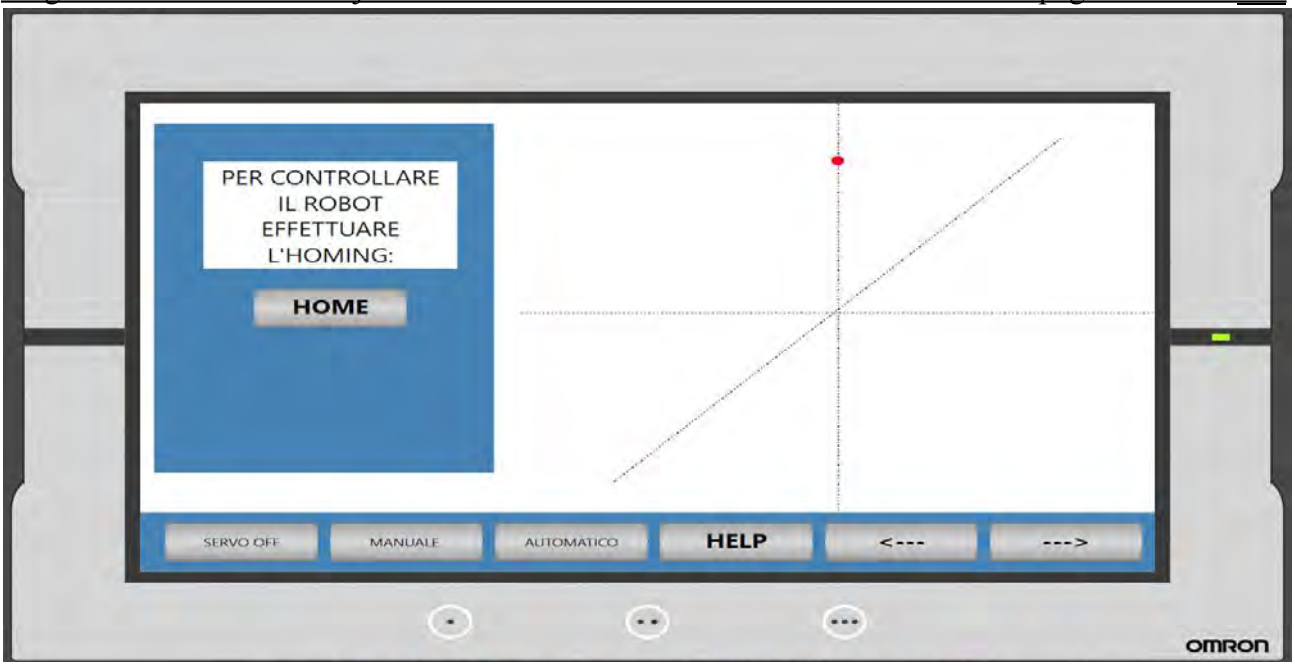
- HOME
- CONTROLLO
- MONITORAGGIO
- HELP

HOME

Introduce al progetto e permette di navigare tra le pagine

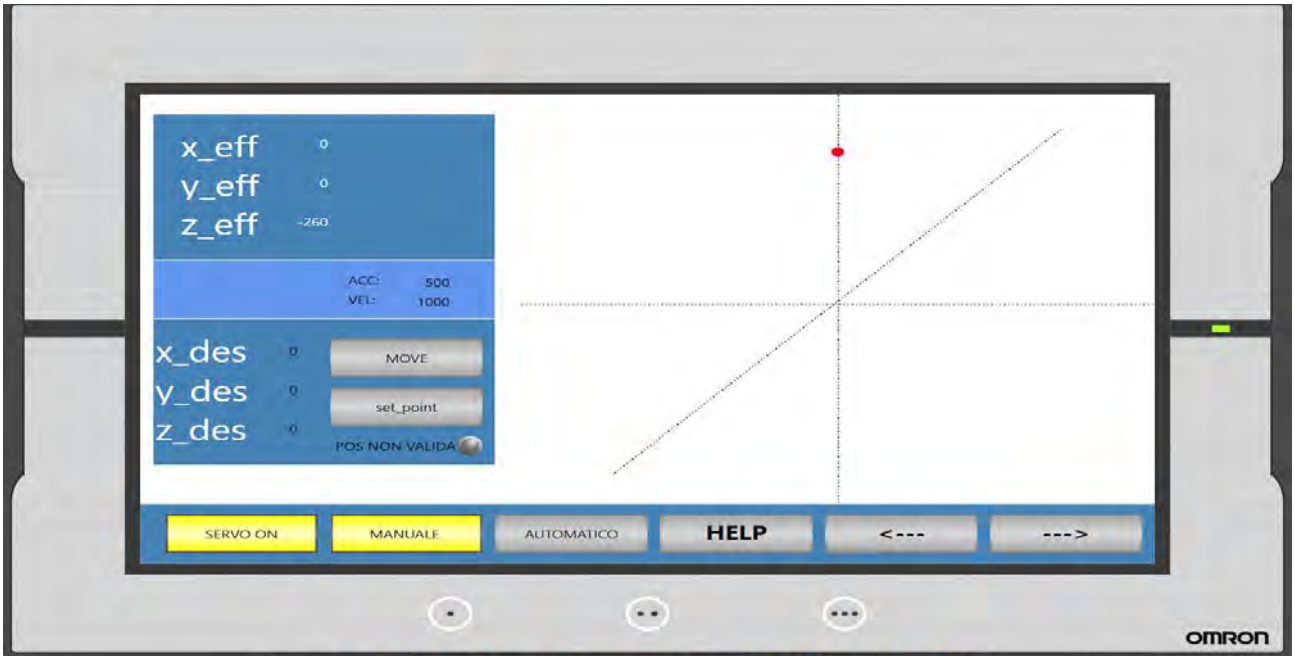
CONTROLLO

Da qui si controlla il comportamento del robot, e si visualizzano i suoi spostamenti su un piano in assonometria cavaliera realizzata con una conversione grafica delle coordinate effettive del robot (pallino rosso) e le coordinate target da raggiungere (pallino verde).
Il controllo del robot può essere impostato come manuale o automatico. Nella modalità automatica appare un tasto “FC” che serve a **simulare** un ciclo automatico.



Pagina di controllo all’apertura

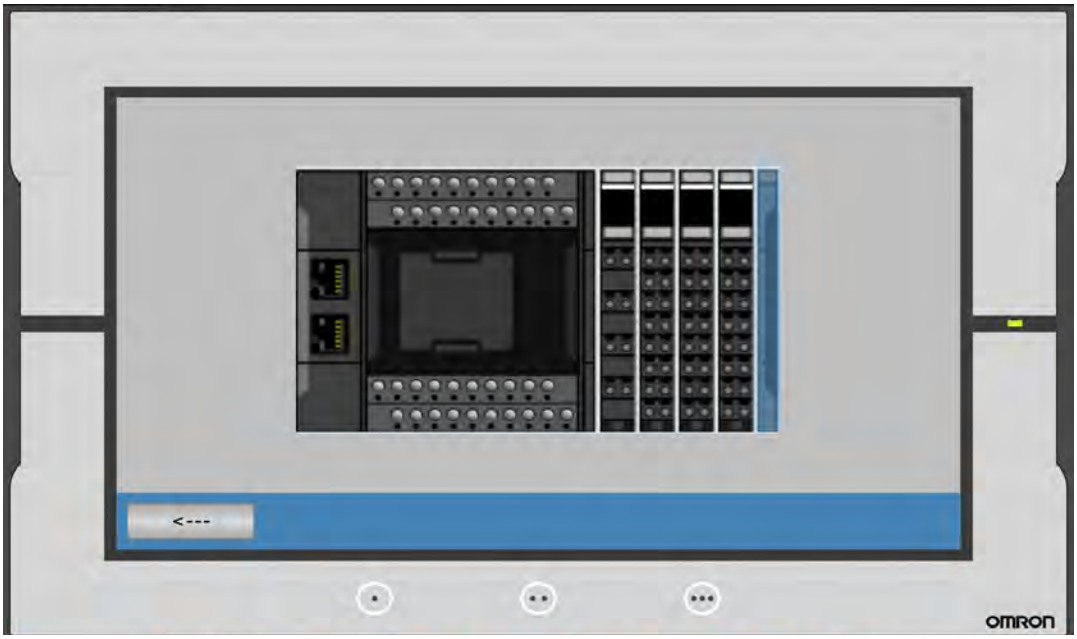
La procedura di homing nella supervisione e’ simulata, essendo possibile fare l’homing solo di un robot fisicamente realizzato.



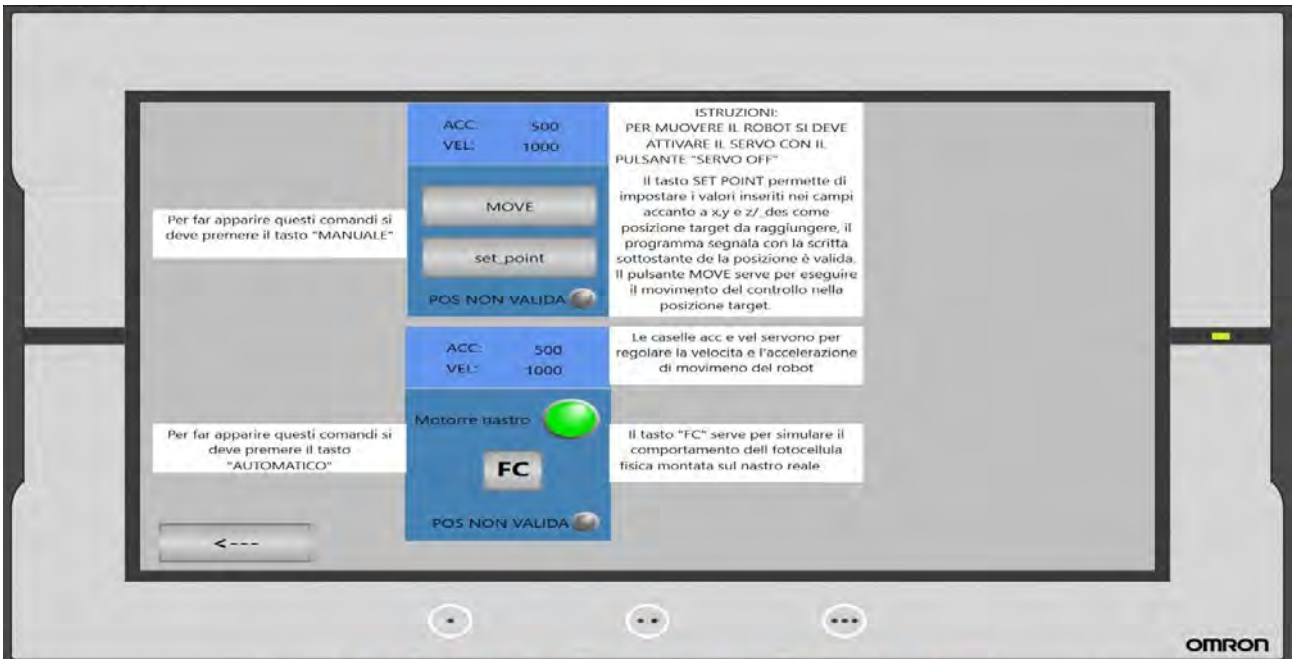
Pagina di controllo dopo l’homing

MONITORAGGIO

Nella pagina Monitoraggio PLC troviamo un’immagine del PLC con i led degli input e degli output, che si accendono seguendo quelli presenti sul PLC fisico, fornendo un’interfaccia più veloce a cui accedere per il controllo dello stesso. Le uscite dei moduli, che funzionano a impulsi, non sono monitorabili



HELP



DESCRIZIONE DEL ROBOT FISICO

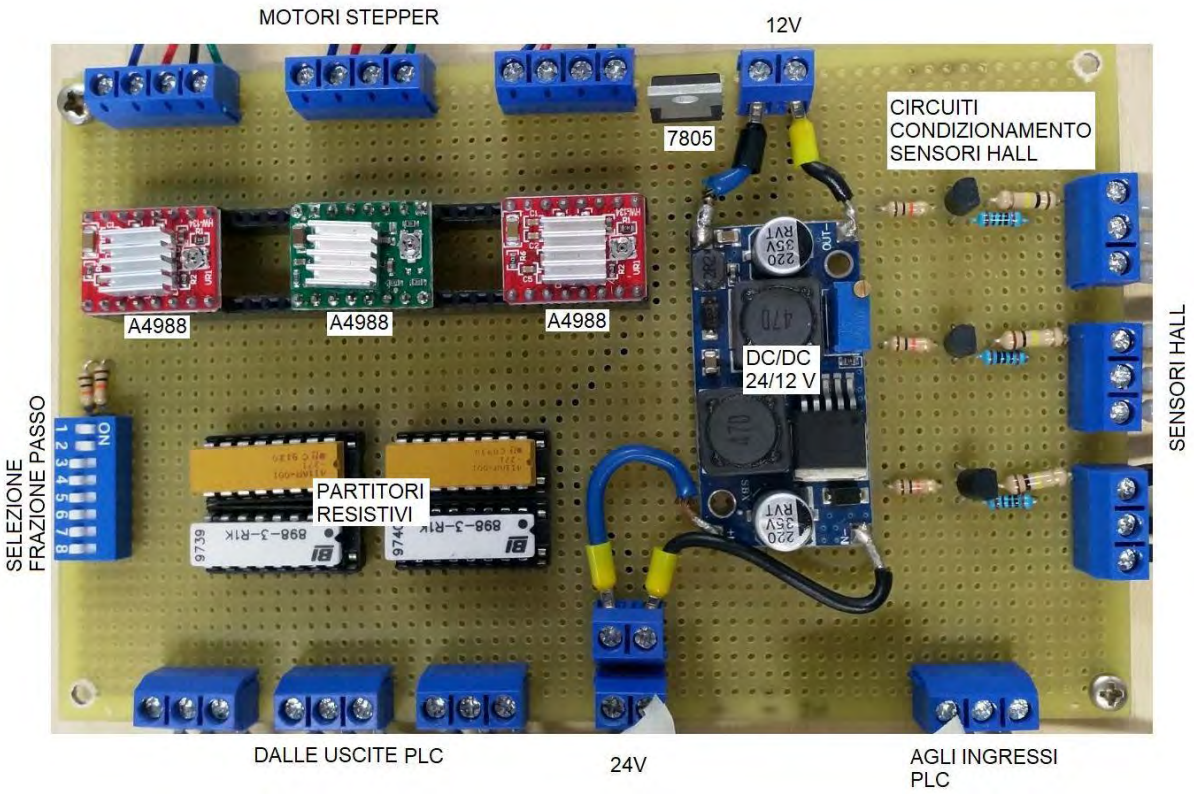
HARDWARE

Il robot delta è stato realizzato fisicamente e abbinato a un PLC NX1P2 con moduli di uscita a impulsi NX-PG0122 e una scheda, realizzata dagli studenti, per i driver di controllo dei i motori passo

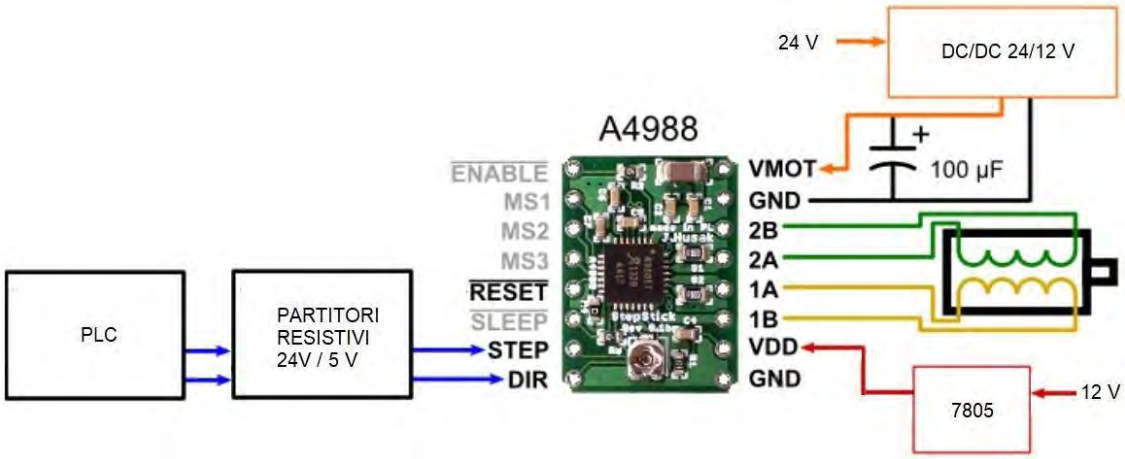
Pannello PLC

Scheda di interfaccia PLC Stepper Delta Robot

Per consentire il pilotaggio dei motoriduttori passo-passo e l’individuazione della posizione di zero del robot è stata elaborata una apposita scheda di interfaccia.



La parte di pilotaggio dei motori utilizza dei moduli ibridi basati sul circuito integrato A4988 della Allegro Microsystem.
Per ottenere le tensioni di alimentazione dei vari dispositivi presenti abbiamo utilizzato un convertitore DC/DC step down (da 24 V a 12 V) e un regolatore lineare del tipo 7805. Infatti la tensione nominale dei motori è di 12 V mentre la logica del driver deve essere alimentata a 5 V.
Infine sono stati inseriti dei partitori resistivi sulle uscite PLC per abbassare i livelli logici da 0/24V a 0/5V.
Quanto descritto è rappresentato dal seguente schema a blocchi.

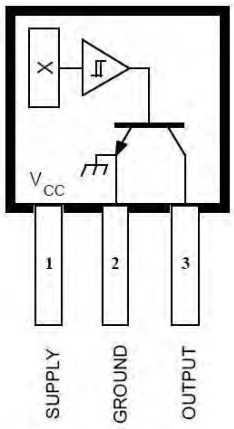


Il modulo A4988 consente di limitare la corrente dei motori tramite un piccolo trimmer e presenta delle protezioni contro le sovracorrenti e le sovratemperature. Può essere alimentato con tensioni comprese tra 8 e 35 V e può fornire, se adeguatamente raffreddato, fino a 2 A per fase.
Tramite gli ingressi MS1, MS2 e MS3 si può impostare il funzionamento a passo intero oppure a frazione di passo (microstepping), fino a 1/16 di passo, secondo la seguente tabella.

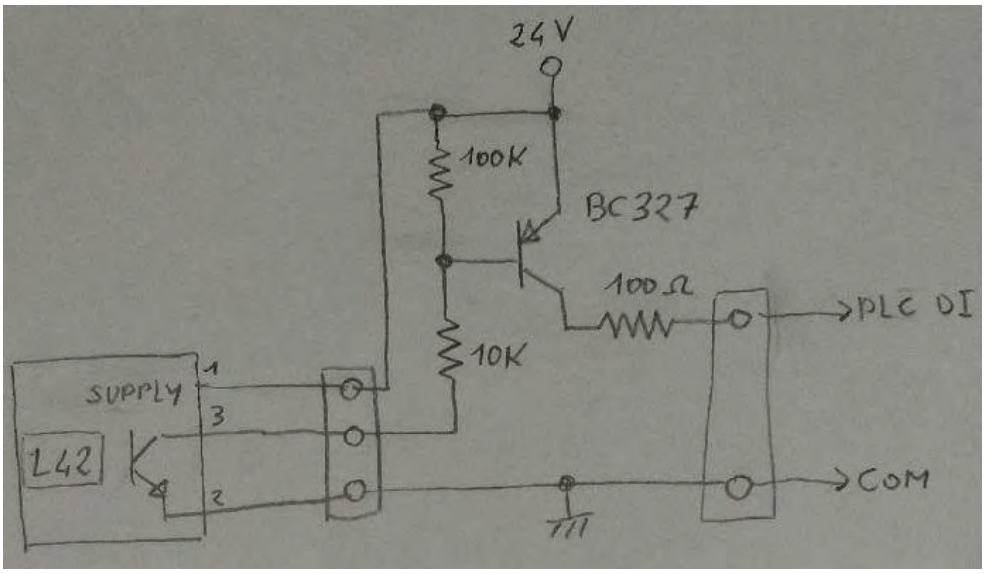
MS1	MS2	MS3	Microstep Resolution
Low	Low	Low	Full step
High	Low	Low	Half step
Low	High	Low	Quarter step
High	High	Low	Eighth step
High	High	High	Sixteenth step

Il livello low si ha anche lasciando gli ingressi disconnessi grazie a un pull-down interno.

Circuito di condizionamento dei sensori Hall

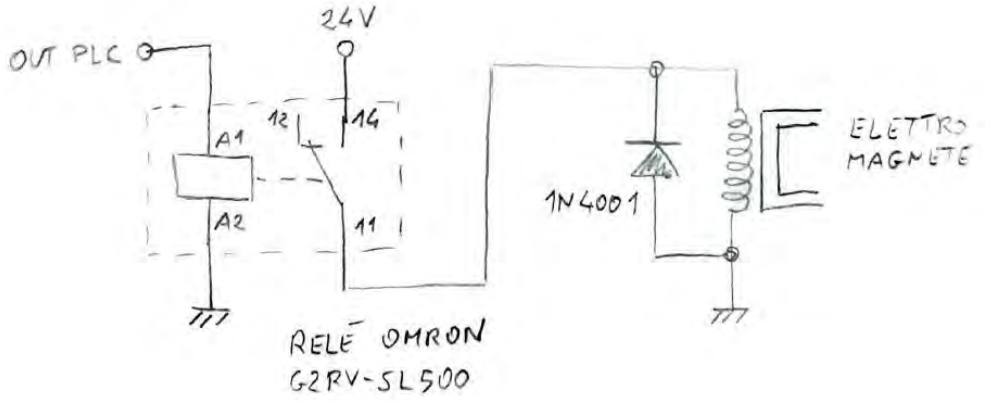


Per individuare la posizione di origine dei 3 assi rotativi abbiamo utilizzato dei sensori ad effetto Hall in abbinamento a dei piccoli magneti montati sui bracci del robot. Il sensore è del tipo A3142 (Allegro Microsysem) e presenta in uscita un transistor open collector con l’emettitore collegato a GND, ovvero un’uscita di tipo NPN.
Questo tipo di collegamento non è compatibile con i nostri ingressi PLC, per cui abbiamo dovuto introdurre un circuito per convertire l’uscita del sensore da NPN a PNP, rappresentato nello schema seguente.

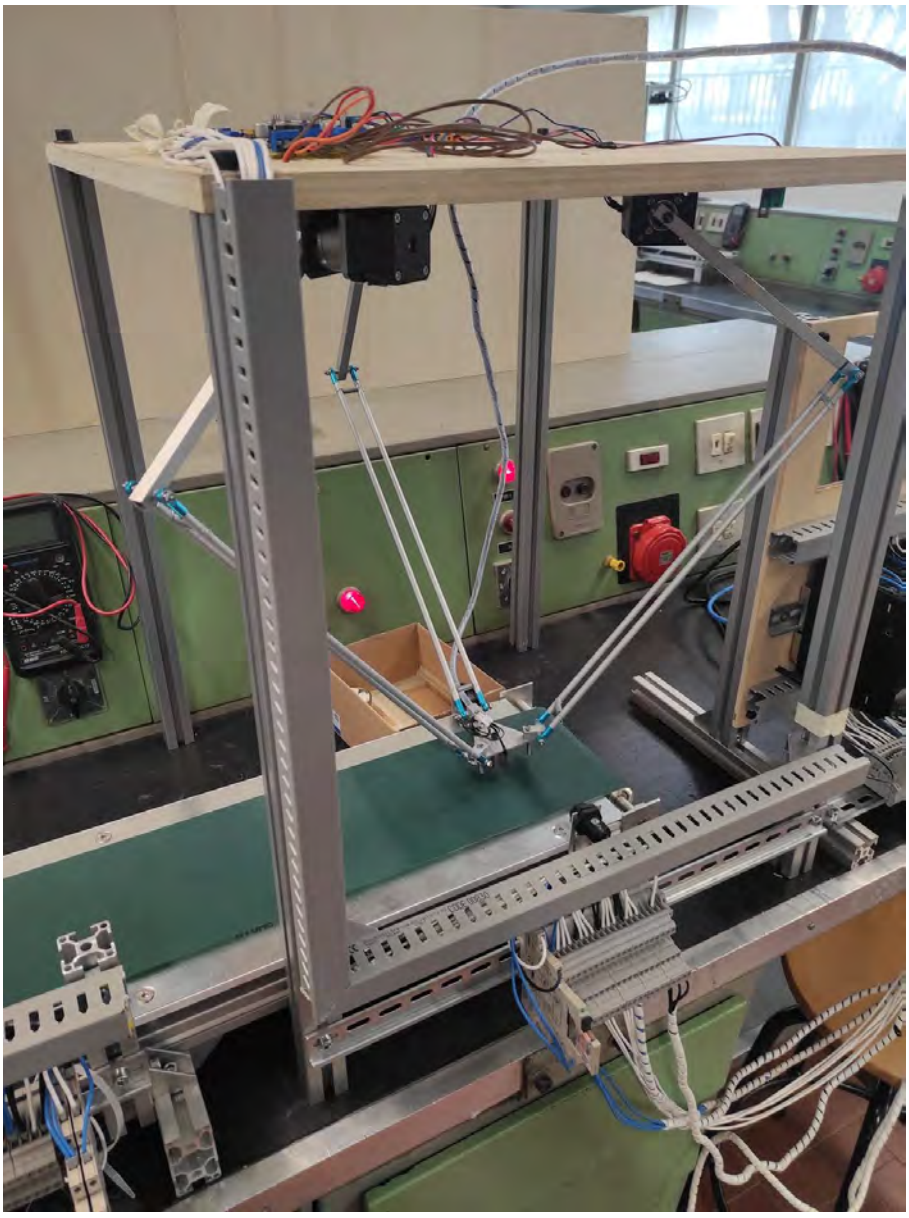


Pilotaggio dell’elettromagnete

Il magnete utilizzato è alimentato a 24v DC ed ha una forza in tenuta di 5 kg.
Per il pilotaggio dell’elettromagnete montato sull’end effector del robot abbiamo utilizzato il seguente schema elettrico.



STRUTTURA ROBOT:

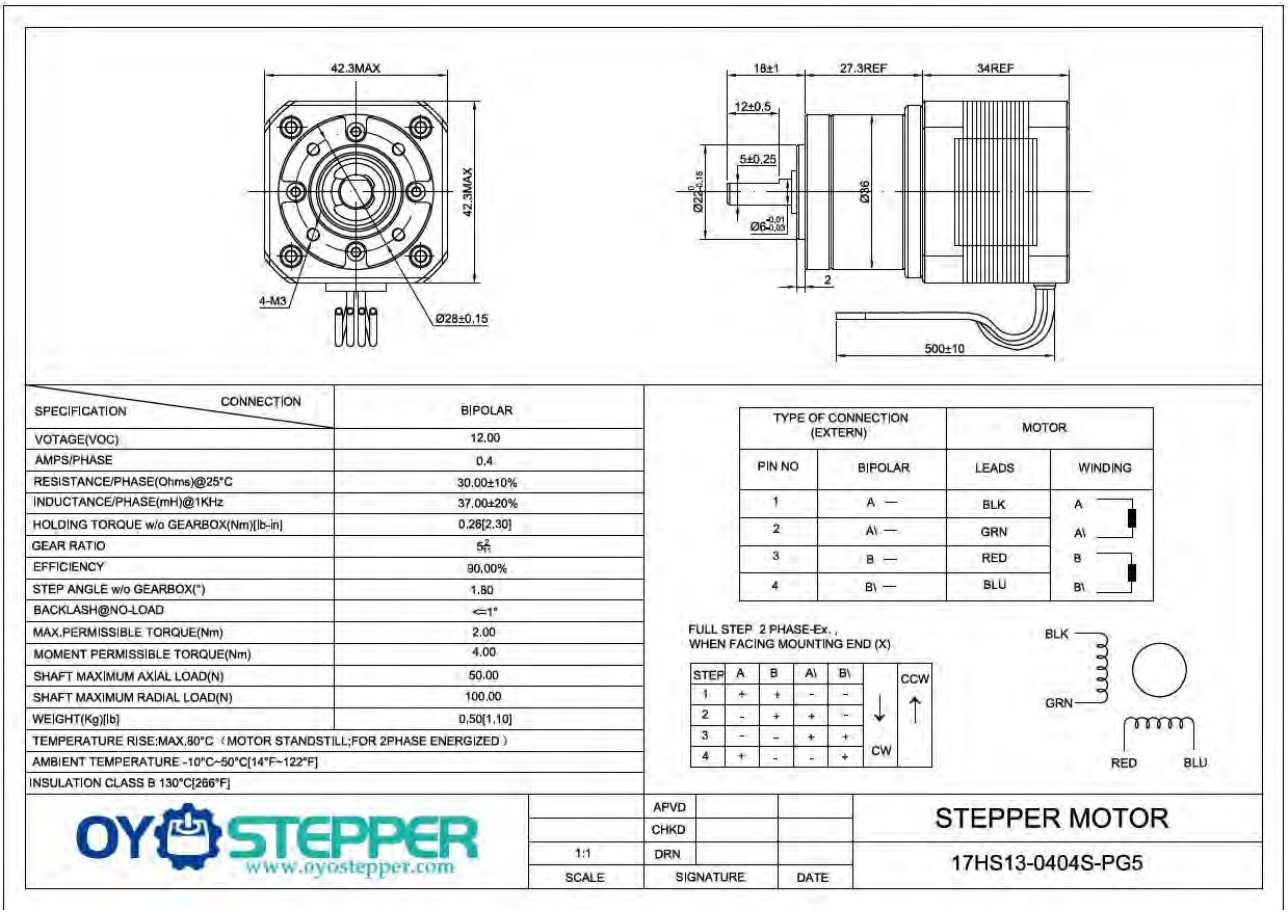


Il robot è stato realizzato con delle proporzioni che fossero un giusto **compromesso tra mobilità precisione e dinamica di movimento**.
I bracci del robot sono stati realizzati quasi interamente in alluminio di modo da ottenere una struttura meccanica quanto più leggera possibile.
Uno dei punti fondamentali del robot sono la precisione con cui vengono messi in asse i 3 motori e di conseguenza i 3 bracci i quali influiscono a loro volta sulla precisione di movimento.
E importante che la risoluzione dei motori sia alta per migliorare la precisione di movimento, aspetto fondamentale per un Delta robot.
Altro aspetto da considerare è la vibrazione scaturita dagli snodi sferici e dai braccetti, è infatti necessario aggiungere delle molle che impediscano le vibrazioni applicando una lieve tensione tra i due braccetti.

Ecco di seguito le dimensioni del robot e la sua area di lavoro:

struttura sostegno esterno	60x50x50cm
aste superiori (corte)	1x1x20cm
aste sottostanti (lunghe)	⌀ 0.5 x lunghezza 40 (snodi compresi)cm
raggio distanza motori dal centro xy	16cm
raggio distanza snodi end-effector dal centro xy	4cm
magnete montato su end-effector	2.5⌀ x 2.5 cm

Caratteristiche dl motoriduttore



SPECIFICATION / CONNECTION	BIPOLAR
VOTAGE(VOC)	12.00
AMPS/PHASE	0.4
RESISTANCE/PHASE(Ohms)@25°C	30.00±10%
INDUCTANCE/PHASE(mH)@1KHz	37.00±20%
HOLDING TORQUE w/o GEARBOX(Nm)[lb-in]	0.26[2.30]
GEAR RATIO	5
EFFICIENCY	90.00%
STEP ANGLE w/o GEARBOX(°)	1.80
BACKLASH@NO-LOAD	<=1°
MAX.PERMISSIBLE TORQUE(Nm)	2.00
MOMENT PERMISSIBLE TORQUE(Nm)	4.00
SHAFT MAXIMUM AXIAL LOAD(N)	50.00
SHAFT MAXIMUM RADIAL LOAD(N)	100.00
WEIGHT(Kg)[lb]	0.50[1.10]
TEMPERATURE RISE:MAX.80°C（MOTOR STANDSTILL;FOR 2PHASE ENERGIZED）	
AMBIENT TEMPERATURE -10°C~50°C[14°F~122°F]	
INSULATION CLASS B 130°C[266°F]	

TYPE OF CONNECTION (EXTERN)		MOTOR	
PIN NO	BIPOLAR	LEADS	WINDING
1	A —	BLK	A
2	A\ —	GRN	A\
3	B —	RED	B
4	B\ —	BLU	B\

FULL STEP 2 PHASE-Ex. ,
WHEN FACING MOUNTING END (X)

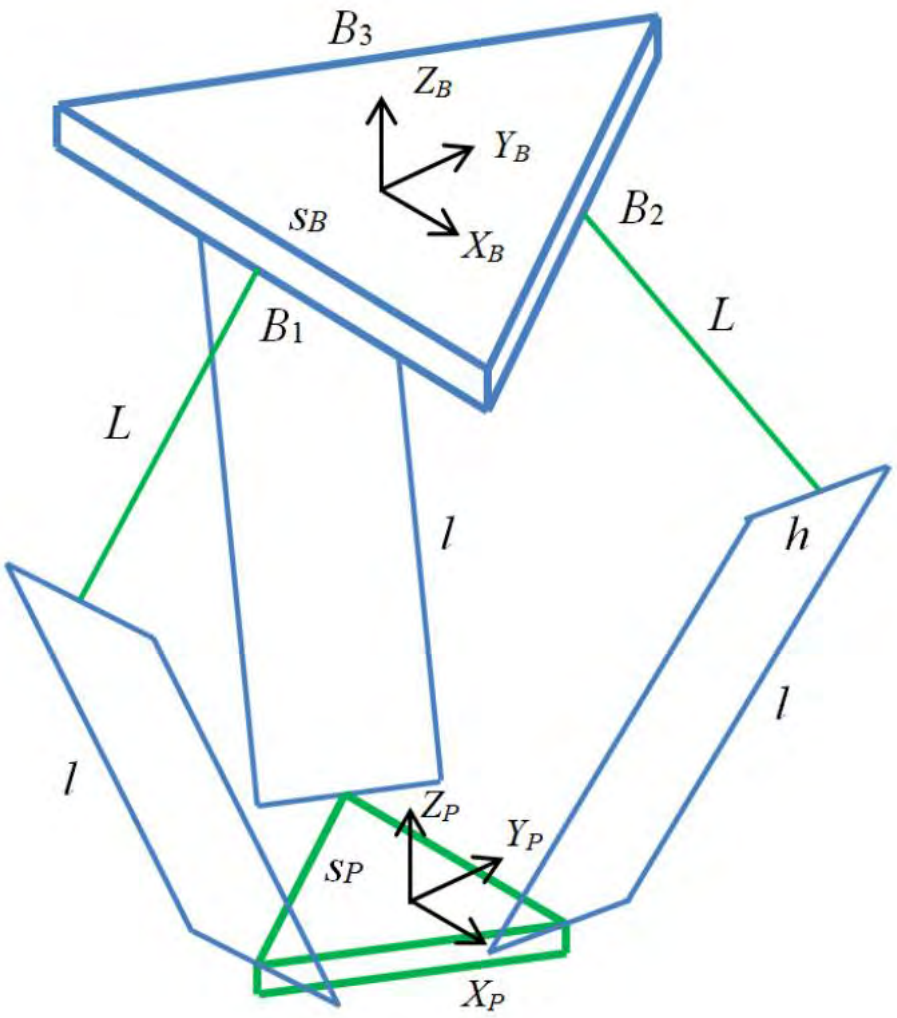
STEP	A	B	A\	B\	
1	+	+	-	-	CCW ↑
2	-	+	+	-	
3	-	-	+	+	
4	+	-	-	+	CW ↓

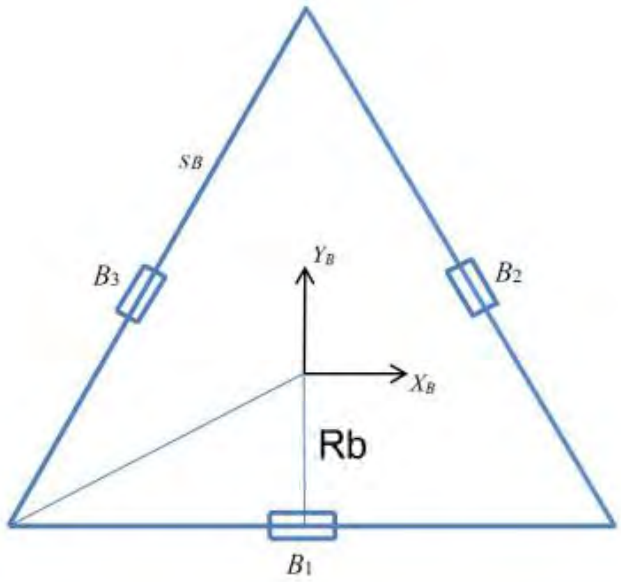
OYOSTEPPER www.oyostepper.com

		APVD		STEPPER MOTOR
		CHKD		
1:1		DRN		17HS13-0404S-PG5
SCALE		SIGNATURE		DATE

CINEMATICA

Lo studio della cinematica inversa è stato intrapreso dagli studenti tramite una pubblicazione dall'università dell’Ohio, quella diretta è stata studiata tramite una tesi di dottorato sulle interfacce aptiche.
Per prima cosa si deve rappresentare il robot con i seguenti schemi:



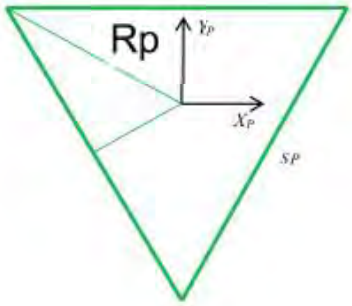


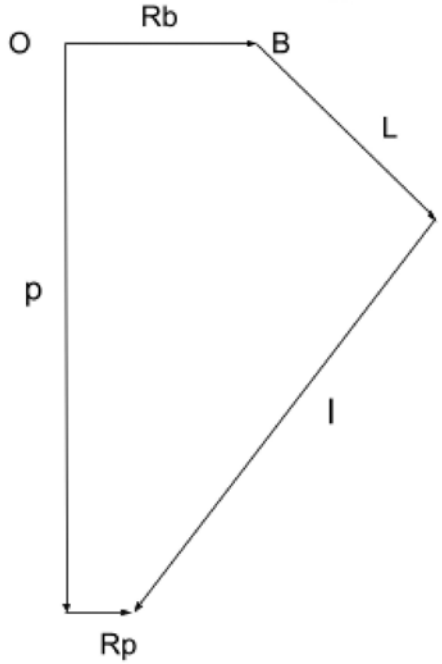
Parametri

$$Rb = \frac{\sqrt{3}}{6}Sb \quad rp = \frac{\sqrt{3}}{3}Sp$$

$$a = Rb - Rp$$
$$b = \frac{Sp}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2}Rb$$
$$c = \frac{1}{2}Rp - \frac{1}{2}Rb$$

I parametri a, b e c hanno un significato importante nelle equazioni, essi originano dalla differenza tra la dimensione della base superiore e quella inferiore.





Possiamo schematizzare ogni singolo braccio da un punto di vista vettoriale nel seguente modo andando dunque a definire poi i versori di ogni i-esimo vettore conoscendo lo sfasamento in gradi che c' è tra ogni braccetto (120°). Definiamo dunque i versori della base mediana, dell'end-effector e dei link della struttura superiore:

$$\alpha_1 = 180 \quad \alpha_2 = 300 \quad \alpha_3 = 60$$
$$v_{rbi} = v_{rpi} = [cos\,\alpha_i \;\; sin\,\alpha_i \;\; 0]T$$
$$v_{Li} = [cos\alpha_i cos\theta_i \;\; sin\,\alpha_i \;\; cos\,\theta_i sin\,\theta_i\,]\,T$$

Obiettivo cinematica :

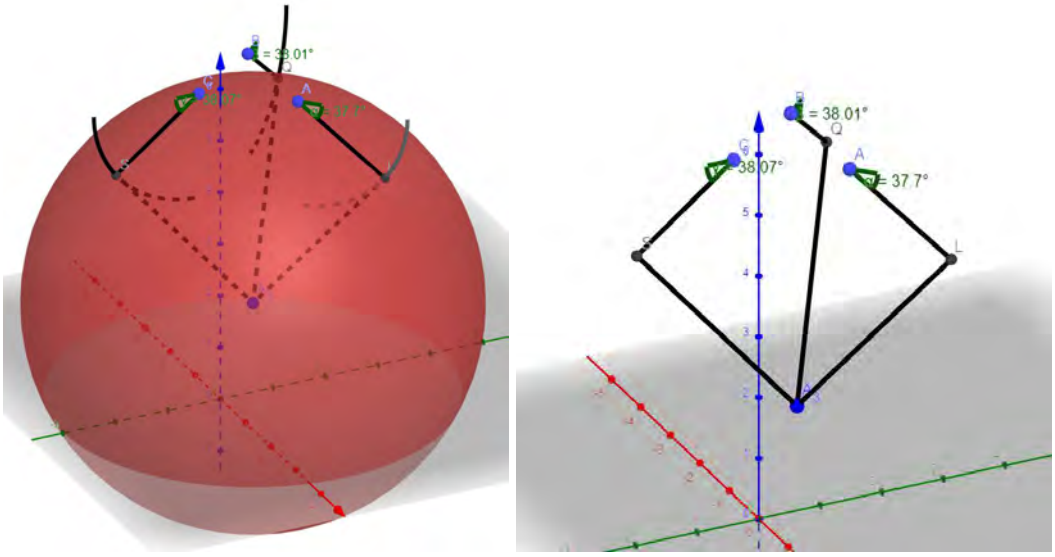
Per il funzionamento del delta è stato necessario lo studio di una matematica che data la posizione da far raggiungere al robot, definita come P={x,y,z}, restituisse gli angoli che gli assi dei motori dovevano assumere, cioè θ_1, θ_2, θ_3 e una che dati questi angoli calcolasse l’effettiva posizione della piattaforma mobile.

CINEMATICA INVERSA:

Una volta definiti questi parametri per fare riferimento alle dimensioni del robot possiamo passare a quella che viene abbreviata IPK(inverse position kinematic).

Analisi Geometrica:

La cinematica inversa del robot viene risolta in modo geometrico tramite l’intersezione tra una sfera con centro P e di raggio l e degli archi di circonferenza originati dai punti B1 e B2 e B3 di raggio L



(modello geometrico realizzato da uno studente con GEOGEBRA)

Nota la geometria del robot possono presentarsi tre casi:
• Soluzione generica: dall’intersezione della sfera si trovano due soluzioni (bisogna scegliere quella con il segno corretto).
• Soluzione singolare: si ha una sola soluzione.
• Nessuna soluzione: la sfera non interseca con almeno una delle circonferenze.

Analisi algebrica:

Da un punto di vista algebrico la cinematica viene risolta con questa equazione, derivante dal principio geometrico e ottenuta tramite le equazioni di chiusura vettoriale dei singoli bracci:

$$E_i cos\theta_i + F_i sin\theta_i + G_i = 0 \qquad i = 1, 2, 3$$

Dove E, F e G sono dei parametri che vengono calcolati per i singoli angoli secondo le seguenti equazioni dipendenti dal punto P e dai parametri del robot:

$$E_1 = 2L(y + a)$$
$$F_1 = 2zL$$
$$G_1 = x^2 + y^2 + z^2 + a^2 + L^2 + 2ya - l^2$$

$$E_2 = -L(\sqrt{3}(x + b) + y + c)$$
$$F_2 = 2zL$$
$$G_2 = x^2 + y^2 + z^2 + b^2 + c^2 + L^2 + 2(xb + yc) - l^2$$

$$E_3 = L(\sqrt{3}(x - b) - y - c)$$
$$F_3 = 2zL$$
$$G_3 = x^2 + y^2 + z^2 + b^2 + c^2 + L^2 + 2(-xb + yc) - l^2$$

A questo punto andiamo a utilizzare la trigonometria per sostituire seno e coseno e riscrivere l'equazione

$$t_i = tan\frac{\theta_i}{2} \quad cos\theta_i = \frac{1-t_i^2}{1+t_i^2} \quad sin\theta_i = \frac{2t_i}{1+t_i^2}$$

$$E_i\left(\frac{1-t^2}{1+t^2}\right) + F_i\left(\frac{2t_i}{1+t_i^2}\right) + G_i = 0$$

$$E_i(1 - t_i^2) + F_i(2t_i) + G_i(1 + t_i^2) = 0$$

$$(G_i - E_i)t_i^2 + (2F_i)t_i + (G_i + E_i) = 0$$

Otteniamo un'equazione di secondo grado che restituisce due soluzioni, di fatto esistono 2 punti nei quali la sfera interseca l’arco di circonferenza, ma a noi interessa solo uno di questi punti e ndiamo a prendere la radice con segno “−”.
Risolviamo l'equazione con la seguente formula:

$$t_{i_{1,2}} = \frac{-F_i \pm \sqrt{E_i^2 + F_i^2 + G_i^2}}{G_i - E_i}$$

Ed andiamo a fare l'arctan per ritrovare l’angolo

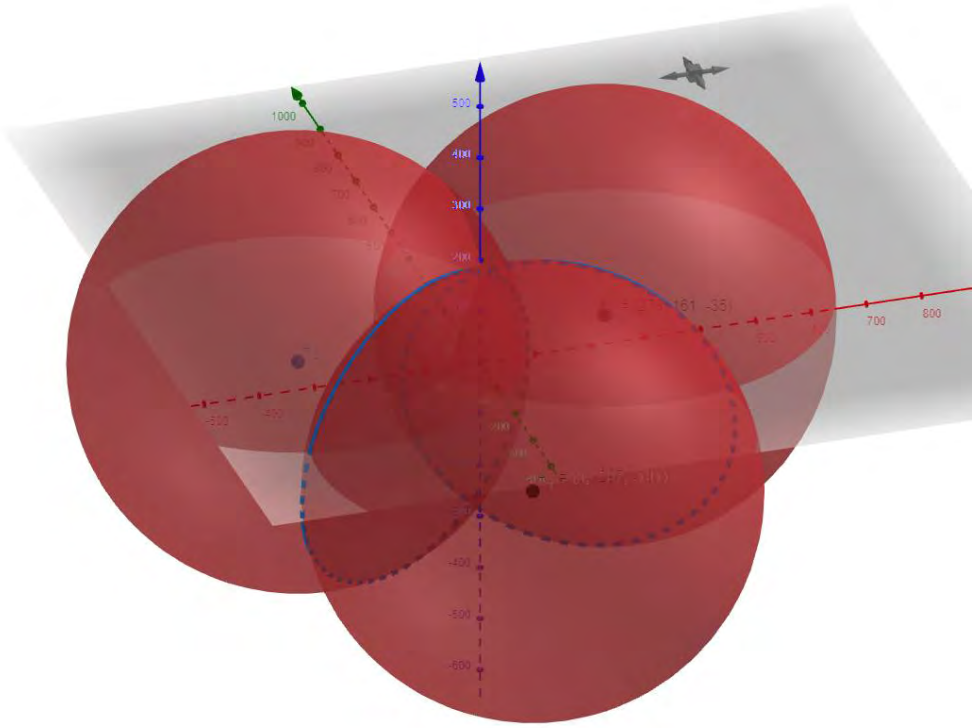
$$\theta_i = 2tan^{-1}(t_i)$$

CINEMATICA DIRETTA:

Andiamo adesso a vedere quella che viene chiamata FPK(forward position kinematic).

Analisi geometrica:

Da un punto di vista geometrico la cinematica diretta viene risolta tramite l’intersezione di 3 sfere con centro originato nello snodo superiore, che coincide con la punta del i-esimo vettore L (fare riferimento alla parte di schematizzazione)



Nota la geometria del robot possono presentarsi tre casi:

• Soluzione generica: dall’intersezione delle tre sfere si trovano due soluzioni (bisogna scegliere quella con il segno corretto).

• Soluzione singolare: una sfera `e tangente alla circonferenza di intersezione delle altre due sfere, pertanto si ha una sola soluzione.

• Nessuna soluzione: le tre sfere non ammettono alcuna intersezione.

Analisi Algebrica e Vettoriale:

Conoscendo già i versori dei vettori prima dichiarati possiamo scrivere l’equazione di chiusura vettoriale della struttura superiore Delta

$$rb_i + L_i + l_i = p + rp_i$$

con i = 1, 2, 3.

Dati Rb_i e Rp_i costanti possiamo unirli in un unico vettore definito $a_i = rb_i - rp_i$

E riscriviamo l'equazione come:

$$l_i = -L_i - a_i + p$$

Eseguendo il quadrato di ogni equazione (i = 1, 2, 3), si ottiene la relazione della generica sfera centrata nel punto Bi :

$li^2 = [p - (Li + ai)]^2$

$$\begin{cases} l_1^2 = p^2 + \left(L_1 + a_1\right)^2 - 2p\left(L_1 + a_1\right) \\ l_2^2 = p^2 + \left(L_2 + a_2\right)^2 - 2p\left(L_2 + a_2\right) \\ l_3^2 = p^2 + \left(L_3 + a_3\right)^2 - 2p\left(L_3 + a_3\right) \end{cases}$$

Sottraendo la prima equazione alla terza e la seconda alla terza, si ottengono le equazioni dei due piani che contengono le circonferenze nate dall'intersezione delle coppie di sfere 3 − 1 e 3 − 2:

$$\begin{cases} \left(L_3 + a_3\right)^2 - \left(L_1 + a_1\right)^2 + 2p(L_1 + a_1 - L_3 - a_3) = 0 \\ \left(L_3 + a_3\right)^2 - \left(L_2 + a_2\right)^2 + 2p(L_2 + a_2 - L_3 - a_3) = 0 \end{cases}$$

Riscriviamo le due equazioni esplicitando rispetto a x, y e z

$$\begin{cases} m1px + m2py + m3pz + m4 = 0 \\ m5px + m6py + m7pz + m8 = 0 \end{cases}$$

$$\begin{aligned} m1 &= 2\left(L_{1,x} + a_{1,x} - L_{3,x} - a_{3,x}\right) \\ m2 &= 2\left(L_{1,y} + a_{1,y} - L_{3,y} - a_{3,y}\right) \\ m3 &= 2\left(L_{1,z} - L_{3,z}\right) \\ m4 &= 2(L_{3,x}\,a_{3,x} + L_{y,x}a_{3,y} - L_{1,x}\,a_{1,x} - a_{1,y}\,L_{1,y}) \\ m5 &= 2\left(L_{2,x} + a_{2,x} - L_{3,x} - a_{3,x}\right) \\ m6 &= 2\left(L_{2,y} + a_{2,y} - L_{3,y} - a_{3,y}\right) \\ m7 &= 2\left(L_{2,z} - L_{3,z}\right) \\ m8 &= 2(L_{3,x}a_{3,x} + L_{3,x}\,a_{3,y} - L_{2,x}\,a_{2,x} - a_{2,y}\,L_{2,y}) \end{aligned}$$

Possiamo dunque scrivere l'equazione della retta ottenuta dall'intersezione dei due piani

$$\begin{cases} p_x = m9 + m10p_z \\ p_y = m11 + m12p_z \end{cases}$$

$$m9 = \frac{(m6m4 - m8m2)}{5m2 - m6m1}$$
$$m10 = \frac{m6m3 - m7m2}{m5m2 - m6m1}$$
$$m11 = \frac{m1m9 + m4}{m2}$$
$$m12 = \frac{m1m10 + m3}{m2}$$

Su tale retta giace il punto P e per ricavarlo si cercano i punti di intersezione di tale retta con una delle sfere descritte dalle (). Sostituendo px e py nella prima delle equazioni () si ottiene un'equazione di secondo grado nell'incognita pz:

$$Ap_z^2 + Bp_z + C = 0 \qquad (1.10)$$

Dove:

$$A = m10^2 + m12^2 + 1$$
$$B = 2\left(m9m10 + m11m12 - m10\left(a_{1,x} + L_{1,x}\right) - m12\left(a_{1,y} + L_{1,y}\right) - L_{1,z}\right)$$
$$C = -l_1^2 + m_9^2 + m_{11}^2 + e_1^2 + L_1^2 + 2\left[L_{1,x}a_{1,x} + a_{1,y}L_{1,y} - m9(a_{1,x} + L_{1,x}) - m11\left(a_{1,y} + L_{1;y}\right)\right]$$

Risolviamo dunque l'equazione prendendo come giusto il valore con segno ''−'' per ottenere la nostra configurazione:

$$p_z = \frac{-B \pm \sqrt{B2 - 4AC}}{2A}$$

Sapendo che le coordinate del punto P sono legate alle componenti vettoriali del vettore p, possiamo scrivere:

$$P = (p_x; p_y; p_{ztot})$$

$$\begin{cases} p_z tot = z_0 + p_z \\ p_x = m9 + m10p_z \\ p_y = m11 + m12p_z \end{cases}$$

(ci si riferisce a P_0 per poter considerare la differenza in altezza tra il centro di riferimento della piattaforma e l'effettiva posizione del end-effector)

CICLO AUTOMATICO

Una volta realizzato il robot si è passati alla realizzazione di un sistema automatizzato di spostamento oggetti su dei nastri.
L’automa realizzato si comporta nel seguente modo:
quando si passa dalla modalità manuale a quella automatica il robot fa partire i nastri di movimento e attende che qualcosa si rechi sulla fotocellula, quando quest'ultima rileva un oggetto il robot esegue un ciclo realizzato con una macchina a stati di moore che prende l'oggetto e lo sposta sull’altro nastro o un ipotetico contenitore (scatola).
La macchina a stati si divide in:

- attesa oggetto (robot fermo pos 0)
- presa oggetto e risalita posizione 0
- spostamento verso zona di rilascio
- rilascio ritorno posizione 0

L'automa è gestito tramite una serie di IF che hanno come discriminante una variabile denominata “S” la quale è incrementata ogni volta che è stato terminato uno spostamento e resettata alla fine dell'ultimo stato.

Tetracycle

< Sommario

Il progetto Tetracycle prende ispirazione dagli studi condotti dalla Suleyman Demirel University di Isparta sul riciclo del Tetrapak, con l'obbiettivo di renderli attuabili su grande scala a livello industriale.

Gli obbiettivi del progetto sono:
• Riciclare un prodotto altrimenti difficilmente riciclabile poiché composto da vari strati e da vari materiali.
• Acquisizione di conoscenze relative al corretto smaltimento dei materiali.
• Miglioramento delle competenze di programmazione del PLC Sysmac.

IIS Castelli – Brescia BS - Classe V

- **Docente coordinatore:** Giuseppe Marti
- **Studenti:** Gabriele Leo, Federico Spada.

INDICE

Introduzione……...4
Materiale di partenza……..…….4
Obbiettivi del progetto……..……4
Informazioni preliminari sui timer in simulazione…….…...4
Fasi e funzionamento del sistema……..……...5
Fase 1 - Trituratore ……..…….……5
Fase 2 – Trattamento cloroformio……..…….5
Fase 3 – Estrattore……...5
Fase 4.1 – Distillazione……..……..6
Fase 4.2 – Trattamento con acqua……...6
Fase 4.3 – Pressa Carta-Alluminio…..……..6
Pannello e pagine HMI…….7
Navigazione nelle pagine…….7
Pagina HOME……....8
Pagina Trituratore……...9
Pagina Trattamento cloroformio……10
Pagina Estrattore……11
Pagina Distillazione ……..13
Pagina Trattamento ad acqua……..….14
Pagina Pressa Carta-Alluminio…….……15
Pagina PLC……..……16
Programmi……..……..19
Programma di avviamento sistema……..…...20
Programma del trituratore……..20
Programma del trattamento al cloroformio……..22
Programma della centrifuga/estrattore…….……..26
Programma della distillazione……..……28
Programma della gestione cisterna 2 – Trattamento ad acqua……..……29
Programma per le fasi finali- pressa carta……..32
Programma per le fasi finali- pressa alluminio……35

Subroutine HMI……...36
Sub informazioni pagine……36
Sub pagina trituratore……37
Sub pagina trattamento cloroformio……38
Sub pagina estrattore……40
Sub pagina distillazione……41
Sub pagina trattamento carta alluminio……...42
Sub pagina pressa……..43
Sub allarmi……...44
Sviluppi didattici……...45
Implementazioni future……...45
Allegati……..45
Conclusioni e ringraziamenti……50

Introduzione

Il 13 Luglio 2021 la Commissione europea ha approvato definitivamente il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) proposto dall'Italia, che, a seguito dei danni economici dovuti alla pandemia da Sars-Cov2, ha stanziato 191,5 miliardi di euro per risollevare l'economia italiana distribuendo tale importo in 6 pilastri principali, tra cui rientra la rivoluzione verde e la transizione ecologica, alla quale vengono attribuiti i maggiori fondi (59,47 miliardi pari a circa il 31% del totale).
Per questo motivo ci siamo chiesti come si potesse conciliare l'ecologia e la rivoluzione ecologica che sta avendo atto in questi anni con l'automazione e la tecnologia, da questo è nato il progetto Tetracycle.

Materiale di partenza

Il nostro materiale di partenza è stata una ricerca scientifica condotta da Mustafa Karaboyaci, Gozde Gizem Elbek, Mehmet Kilic e Aziz Sencan della Süleyman Demirel University in Çünür/Isparta, Turchia e successivamente pubblicata sull' European Journal of Enfineering and Natural Sciences nel quale spiegano la loro ricerca sul riciclo del Tetra Pak e quali materiali e sostanze bisogna adoperare per smaltire al meglio queste tipologie di prodotti (allegata a fine relazione).

Obbiettivi del progetto

Gli obbiettivi del progetto sono:

- Riciclare un prodotto altrimenti difficilmente riciclabile poiché composto da vari strati e da vari materiali.
- L'acquisizione di conoscenze riguardanti li corretto smaltimento dei materiali.
- Miglioramento delle competenze in ambito di programmazione del PLC Sysmac.

Informazioni preliminari sui timer in simulazione

I timer in simulazione, per non attendere le ore necessarie per il processo completo sono velocizzati, per esempio, una durata di 2 ore reali nella simulazione risultano 10 secondi.

Fasi e funzionamento del sistema

Il sistema è composto da 4 fasi principali (trituratore, trattamento al cloroformio, estrattore, distillazione e trattamento con acqua e pressa), di seguito il dettaglio per ognuna delle 4 fasi.

Fase 1 - Trituratore

Quando il sistema viene avviato viene aperta la cisterna contenente i rifiuti, i quali cadranno sul nastro 1 (avviato insieme all'apertura della cisterna). Il nastro 1 porta poi i rifiuti al trituratore che viene avviato da un sensore che rileva la presenza dei rifiuti (il sensore è posto alla fine del nastro 1).
Il trituratore lascia poi cadere i rifiuti triturati sul nastro 2, il quale viene avviato da un sensore posto all'uscita del trituratore.
Il nastro 2 porterà infine i rifiuti alla cisterna dove verranno trattati con il cloroformio.

Fase 2 - Trattamento al cloroformio

Quando il peso dei rifiuti nella cisterna supera il valore prefissato, viene chiusa la cisterna contenete i rifiuti e bloccati il nastro 1, il nastro 2 ed il trituratore.
Dopo 5 secondi viene salvato il peso dei rifiuti immessi nella cisterna (questo delay serve nel caso in cui i rifiuti stavano ancora cadendo quando sono stati bloccati i nastri).
Viene poi chiusa la cisterna per il trattamento e calcolato il peso del cloroformio necessario in base al peso dei rifiuti nella cisterna, dopodiché viene inserito il cloroformio necessario.
Viene poi riscaldata la miscela a 65° e tenuta a tale temperatura per 2 ore (nelle quali il polietilene si discioglie nel cloroformio), passate le 2 ore viene svuotata la cisterna nell'estrattore.
Quando la cisterna è vuota viene riaperta la suddetta cisterna insieme alla cisterna iniziale contenete i rifiuti e viene riavviato il nastro 1.

*Lo svuotamento della cisterna per il trattamento con il cloroformio potrà avvenire quando la fase 4.1, 4.2 e 4.3 saranno terminate.

Fase 3 - Estrattore

Quando viene avviato lo svuotamento della cisterna per lo svuotamento dei rifiuti viene attivato il motore, azionato da un inverter MX2, che fa girare le pale della centrifuga alla di 60 giri/min.
Il cloroformio viene quindi "isolato" dai rifiuti e portato fino al distillatore.
Quando il peso nel distillatore eguaglierà il peso del cloroformio sommato al peso del polietilene, verrà chiusa la valvola per la fuoriuscita del cloroformio e verrà aperto l'estrattore per la fuoriuscita dei rifiuti, che andranno poi nella cisterna dove verrà eseguito il trattamento con l'acqua.

Fase 4.1 – Distillazione

Quando il peso nel distillatore eguaglierà il peso del cloroformio sommato al peso del polietilene, verrà avviato il riscaldamento della miscela fino a 70 gradi (il cloroformio ha una temperatura di ebollizione di 65 gradi).
Il cloroformio evaporerà e verrà quindi incanalato nel condotto dove grazie al circuito di condensazione tornerà allo stato liquido e verrà accumulato in una cisterna apposita.
Quando il peso nel distillatore sarà uguale al peso del polietilene verrà infine interrotto il riscaldamento, aperto il distillatore per la fuoriuscita del polietilene e avviato il nastro che trasporterà il polietilene nella sua cisterna di accumulo.

Fase 4.2 – Trattamento Carta-Alluminio

Quando il peso nella cisterna eguaglierà il peso dell'alluminio e della carta contenuti nel tetrapak, verrà calcolata la quantità necessaria di acqua (rapporto 20:1) e quindi inserita. Contemporaneamente verranno inseriti, tramite dei pistoni, i contenitori della carta e dell'alluminio sui rispettivi nastri.
La scatola che conterrà la carta verrà poi spostata grazie al motion esattamente sotto l'apertura della cisterna dove uscirà la carta e l'acqua (la scatola che conterrà l'alluminio non ha bisogno di essere spostata).
Verrà poi attivato il sistema di riscaldamento della cisterna (composto da resistenze elettriche a causa della conformazione particolare della cisterna) ed il sistema di miscelazione.
Una volta che la temperatura supera i 100°C parte il timer di 2 ore, e, una volta trascorso questo tempo, viene fermato l'impianto per la miscelazione ed aperto lo sportello per la fuoriuscita di acqua e carta (sopra lo sportello di apertura è posizionato un filtro che permette il passaggio di sola carta e acqua, bloccando quindi l'alluminio, sul fondo del contenitore dove viene accumulata la carta è presente un filtro che permette il passaggio dell'acqua ma blocca la carta).
Quando il peso nella cisterna risulta uguale al peso dell'alluminio, viene aperto lo sportello per la fuoriuscita dell'alluminio, e, quando viene attivata l'uscita del PLC per la fuoriuscita dell'alluminio viene attivato il motion che controlla il nastro su cui è depositato il contenitore della carta.
Quando il peso della cisterna raggiunge il valore zero viene attivato anche il nastro su cui è depositato il contenitore dell'alluminio.

Fase 4.3 – Pressa Carta-Alluminio

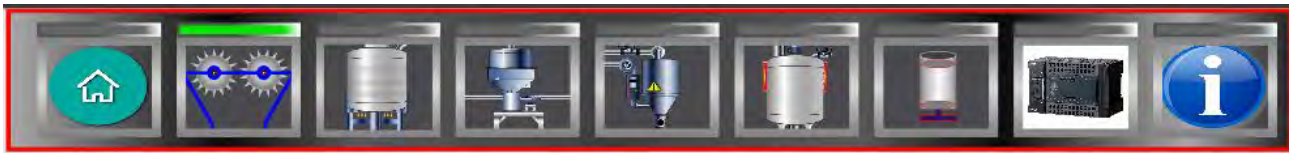
I nastri trasportano poi le scatole contenenti carta e alluminio sotto le rispettive presse, le quali si attiveranno quando il motion control indicherà che la posizione target è stata raggiunta.
Quando la pressa sarà terminata verranno reimpostati i target dei sistemi motion, e le scatole contenenti carta e alluminio verranno portate all'uscita dell'impianto.

Pannello e pagine HMI

Per rappresentare graficamente questo progetto abbiamo deciso di adoperare il pannello NA5 15W101 da 15 pollici poiché facilmente reperibile sul mercato e abbastanza grande da rappresentare tutte le fasi del progetto

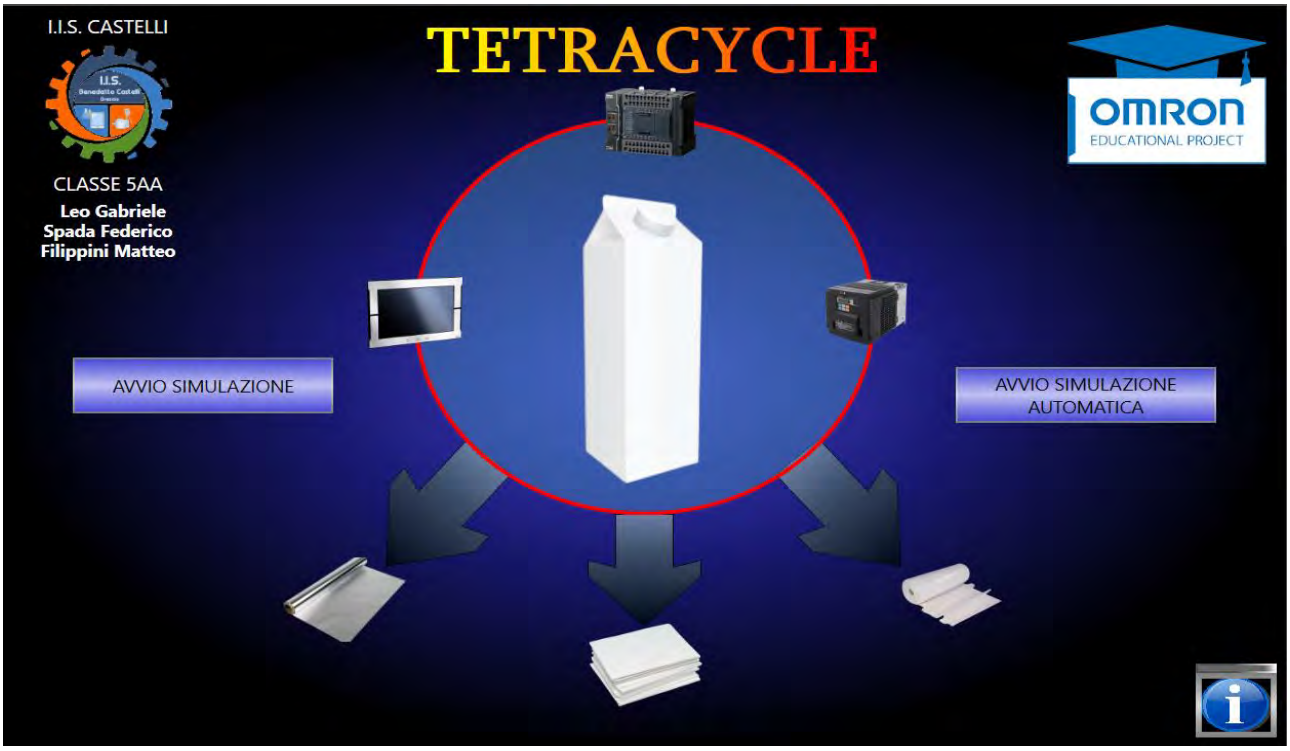
Navigazione nelle pagine

Per navigare in modo agevole all'interno del programma abbia predisposto dei pulsanti rapidi all'interno di ogni pagina principale nell'angolo in alto a destra, di seguito la spiegazione dei vari tasti.

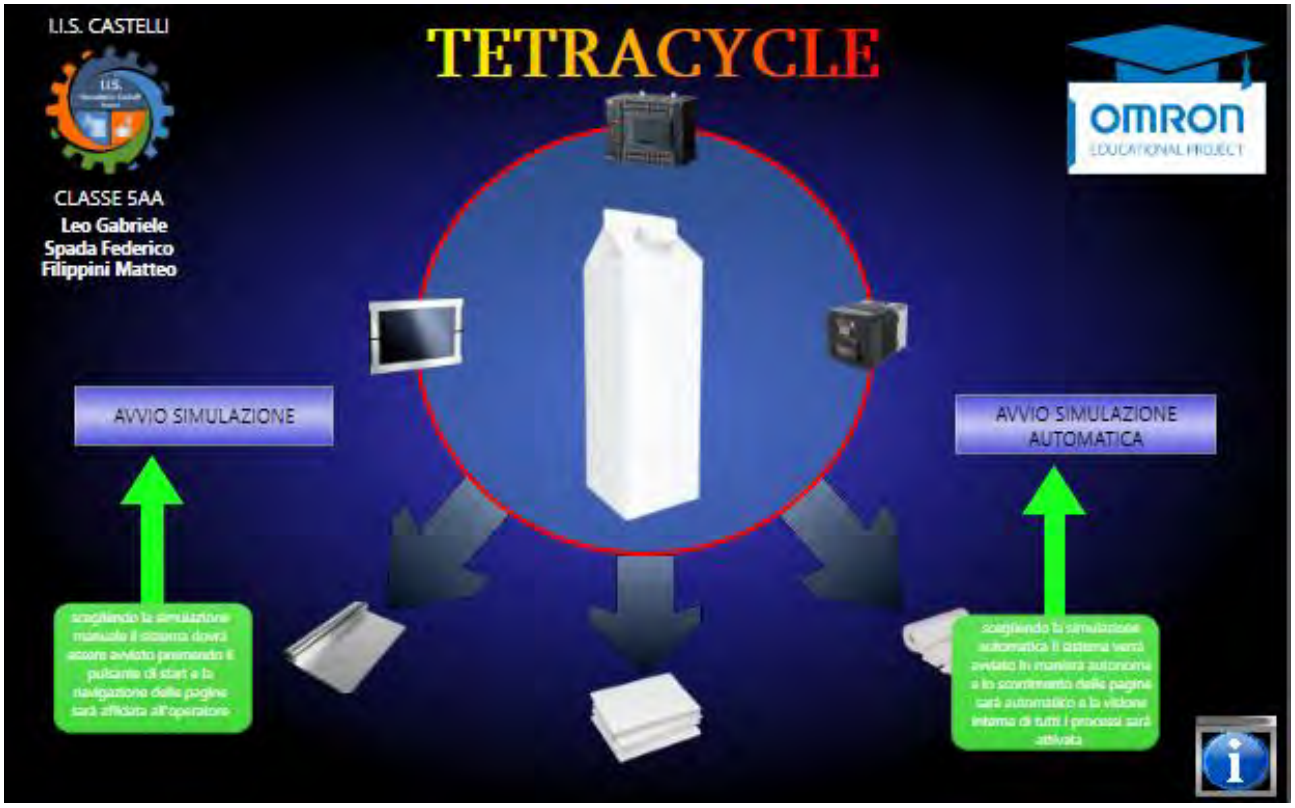


A partire da sinistra andando verso destra si può notare: la pagina di home (start del sistema), pagina del trituratore, pagina del trattamento al cloroformio, pagina dell'estrattore, pagina della distillazione, pagina del trattamento carta-alluminio, pagina della pressa carta-alluminio, pagina della raffigurazione del PLC NX1P2 con i relativi nodi e pulsante per visualizzare le informazioni e lo stato del sistema (informazioni visualizzabili in tutte le pagine ad esclusione di quella raffigurante il PLC).

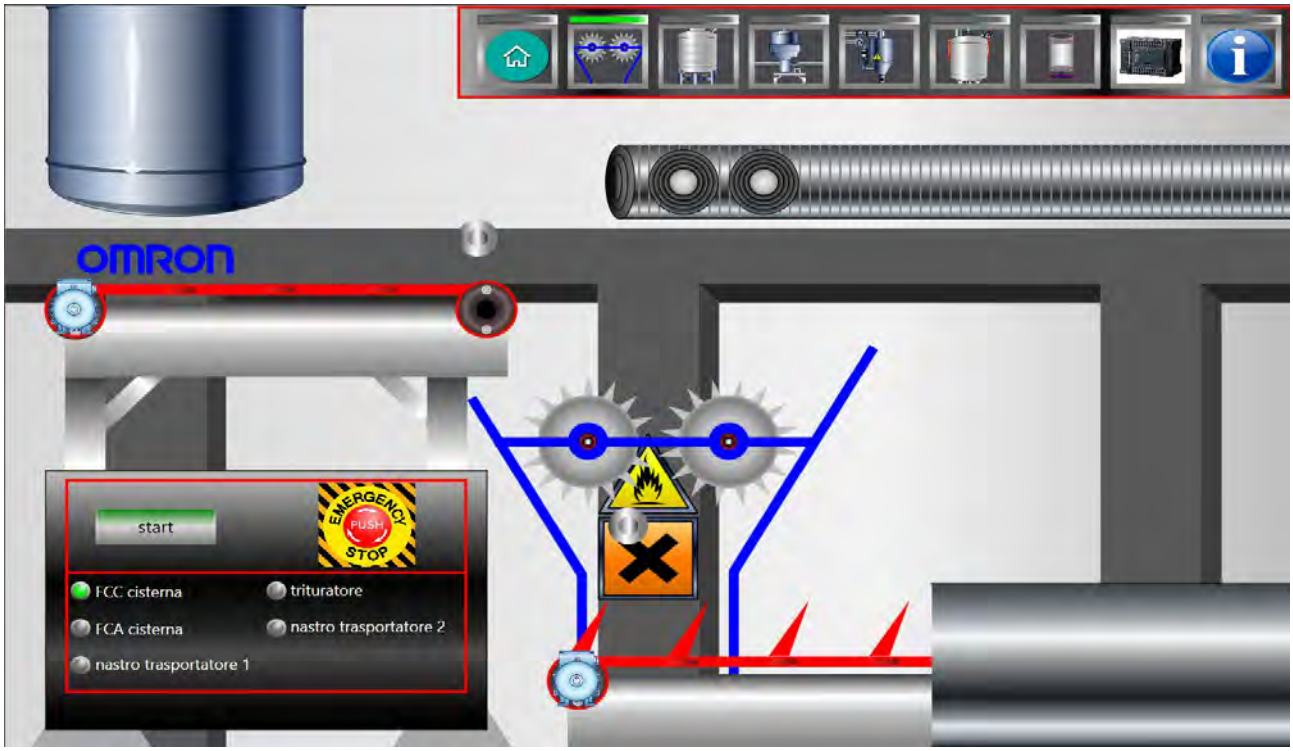
Pagina HOME



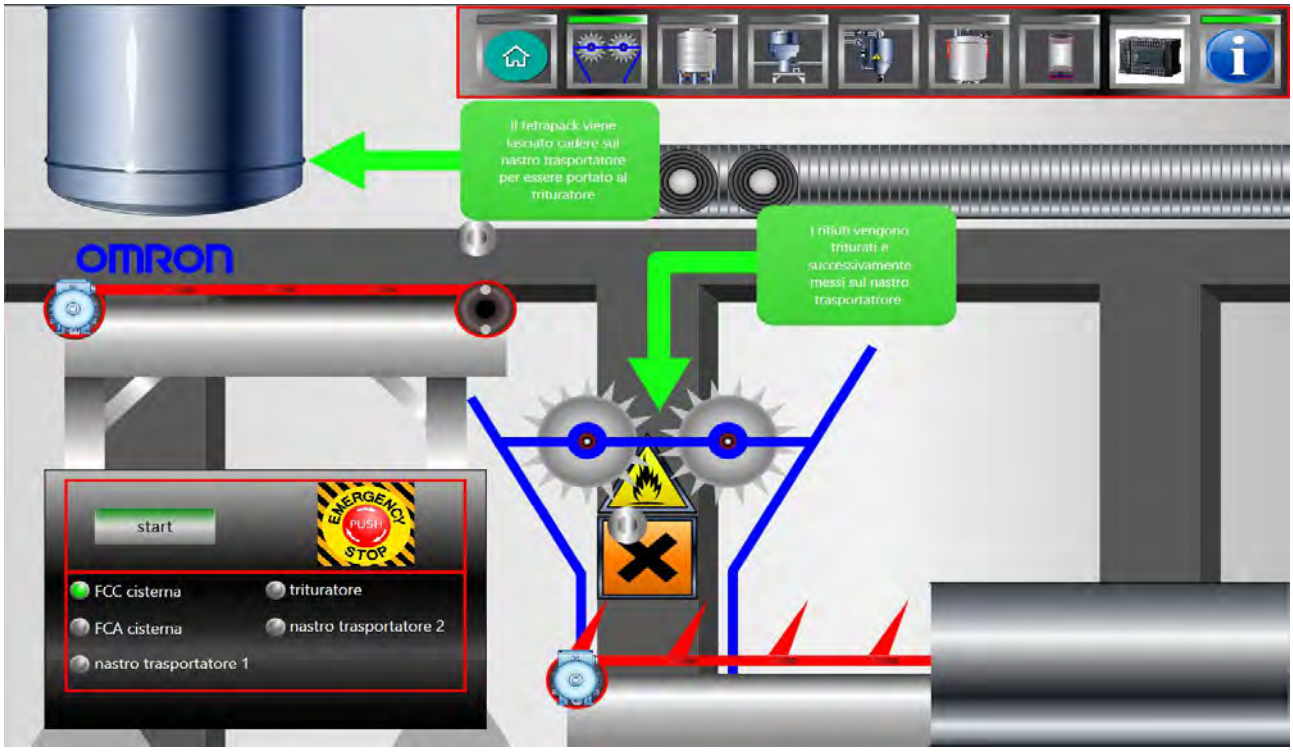
La pagina HOME rappresenta la pagina che l'operatore si troverà una volta avviato il sistema, questa permette di scegliere due tipi di simulazione, una simulazione base (cambio pagine manuale) ed una simulazione automatica (cambio pagina automatico).
Una volta effettuata la scelta il sistema passerà alla pagina del trituratore.
Di seguito la raffigurazione della pagina HMI con attivo il pulsante informazioni.



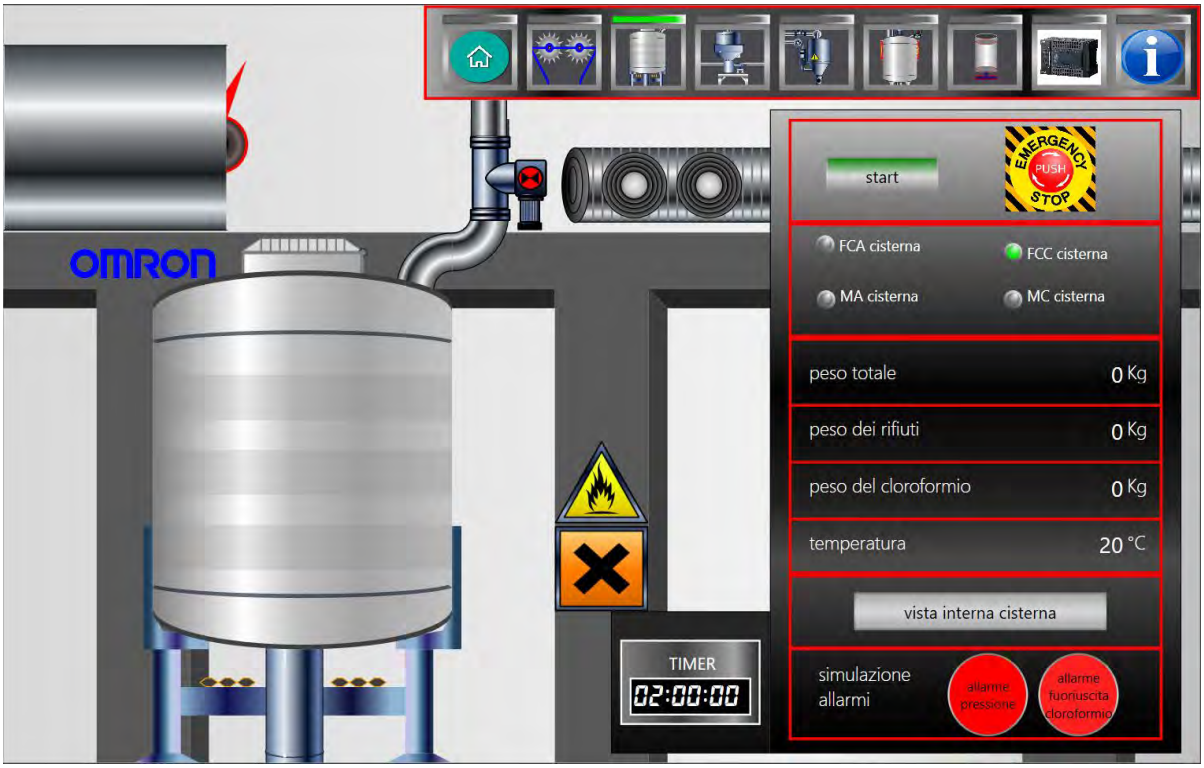
Pagina trituratore



All'interno della pagina del trituratore vi è raffigurata la cisterna contenente il tetrapak che possiede una botola interna in modo da riporre il materiale sul primo nastro trasportatore che successivamente porta il tetrapak all'interno del trituratore che, dopo aver triturato il materiale, tramite caduta, lo deposita sul secondo nastro trasportatore che successivamente porta alla cisterna del trattamento al cloroformio (con la relativa pagina HMI).
Di seguito la raffigurazione della pagina HMI con attivo il pulsante informazioni.

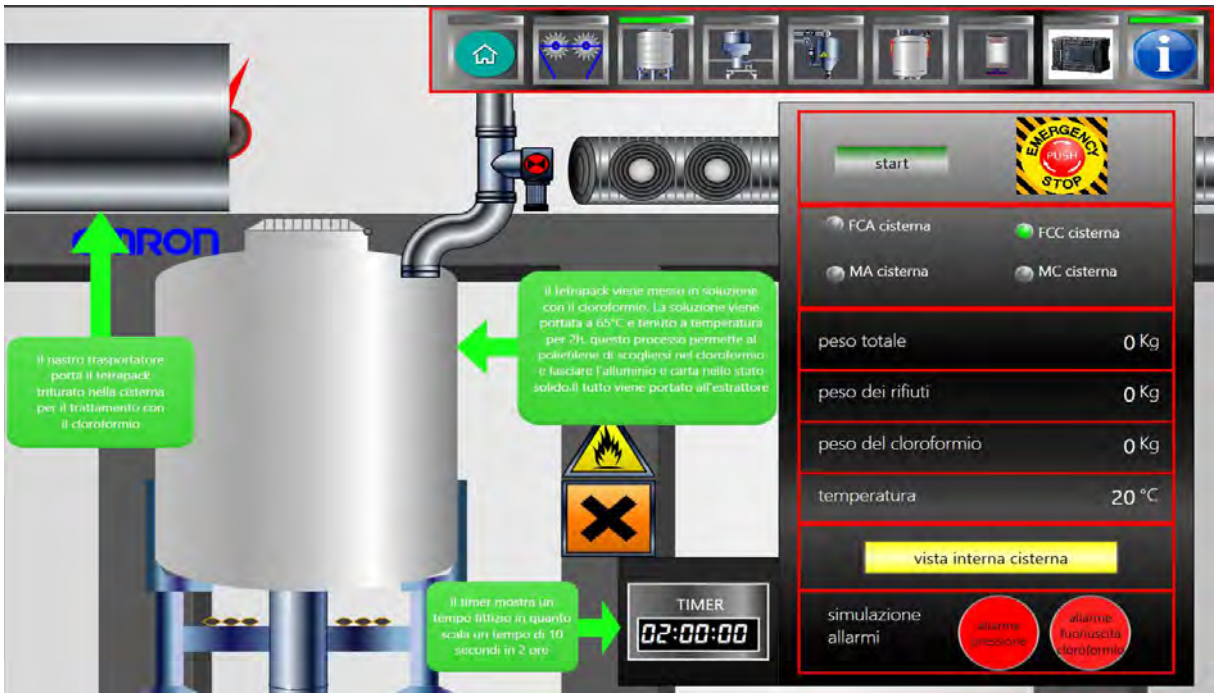


Pagina trattamento al cloroformio

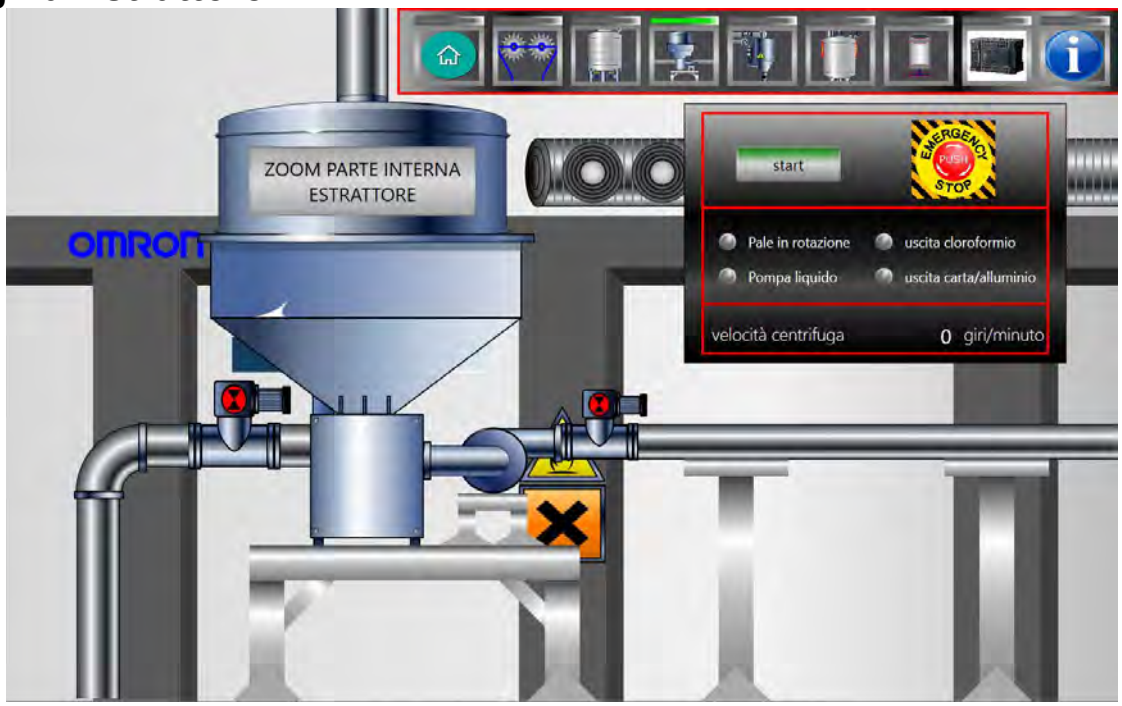


All'interno di questa pagina HMI è raffigurata la cisterna che deve contenere il tetrapak ed il cloroformio necessario per la parziale dissoluzione del materiale nel quale dovrà rimanere 2 ore, il cloroformio verrà quantificato in base al peso del materiale all'interno della cisterna grazie ad un apposito sensore di peso.
Dopo aver completato il ciclo il tetrapak miscelato con il cloroformio viene spostato nell'estrattore (avviene il relativo passaggio pagina).

Di seguito la pagina riguardante il trattamento al cloroformio con il pulsante informazioni premuto.

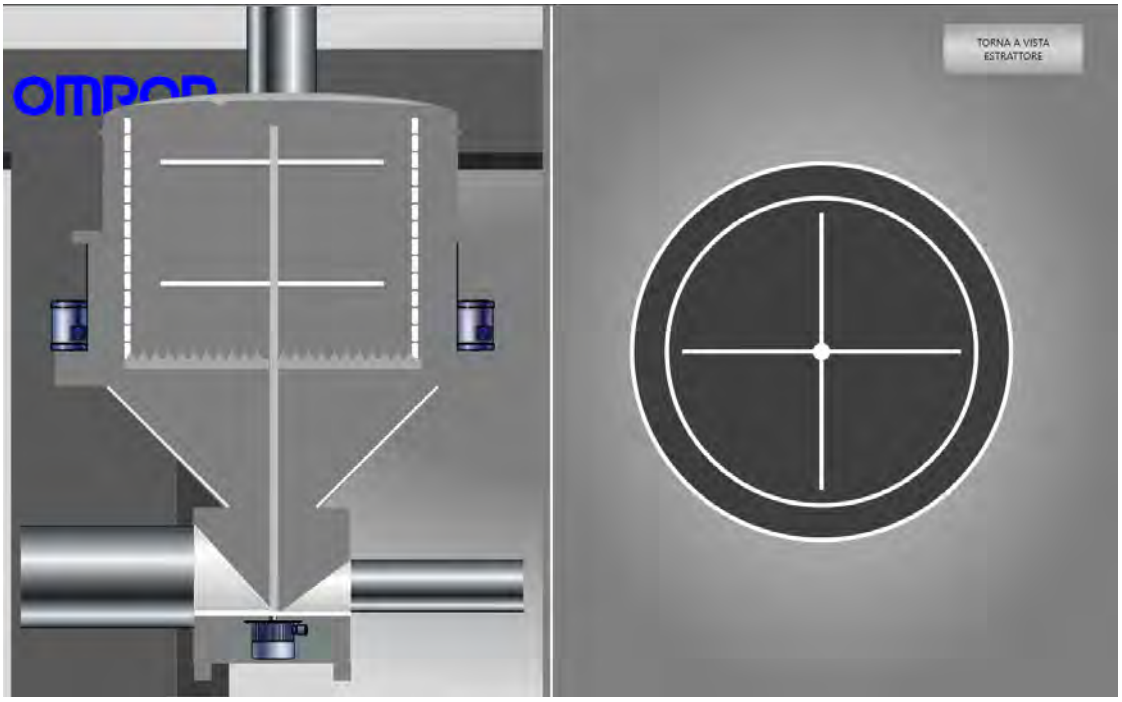


Pagina Estrattore

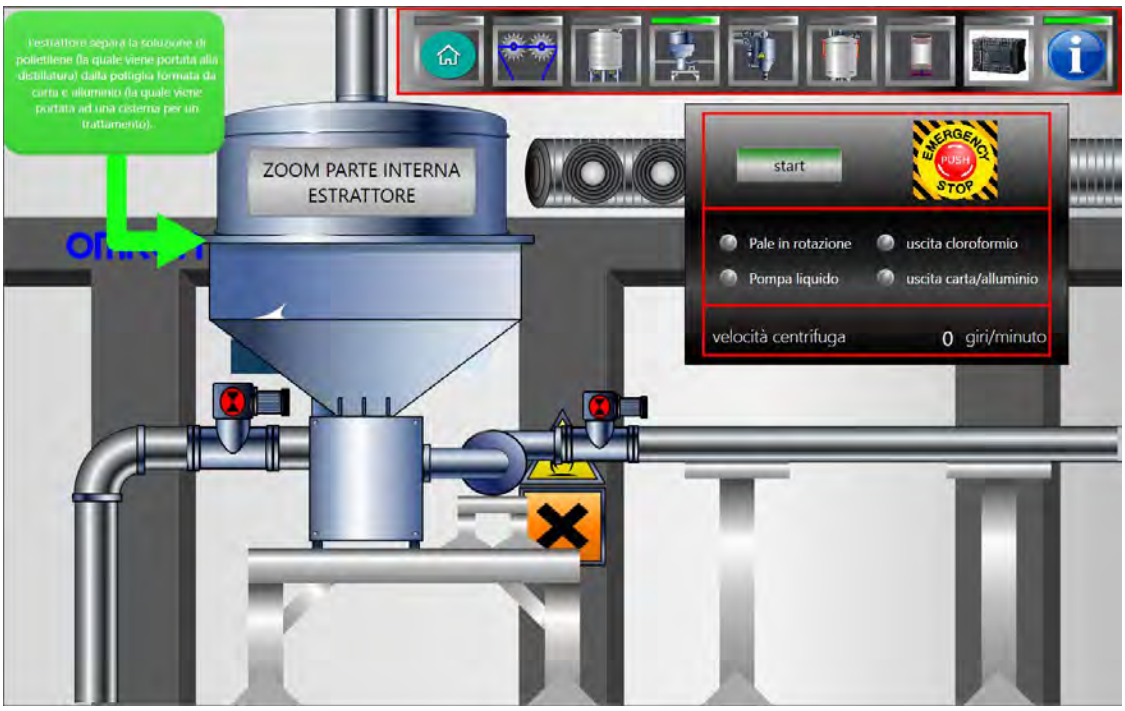


All'interno della pagina dell'estrattore si nota il contenitore nell'estrattore e due tubature, una che trasporterà la parte solida, mentre l'altra la parte liquida, entrambe dotate di elettrovalvola; sarà inoltre possibile visualizzare la vista interna dell'estrattore da più angolazioni, premendo il pulsante "zoom parte interna estrattore".

Viene riportata la pagina visualizzata mediante la pressione del pulsante "zoom parte interna estrattore".

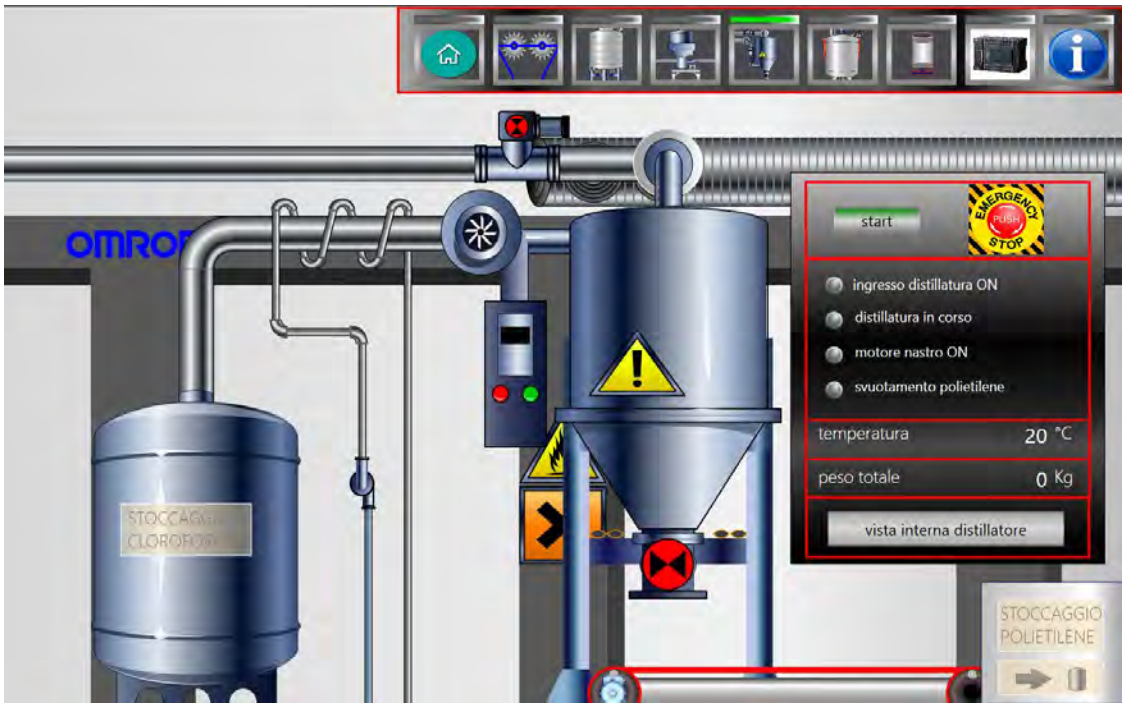


Di seguito viene rappresentata la pagina con la visualizzazione di alcune indicazioni quando è stato premuto il tasto informazioni.

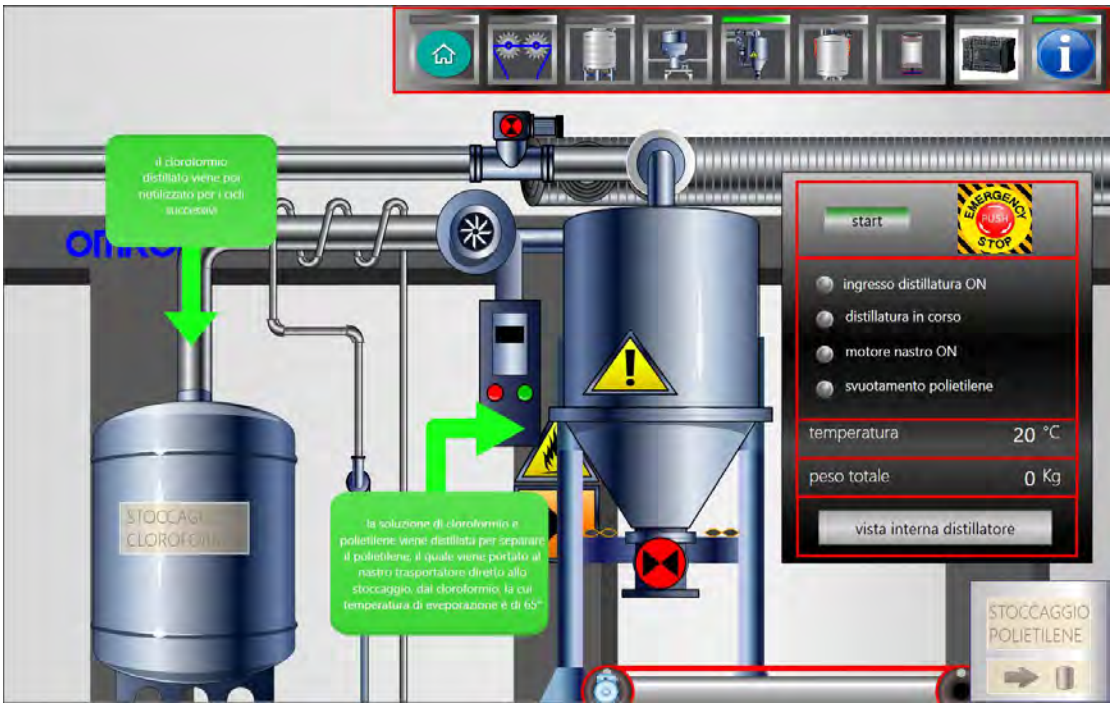


La parte liquida andrà poi nella cisterna di distillazione (raffigurata con la relativa pagina).

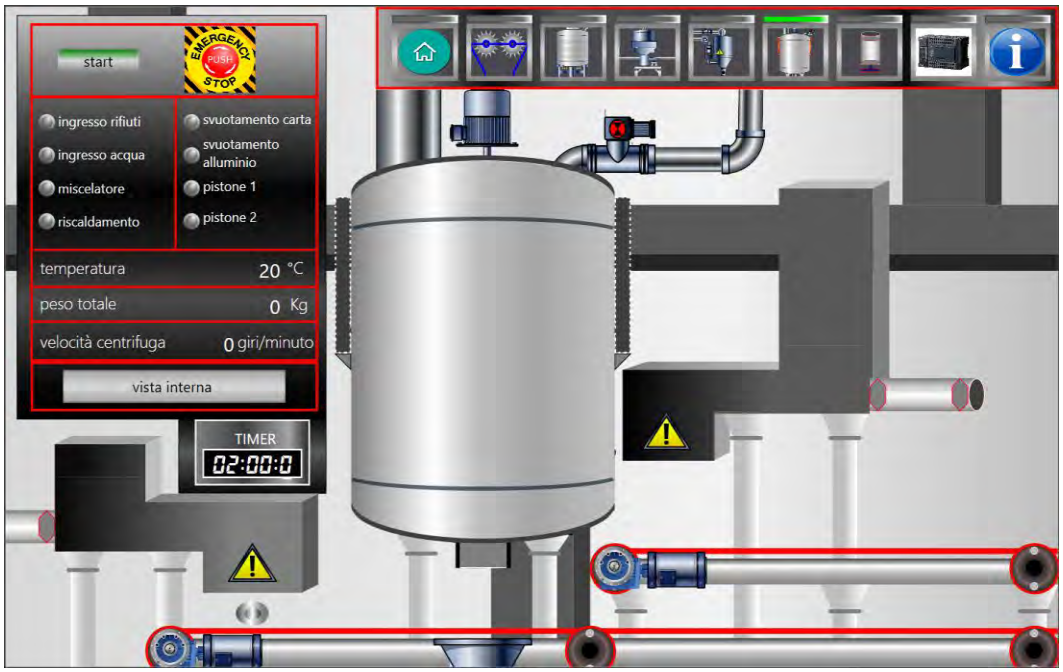
Pagina distillazione



Nella pagina distillazione è possibile visualizzare tutto il processo di distillazione, è presente infatti la cisterna addetta a tale azione e un ulteriore cisterna per lo stoccaggio del cloroformio.
All'interno della pagina HMI vengono inoltre visualizzate informazioni utili quali il peso e la temperatura riguardanti la cisterna addetta alla distillazione.
Sotto tali informazioni è presente inoltre un pulsante che consente di visualizzare la vista interna della cisterna della distillazione, di seguito la stessa pagina con il pulsante informazioni attivato.

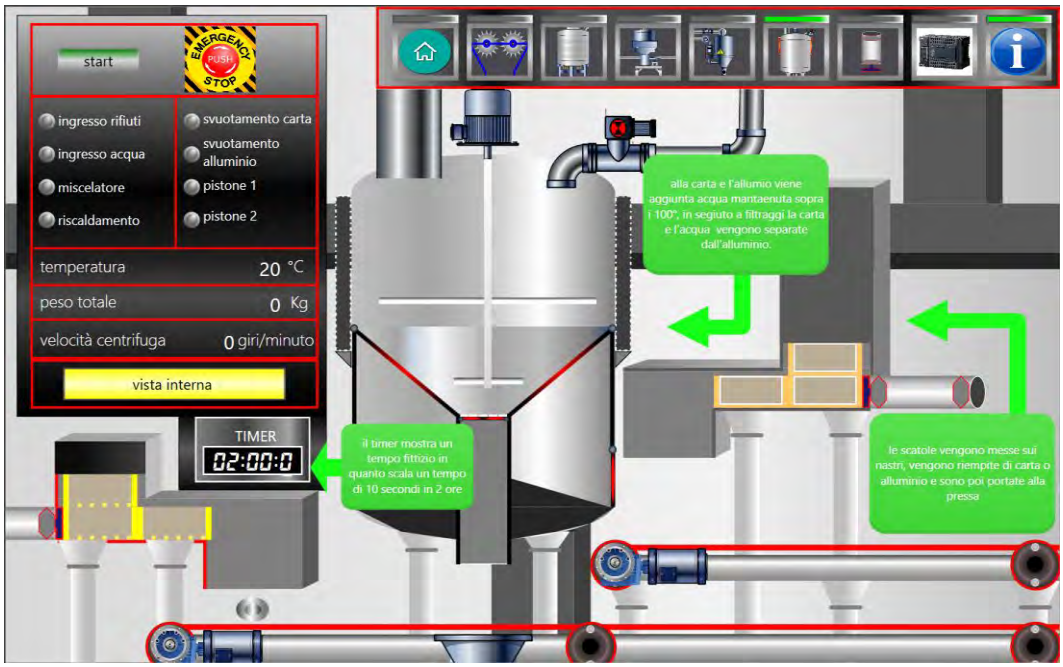


Pagina trattamento con acqua

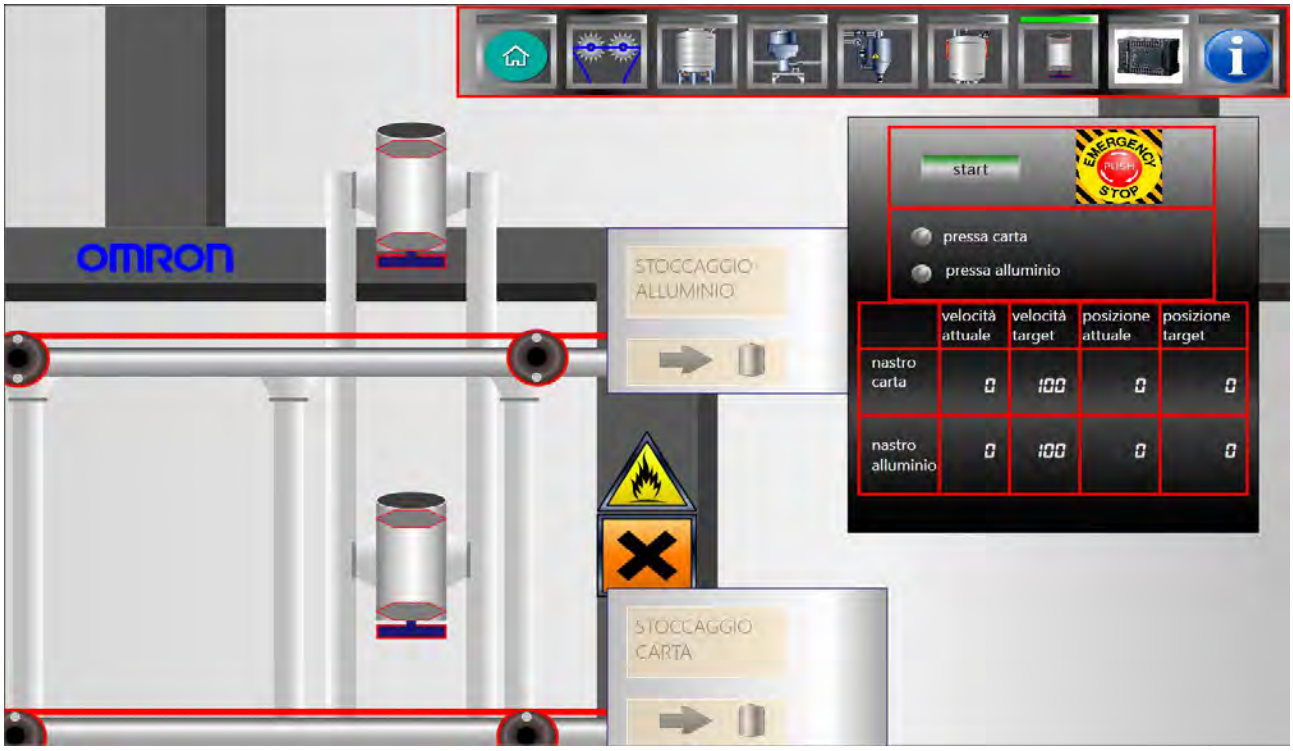


In questa pagina è possibile visualizzare tutto il trattamento con l'acqua, che, come spiegato precedentemente permette di separare la carta dall'alluminio tramite l'immissione di acqua nella cisterna e grazie al riscaldamento e al sistema di miscelazione.
Successivamente l'acqua e la carta verranno riposti su un nastro trasportatore e l'alluminio su un secondo nastro.

All'interno della pagina è possibile inoltre visualizzare una vista interna della cisterna in modo da comprendere meglio l'andamento del sistema grazie anche al pulsante informazioni come raffigurato di seguito.

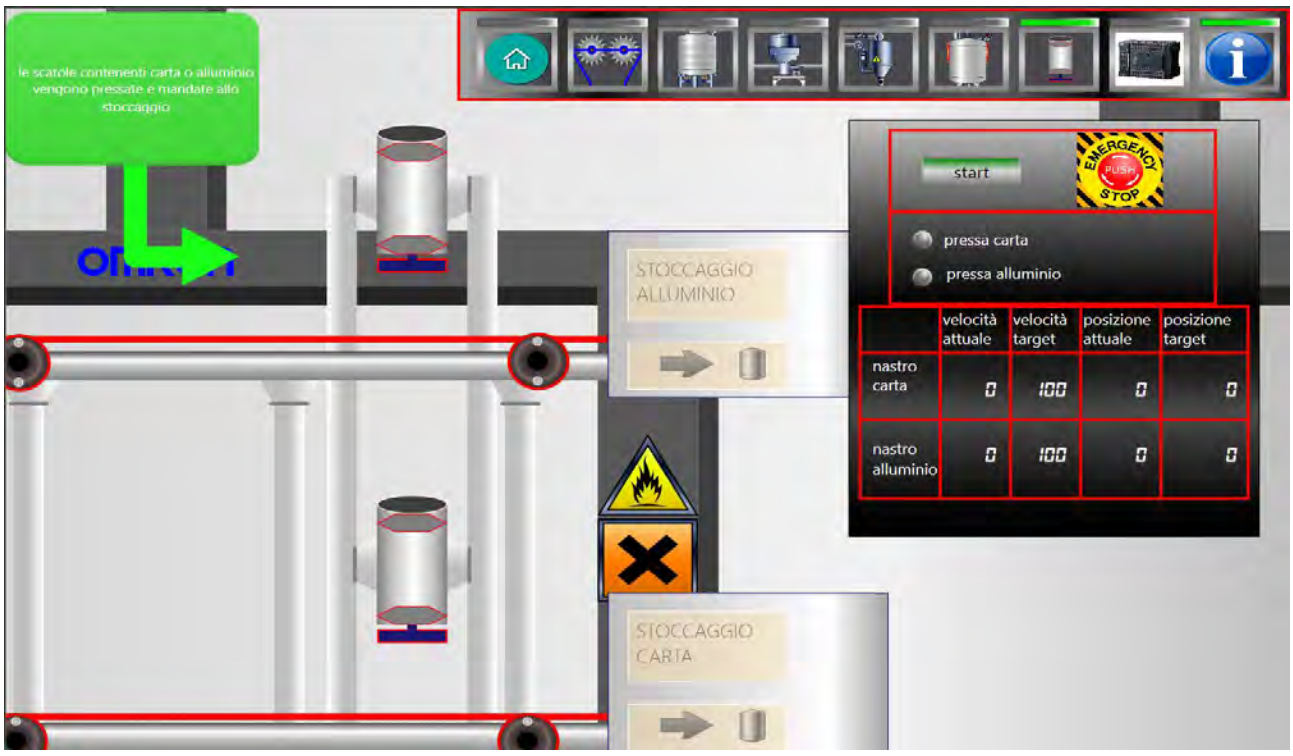


Pagina pressa Carta-Alluminio



In questa pagina è possibile infine visualizzare l'ultimo step del sistema, infatti i nastri trasportatori porteranno le scatole contenenti la carta e l'alluminio sotto le rispettive presse grazie al sistema di motion control, una volta finita la pressa le scatole con i materiali verranno portate all'uscita del sistema.

Di seguito la pagina visualizzata con il pulsante informazioni premuto.



Pagina PLC

In questa pagina è possibile visualizzare il controllore con la visualizzazione degli ingressi e delle uscite attive mediante l'accensione di spie luminose, è possibile inoltre visualizzare i 4 nodi presenti nel sistema con le relative informazioni principali (come raffigurato qui di seguito a partire dal nodo 1 fino al nodo 4).

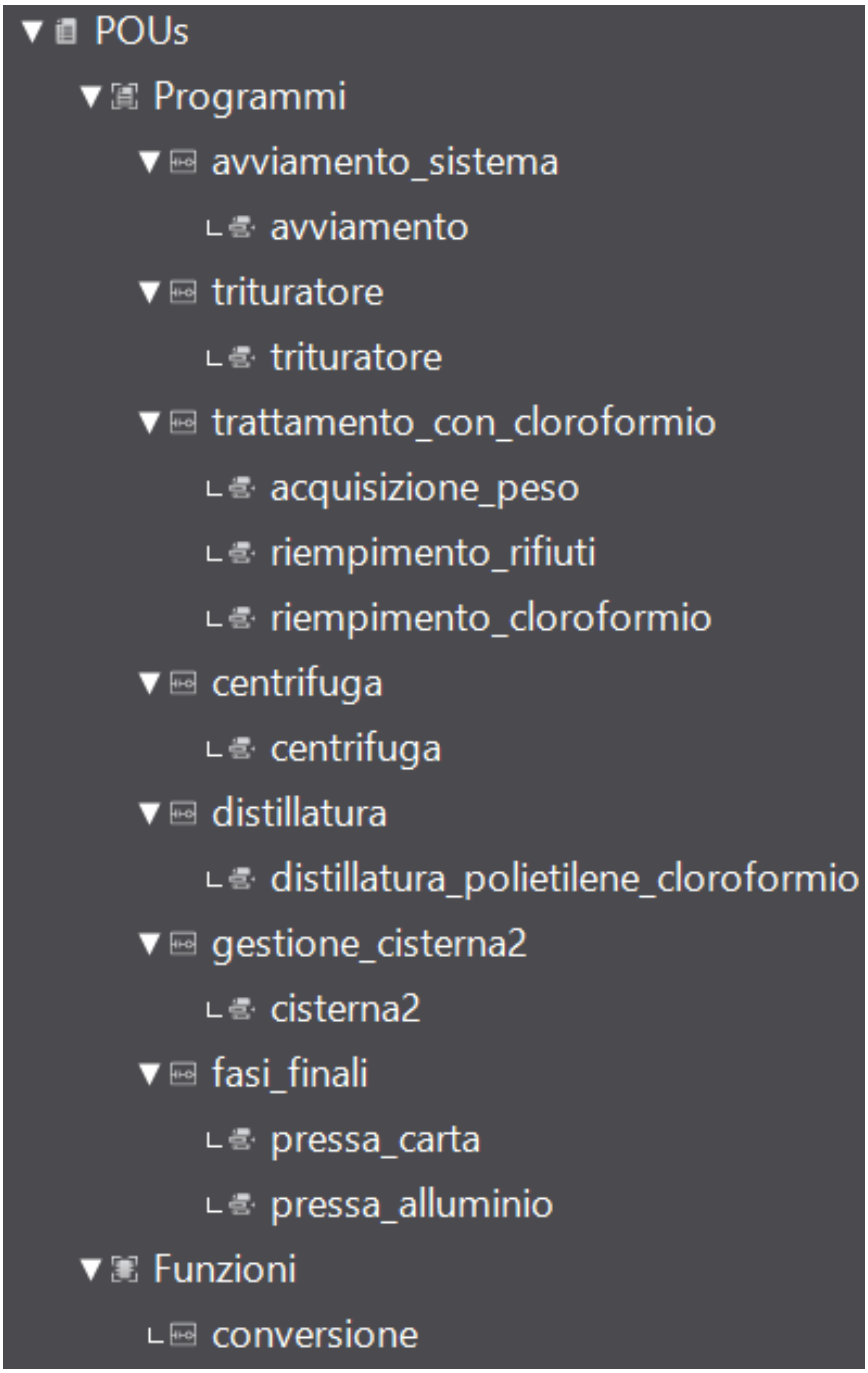
-r88d-1sn75f-ect
-nastro trasportatore carta
PLC

-MX2
-inverter per il controllo del motore che fa ruotare le pale nel trattamento di carta e alluminio
PLC

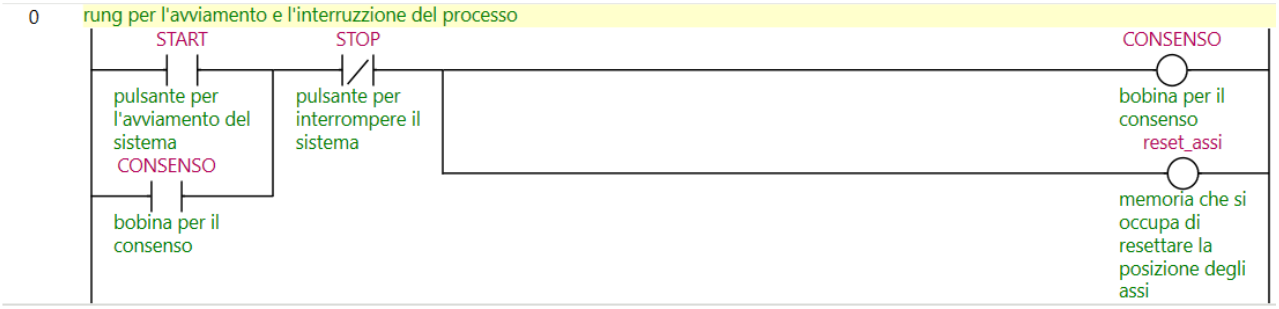
Sul display degli inverter presenti nei nodi 1 e 2 viene visualizzata la frequenza attuale.

Programmi

Per una maggiore chiarezza e funzionalità abbiamo creato tanti programmi quante sono le fasi presenti nel sistema e abbiamo aggiunto una fase iniziale per l'avviamento del sistema. Di seguito il dettaglio di ogni programma.



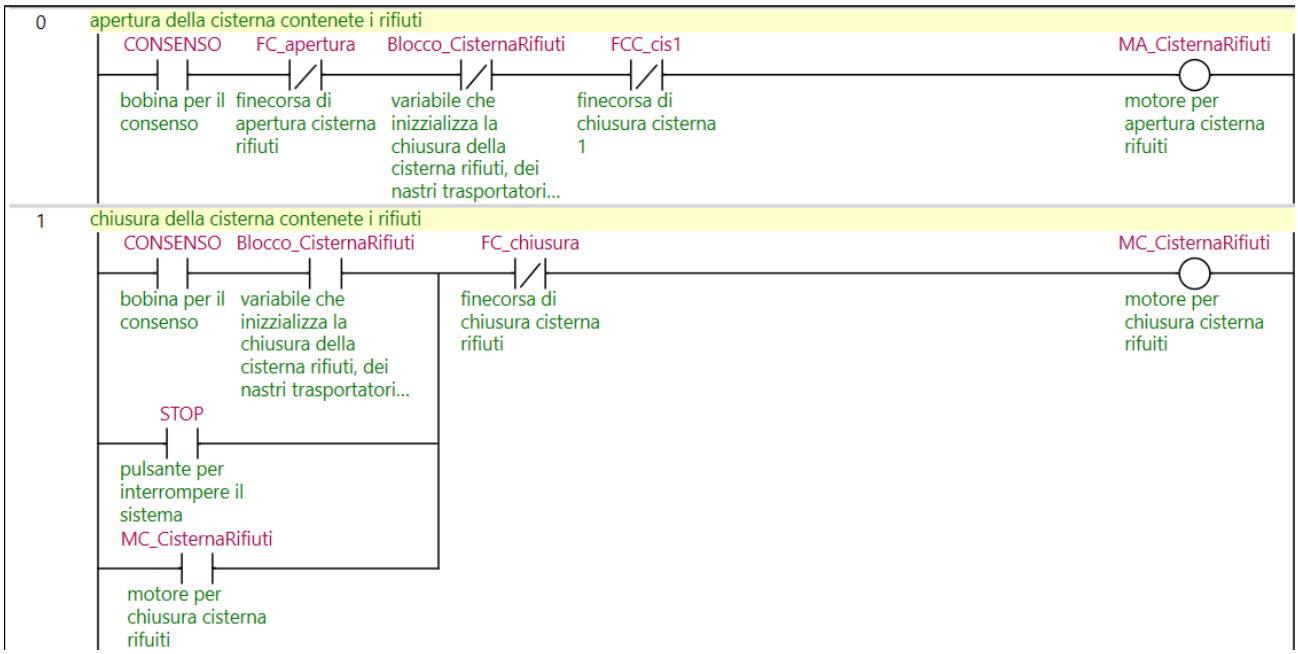
Programma di avviamento del sistema



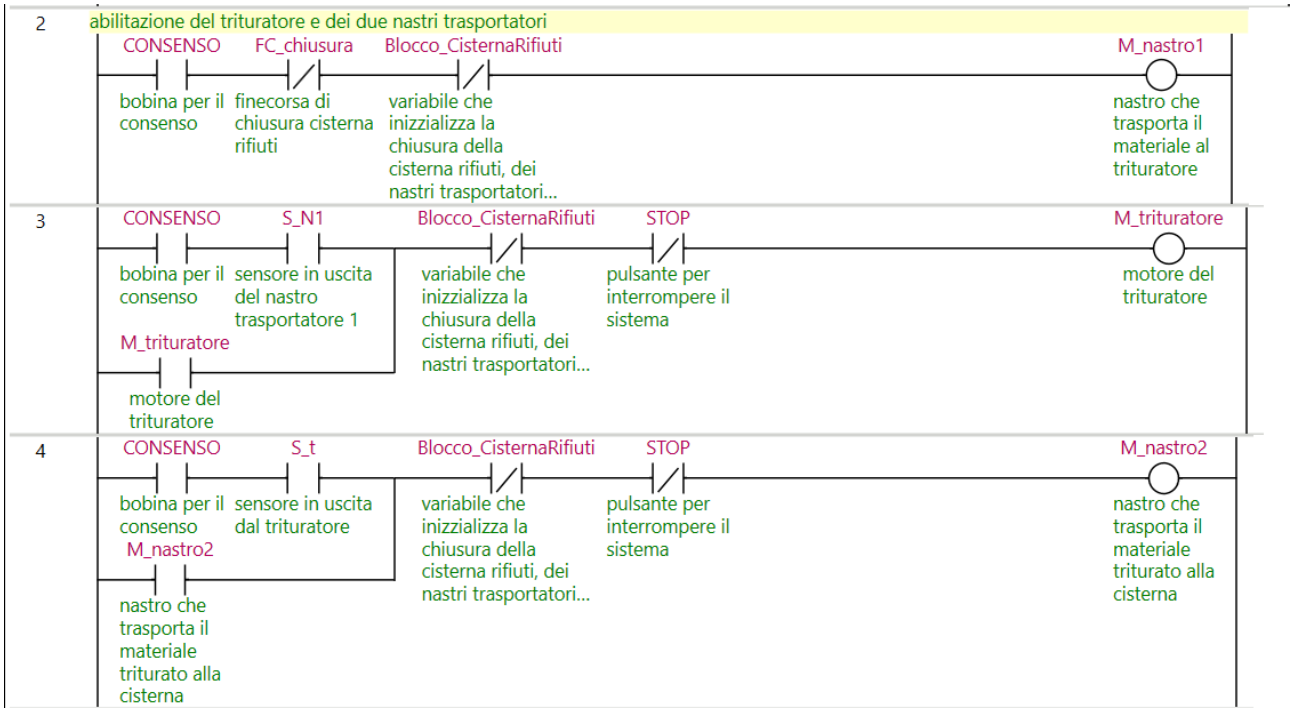
Il programma di avvivamento serve semplicemente per consentire al sistema di iniziare a lavorare una volta premuto il pulsante di start.

Programma Trituratore

La prima parte del programma del trituratore serve per aprire la botola appartenente alla cisterna dei “rifiuti grezzi” in modo da riporli sul primo nastro trasportatore.

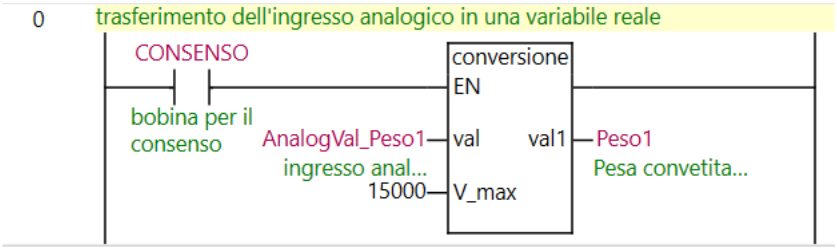


Mentre, la seconda parte, serve per abilitare il trituratore e successivamente il secondo nastro trasportatore che porterà i rifiuti triturati alla cisterna per il trattamento al cloroformio.

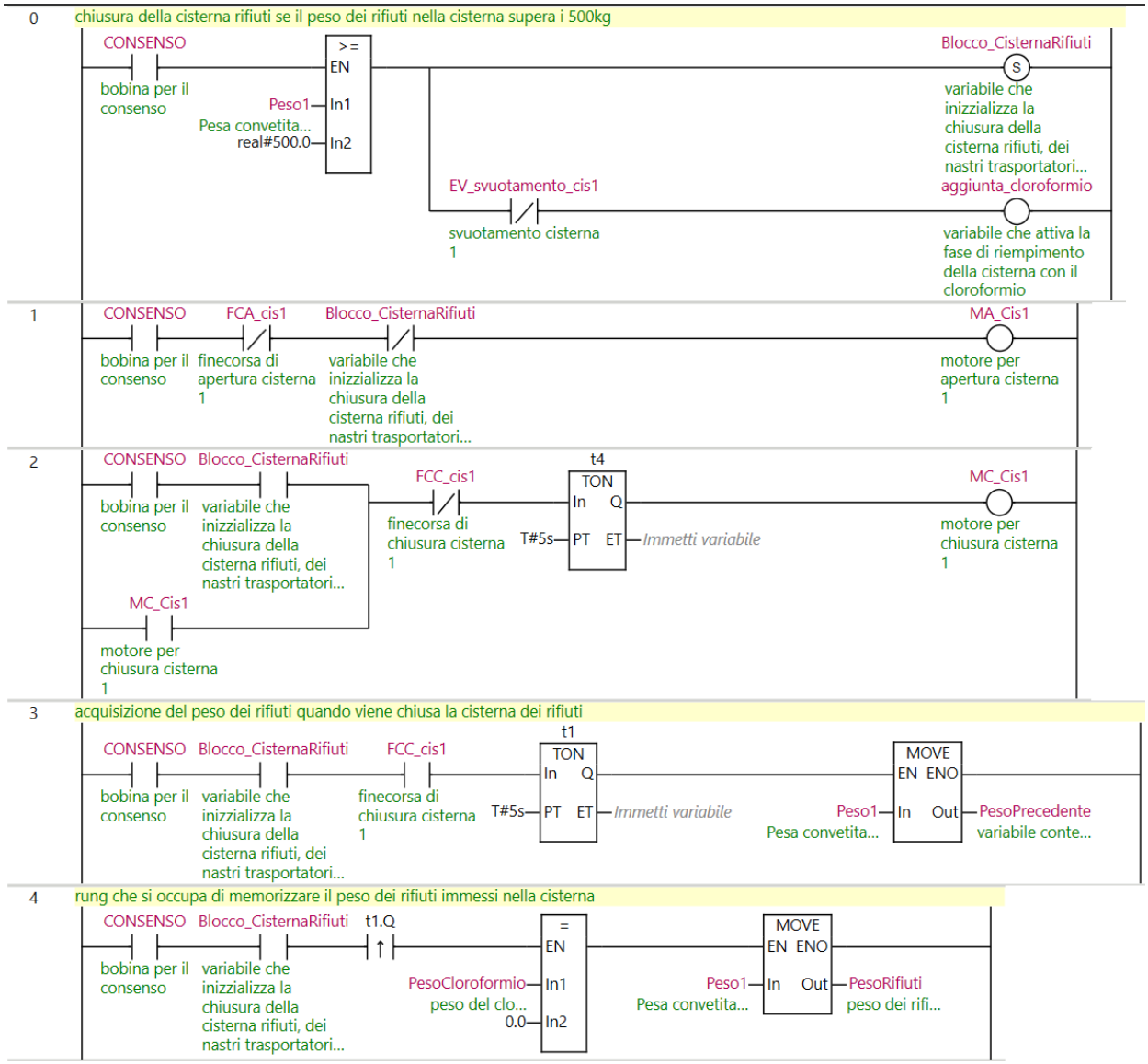


Programma trattamento al cloroformio

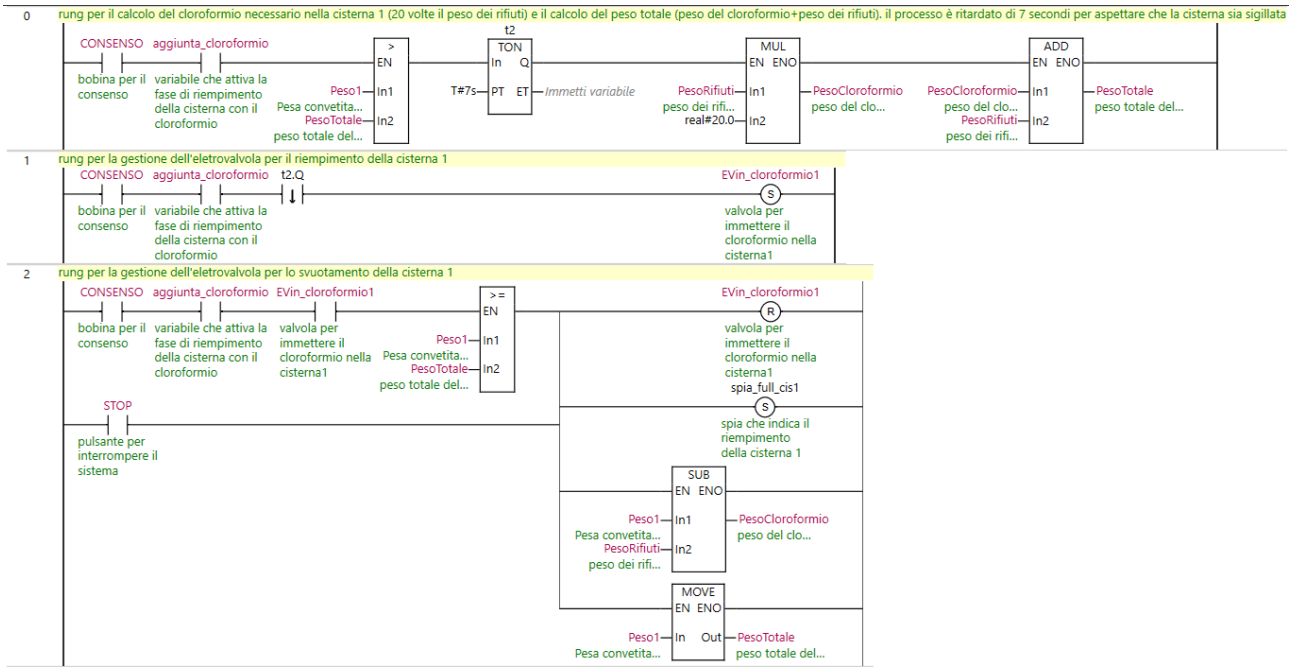
La prima parte del programma del trattamento al cloroformio riguarda l'acquisizione di peso della cisterna in cui i rifiuti cadranno.
Questo dato è necessario in primo luogo per non sovraccaricare la cisterna ed in secondo luogo per un corretto calcolo del cloroformio da inserire all'interno della cisterna.
Il tutto avviene grazie alla funzione conversione.



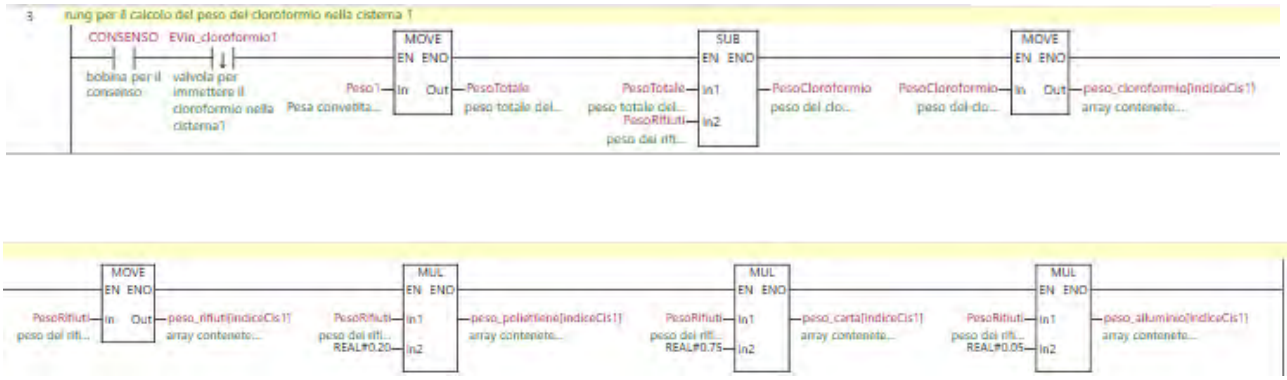
La seconda parte riguarda invece il riempimento dei rifiuti, nel programma infatti è gestita la chiusura della cisterna iniziale se il perso della cisterna supera i 500Kg e la successiva acquisizione e memorizzazione del peso della cisterna per il trattamento al cloroformio quando la botola della cisterna iniziale viene chiusa.



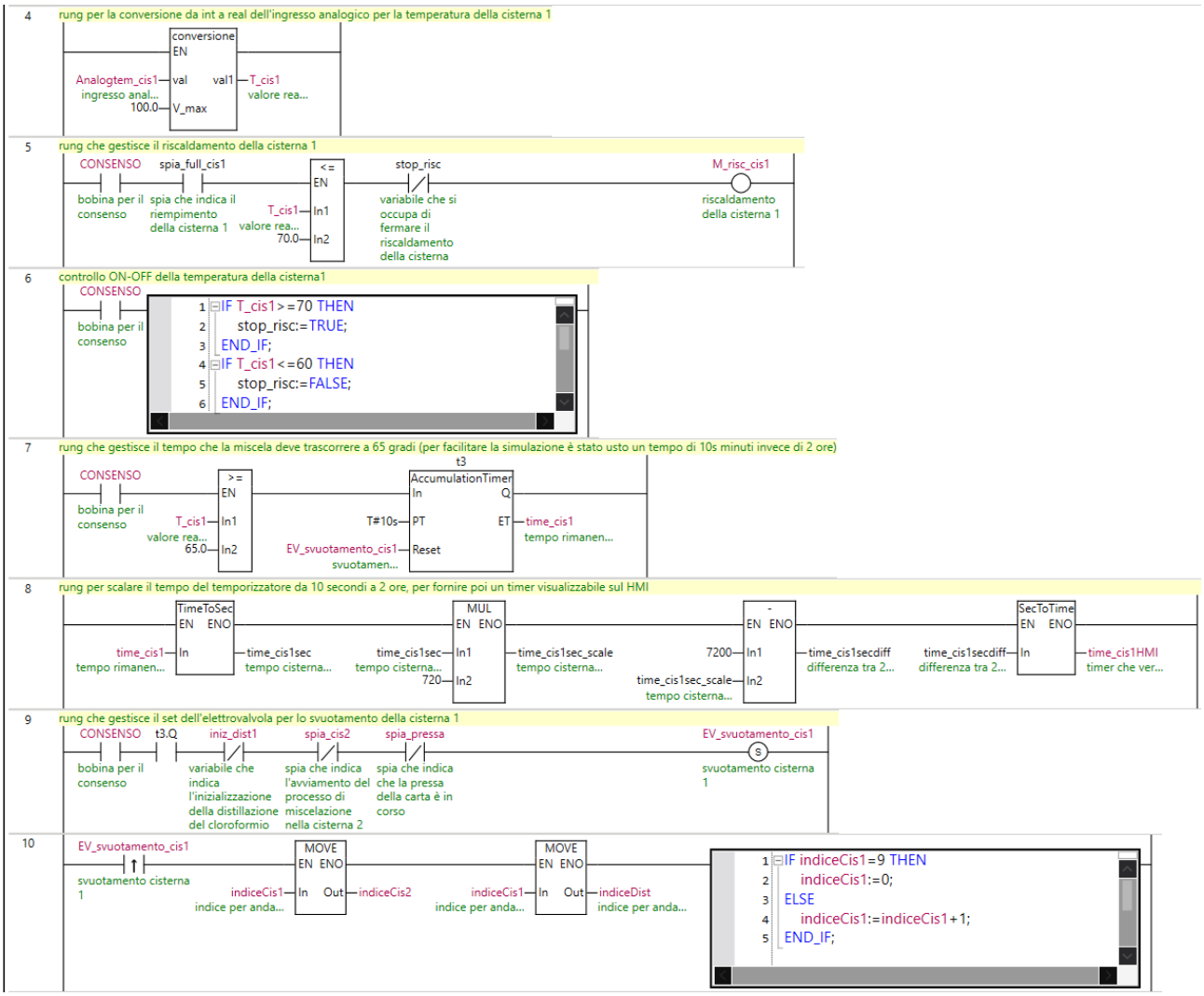
La terza e ultima parte si occupa invece del riempimento del cloroformio per procedere al trattamento, in primo luogo calcolando la quantità necessaria di cloroformio tramite semplici operazioni matematiche e, successivamente, grazie all'immissione nella cisterna di tale sostanza ed infine con l'apertura dell'elettrovalvola di svuotamento.



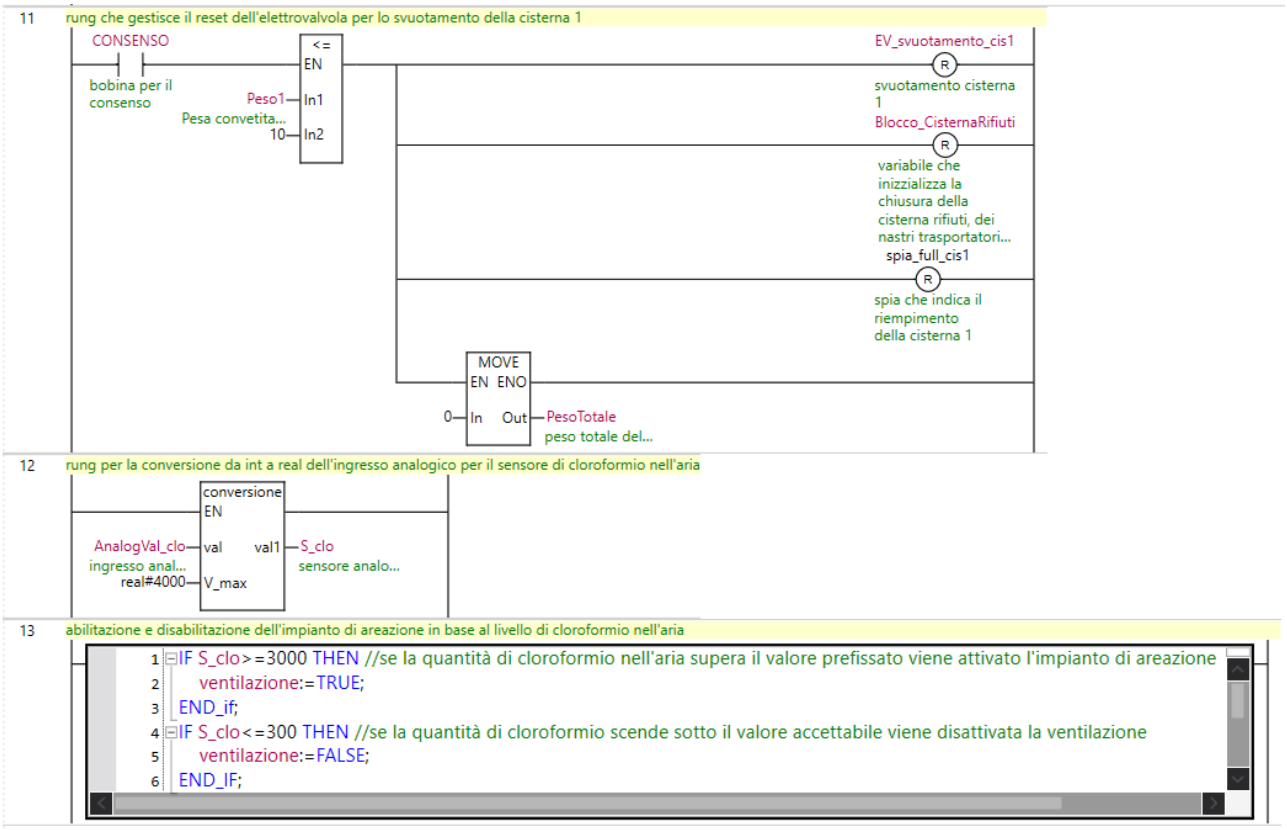
Successivamente, sempre in questa parte, viene calcolato il peso del cloroformio necessario al trattamento.



Viene inoltre gestito il riscaldamento della sostanza alla temperatura richiesta ed il successivo svuotamento della cisterna grazie ad una elettrovalvola apposita.

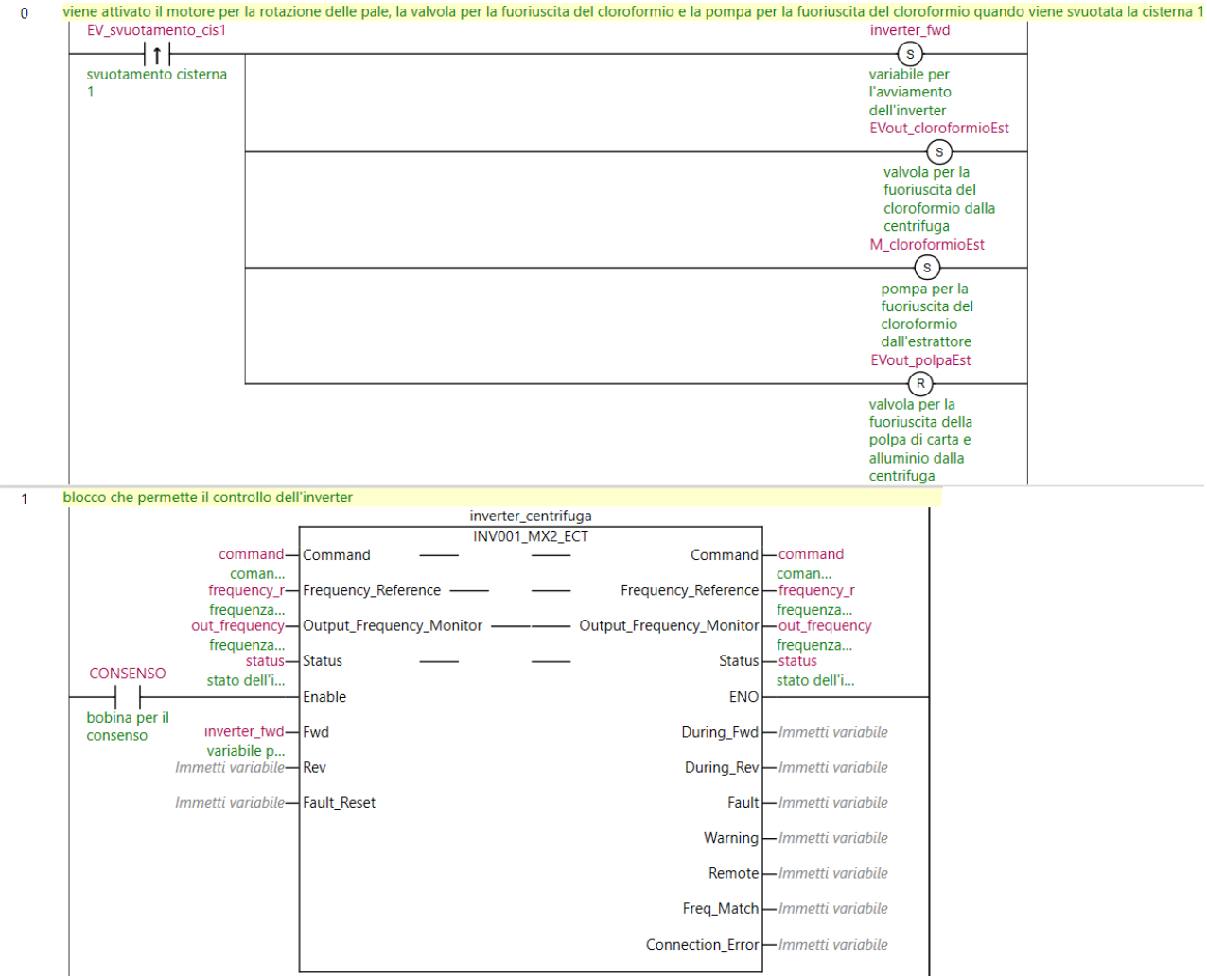


Nei seguenti rung di programma invece abbiamo gestito il reset dell'elettrovalvola che consente lo svuotamento della cisterna, inoltre, per permettere agli operatori presenti di lavorare in un ambiente quanto più possibile purificato abbiamo inoltre previsto un sistema di areazione che si attiva quando i livelli di cloroformio nell'area supera il livello prefissato.

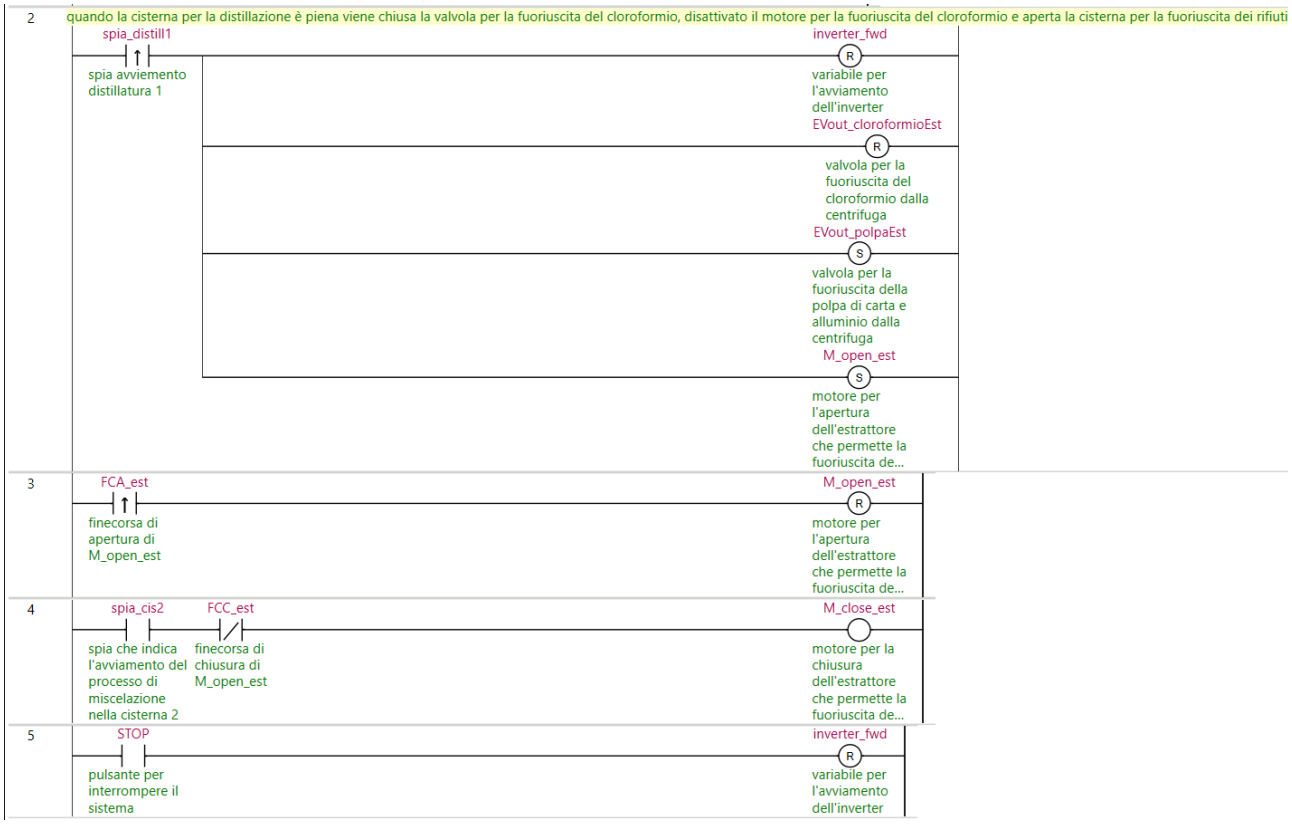


Programma Centrifuga/Estrattore

Una volta finito il trattamento al cloroformio i materiali risultanti vengono inseriti in una ulteriore cisterna nella quale, tramite apposite pale azionate da un inverter verrà separata la parte solida da quella liquida.

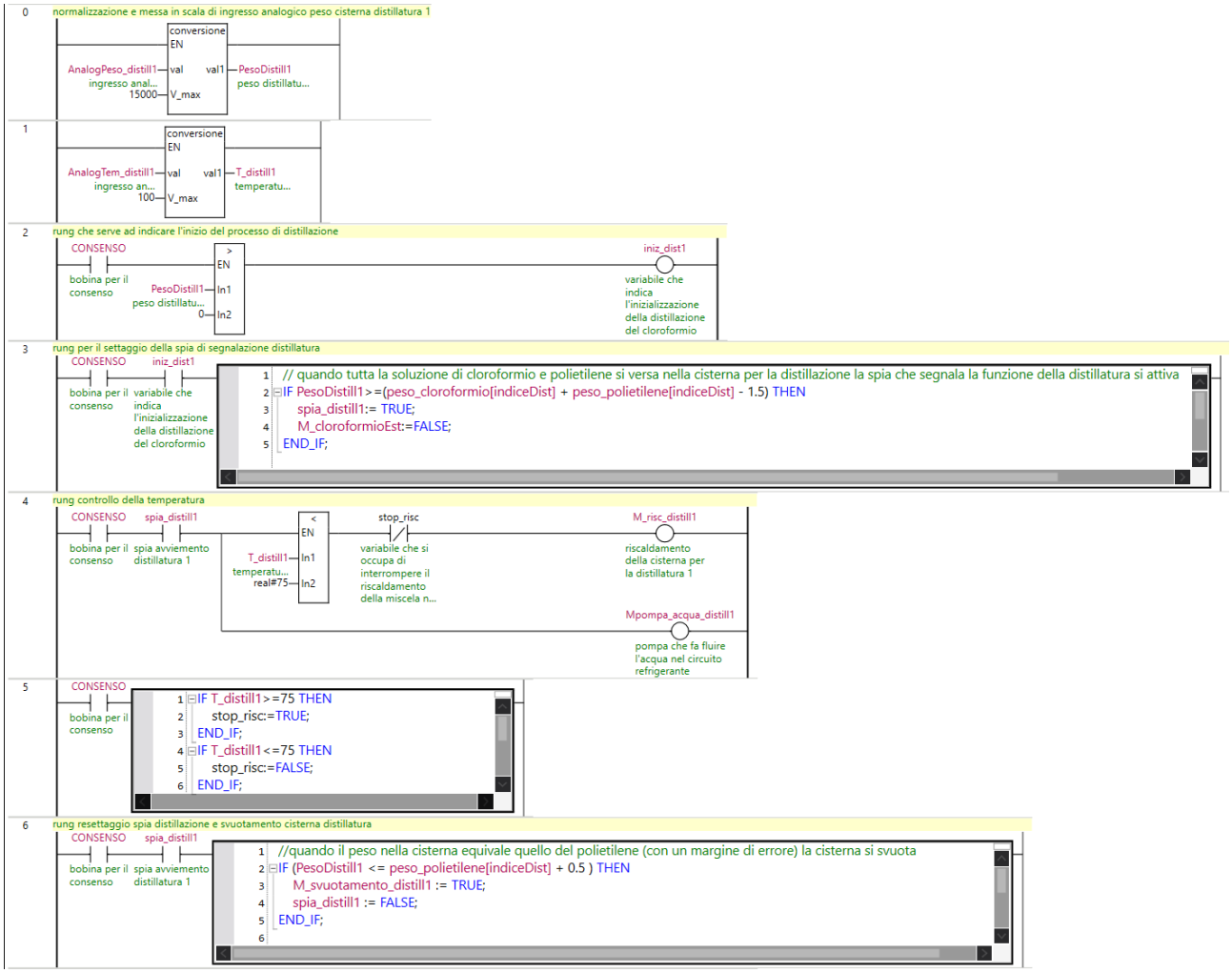


Una volta che la cisterna per la distillazione è piena vengono chiuse le valvole, spenta la pompa per il cloroformio e aperta la cisterna di fuoriuscita dei rifiuti.

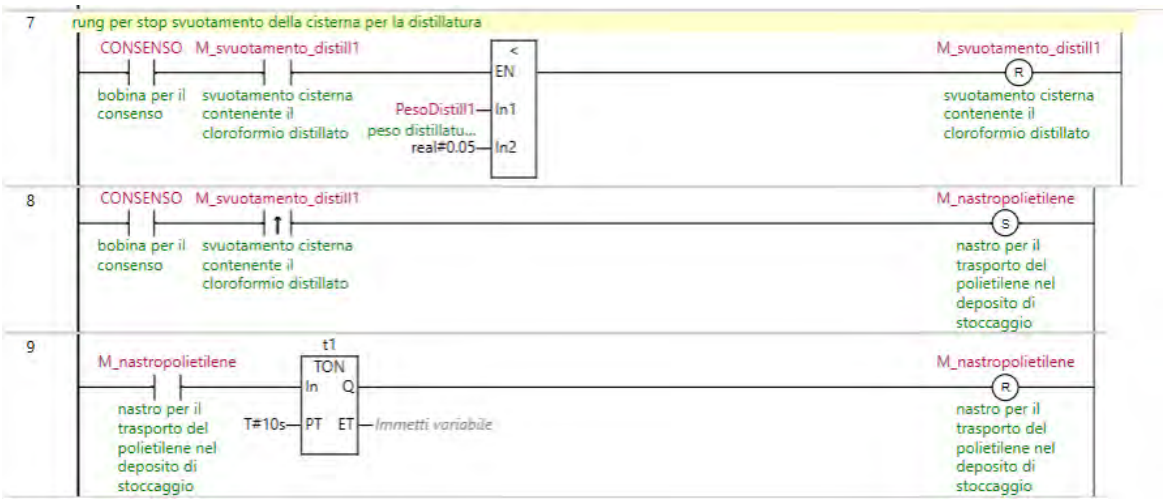


Pagina distillazione

Una volta che la parte solida è separata da quella liquida, quest'ultima viene introdotta in una cisterna che è adibita alla distillazione del liquido e quindi alla separazione del cloroformio dal polietilene mediante evaporazione.

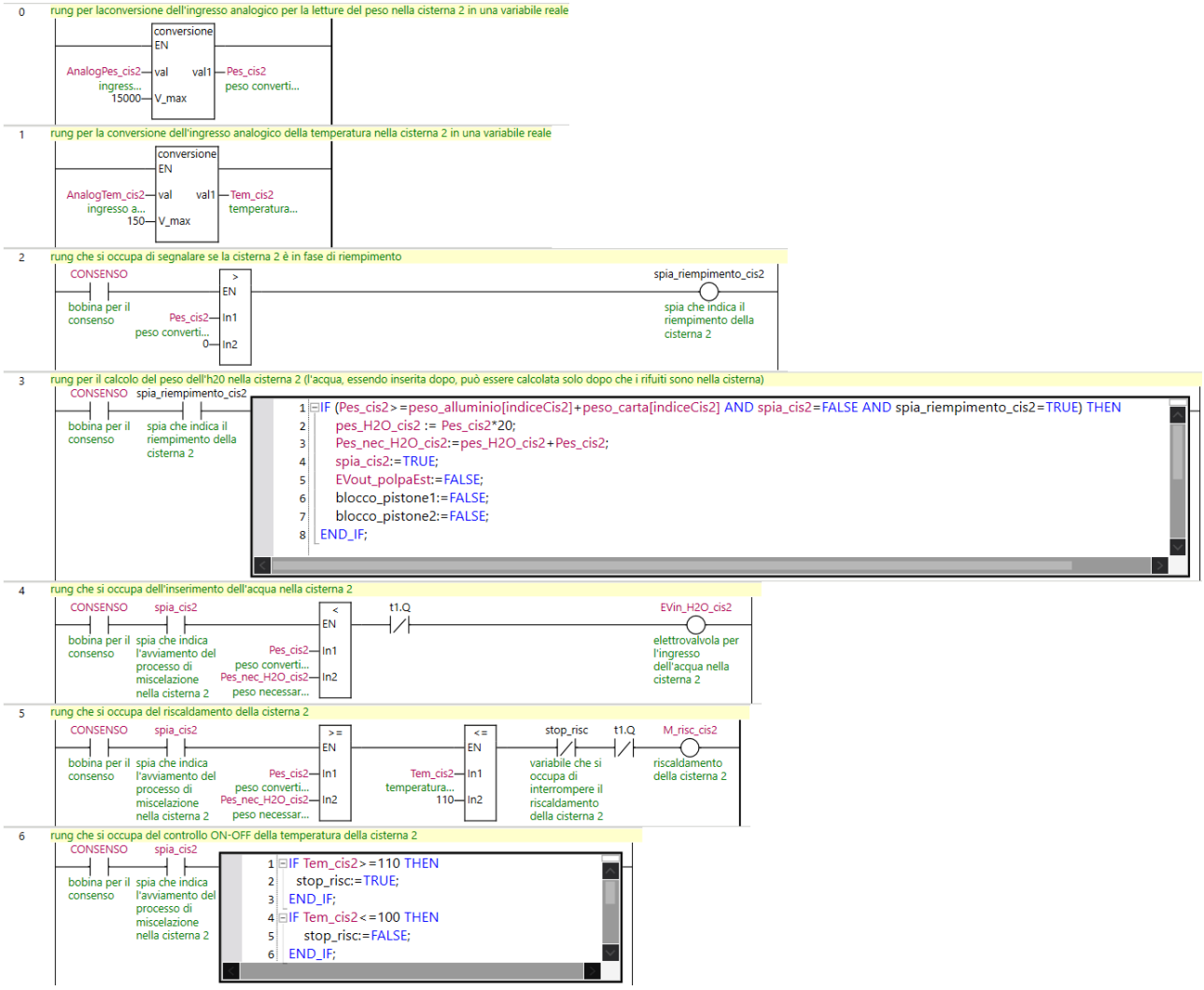


Una volta avvenuta la distillazione si procede allo svuotamento della cisterna ed il materiale verrà trasportato in un ulteriore cisterna nel quale avverrà il trattamento ad acqua per la separazione della carta dall'alluminio.



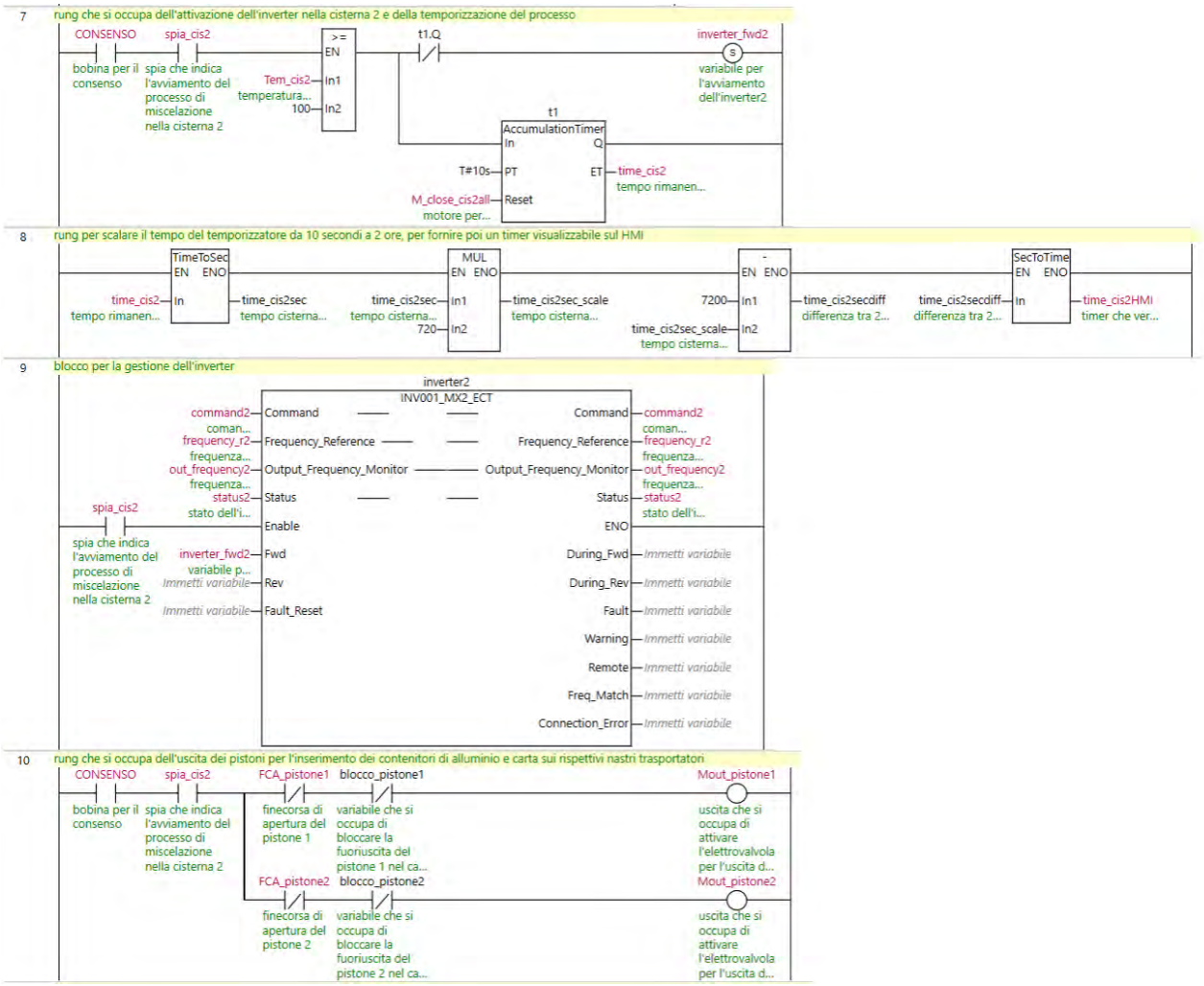
Programma gestione cisterna 2 – Trattamento ad acqua

La cisterna è dotata di un sensore di peso che comunica il grado di riempimento della cisterna, viene attivata una spia di segnalazione a riempimento completo, successivamente viene calcolato il peso dell'acqua necessaria per un trattamento adeguato e tiene aperta l'elettrovalvola fin quando il peso necessario non è stato raggiunto.
La cisterna è inoltre dotata di un sensore di temperatura ed un sistema di riscaldamento interno per consentire la regolazione automatica della temperatura a valori da 100 a110°C.

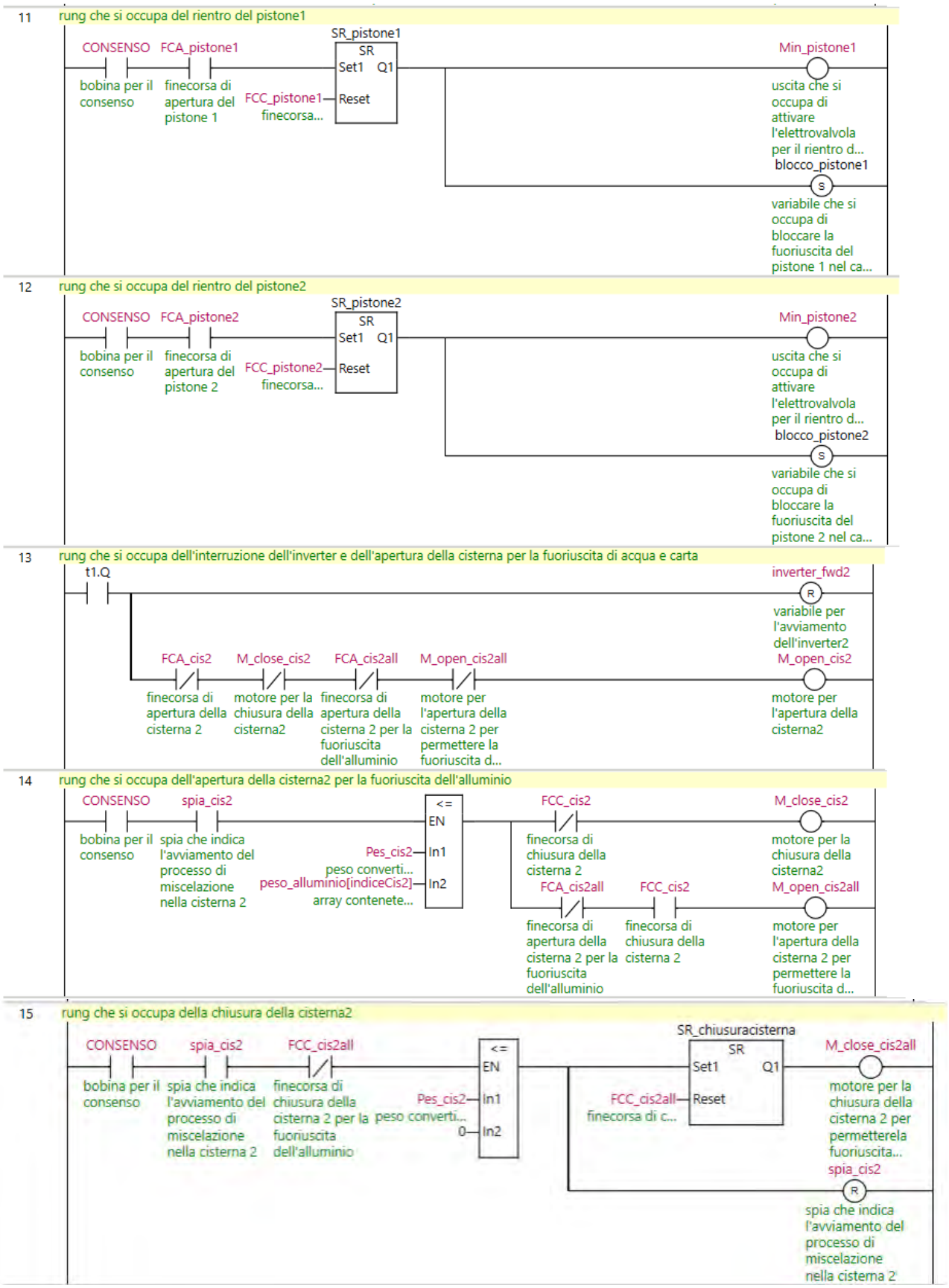


Per consentire una maggiore prestanza del trattamento, all'interno della cisterna vi è un sistema di miscelazione azionato da un inverter e, oltre a questo, un sistema di controllo software manterrà tali condizioni per un tempo pari a 2 ore (in simulazione viene ridotto a 10 secondi).

Una volta avvenuto il trattamento vi sono dei pistoni che immettono su dei nastri trasportatori la carta miscelata all'acqua e su un secondo nastro l'alluminio.

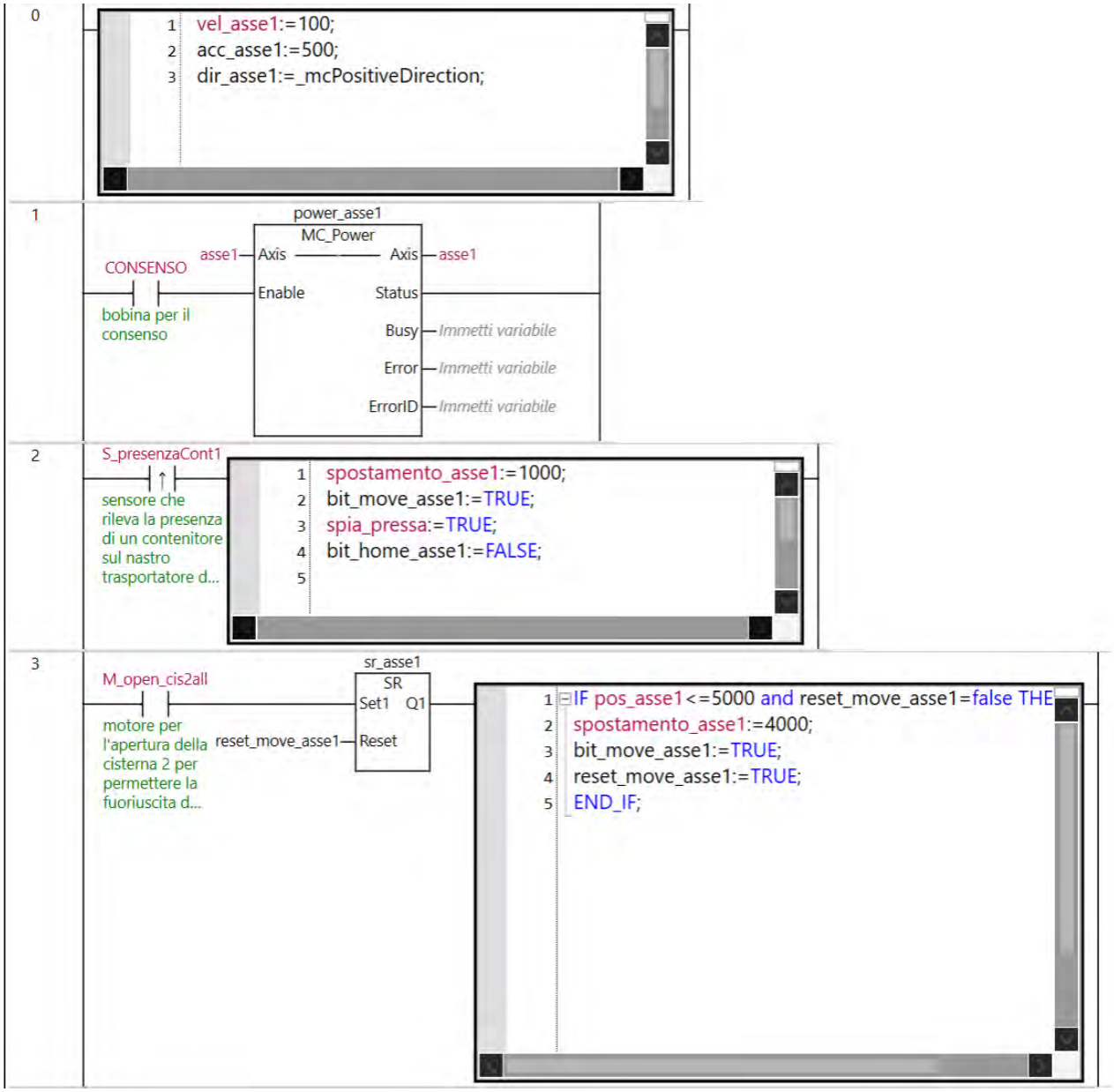


Il programma si occupa poi di far rientrare tali pistoni e dell'apertura della cisterna per la fuoriuscita dei materiali.

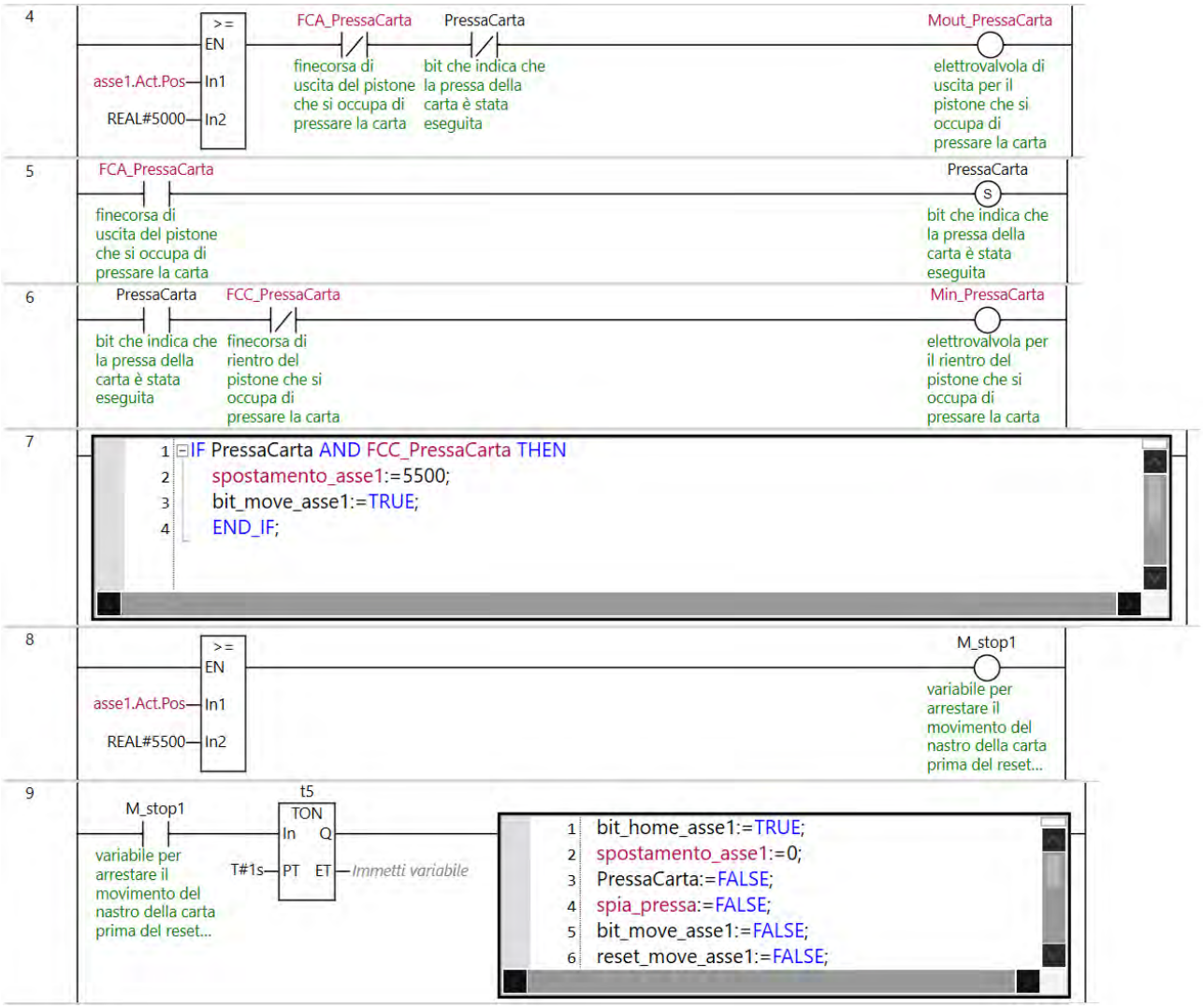


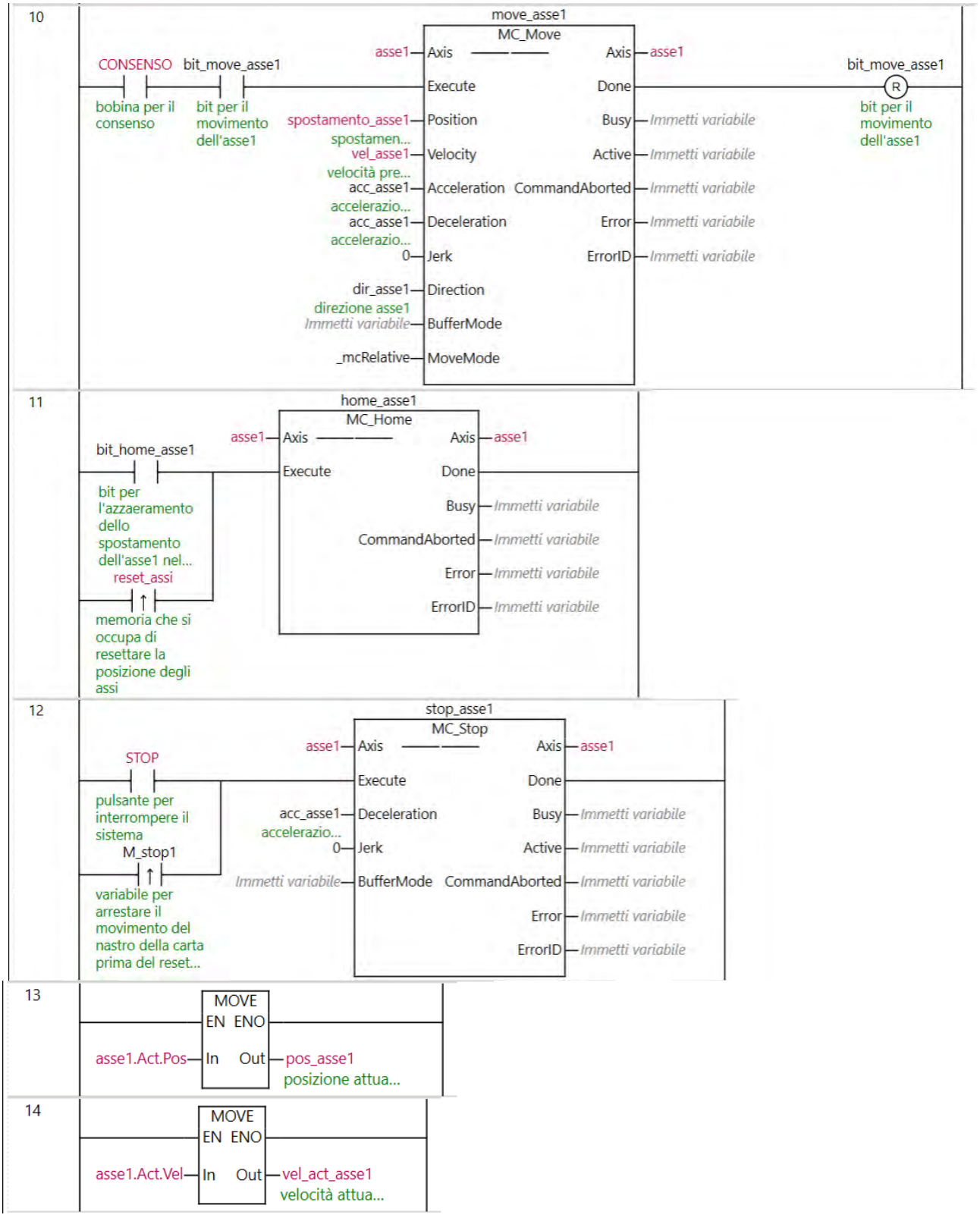
Programma fasi finali – Pressa carta

I nastri trasportatori portano poi i materiali separati sotto delle presse posizionandoli con precisione mediante l'utilizzo dei servoazionamenti 1S opportunamente dimensionati.



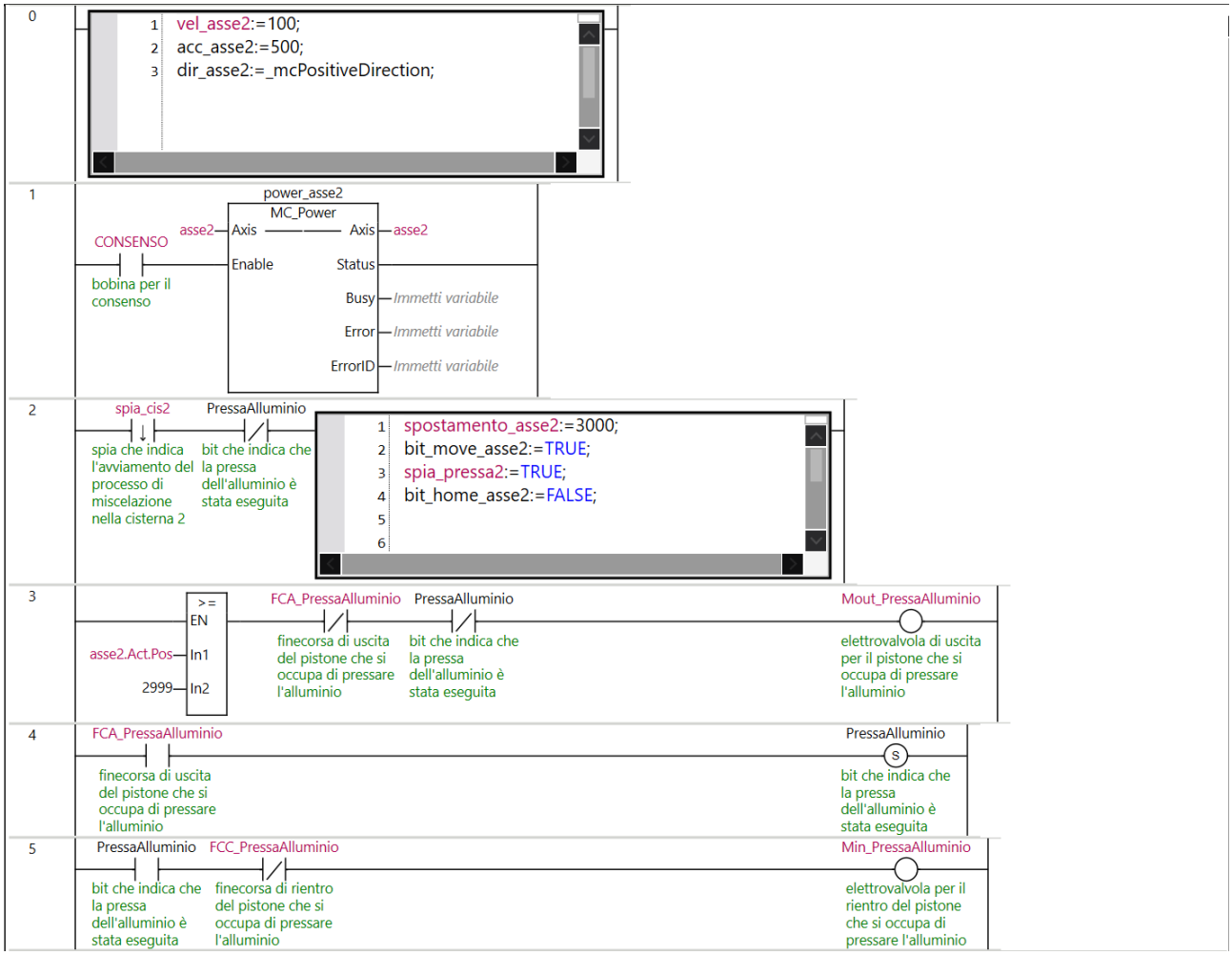
Una volta che la carta è stata pressata viene indirizzata verso la zona di stoccaggio del materiale.




10
move_asse1
MC_Move
asse1
Axis
Axis
asse1
CONSENSO
bit_move_asse1
Execute
Done
bit_move_asse1
bobina per il consenso
bit per il movimento dell'asse1
spostamento_asse1
Position
Busy
Immetti variabile
spostamen...
vel_asse1
Velocity
Active
Immetti variabile
velocità pre...
acc_asse1
Acceleration
CommandAborted
Immetti variabile
accelerazio...
acc_asse1
Deceleration
Error
Immetti variabile
accelerazio...
0
Jerk
ErrorID
Immetti variabile
dir_asse1
Direction
direzione asse1
Immetti variabile
BufferMode
_mcRelative
MoveMode
bit per il movimento dell'asse1
11
home_asse1
MC_Home
asse1
Axis
Axis
asse1
bit_home_asse1
Execute
Done
bit per l'azzaeramento dello spostamento dell'asse1 nel...
Busy
Immetti variabile
reset_assi
CommandAborted
Immetti variabile
memoria che si occupa di resettare la posizione degli assi
Error
Immetti variabile
ErrorID
Immetti variabile
12
stop_asse1
MC_Stop
asse1
Axis
Axis
asse1
STOP
Execute
Done
pulsante per interrompere il sistema
acc_asse1
Deceleration
Busy
Immetti variabile
accelerazio...
M_stop1
0
Jerk
Active
Immetti variabile
Immetti variabile
BufferMode
CommandAborted
Immetti variabile
variabile per arrestare il movimento del nastro della carta prima del reset...
Error
Immetti variabile
ErrorID
Immetti variabile
13
MOVE
EN
ENO
asse1.Act.Pos
In
Out
pos_asse1
posizione attua...
14
MOVE
EN
ENO
asse1.Act.Vel
In
Out
vel_act_asse1
velocità attua...

Programma fasi finali – Pressa alluminio

Lo stesso procedimento effettuato per la carta viene implementato anche per l'alluminio



Subroutine HMI

sub informazioni pagine

```
Sub informazioni_pag
        'gestione della comparsa delle informazioni in base alla pagina in cui ci troviamo
        If (pagina=0 Or pag_attuale="HOME") And informazioni Then
                info_p0= True
        Else
                info_p0=False
End If
        If (pagina=1Or pag_attuale="trituratore") And informazioni Then
                info_p1= True
        Else
                info_p1=False
End If
        If (pagina=2 Or pag_attuale="trattamento_cloroformio") And informazioni Then
                info_p2 = True
        Else
                info_p2=False
End If
If (pagina=3 Or pag_attuale="vista_estrattore") And informazioni Then
                info_p3= True
        Else
                info_p3=False
End If
        If (pagina=4 Or pag_attuale="distillazione_1") And informazioni Then
                info_p4= True
        Else
                info_p4=False
End If
        If (pagina=5 Or pag_attuale="trattamento_carta_alluminio") And informazioni Then
                info_p5= True
        Else
                info_p5=False
End If
        If (pagina=6 Or pag_attuale="pressa_carta_alluminio") And informazioni Then
                info_p6= True
        Else
                info_p6=False
End If
End Sub
```

Questa subroutine permette la visualizzazione delle informazioni relative alle varie pagine; viene verificata la pagina corrente (indicata nella variabile “pagina” per la simulazione manuale e con la variabile “pag_attuale” per la simulazione automatica) e lo stato della variabile informazioni gestita dal pulsante presente nella pagina.

Sub pagina trituratore

gestione movimento dei denti del nastro e della rotazione dei rulli

```
If M_nastro1=True Then
        rulloN1=rulloN1+5
        If cinghiaN1_1<=400 Then
            cinghiaN1_1=cinghiaN1_1+5
        End If
        If cinghiaN1_1>=400 Then
            cinghiaN1_1=0
End If
```

Quando il motore del nastro è attivo il valore della rotazione del rullo (rulloN1) viene incrementato, inoltre il valore dello spostamento delle cinghie (cinghiaN1_1) viene incrementato fino ad un valore di reset per farlo ripartire.

gestione movimento dei rifiuti del nastro

```
    If rifiutiN1_1=True And M_nastro1 Then 'se viene abilitata la visibilita dei rifiuti, e il M_nastro1 è
                                           attivo:

        If rifiutiN1_1x<=370 Then 'viene incrementata la posizione sull'asse x fino a quando
                                  è minore di 370
            rifiutiN1_1x=rifiutiN1_1x+5
        End If
        If rifiutiN1_1x>=340 And rifiutiN1_1x<=370 Then 'quando i rifiuti raggiungono la
                                                        fine vengono fatti ruotare di 90°
            rifiutiN1_1r=rifiutiN1_1r+15
        End If
    End If
    If rifiutiN1_1x>=370 Then 'se i rifiuti hanno una posizione sull'asse x maggiore di 370 viene
                              incrementato il valore della posizione sull'asse x (anche nel caso in cui
                              M_nastro1=FALSE)
        rifiutiN1_1x=rifiutiN1_1x+5
    End If
    If rifiutiN1_1x>=340 Then 'se i rifiuti hanno una posizione sull'asse x maggiore di 340 viene
                              incrementato il valore della posizione sull'asse y
        rifiutiN1_1y=rifiutiN1_1y+2
    End If
        If rifiutiN1_1x>=370 Then 'se i rifiuti hanno una posizione sull'asse x maggiore di 370 viene
                                  incrementato ulteriormente il valore della posizione sull'asse y
        rifiutiN1_1y=rifiutiN1_1y+3
    End If
    If rifiutiN1_1y>=140 Then 'se i rifiuti hanno una posizione sull'asse y maggiore-uguale di 140
                              vengono riportati alla posizione iniziale e viene disabilitata la visibilità
        rifiutiN1_1=False
        rifiutiN1_1x=0
        rifiutiN1_1y=0
        rifiutiN1_1r=0
    End If
```

tramite una serie di IF viene gestita le posizioni orizzontale (rifiutiN1_1x) e verticale (rifiutiN1_1y) dei rifiuti, le quali vengono incrementate fino al valore di reset (ovvero la loro posizione finale) nel quale vengono azzerate per farli ripartire.

sub pagina trattamento cloroformio

gestione caduta rifiuti nella cisterna

```
Sub caduta_rifiutiN2

	'gestione della comparsa dei rifiuti che cadono nella cisterna1 tramite un select case
	If (cinghiaN2_1>=390 And rifiutiN2_1=True) Or (cinghiaN2_2>=290 And rifiutiN2_2=True) Or
(cinghiaN2_3>=190 And rifiutiN2_3=True) Or (cinghiaN2_4>=90 And rifiutiN2_4=True) Then
		Select Case caseRifiutiCadentiN2
		Case 0
			rifiutiCadentiN2_1=True
			caseRifiutiCadentiN2=1
		Case 1
			rifiutiCadentiN2_2=True
			caseRifiutiCadentiN2=2
		Case 2
			rifiutiCadentiN2_3=True
			caseRifiutiCadentiN2=3
		Case 3
			rifiutiCadentiN2_4=True
			caseRifiutiCadentiN2=4
		Case 4
			rifiutiCadentiN2_5=True
			caseRifiutiCadentiN2=5
		Case 5
			rifiutiCadentiN2_6=True
			caseRifiutiCadentiN2=0
		End Select
	End If
	'gestione movimento
rifiutiCadentiN2_1**************************************************************************
	If rifiutiCadentiN2_1=True And (rulloN2=10 Or rulloN2=190 Or rifiutiCadentiN2_1x>=5) And
rifiutiCadentiN2_1x<=110 Then
		rifiutiCadentiN2_1x=rifiutiCadentiN2_1x+5
	End If
	If rifiutiCadentiN2_1x>=60 And rifiutiCadentiN2_1x<=110 Then
		rifiutiCadentiN2_1r=rifiutiCadentiN2_1r+9
	End If
	If rifiutiCadentiN2_1x>=80 And rifiutiCadentiN2_1y<=600 Then
		rifiutiCadentiN2_1y=rifiutiCadentiN2_1y+5
	End If
	If rifiutiCadentiN2_1x>=110 And rifiutiCadentiN2_1y<=600 Then
		rifiutiCadentiN2_1y=rifiutiCadentiN2_1y+5
	End If
	If rifiutiCadentiN2_1y=liv_rifiuti Then
		rifiutiCadentiN2_1=False
		rifiutiCadentiN2_1x=0
		rifiutiCadentiN2_1y=0
		rifiutiCadentiN2_1r=0
	End If
```

La prima parte del programma gestisce la comparsa dei rifiuti cadenti nella cisterna di cloroformio mentre la seconda gestisce i valori dello spostamento orizzontale (rifiutiCadentiN2_1x) e verticale (rifiutiCadentiN2_1y) dei rifiuti lasciati cadere nella cisterna del cloroformio.

Gestione aggiunta cloroformio nella cisterna

```
If EVin_cloroformio1 Then

        If caduta_cloroformioy<=340 Then
                caduta_cloroformioy=caduta_cloroformioy+20
        End If
        If caduta_cloroformiox<=30 Then
                caduta_cloroformiox=caduta_cloroformiox+1
        End If
        'aumento del peso della cisterna1 dovuto all'inserimento del cloroformio
        If caduta_cloroformiox>30  Then
           Base_cloroformio=True
           riempimento_cloroformio=riempimento_cloroformio+50
           AnalogVal_peso1=AnalogVal_Peso1+50
           caduta_cloroformioy=caduta_cloroformioy-1.5
   End If
End If
'scomparsa della cascata di cloroformio quando si chiude la valvola di ingresso
If EVin_cloroformio1=False And riempimento_cloroformio>800 Then
        If caduta_cloroformioy>0  Then
                caduta_cloroformioy=caduta_cloroformioy-2
        End If
        If caduta_cloroformiox>0 Then
                caduta_cloroformiox=caduta_cloroformiox-2
        End If
End If
```

l'aggiunta del cloroformio è gestita tramite un IF che modifica i valori delle coordinate orizzontali (caduta_cloroformiox) e verticali (caduta_cloroformioy) del cloroformio versato nella cisterna. È inoltre gestito l'aumento del peso nella cisterna in relazione alla quantità di cloroformio che entra.

sub pagina estrattore

gestione pale estrattore

```
Sub pale_estrattore
        If EV_svuotamento_cis1 Then

        End If
        If inverter_fwd Then
                If out_frequency<6000 Then
                        out_frequency=out_frequency+100
                End If
                Rpale=Rpale+15
                If Rpale=360 Then
                        Rpale=0
                End If
                'gestione dimensione orizzontale delle pale per simulare la rotazione
                If pala1>0 And stato_pale=False Then
                        pala1=pala1-10
                End If
                If pala2>0 And stato_pale=True Then
                        pala2=pala2-10
                End If
                If pala1=0 Then
                        stato_pale=True
                End If
                If pala1<100 And stato_pale=True Then
                        pala1=pala1+10
                End If
                If pala2<100 And stato_pale=False Then
                        pala2=pala2+10
                End If
                If pala1=100 Then
                        stato_pale=False
                End If
        Else
                If out_frequency>0 Then
                        out_frequency=out_frequency-200
                End If
        End If
        If M_cloroformioEst Then
                Rpompa=Rpompa+10
        End If
        If Rpompa=360 Then
                Rpompa=0
        end if
End Sub
```

questa sub serve a far ruotare le pale andando a modificare il valore della frequenza del motore comandata dall'inverter. Per far ruotare le pale agisce sulla larghezza di esse, andando ad accorciarla e allungarla per dar l'impressione di rotazione.

sub pagina distillazione

gestione riscaldamento cisterna

```
'gestione riscaldamento cisterna

  If M_risc_distill1 Then
            ing_clo_dist=False
                  If fiamma2<30 Then
                        fiamma2=fiamma2+1
                  End If
             If fiamma2>25 Then
                     Analogtem_distill1=AnalogTem_distill1+25
             End If
 End If
  If M_risc_distill1=False Then
                  If fiamma2>0 Then
                        fiamma2=fiamma2-1
                  End If
 End If
 'gestione evaporazione sostanza
          If AnalogTem_distill1>=5600 And spia_distill1=True Then
                  AnalogPeso_distill1=AnalogPeso_distill1-30
          End If
          'diminuzione della temperatura se non è più presente cloroformio nel distillatore
 If M_svuotamento_distill1 And AnalogTem_distill1>1600 Then
           AnalogTem_distill1=AnalogTem_distill1-100
 End If
```

la sub gestisce la temperatura in maniera lineare in base allo stato del riscaldamento della cisterna. Quando la temperatura raggiunge il valore di evaporazione del cloroformio esso evapora e diminuisce il valore del peso nella cisterna. Quando poi la cisterna viene svuotala il valore della temperatura cala drasticamente (sempre in maniera lineare).

sub pagina trattamento carta alluminio

gestione pistoni scatole

```
Sub pistoni_scatole
        'gestione rotazione rulli del nastro della carta
        r_nastrocarta=r_nastrocarta+(15*vel_act_asse1)/100
        'gestione uscita pistone1
        If Mout_pistone1 Then
                If pistone1<100 Then
                        pistone1=pistone1+10
                End If
        End If
        'gestione rientro pistone1
        If Min_pistone1 Then
                If pistone1>0 Then
                        pistone1=pistone1-10
                End If
        End If
        'gestione FCC pistone 1
        If pistone1<=0 Then
                FCC_pistone1=True
        Else
                FCC_pistone1=False
        End If
        'gestione FCA pistone 1
        If pistone1>=100 Then
                FCA_pistone1=True
        Else
                FCA_pistone1=False
        End If
        'gestione sensore che rileva la presenza di scatole sul nastro
        If (scC1y>=105 And scC1x<=100) Or (scC2y>=105 And scC2x<=190) Or (scC3y>=145
And scC3x<=190) Or (scC4y>=185 And scC4x<=190) Then
                S_presenzaCont1=True
                Else
                S_presenzaCont1=False
        End If
```

il programma gestisce la rotazione del rullo del nastro in base alla velocità dell'asse. Viene inoltre gestito il movimento dei pistoni per lo spostamento delle scatole e i finecorsa che determinano l'apertura o chiusura dei pistoni. Infine è gestito il sensore che determina la presenza di scatole sul nastro tramite la posizione delle scatole.

sub pagina pressa

gestione presse

```
Sub pressa
    'gestione movimento dei contenitori in base alla posizione attuale prelevata dagli assi
        scC_pressa=((pos_asse1-4000)/1500)*675
        scA_pressa=((pos_asse2-2000)/1500)*675
    'gestione pressa carta
    If Mout_PressaCarta And pressa_carta<50 Then
        pressa_carta=pressa_carta+2
    End If
    If Min_PressaCarta And pressa_carta>0 Then
        pressa_carta=pressa_carta-2
    End If
    'gestione finecorsa pressa carta
    If pressa_carta>=50 Then
        FCA_pressacarta=True
        carta_pressa=True
    Else
        FCA_pressacarta=False
    End If
    If pressa_carta<=0 Then
        FCC_pressacarta=True
    Else
        FCC_pressacarta=False
    End If
```

in primo luogo viene gestito il movimento dei contenitori in base alla posizione prelevata dagli assi, successivamente viene gestita la posizione della pressa tramite 2 IF: di apertura e di chiusura. Tramite la posizione della pressa vengono attivati o disattivati i finecorsa di apertura e chiusura.

sub allarmi

```
Sub gestione_allarmi

        If S_clo>=3000 Or (AnalogPres_cis1<3500 And T_cis1>65 And Not EV_svuotamento_cis1)  Then
                ShowPage("allarmi")
        End If
        If ventilazione Then
                AnalogVal_clo=AnalogVal_clo-20
        End If
End Sub

Sub reset_allarme
         'AcknowledgeAllUserAlarms()Dim
    AlarmID = GetSelectedAlarm("allarmi", "UserAlarmsViewer0")
    AcknowledgeUserAlarm(AlarmID)
        AnalogPres_cis1=4000
 End Sub
```

ci sono 2 allarmi: fuoriuscita di cloroformio e valore della pressione troppo elevato. In seguito al primo viene attivata automaticamente la ventilazione, mentre nel secondo viene riportato ad una pressione adatta solamente in seguito all'Acknowledge.

L'Acknowledge è richiesto per entrambi gli allarmi ed è gestito nella sub "reset_allarme".

Sviluppi didattici

Didatticamente questo progetto potrebbe essere suddiviso in vari esercizi pari alle sezioni del programma e permettere a tanti allievi di esercitarsi nell'apprendimento della piattaforma Sysmac. Questo lavoro può inoltre educare alla sostenibilità ambientale, alla transizione ecologica, al riciclo e riutilizzo dei materiali e dare uno stimolo alla ricerca di soluzioni innovative per la salvaguardia dell'ambiente e per una rivoluzione verde.

Implementazioni future

Questo progetto potrebbe essere implementato ulteriormente aggiungendo il riciclo di ulteriori materiali come plastica, vetro, lattine in modo da creare una vera e propria centrale del riciclo e dare a questi materiali nuova vita.

Allegati

Di seguito allegata la ricerca di partenza citata ad inizio relazione.

e-ISSN: 2458-8156

Journal Homepage: http://dergipark.gov.tr/ejens

EJENS
European Journal of Engineering and Natural Sciences CODEN: EJENS

DergiPark AKADEMİK

Process Design for the Recycling Of Tetra Pak Components

Mustafa Karaboyaci[1]*, Gozde Gizem Elbek[1], Mehmet Kilic[1], Aziz Sencan[1]

[1]*SüleymanDemirelUniversity, Department of Chemical Engineering, 32260, Çünür/Isparta, Turkey*

[*]*Corresponding author mustafakaraboyaci@sdu.edu.tr*

Publication Info

Paper received:
29 May 2016

Revised received:
15 October 2016

Accepted:
01 March 2017

Abstract

The Tetra Pak packaging which was originally designed and developed for milk is widely used in the packaging of many foods and beverages. It is important to recycle and recovery of Tetra Pak's due to the different types of recyclable materials included 75% paper, 20% polyethylene and 5% aluminum. There are serious problems in recycling of composite beverage cartons that completed their lifetime and became a waste. A larger part of this packaging waste is disposed in landfills. Therefore, our priority should be performing scientific studies for management of this waste and operating with appropriate management alternatives. In this study, assessment methods and processes of waste composite drinks cartons are researched, and an alternative way is shown which separately recovers cartons, paper, aluminum and polyethylene. Tetra Pak films were cut into over 40 mm pieces, and charged to the reactor with stirring with chloroform. Thus paper, aluminum and polyethylene dissolves in chloroform. The resulting polyethylene and solvent liquid was transferred to distillation unit. The mixture of aluminum and paper remaining in the reactor was boiled and stirred until it turns into a pulp. Filtration of water is ensured by waiting the pulp on the fine sieve and the percentage of remaining solid is determined by analysis at the end of this waiting period. Thus only aluminum is remaining in the reactor. With the designed system, the waste amount of countries going to the solid waste storage areas will decrease and the protection of our environment will be provided. Tetrapak recovery will be a long-term economic investment. Recycling sector will be a step more advanced. The study will also result in allowing new technologies and reducing raw material needs.

Key words

Tetra pak, Recycle, Process design

1. INTRODUCTION

One of the most significant components, that threatens the future of the world are solid wastes. Unfortunately growing population and technological developments has resulted in an increase in solid wastes. In addition, the changes in consumption habits affect the composition of the waste.

Composite cartons which containing layers of paper, plastic and aluminum, especially preferred for storage of beverage packaging type.

There are serious problems in recycling of composite beverage cartons that completed their lifetime and became a waste. A larger part of this packaging waste is disposed in landfills. Therefore, our priority should performing scientific studies for management of this waste and operating with appropriate management alternatives.

Materials that are made by the macro-level unification of two or more materials from the same or different groups in order to merge their best characteristics or to bring out a new characteristic are called "Composite Materials." It can also be termed as the bonding of different materials or phases of materials with the objective of strengthening each other's weaknesses and attaining a superior characteristic [2].

The purpose of using different materials together is to increase durability and flexibility and to combine the unique characteristics of each material. The predominantly paper-cardboard composite packages known as Tetrapak are especially preferred in the conservation of liquid food products and are commonly used throughout the world.

The composite drinking cartons used in the food sector especially for long-term conservation of liquid food products are made up of 75% paper, 20% polyethylene and 5% aluminum [3].

Its layers from the outside inwards is as follows;

1. Polyethylene: Protection against external effects and moisture
2. Printing Ink
3. Cardboard: Stability / Strength
4. Polyethylene: Adhesion layer
5. Aluminum Foil: Oxygen, flavor, light and ultraviolet radiation barrier
6. Polyethylene: Adhesion layer
7. Polyethylene: Liquid sealing layer

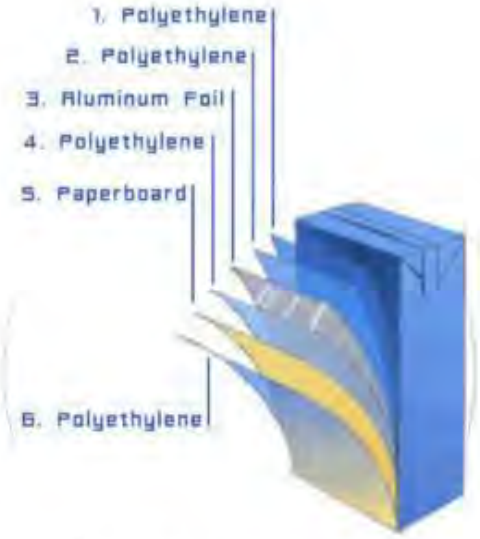


Figure 1.The six layers (Tetra Pak) [2]

Tetra Pak was founded by Ruben Rausing and Erik Wallenberg in 1951 in the Swedish city of Lund. As of January 2013, the company Tetra Pak has supplied approximately 173, 234 million packages so that 77,307 million liters of milk, juice, nectar and other products could be delivered to consumers around the world[5].

The efficient separation of the 3 components found in composite drinking cartons is done by a company named Alcoa Aluminio in Brazil using plasma technology. The facility was established in 2006 with a setup cost of 40 million dollars. After the separation of paper fibers using the hydropulping method, the aluminum and the plastic mixture is heated to 15.000°C and as a result of this process, pure grade aluminum and paraffin oil to be used in the petrochemical industry is produced. The amount of energy required in the facility to produce 1 ton of aluminum is 400-500 kWh. The plasma plant processes 8.000 tons of aluminum and plastic mixture in a year, which corresponds to 32.000 tons of aseptic material; but it is known that this method is very costly.

In Germany, the plastic and aluminum mixture is used as alternative fuel in cement kilns, functioning as a catalyst.

In the company called Corenso in Finland, the gasification method is applied. The aluminum and plastics separated from the paper fibers in the facility are sent to the Ecogas plant. At this stage, while aluminum is recovered in granular form, gas is obtained from polyethylene. The steam produced in the recycling process in gasification is used in paper production. The facility, which began operation in 2001, processes 85.000 tons of carton boxes a year; of which 50.000 tons comes from Germany, a couple of thousand tons comes from Holland, and the rest comes from Finland.

The first method used in the recycling of composite drinking cartons was the particle board method. The boards manufactured from processing the product without separating it into its components (thermal compression) were used in furniture, civil construction, and packaging industries. In later years, the recycling of paper (hydropulping) began, in which the paper fibers that constituted 75% of the composite drinking cartons were recovered. The remaining polyethylene and aluminum parts left after the composite drinking cartons undergo hydropulping is subjected to plastic product

transformation, energy recovery, pyrolysis and plasma technologies; but the cost of these technologies are quite high, and the processes are complex.

Nowadays, the collected tetrapaks are accumulated in certified collection and separation facilities, in landfill areas, or burned in cement plants.

With this project, the paper, aluminum and polyethylene in waste tetrapaks shall be recycled, and the recovered materials shall be used to reduce the raw material needs of various facilities. Thus, the natural balance shall be protected against the increase in consumption that rises in parallel with the increase in human population.

At the same time, with the selling of the recovered materials as raw materials to related facilities, businesses be able to ensure high levels of energy saving. There are many establishments that can utilize paper, aluminum, and polyethylene as a source of raw material.

MATERIALS AND METHODS

Tetrapak films are cut in approximately 40mm sizes, and a 2 gr sample is mixed in a reaction flask with 40 ml (1 to 20) of chloroform in 65°C for 2 hours. As a result of this process, paper, aluminum and polyethylene dissolved in the chloroform is produced in the flask. The dissolved polyethylene in the chloroform is transferred to the distillation unit, and solid polyethylene is obtained after the solvent is evaporated. As the solvent condensed in the distillation unit can be re-used in the reaction flask, its continuous use makes it economical. Water is added (1 to 20) to the aluminum and paper left in the reaction flask to be boiled and mixed until it turns into paper-mache (pulp). The paper pulp is separated from the aluminum by watering and filtering it. The paper pulp is then placed on a fine sieve to allow the water to filter down; after the waiting period, the solid material content percentage is determined with analyses. Similar to the solvent, the re-use of the water is possible and is used when necessary. Thus, only the aluminum remains in the reaction flask.

RESULTS AND DISCUSSION

Experiments were performed in SuleymanDemirel University and it is altitude is over 1065 meter and so atmospheric pressure is over 674 mm Hg. So boiling point of the water is over 96,5 ℃. So dissolution of composite compounds takes more longer time than expected. Separation of all aluminum part from paper takes over 2 hours. After all aluminum separates from paper this means all polyethylene is dissolved. After this stage, the pulp is separated by filtration from polyethylenecontainingchloroform. After evaporation of chloroform 0,36 grams of polyethylene was obtained. In the literature it has been reported that tetra pak includes over 20 percent of LDPE. [1]. 0,36 gran is about %19 percent and it is consistent with the literature. After evaporation % 92 of solvent was recycled.

Filtered aluminum-paper mixture started to boil with 40 mL water. About 2 hour's paper start to divide to its fibers and being a pulp. Following this step, the paper is diluted by addition of water and a miscible fluid consistency. The liquid paper pulp filtered from aluminum with 10 mesh size filter. After filtering and drying 1,52 gram of paper pulp was obtained. In the literature it has been reported that tetra pak includes over 75 percent of paper [4]. 1,52 gran is about %76 percent and it is consistent with the literature.As in [6], they pyrolysis tetra pak composite for to obtain aluminum and they obtain about %7 of aluminum from waste tetra pak. In this study 0,12 gram aluminum obtained and it is %6 of the total weight and consistent with the literature.

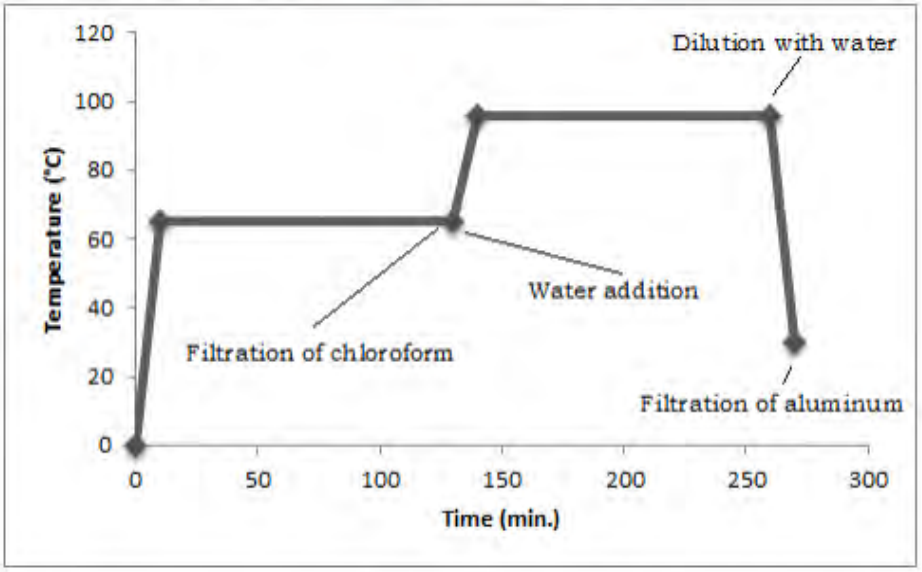


Figure 1. Process steps of tetra pak recycling

Figure 1 shows the details of Tetra Pak recycling process. As seen from the figure recycling process is easy to application. It takes about 4 hours to separate all compounds of the composite and all solvents are recyclable.

Figure 2 shows the disassembled components of the composites. First picture (a) is polyethylene, second picture (b) is dried paper pulp and third picture (c) is recycled aluminum.

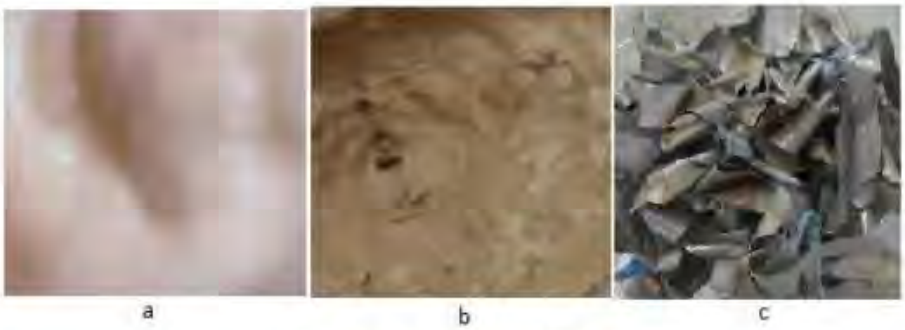


Figure 2.Separated components of Tetra Pak

CONCLUSIONS

Tetrapak films were put in reaction with chloroform under heat and pressure. The products of this reaction were paper, aluminum, and polyethylene dissolved in chloroform. Polyethylene was easily recovered in the distillation unit, and the chloroform from the distillation unit was re-used in the system. High-grade aluminum and paper were obtained by introducing water to the reaction flask. It was concluded that in terms of obtaining high-grade Tetrapak components, use of chloroform under heat and pressure was an interesting method as it resulted in requiring less duration and reaction times. Thus, the Tetrapak package that consisted of starting materials with different compounds was easily recycled. As a result of recycling, the damage to the environment and pollution due to increasing consumption habits will be prevented.

At the same time, with the selling of the recycled materials as raw materials to related facilities, businesses be able to ensure high levels of energy saving. There are many establishments that can utilize paper, aluminum, and polyethylene as a source of raw material.

The greatest reason why paper and carton (cardboard) manufacturers prefer recycled paper as raw materials is because they are able to obtain the cellulose necessary for paper for much cheaper. The paper that will be obtained in the envisaged project is in the form ofpaper-mache (pulp), which will be a reason for preference as it will not require any additional pulpification.

Aluminum, on the other hand, is used in many different industries in the manufacturing of millions of different products. Aluminum production from recycled aluminum required 95% less energy in comparison to aluminum production from raw materials. When 1 kg of aluminum is recycled, 8 kg of bauxite mineral, 4 kg of chemicals, and 14kWh of energy is preserved. When all these are considered, the importance of aluminum recycling is evident.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study is a part of the project supported by SuleymanDemirel University 4390-YL1-15research project coordination unit.

REFERENCES

[1]. Abreu M., Recycling ThaFibresOn Tetra Pak Cartons. Tetra Pak Canada Inc. 2000.
[2]. Pietikäinen, V., Collection and recycling of beverage cartons at AIT. Project report. 2008.
[3]. Ayrılmış, N., Candan, Z., Hızıroğlu, S. "Physical And Mechanical Properties Od Cardboard Panels Made From Used Beverage Carton With Veneer", Materials & Design, 29, 1897-1903. 2008
[4]. Ayrılmış, N., Kaymakçı, A., Akbulut, T., Elmas, G. M. "Mechanical Performance Of Composites Based On Wastes Of Polyethylene Aluminum And Lignocellulosics" Composites: Part B, 47, 150-154.
[5]. Tetra Pak Global Site. "Recycling And Recovery". [Online]. Available: http://www.tetrapak.com/environment/recycling-and-recovery/aluminium-and-polyethylene.
[6]. Korkmaz, A., Yanık, J., Brebu, M., Vasile, C. "Pyrolysis Of The Tetra Pak", Waste Management, 29, 2836-2841. 2009.

Conclusioni e ringraziamenti

Ringraziamo Omron per l'opportunità data mediante il trofeo Smart-Project e per aver fornito la licenza per l'utilizzo del software.
Durante il progetto abbiamo acquisito nuove competenze ed approfondito quelle che avevamo già nell'ambito dell'automazione, sia per l'aspetto hardware sia per quello software; la maggior parte di questi meriti va al nostro professore di Tecnologie e progettazione di sistemi elettrici ed elettronici Giuseppe Marti a cui vanno i nostri più sentiti ringraziamenti.
Ringraziamo inoltre l'istituto I.I.S. "Benedetto Castelli" per il supporto fornito fondamentale per sviluppare l'attività progettuale.

OMRON

OMRON
EDUCATIONAL PROJECT

edu_SP2022portfolio_07 2022_01

Contattaci

OMRON ELECTRONICS SPA

+39 02 326 81

omronedu@omron.com

industrial.omron.it