



**Politecnico
di Torino**

Politecnico di Torino

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica

A.a. 2024/2025

Sessione di Laurea Ottobre 2024

Implementazione di motori brushless in tavole rotanti

Test ed analisi su REV600

Relatore:

Prof. Andrea Manuello Bertetto

Candidato:

Giuseppe Giacalone

Referente aziendale:

Ing. Alessandro Nardella

Indice

Sommario.....	3
1 Introduzione.....	4
2 Profilo dell'azienda.....	7
2.1 La storia	7
2.1.1 Brevetti e certificazioni	8
2.2 I prodotti.....	9
2.2.1 Indexers	9
2.2.1 Conveyors.....	12
3 Meccanismi a camme per macchine automatiche.....	14
3.1 Progettazione del moto	16
3.1.1 Leggi di moto	17
3.2 Requisiti dell'applicazione.....	19
3.3 La camma continua	19
4 PLC.....	20
4.1 Vantaggi	20
4.2 Linguaggi di programmazione	21
4.2.1 Linguaggi grafici.....	21
4.2.2 Linguaggi testuali	21
5 Banco di prova	22
5.1 Tavola.....	22
5.2 Motore.....	23
5.3 Riduttore	24
5.4 Encoder.....	24
5.5 Riferimento tavola.....	26
5.6 Avviamento	27
5.7 Quadro elettrico	28
5.8 Gruppo tavola.....	28
5.9 Software di programmazione.....	29
6 Programma	30
6.1 Azzeramento	30
6.2 Movimentazione dell'asse motore	33
6.2.1 Controllo in velocità	33
6.2.2 Controllo in tempo.....	34
6.3 Variabili	36

6.3.1 Variabili PLC	36
6.4 Pannello operatore.....	38
6.5 Legge di moto	39
7 Risultati e conclusioni	40
7.2 Potenziali sviluppi futuri	41
7.3 Contributo personale	42
Bibliografia e sitografia	43
Elenco delle figure	44

Sommario

Il seguente lavoro di tesi si prefigge l'obiettivo di studiare il movimento delle tavole rotanti, anche chiamate *indexer*. Nello specifico si analizza l'implementazione dei motori brushless per la loro movimentazione. Lo studio è stato svolto all'interno dell'azienda torinese Italplant Srl, casa produttrice dei prodotti presi in considerazione.

Il documento inizia fornendo un quadro generale del tema principale, l'*automazione industriale*, e dei dispositivi venduti dall'azienda ospitante: tavole rotanti e trasportatori lineari.

Si continua parlando in generale dell'azienda, della sua storia e dei prodotti messi in commercio.

Segue, poi, un capitolo riguardante i meccanismi a camma, elementi essenziali e su cui si basa tutto il movimento delle tavole rotanti. All'interno dello stesso vengono presentate le leggi di moto più comuni disegnate sulla camma globoidale e viene fornita una procedura per la progettazione del moto. Viene presentata, infine, la camma continua che differisce dalla più comune, camma indexata, per l'assenza della zona di sosta.

In seguito, viene descritto uno dei componenti più importanti del lavoro: il PLC. Si tratta di un elemento programmabile mediante software che serve per gestire il movimento dell'asse del motore. Si descrivono, inoltre, i diversi linguaggi di programmazione ed i loro vantaggi.

A questo punto viene descritto il banco su cui è stato svolto l'intero lavoro e vengono presentati tutti i componenti che lo costituiscono. Successivamente viene focalizzata l'attenzione sul programma implementato nel PLC. Nello specifico viene data maggiore rilevanza alla procedura di azzeramento di camma e tavola e al pannello operatore tramite il quale si comanda il motore.

Segue, infine, un capitolo conclusivo in cui si presentano i risultati ottenuti dalle prove e le considerazioni finali.

1 Introduzione

L'automazione consiste nell'impiego coordinato di soluzioni tecnologiche con lo scopo di sostituire gran parte del lavoro umano attraverso dispositivi di diversa natura. Essa rappresenta un'evoluzione della meccanizzazione, principalmente sviluppata negli anni della rivoluzione industriale di inizio '900. Nel secolo scorso, l'introduzione dell'automazione nell'industria ha consentito la produzione di beni in grandi quantità e con costi ridotti; nonostante questi rimangano gli obiettivi fondamentali di una scelta verso l'automazione, si fa molta attenzione ad altre finalità quali l'omogeneità del prodotto, la flessibilità del sistema produttivo e la riduzione dell'impatto ambientale delle attività industriali. Negli ultimi anni l'automazione industriale ha visto numerose innovazioni sia tecnologiche sia, anche in maniera permanente, innovazioni nel campo delle comunicazioni. È stata protagonista di un continuo progresso: inizialmente sono stati introdotti robot antropomorfi, fino ad arrivare ai più moderni cobot. In una fase successiva (*Industria 4.0*), questi sistemi e processi sono stati integrati fra loro per arrivare ad una fruttuosa collaborazione tra macchine e operatori. In generale, l'automazione industriale è in grado di migliorare i processi di produzione e di gestire al meglio le previsioni della domanda; inoltre contribuisce sensibilmente a ridurre la possibilità di errore e i costi e ad imparare la flessibilità operativa.

In particolare, le macchine automatiche hanno avuto un importante sviluppo nelle attività che inizialmente erano manuali grazie all'implementazione di sistemi di movimentazione avanzati. I sistemi di trasporto automatici sono alla base della produzione. Essi garantiscono lo spostamento ed il posizionamento del pezzo da processare in tempi molto rapidi. Dalle loro performance dipende l'efficienza dell'intera catena produttiva, per tale motivo si cerca sempre di più di sviluppare nuove tecnologie in grado di diminuire il tempo ciclo. L'intero sistema di produzione si basa sulla capacità di un trasportatore di trasferire dei pezzi lungo una catena.



Figura 1.1 Linea di produzione automatizzata

Esistono diverse soluzioni per movimentare una linea automatica e variano in funzione delle esigenze dell'applicazione che possono essere molteplici: dai carichi al tipo di azionamento, dal tipo di configurazione alle accuratezze di posizionamento richieste.

Le configurazioni più comuni per linee di produzione automatizzate sono costituite da un trasportatore, tipicamente lineare, la cui movimentazione è comandata da una tavola rotante (*Indexer, dall'inglese "moto intermittente"*) munita di motorizzazione. Lo scopo principale del macchinario è garantire che il pezzo da lavorare rimanga solidale al sistema in movimento. Esso viene posizionato su un *portapezzo* collegato al trasportatore mediante spine e viti.

Le tavole rotanti sono meccanismi a camme in grado di convertire il moto rotatorio uniforme dell'albero d'ingresso in un moto intermittente unidirezionale dell'albero d'uscita; caratterizzati dall'avere i due alberi tra loro perpendicolari. La trasmissione del moto è realizzata tramite una camma cilindrica montata sull'albero d'ingresso, accoppiata ad un divisore calettato sull'albero di uscita. Il divisore alloggia una serie di perni folli equidistanti tra loro ed in numero variabile in funzione dell'angolo di scambio e del numero di stazioni. Durante tutte le fasi di funzionamento vi sono sempre almeno due perni folli in contatto e precaricati sul profilo della camma, garantendo l'assenza di giochi nella trasmissione, con miglioramento della precisione e della ripetibilità del posizionamento, diminuzione della rumorosità e delle vibrazioni con conseguente riduzione dell'usura. La tavola rotante è racchiusa in una scatola. Tutte le superfici sono lavorate e danno la possibilità di montare il meccanismo in tutte le posizioni, permettendo anche il montaggio diretto di riduttori e motoriduttori. I fori di fissaggio ausiliari possono essere eseguiti sulle superfici contenenti gli alberi d'ingresso e d'uscita evitando i tiranti d'assemblaggio. Con l'inversione del senso di rotazione dell'albero d'ingresso si ottiene l'inversione del senso di rotazione dell'albero d'uscita, senza che cambino le caratteristiche cinematiche del moto.



Figura 1.2 Tavola rotante

Il trasportatore lineare, invece, compie un percorso rettilineo. Le stazioni di lavoro possono trovarsi di lato (posizione *carosello*) oppure nella parte superiore (posizione *over-under*). I portapezzo sono sempre solidali con la struttura ed all'estremità del percorso ci sono un pignone ed un raccordo semicircolare per invertire il senso di marcia.

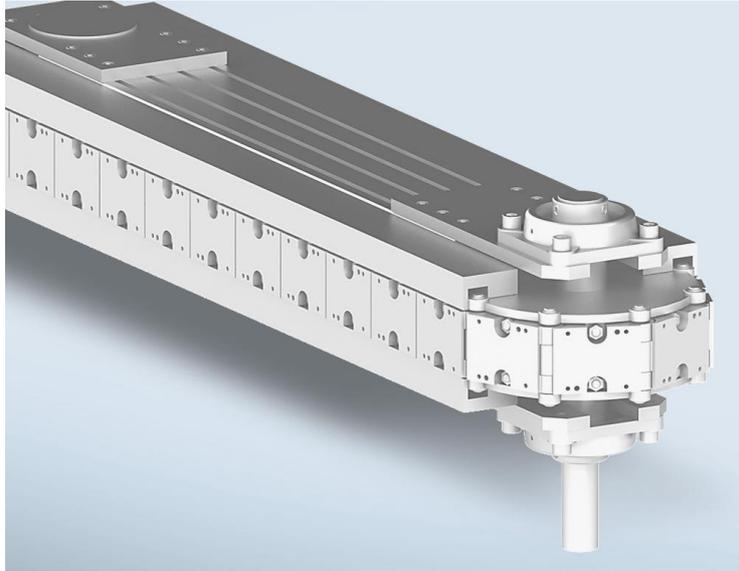


Figura 1.3 Trasportatore lineare

2 Profilo dell'azienda

L'azienda in cui è stato svolto questo lavoro di tesi è la Italplant Srl, un'azienda situata all'interno del territorio torinese che ha lo scopo di produrre meccanismi a camma globoidale in grado di generare dei moti intermittenti (*indexer*) che movimentano dei sistemi di trasferimento di precisione.

La sede principale è a Torino ed è costituita da ufficio tecnico, officina, uffici amministrativi, magazzino e showroom. L'azienda lavora nel campo dell'automazione industriale da circa 40 anni, possiede numerosi brevetti grazie ai quali è riuscita ad ampliare il suo mercato espandendosi in tutto il mondo. I clienti tipici della Italplant sono costruttori di macchine automatiche, spesso fornitori di grandi realtà nel campo industriale.

2.1 La storia

Italplant Srl è stata fondata nel 1981 dall'ingegnere meccanico Giorgio C. Gay, che decise di intraprendere una collaborazione con l'azienda britannica *Manifold Indexing*, grande realtà nella produzione di meccanismi a camma. Tale collaborazione portò alla vendita di *indexer* anche in Italia.

Successivamente, nel 1990, ebbe inizio una collaborazione con l'azienda statunitense *CAMCO* che portò i prodotti italiani negli Stati Uniti e diede la possibilità di produrre conveyor anche in Italia.

Come specificato precedentemente, oggi i prodotti Italplant sono diffusi in tutto il mondo. Tra i clienti più importanti ci sono grandi realtà operanti nei settori: automobilistico, robotico, medico, alimentare, cosmetico.



Figura 2.1 Interni Italplant

2.1.1 Brevetti e certificazioni

Anni di esperienza e studio nel settore dell'automazione industriale, hanno permesso di introdurre numerose migliorie ai prodotti Italplant.

Fra queste è importante citare il *limitatore di coppia integrato (SOTL)*. Si tratta di un sistema unico al mondo che permette di inserire all'interno della tavola rotante un limitatore di coppia, grazie al quale è possibile tutelare l'asse di uscita della tavola in seguito ad un urto.

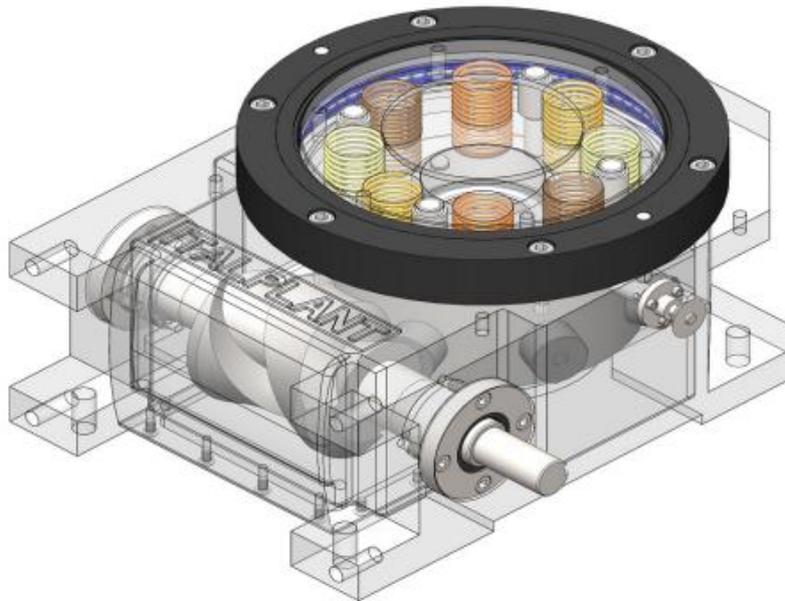


Figura 2.2 Meccanismo SOTL

Un secondo brevetto riguarda il taglio delle camme ad alta velocità. Nello specifico, l'ingegner Gay ha ideato un nuovo metodo che rende i macchinari più veloci del 30% rispetto a qualsiasi altro macchinario equivalente.

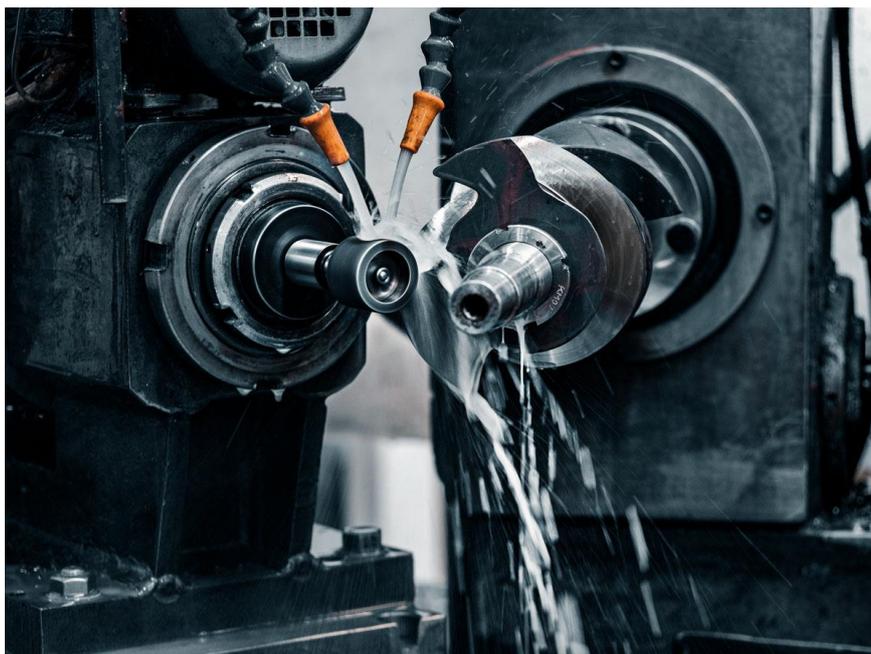


Figura 2.3 Taglio camme

Sono stati anche brevettati dei dettagli di alcune tipologie di trasportatore: *PLC-S* e *PBC* di cui si parlerà in seguito.

Infine, il rigore e la precisione dei sistemi di produzione della Italplant, le ha permesso di conseguire la certificazione *ISO 9001:2015* che attesta l'impegno dell'azienda nell'organizzare un sistema di gestione della qualità interno. Questa certificazione garantisce la massima efficienza della linea produttiva.

2.2 I prodotti

L'azienda è specializzata nella progettazione e nell'assemblaggio di due principali tipologie di prodotti: gli indexers a camma e i trasportatori lineari (*conveyors*).

Gli indexers possono essere venduti singolarmente oppure utilizzati per motorizzare i conveyors. Per tale motivo esiste uno studio preliminare volto a garantire le prestazioni richieste dal cliente.

2.2.1 Indexers

Gli indexers sono dei prodotti composti da un meccanismo a camma globoidale, che trasforma il moto continuo di un albero di ingresso in moto intermittente di un albero di uscita. Il movimento dipende fortemente dalla legge di moto che viene scelta, realizzata direttamente sulla camma.

In funzione delle esigenze dei clienti e dei carichi da trasportare, sono state ideate diverse tipologie di intermittori:

- *Serie SX*: presentano una forma compatta e dei prezzi abbastanza competitivi. Vengono serviti con un motore, riduttore e camme controllo per il controllo dei cicli. Al momento sono presenti diverse taglie: 25, 40, 60, 95;



Figura 2.4 Intermittori SX

- *Serie SP*: sono adatti per applicazioni con carichi elevati. Può sopportare carichi più elevati rispetto ai precedenti ed ha un maggiore ingombro. Sono dotati di cuscinetti a rulli conici sovradimensionati per sopportare carichi maggiori. Al momento sono disponibili le seguenti taglie: 805, 1205, 1705, 1805;



Figura 2.5 Intermittori SP

- **Serie MK2:** sono adatti a lavorare ad elevate velocità e presentano un'inerzia ridotta. Forniscono elevate prestazioni con qualsiasi numero di stop e qualsiasi velocità. Attualmente sono disponibili quattro taglie: 500, 650, 800, 1100;



Figura 2.6 Intermittori MK2

- **Serie TIG:** l'asse di uscita di queste tavole è costituito da un anello che lascia dello spazio al centro, molto utile per posizionare stazioni di lavoro. Sono disponibili due taglie: 800 e 1200;



Figura 2.7 Intermittori TIG

- **REVOMOTION (REV600)**: è il prodotto più recente dell'azienda. Tale soluzione presenta un foro centrale passante ed un'elevata capacità di carico. Mantiene, inoltre, un'elevata accuratezza;



Figura 2.8 REVOMOTION

2.2.1 Conveyors

L'azienda progetta e monta diversi modelli di trasportatori lineari (conveyors) di precisione. Essi vengono movimentati dagli indexer, muniti molto spesso da motoriduzione. Per tale motivo vengono venduti quasi sempre insieme.

Esistono tre modelli di trasportatori, che differiscono tra di loro per la dimensione della maglia, che viene misurata lungo la direzione di movimento:

- *PBC (Precision Belt Conveyor)*: rappresentano lo standard più alto sul mercato. Hanno una struttura quasi interamente in alluminio e rappresentano il giusto compromesso tra struttura modificabile in funzione delle esigenze del cliente e costi limitati. Le maglie in alluminio sono fissate ad una cinghia dentata ad alta precisione, mentre le guide lineari sono in materiale plastico. Questa composizione garantisce loro anche una buona accuratezza. Sono disponibili maglie da 60, 80, 100, 160 mm;

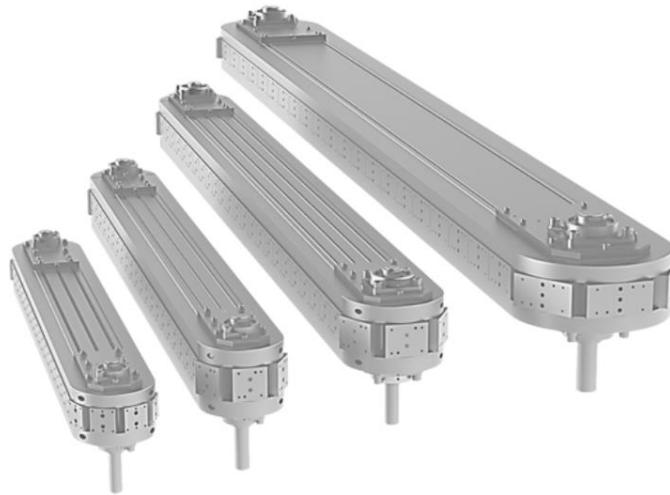


Figura 2.9 PBC

- *PLC (Precision Link Conveyor)*: è composto da un trave in alluminio e da maglie collegate tra loro mediante perni folli che scorrono su guide in acciaio. La movimentazione avviene mediante due pignoni sui quali toccano i perni folli, garantendo così una trasmissione senza gioco tra le guide e le maglie. Infine, la camma di tensionamento presente sul lato di rinvio mantiene la catena in trazione ed elimina i giochi derivanti dal cambio di direzione. Le taglie attualmente in uso sono: 100, 125, 150 mm e 3, 4, 5, 5.5, 6.5 pollici;

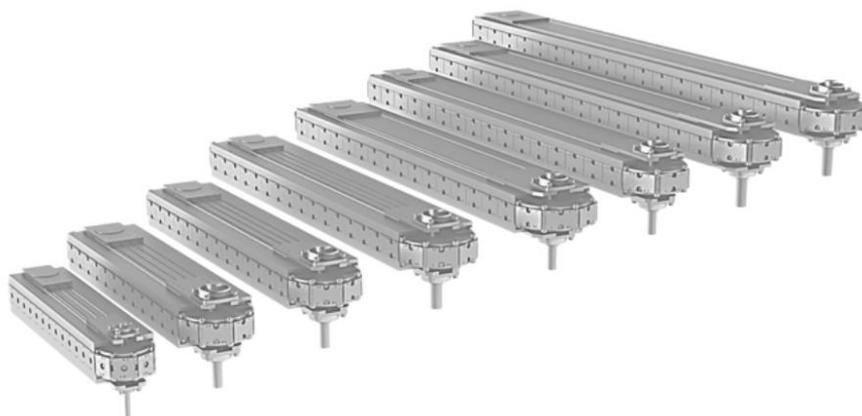


Figura 2.10 PLC

- *PLC HA* “High Accuracy”: è il migliore dei trasportatori lineari che l’azienda mette a disposizione. Come costruzione è molto simile al PLC standard, ma a differenza di quest’ultimo presenta un trave in acciaio. Viene utilizzato per applicazioni che richiedono alte accuratze e ripetibilità, nonché un’elevata precisione. Le taglie disponibili sono: 100, 125, 150, 200 mm e 1.5, 2, 3, 4, 4.5, 5.5, 6, 8 e 12 pollici;

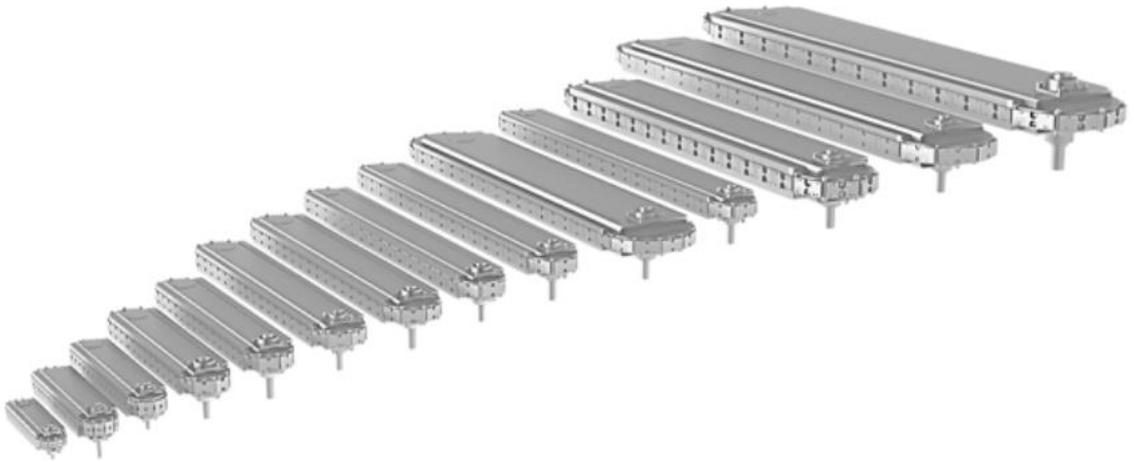


Figura 2.11 PLC HA

- *P-TRAK*: si tratta di una soluzione studiata in collaborazione con *HDQ Group*, partner italiano specializzato nella produzione di componenti meccatronici. In particolare, è un sistema lineare magnetico per carichi pesanti che fonde l’elevata capacità di carico tipica di un Precision Link Conveyor con la flessibilità di un motore lineare.



Figura 2.12 P-TRAK

3 Meccanismi a camme per macchine automatiche

La camma è un componente sagomato appartenente ai meccanismi di trasmissione del moto. Quest'ultimo avviene mediante il contatto tra due profili. Lo scopo della camma è quello di trasformare una legge di moto in un'altra voluta. Tipicamente viene trasformato un moto rotatorio uniforme in un moto alternato intermittente. In particolare, il profilo che trasmette il moto viene detto *movente* mentre quello che lo subisce viene detto *cedente*. Esistono diverse tipologie di camme:

- *Piane* (se il cedente si muove in un piano perpendicolare all'asse di rotazione);
- *Spaziali* (altri casi).



Figura 3.1 Meccanismo a camma piana

I vantaggi di queste applicazioni sono molteplici: essi infatti conferiscono elevata precisione, grandi accelerazioni, forze estreme, possono essere applicati in spazi molto limitati e permettono di realizzare qualsiasi legge di moto.

Nelle applicazioni che verranno spiegate in seguito vengono utilizzate le *camme globoidali*. Si tratta di un cilindro sulla cui superficie viene ricavato un taglio circolare in direzione circonferenziale. Facendo così, il profilo si accoppia perfettamente con un cedente cilindrico (detto *stella*) sulla quale vengono inseriti radialmente dei *perni folli*. A volte i perni vengono precaricati per garantire un movimento senza alcun gioco.



Figura 3.2 Meccanismo a camma globoidale

Il meccanismo a camma, quindi, viene introdotto all'interno della tavola rotante (*indexer*). Come si può notare nella figura sottostante, la camma è solidale all'asse di ingresso del meccanismo ed è, quindi, montata su un albero movimentato da un motore-riduttore. La torretta rappresenta invece l'asse di uscita. Nel caso dei conveyor, all'asse di uscita della tavola viene collegato l'albero di ingresso del conveyor che movimentava il *pignone*, il quale fa spostare i *pallet*.



Figura 3.3 Interno di un'indexer

L'accuratezza del posizionamento dei pallet è funzione di tutti i giochi di montaggio del sistema. Una catena più lunga, avendo più elementi, risulterà meno accurata. È per tale motivo che si avvicinano i perni folli alla torretta, in modo tale da ottenere un *precarico*. L'alimentazione della tavola rotante può avvenire mediante due tipologie di motori:

- *Motore trifase* con alimentazione diretta 230/400 V, la cui velocità viene ridotta da un riduttore (ad assi paralleli o epicicloidale) con arresto doppio un certo numero di giri. Tale configurazione non è molto accurata né tantomeno dolce nei movimenti. Esiste una variante con l'implementazione di un *inverter*, ovvero un variatore di frequenza che modula le fasi di accelerazione e di decelerazione e conferisce una maggiore "dolcezza" al moto. Nonostante ciò, però, non si riesce ancora ad arrestare con precisione il disco su cui si hanno le stazioni;
- *Motore brushless*: conferisce un movimento più dolce ma non è molto adatto per elevato numero di cicli. Inoltre, in questo caso, si necessita dell'utilizzo di un encoder per il controllo della posizione angolare.

I perni folli vengono progettati e realizzati internamente dall'ufficio tecnico dell'azienda Italplant. Ogni tavola può montare diversi tipi di perni che differiscono anche per la loro dimensione; è da quest'ultima che dipende anche la dimensione ed il tipo di camma. Nel caso di camme globoidali la velocità di rotazione dei perni è costante durante il moto.



Figura 3.4 Perno folle Italplant

3.1 Progettazione del moto

La progettazione del moto avviene secondo questa logica:

1. Definizione del moto del movente e del moto da ottenere nel cedente;
2. Scelta del tipo di meccanismo a camme;
3. Progettazione analitica della cinematica e della dinamica.

La prima fase è imposta dal progetto. La seconda dipende dall'esperienza del progettista. L'ultima ha lo scopo di ottenere la forma necessaria della camma per ottenere il moto voluto. Il profilo della camma presenta una zona di movimento che genera la rotazione dell'asse di uscita ed una zona di sosta in cui, invece, l'asse di uscita rimane fermo. Si parlerà, quindi, di *angolo di movimento* e *angolo di sosta*. A tal proposito esiste una regola base:

- Se angolo di movimento \gg angolo di sosta si parla di *cycle on demand*: necessità di poco spazio come angolo di sosta: il motore si ferma ad ogni ciclo di lavoro e riparte dopo un consenso;
- Se angolo di movimento \leq angolo di sosta si avrà un *continuous running*: l'angolo di sosta è più lungo poiché il motore non si ferma mai e quindi nello spazio di sosta si deve poter eseguire il lavoro.

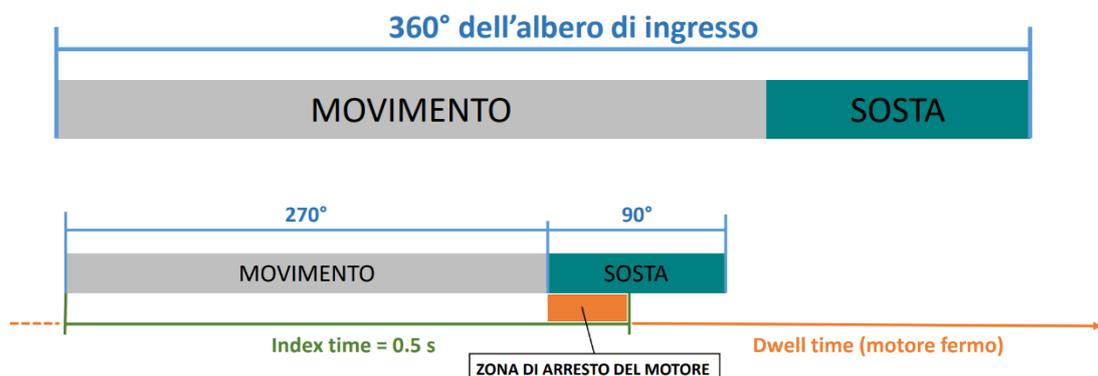


Figura 3.5 Cycle on demand

Fino ad adesso si è utilizzata la prima modalità. Sarà obiettivo di questa tesi lo studio e l'analisi della movimentazione in continuous running.

3.1.1 Leggi di moto

Le leggi del moto sono gli andamenti dello spostamento e delle sue derivate in funzione del tempo, di solito adimensionalizzate rispetto allo spostamento o rispetto al tempo. Si tratta di leggi normalizzate e inserite nei manuali del settore dell'automazione industriale. Esse vengono classificate in base ai coefficienti delle velocità e accelerazione, ovvero valori adimensionali di alcune grandezze fisiche.

La legge di moto si sviluppa all'interno della fase di movimento (tipicamente 270°). Per la sua scelta si deve tener conto di alcuni fattori:

- Ciò che sollecita maggiormente il meccanismo è il coefficiente di accelerazione C_a ;
- A parità di distanza e tempo, una legge di moto con $V=\text{cost}$ ha coefficienti di accelerazione maggiori;
- Una legge di moto priva di tratto centrale di velocità costante è più morbida.

3.1.1.1 Legge di moto MS

Una tra le leggi di moto più utilizzate è sicuramente la *sinusoidale (MS)* per armoniche semplici.

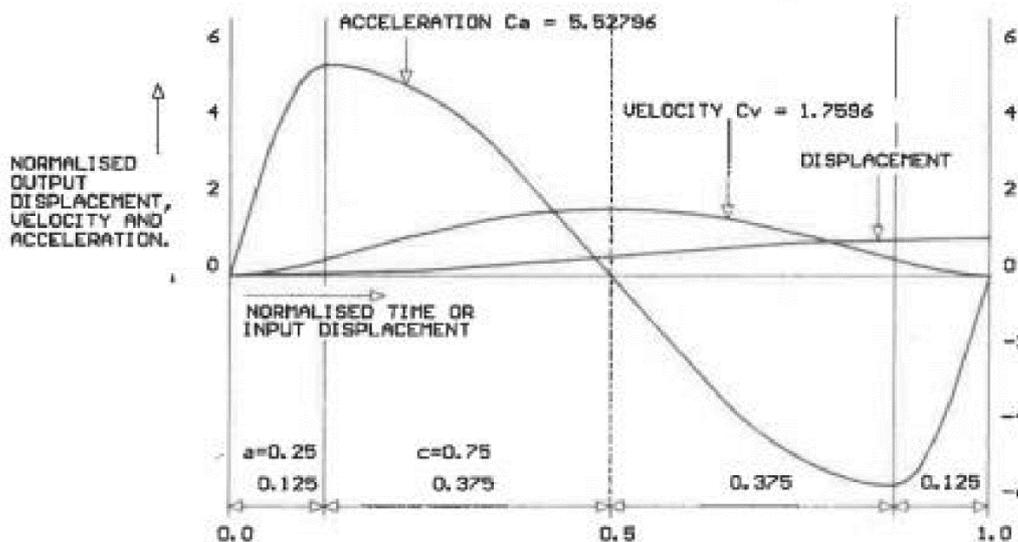


Figura 3.6 Curva di moto MS

Tale legge nasce da una sinusoidale, ottimizzata per i movimenti a camma con i seguenti coefficienti di accelerazione e di velocità:

$$C_a = 5.53 \quad C_v = 1,76$$

3.1.1.2 Legge di moto MSC50

Tale legge nasce da una sinusoidale modificata a cui è stato aggiunto un tratto a velocità costante di % variabile, in questo caso 50%. In questo caso:

$$C_a = 8.01 \quad C_v = 1.27$$

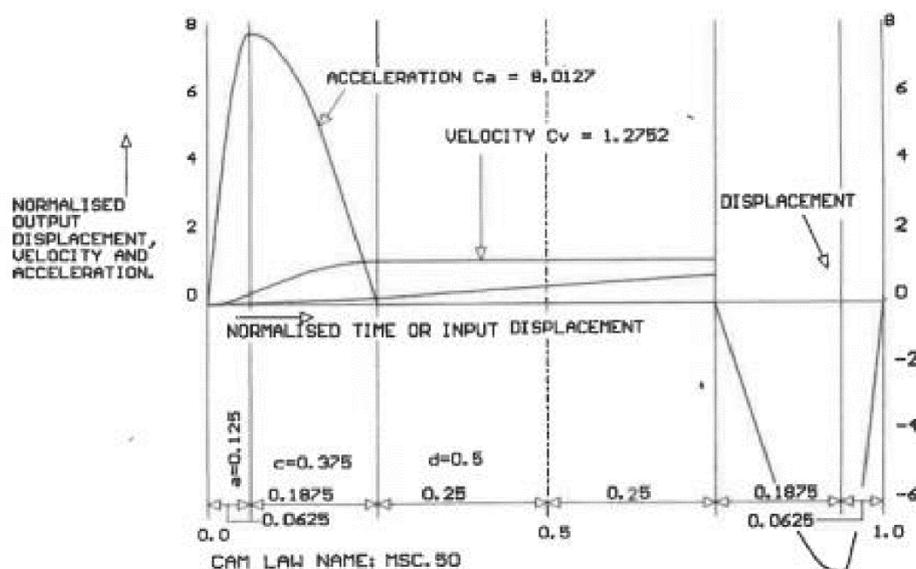


Figura 3.7 Curva di moto legge MSC50

3.1.1.3 Legge di moto trapezoidale

La legge di moto trapezoidale presenta dei tratti in cui l'accelerazione cresce seguiti da momenti in cui essa decresce. Tra i due esiste un tratto di accelerazione costante. I grafici di velocità e spostamento vengono da sé in quanto integrali dell'accelerazione.

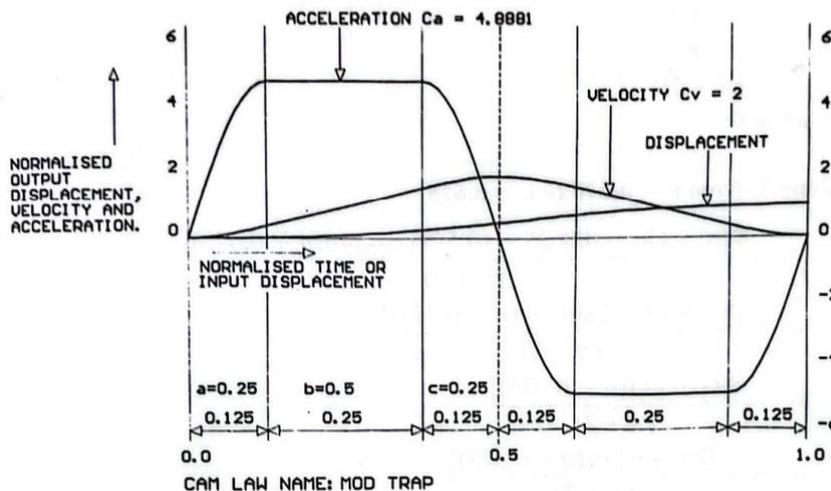


Figura 3.8 Curva di moto legge trapezoidale

Questa legge presenta i seguenti coefficienti di accelerazione e velocità:

$$Ca = 4.881 \quad Cv = 2$$

3.2 Requisiti dell'applicazione

Per progettare un conveyor si parte dalle richieste del cliente che tipicamente necessita di un certo numero di stop, di un layout produttivo particolare o di una determinata disposizione delle stazioni di lavoro. Sono necessari, quindi:

- Numero di stazioni
- Distanza tra due stazioni
- Tempo di movimento
- Carico totale da trasportare
- Il tempo della stazione più lenta
- La legge di moto
- Posizione di montaggio: carosello/*over-under*

Partendo da questi dati è possibile dimensionare gli elementi del conveyor, ovvero la dimensione del pallet e l'interasse, ma anche il meccanismo a camma. Infatti, per movimentare tutti i carichi presenti (il peso di tutti i pallet e di tutti i portapezzo in aggiunta alle inerzie del conveyor) è necessario dimensionare gli elementi che consentono la trasmissione della coppia richiesta, che sarà funzione dell'accelerazione prevista dalla legge di moto della camma scelta e del tempo di movimento. Il tempo di scatto viene scelto come il più piccolo possibile, trattandosi di un tempo improduttivo.

3.3 La camma continua

Come evidenziato precedentemente, le camme globoidali comunemente utilizzate presentano una zona di movimento ed una zona di sosta. Durante quest'ultimo tratto, quindi, la camma gira movimentata dal motore ma il cedente (torretta) non compie il suo moto intermittente. In queste applicazioni vengono utilizzati dei motori trifase ed il movimento indexato viene garantito dalla camma stessa. Obiettivo di questo lavoro è svolgere dei test su delle tavole che montano una *camma continua*. Questa, infatti, a differenza della prima, non presenta la zona di sosta bensì un'unica zona di movimento che si estende per tutto il profilo della camma. Questo conferisce un continuo movimento del cedente. A tal proposito vengono utilizzati i motori *brushless*. Questi ultimi vengono programmati mediante PLC in modo da farli lavorare o meno in funzione del movimento che si desidera. In questa situazione, quindi, il movimento indexato viene garantito dal motore. Di seguito viene raffigurata un'immagine rappresentante la camma continua utilizzata in quest'esperienza:



Figura 3.9 Camma continua Italplant

4 PLC

Un PLC è un controllore programmabile usato per la movimentazione di macchinari, linee e impianti industriali. Garantisce molta flessibilità nei processi industriali. Si tratta di un dispositivo in grado di elaborare dati in input, provenienti da sensori, gestire dei comandi forniti dall'operatore mediante un programma per poi produrre output analogici o digitali diretti agli attuatori presenti in un impianto.

La struttura del PLC viene adattata in base al processo da automatizzare: durante la progettazione del sistema di controllo, vengono scelte le schede adatte alle grandezze in gioco.



Figura 4.1 PLC Siemens

La prima azione che esso compie è la lettura di tutti gli ingressi, sia digitali che analogici. In seguito, il loro stato viene memorizzato in memoria. Quindi le istruzioni di comando vengono elaborate in sequenza dalla CPU ed il risultato viene memorizzato. Infine, il contenuto delle uscite viene scritto sulle uscite. Poiché l'elaborazione delle istruzioni si ripete sempre, si può parlare di un'elaborazione ciclica.

Negli anni è diventato un prodotto sempre più affermato proprio per la sua versatilità e facilità di applicazione in ogni settore dell'automazione industriale. Esistono diverse marche di PLC: tra le più conosciute si ricordano *Siemens, Omron, Schneider, Mitsubishi*. Nell'applicazione di cui si parlerà in seguito verrà utilizzato un *PLC Siemens 1200*.

4.1 Vantaggi

I PLC richiedono poca progettazione elettrica, l'unico problema riguarda la sequenza desiderata di operazioni. Sono dei prodotti facilmente modificabili ed aggiornabili senza dover apportare modifiche hardware significative. Sono, inoltre, progettati per operare in ambienti industriali impegnativi. Sono resistenti alle condizioni ambientali avverse, come temperature estreme, umidità e vibrazioni. Grazie alla loro progettazione elettronica, i PLC possono elaborare istruzioni e prendere decisioni in tempi molto rapidi. Ciò consente di controllare e regolare i processi in tempo reale, garantendo una risposta immediata alle esigenze di produzione. Sono anche in grado di monitorare e raccogliere dati di produzione in tempo reale consentendo la capacità di eseguire analisi avanzate, identificare eventuali guasti e anomalie ed attuare delle correzioni in poco tempo senza interrompere la produzione.

4.2 Linguaggi di programmazione

Il PLC, per svolgere i suoi compiti, ha bisogno di essere programmato tipicamente mediante un PC sul quale un software permette di creare programmi da caricare nella memoria dalla sua CPU. Tali software possono leggere il programma direttamente dalla memoria.

La normativa IEC 61131-3 del 1993 ha standardizzato 5 linguaggi di programmazione, di cui 3 grafici e 2 testuali. La normativa è stata successivamente aggiornata con l'uscita della "CEI EN 61131-3" detta anche "CEI 65-40" Prima Edizione: 1° giugno 1996.

4.2.1 Linguaggi grafici

- *Ladder diagram*, detto anche "Linguaggio a contatti". Era il linguaggio di programmazione più utilizzato fino a qualche tempo fa, in quanto esso rappresenta una efficace trasposizione informatica dei circuiti elettrici. Questo linguaggio vede l'utilizzo di simboli logici corrispondenti a segnali di ingresso e di uscita per implementare la logica che prima veniva cablata mediante i relè.
- *Sequential function chart*, o semplicemente SFC. Permette di implementare facilmente una macchina a stati finiti.
- *Function Block Diagram (FBD o FUP)*, molto simile ai diagrammi circuitali usati dagli elettronici.

4.2.2 Linguaggi testuali

- *Instruction List (IL o AWL)*, anche detto "Lista di istruzioni". Si tratta di un linguaggio di basso livello, molto diffuso tra le ditte di programmazione di PLC. Può essere facilmente ricavato dal Ladder e permette una programmazione più strutturata di quest'ultimo.
- *Structured Text (ST)* detto "Testo Strutturato", linguaggio di alto livello.

Per le prove che verranno svolte successivamente verrà utilizzato il linguaggio Ladder.

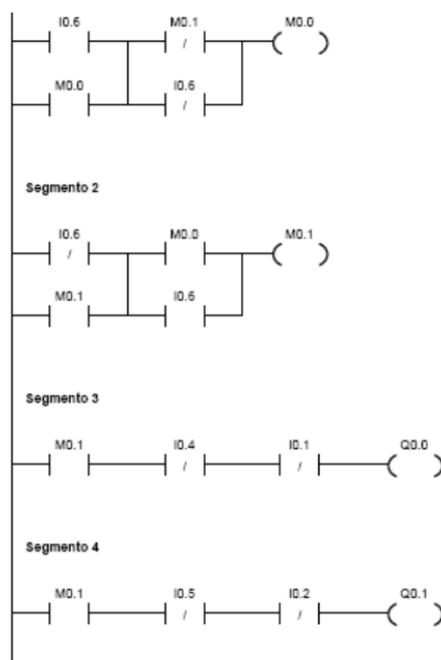


Figura 4.2 Esempio di linguaggio Ladder

5 Banco di prova

Questo lavoro di tesi si pone l'obiettivo di studiare e monitorare il movimento di un motore brushless collegato ad una tavola rotante, al posto di un motore trifase.

In particolare, gli scopi sono:

1. Studiare il comportamento della tavola nel momento in cui vengono cambiati motore e/o riduttore;
2. Testare la fattibilità di quanto studiato in teoria;
3. Effettuare prove al variare dell'inerzia sul disco di uscita della tavola;
4. Testare una nuova tavola.

La tavola rotante su cui si sono effettuati gli studi è il modello *REV600* di Italplant, dotata di una camma continua. Quest'ultima non presenta una zona di sosta. Il movimento *indexato*, quindi, non viene garantito dalla camma bensì dal motore brushless, comandato mediante un PLC. Risulta importante specificare che il banco di prova su cui è stato svolto il lavoro è stato allestito a partire da uno preesistente utilizzato dall'azienda Italplant per esposizione nelle fiere. Quest'ultimo è composto da un conveyor munito di tavola e motorizzazione il cui motore viene comandato da PLC, lo stesso utilizzato per le prove che verranno svolte in seguito. Essendo i due banchi molto vicini tra di loro, è importante accertarsi che nel PLC venga caricato il programma corretto per l'applicazione che si desidera.

5.1 Tavola

Il Revomotion è una soluzione perfetta per molte applicazioni. Il suo grande foro passante conferisce all'applicazione un grande spazio dove poter far passare ad esempio cavi, robot o stazioni. Sopporta un'elevata coppia in uscita ed un carico assiale notevole. Grazie alla sua estrema accuratezza, riesce ad essere utilizzata anche in operazioni di montaggi di precisione. Inoltre, l'azzeramento del gioco, garantita dalla camma globoidale montata al suo interno, consente di raggiungere tempi molto rapidi e di aumentare la produttività.



Figura 5.1 REV600 di Italplant

Nell'immagine soprastante il gruppo viene rappresentato con una moto-riduzione diversa da quella utilizzata durante l'esperienza. Infatti, essendo un'immagine di catalogo, essa rappresenta una delle configurazioni più comuni: riduttore KC + motore trifase.

È stato anche elaborato un modello 3D, mediante il software SolidWorks, del gruppo utilizzato durante il lavoro i cui componenti verranno presentati nel dettaglio in seguito.

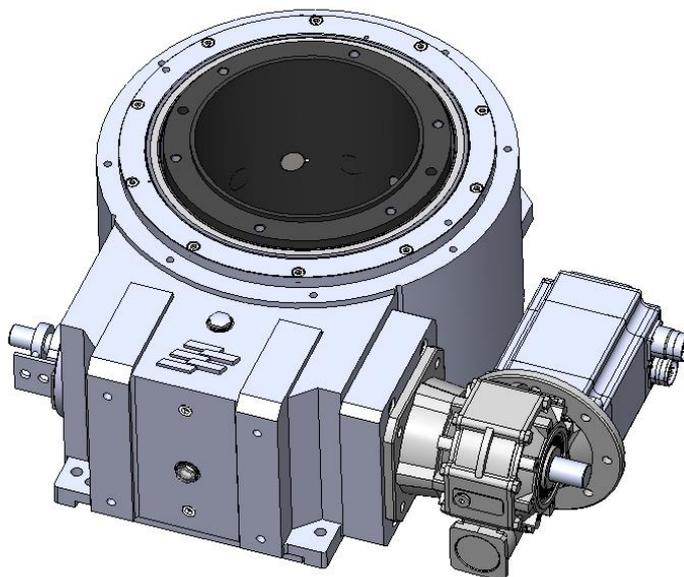


Figura 5.2 Modello CAD del complessivo

5.2 Motore

Il motore utilizzato è il modello BMH di *Schneider Electric*. In particolare, si tratta di un servomotore collaudato per applicazioni che lavorano da 0.15kW a 7kW con 10 poli. Presenta un momento di inerzia medio con velocità meccanica massima di 4000 rpm e albero con chiavetta parallela senza freno di stazionamento. È dotato di un encoder per la trasmissione automatica dei dati al driver, anch'esso di *Schneider Electric*.

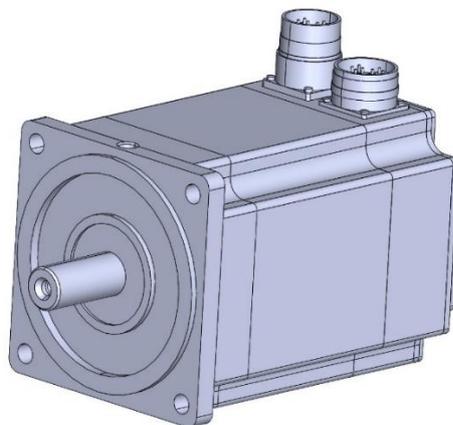


Figura 5.3 Motore Brushless Schneider

5.3 Riduttore

Come riduttore è stato montato un KC75 di *Tremec* con rapporto di riduzione 20, senza limitatore di coppia in ingresso (SITL), con PAM 90 e flangia B5. Nello specifico, il *PAM* corrisponde alla taglia del motore che viene montato sul riduttore, invece per *B5* si intende la dimensione della flangia di attacco al motore.

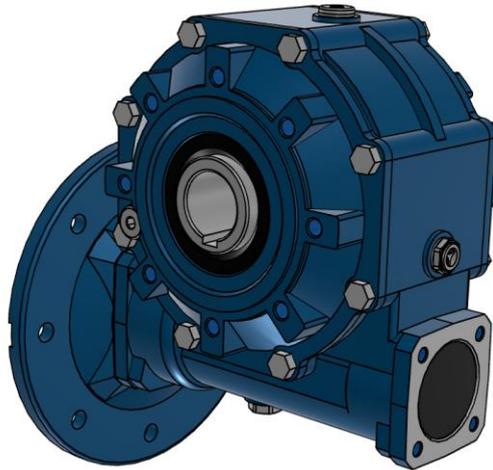


Figura 5.4 Riduttore KC75 Tremec

5.4 Encoder

Sull'albero di ingresso, nel lato opposto alla moto-riduzione, è stato montato un encoder al fine di monitorare la posizione della camma. È una soluzione che molto spesso viene consigliata ai clienti. In alternativa vengono utilizzate anche delle camme piane posizionate sull'albero. La loro posizione viene letta da due sensori *proximity*. In questa esperienza si è preferita la prima soluzione. La posizione angolare dell'albero di ingresso viene, quindi, letta dall'encoder e visualizzata su un pc mediante un software implementato.



Figura 5.5 Encoder

La posizione di azzeramento dell'encoder, oltre a comparire sul software, può essere compresa anche visivamente mediante una tacca disegnata sulla tavola. Quando quest'ultima si trova in posizione verticale, l'encoder risulta nella sua posizione di zero.

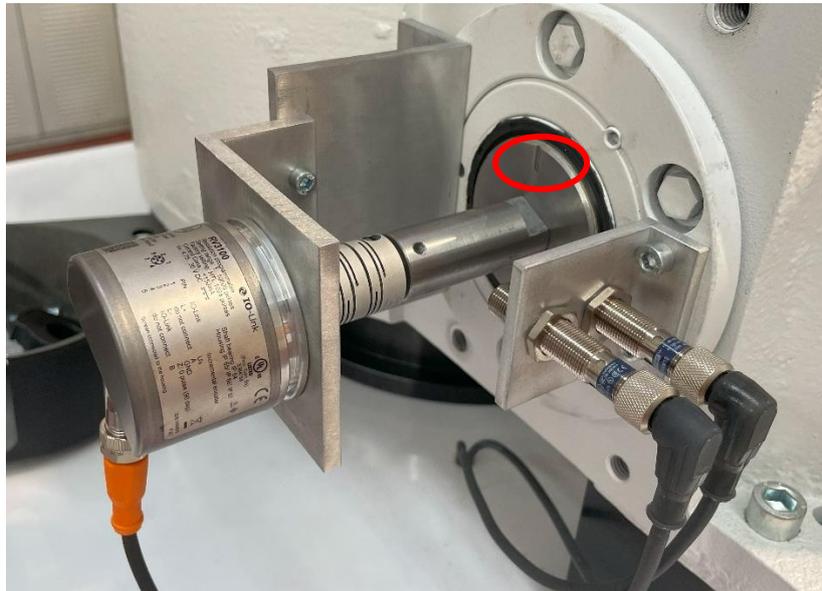


Figura 5.6 Posizione di azzeramento encoder

Precedentemente all'introduzione della camma continua, all'interno del REV600 era stata montata una camma globoidale classica con zona di stop. Da montaggio si sapeva che la metà della zona di sosta corrispondeva al tratto in cui la stanghetta sopra raffigurata si trovava non in posizione verticale bensì in posizione orizzontale e 90° prima. Quindi la posizione di azzeramento dell'encoder non corrispondeva alla metà della zona di sosta della camma ma entrambe erano sfasate di 90° .

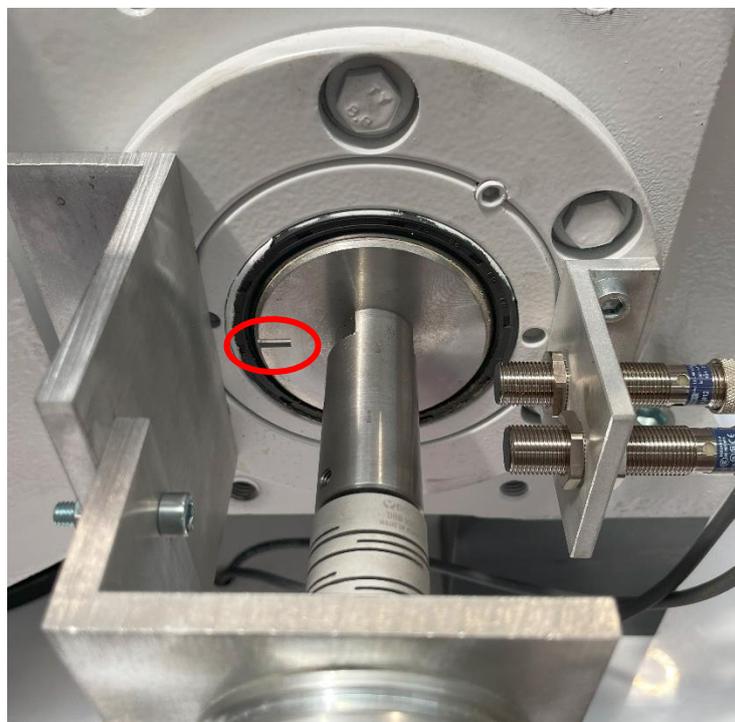


Figura 5.7 Posizione zona di sosta della camma indexata

5.5 Riferimento tavola

Sul disco rotante e sulla tavola sono stati montati rispettivamente una piastrina di acciaio ed un sensore proximity. Tale gruppo conferisce un'indicazione di posizione della tavola. Ogni qualvolta la piastrina passa sotto il sensore viene mandato un segnale che indica un giro completo della tavola.



Figura 5.8 Sensore proximity

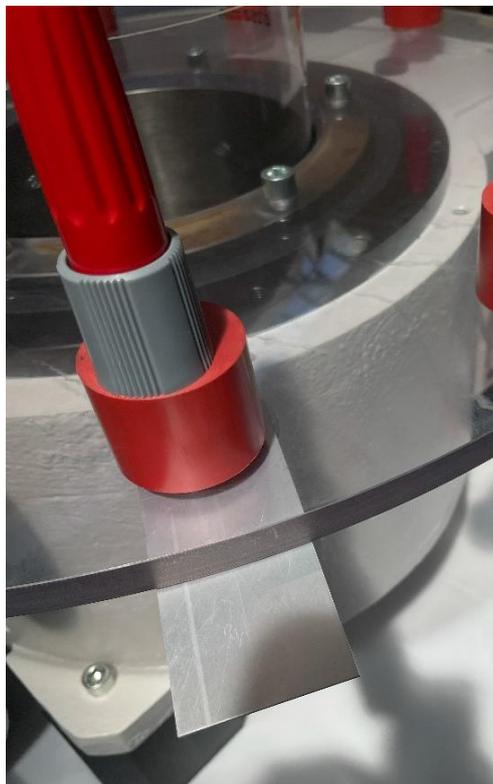


Figura 5.9 Piastrina riferimento tavola

5.6 Avviamento

Per avviare la macchina è necessario avere un quadro di pulsanti che rappresenti la *fase 0* del processo. È importante, inoltre, avere la compresenza di tutti i pulsanti per iniziare un ciclo. Ciò vuol dire che il programma da mandare al PLC deve contenere un primo segmento di *inizializzazione* in cui viene verificato ciò. La pulsantiera utilizzata apparteneva ad un *trasportatore lineare* utilizzato come dimostratore da Italplant nelle fiere in giro per l'Europa.



Figura 5.10 Pulsantiera di inizializzazione

Nello specifico i pulsanti utilizzati sono:

- *ON/OFF*: mandano corrente alla macchina
- *AUX*: viene premuto per accendere la macchina
- *EMERGENZA*: premuto nel momento in cui si desidera uno stop immediato della macchina
- *STOP*: tasto nero che permette di interrompere il movimento del motore

Particolare funzione hanno gli ultimi due (rosso e blu). Trattandosi di un banco da mandare anche in fiera, esso assolve a una duplice funzione: in base al programma caricato nel PLC è possibile far girare un conveyor (da mandare in fiera) oppure il REV600 (per le prove sperimentali). Era necessario, quindi, rendere facilmente intuibile il momento in cui avveniva tale switch. A tal proposito, sul programma è stato implementato un codice che permette agli ultimi due pulsanti di lampeggiare nel momento in cui si lavora con la tavola.

5.7 Quadro elettrico

Così come la pulsantiera di avviamento, anche il quadro elettrico è quello utilizzato in fiera, con opportune modifiche. Infatti, è stato aggiunto un azionamento, anch'esso di Schneider, ed un modulo aggiuntivo da collegare al PLC preesistente.

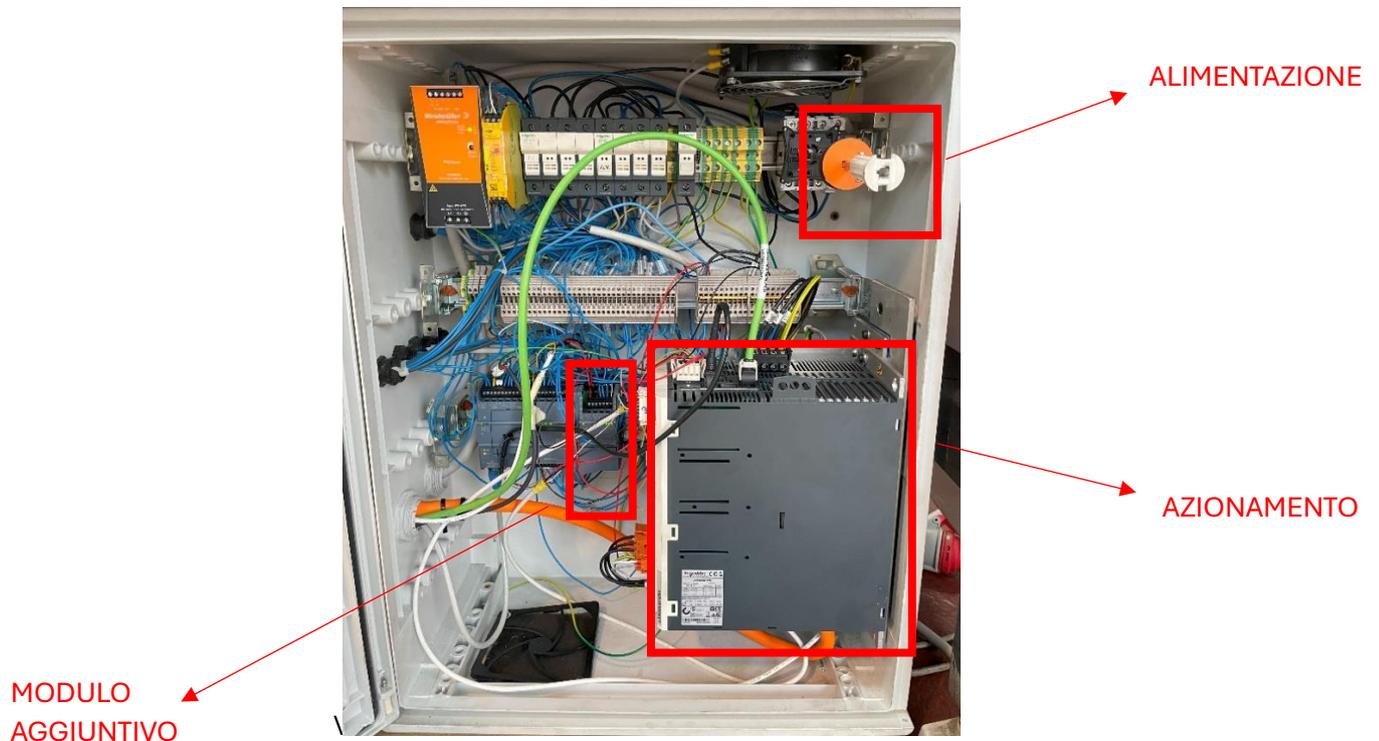


Figura 5.11 Quadro elettrico

Come si può notare nell'immagine soprastante, è stato inserito un modulo aggiuntivo al PLC. Questo perché era necessario avere ulteriori porte IN/OUT per aggiungere un encoder supplementare.

5.8 Gruppo tavola

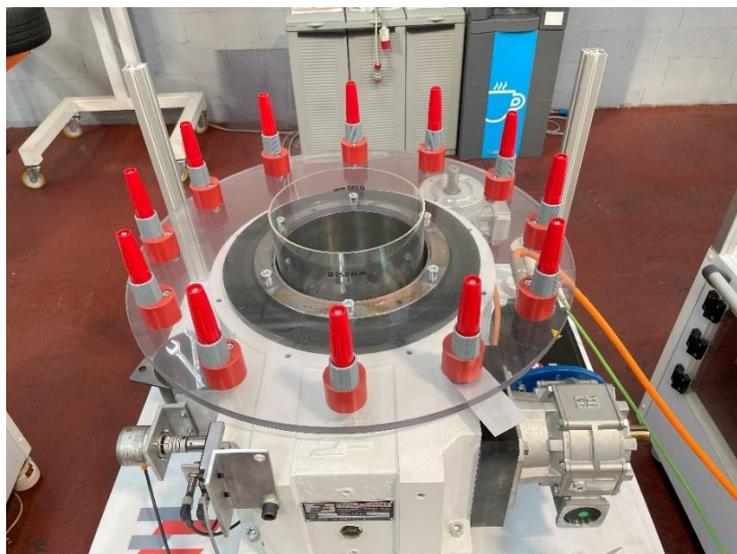


Figura 5.12 Gruppo tavola + moto-riduzione

Nell'immagine soprastante viene rappresentato il gruppo tavola rotante + moto-riduzione + encoder su albero di ingresso. Può essere visto come una comune applicazione nel campo medico-sanitario in cui si necessita che delle provette rimangano per un certo periodo di tempo in una stazione al fine di essere riempite.

5.9 Software di programmazione

Come detto precedentemente, la movimentazione del motore brushless è controllata mediante PLC. Quest'ultimo necessita di essere programmato, processo che consiste nel creare un programma mediante un software dedicato ed un linguaggio specifico e poi caricarlo all'interno della CPU di esso. A tal proposito è stata allestita una postazione di controllo vicino la tavola da comandare, dotata di pc all'interno del quale è stato installato il software per la programmazione, che in questo caso è *TIA PORTAL – Siemens*.

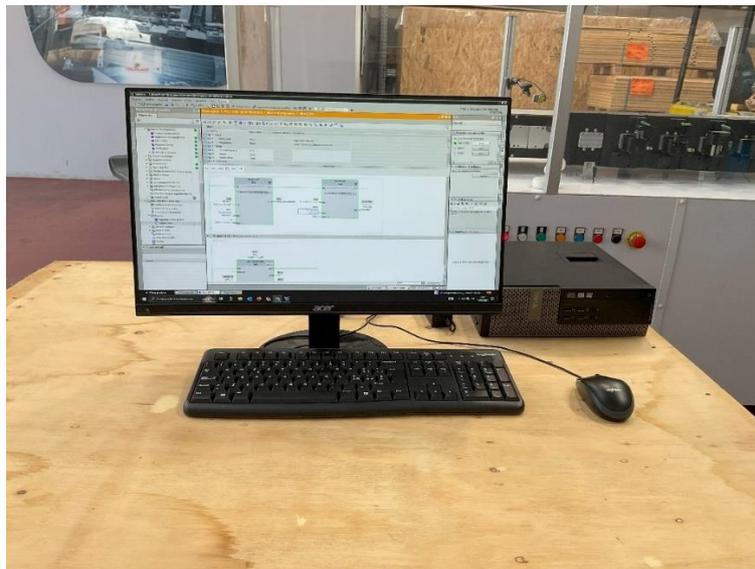
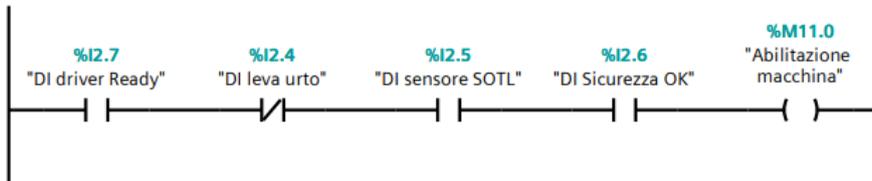


Figura 5.13 Postazione di lavoro

6 Programma

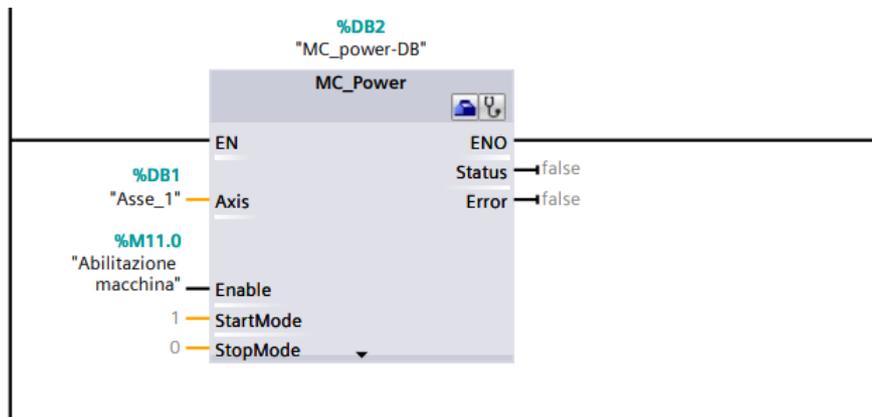
Il programma è stato scritto mediante *TIA-PORTAL* in linguaggio Ladder. Di seguito vengono spiegati i segmenti che lo compongono:

Segmento 1: Abilitazione macchina



Si tratta del segmento di inizializzazione del ciclo. Viene fatta una verifica sui comandi iniziali e ci si accerta che tutti i pulsanti siano spenti, compresi la leva di urto presente sul trasportatore. Quest'ultima era utilizzata nel programma per le fiere ma, per evitare modifiche notevoli, la si è lasciata. A questo punto viene azionato il comando che aziona la macchina.

Segmento 3: Potenza all'asse del motore



È stata creata una variabile per la movimentazione dell'asse, *Asse_1*. Questa viene inserita come ingresso, insieme all'abilitazione macchina che è stata attivata nel segmento precedente, in un blocco di potenza *MC_power-DB*. In questo modo viene conferita all'asse la possibilità di muoversi.

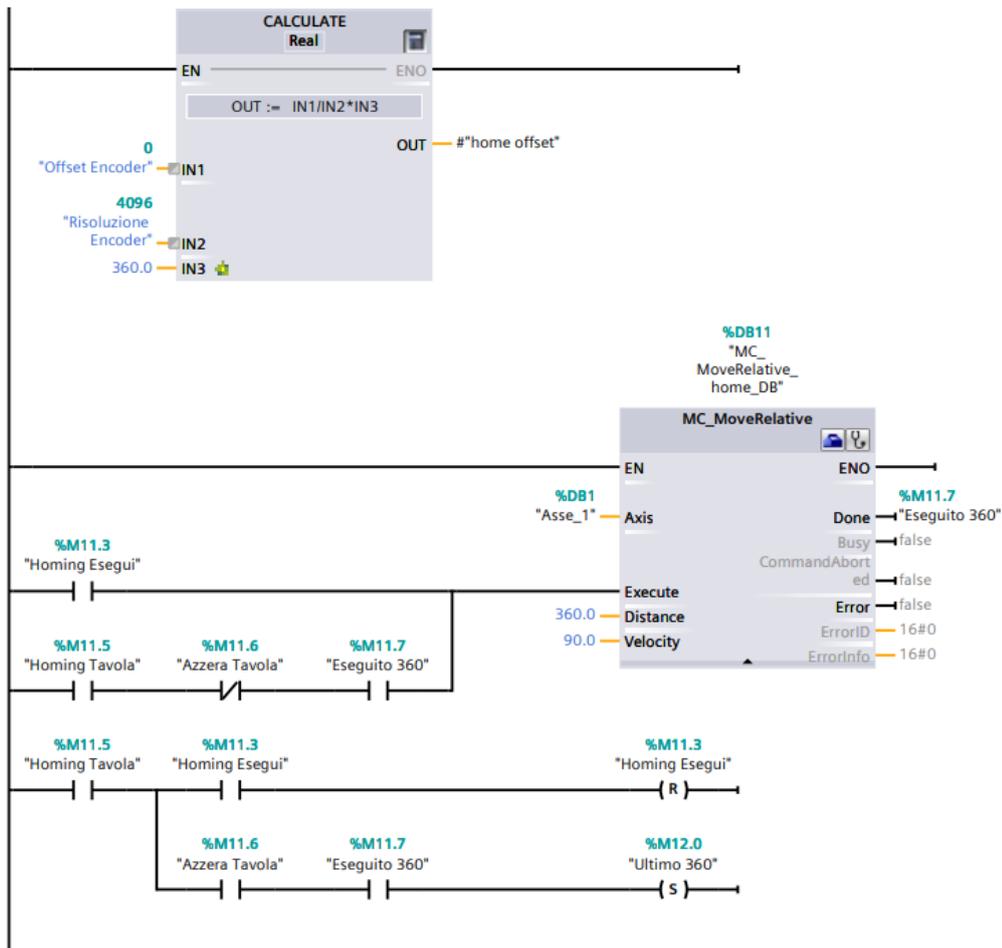
6.1 Azzeramento

Nel gruppo esistono due sistemi di riferimento:

- Posizione angolare dell'asse di uscita a valle del riduttore: rappresenta l'angolo della camma, ovvero la posizione comandata dal motore;
- Posizione controllata dall'encoder sulla tavola: posizione reale.

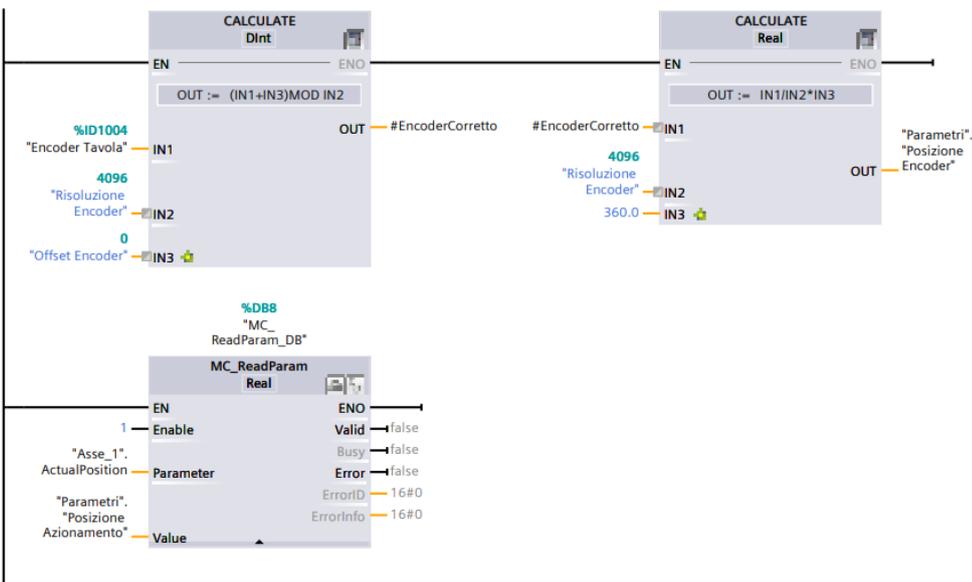
La procedura di azzeramento consiste nel rendere uguali entrambe le posizioni cercando dapprima la posizione di azzeramento dell'encoder e facendo azzerare il *motion-control*, presente all'interno dell'azionamento, in quel punto.

Segmento 4: Homing 1

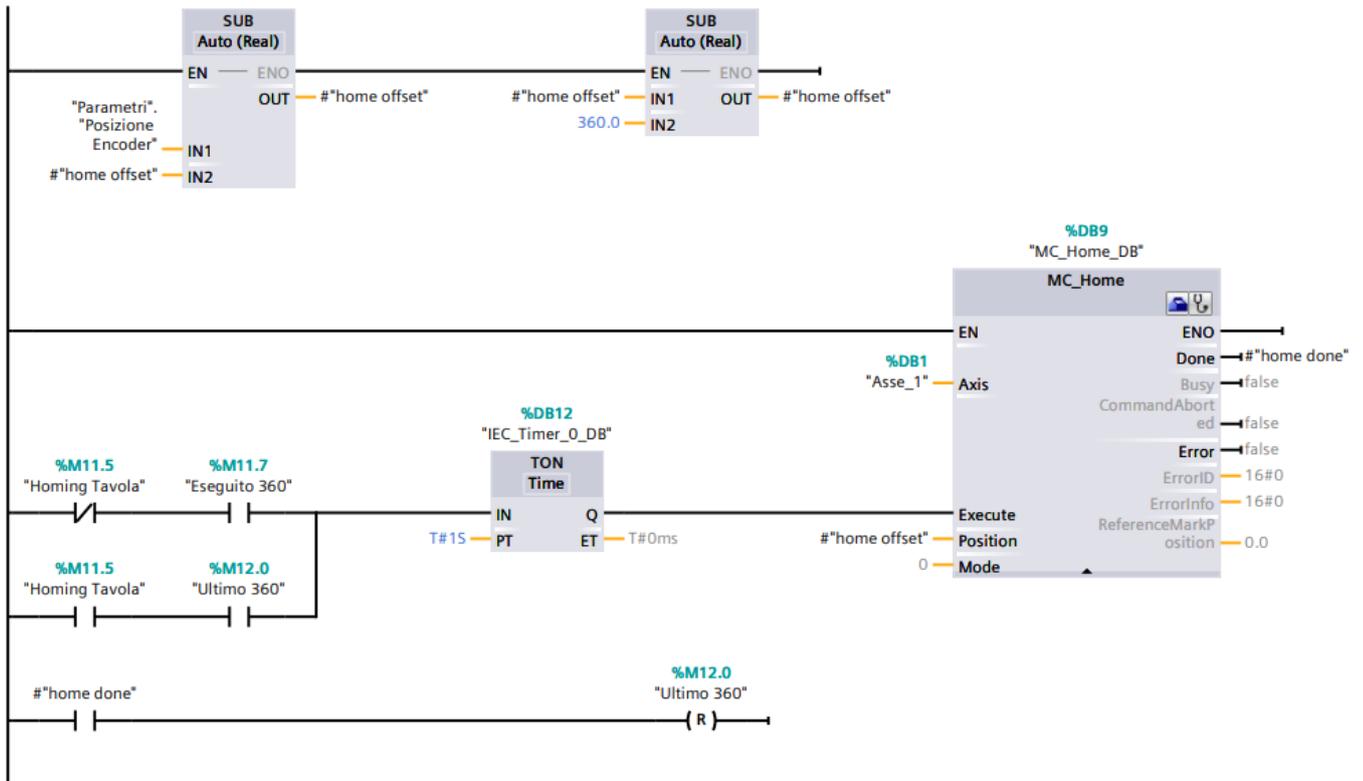


In questa fase inizialmente si trova l'*home offset*, ovvero lo scostamento in gradi dell'encoder rispetto allo zero meccanico. (stanghetta sull'albero di ingresso in posizione verticale). In seguito, viene fatto ruotare l'asse di ingresso due volte successive di 360° ad una velocità di 90°/s al fine di individuare lo zero dell'encoder.

Segmento 5: lettura posizione istantanea dell'encoder e del MC

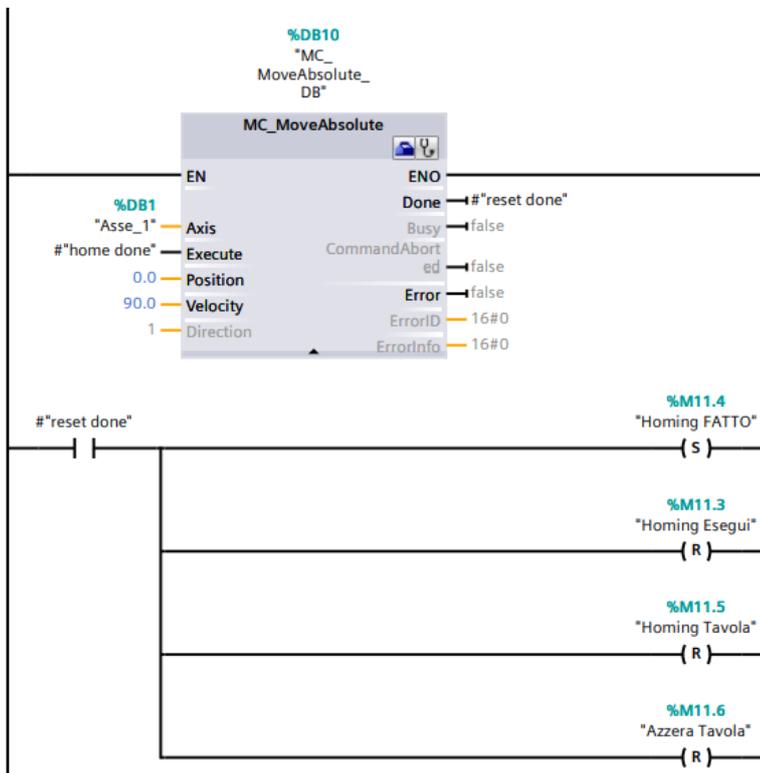


Segmento 6: Homing 2



In questo segmento, tramite il blocco *MC_Home_DB*, si impone al motion-control di contare a partire da quel punto. Tutto ciò avviene però dopo un tempo di 1s, imposto da un temporizzatore TON. Infine, per accertare che l'homing sia stato fatto, è stato inserito il blocco *home done*.

Segmento 7: Homing 3



L'asse viene comandato a posizionarsi nello zero camma successivo attraverso il blocco *Move_Absolute*. A questo punto lo zero tavola e lo zero camma coincideranno.

Homing FATTO è una variabile che indica il corretto avvenimento dell'homing.

6.2 Movimentazione dell'asse motore

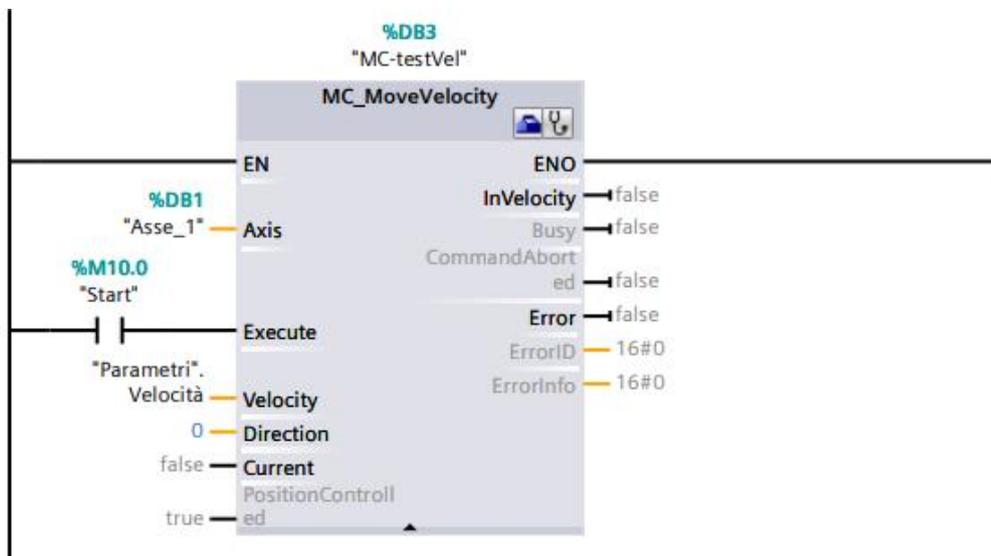
Il movimento dell'asse del motore può avvenire in due diversi modi:

- *Controllo in velocità*: il motore viene comandato a girare alla velocità che viene imposta dall'operatore;
- *Controllo in tempo*: la velocità del motore viene calcolata come rapporto spazio/tempo

Entrambe le procedure possono essere attuate mediante un pannello operatore creato all'interno del software, il cui funzionamento verrà spiegato in seguito.

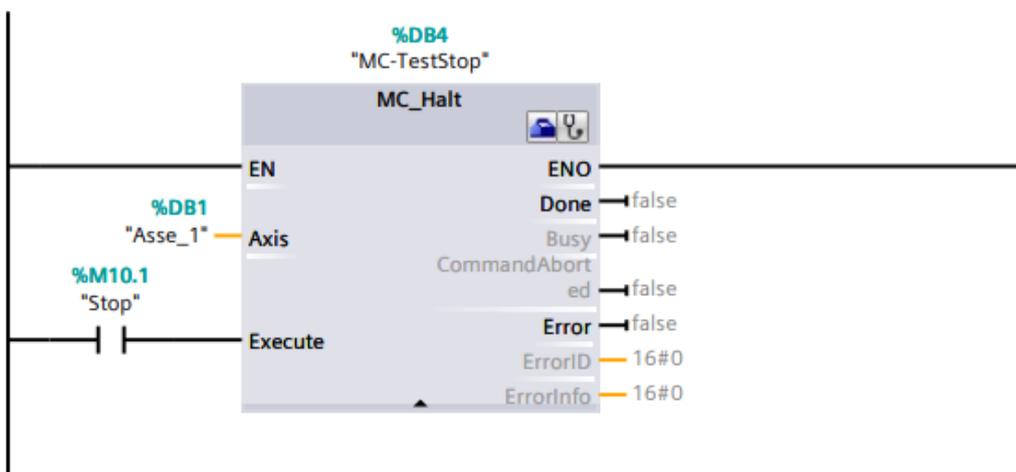
6.2.1 Controllo in velocità

Segmento 8



Per controllare in velocità bisogna impostare il tempo a zero e la velocità ad un valore maggiore di quella di arresto.

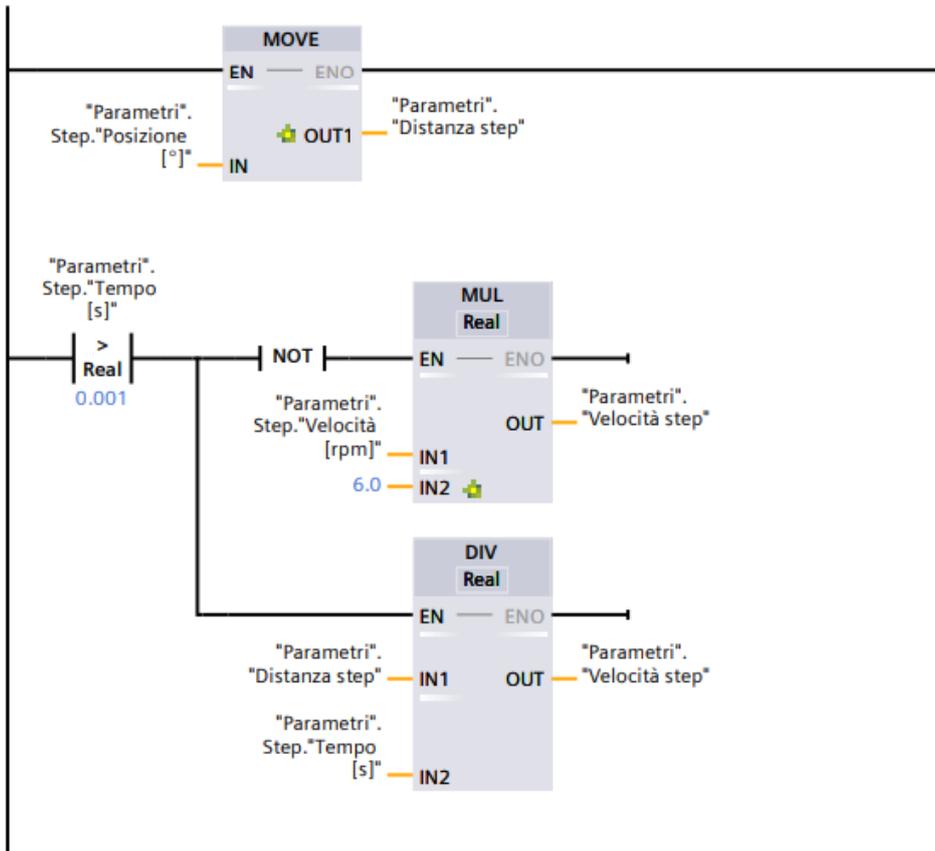
Segmento 9: Blocco di stop



Se si preme il tasto nero della pulsantiera, viene bloccato il ciclo.

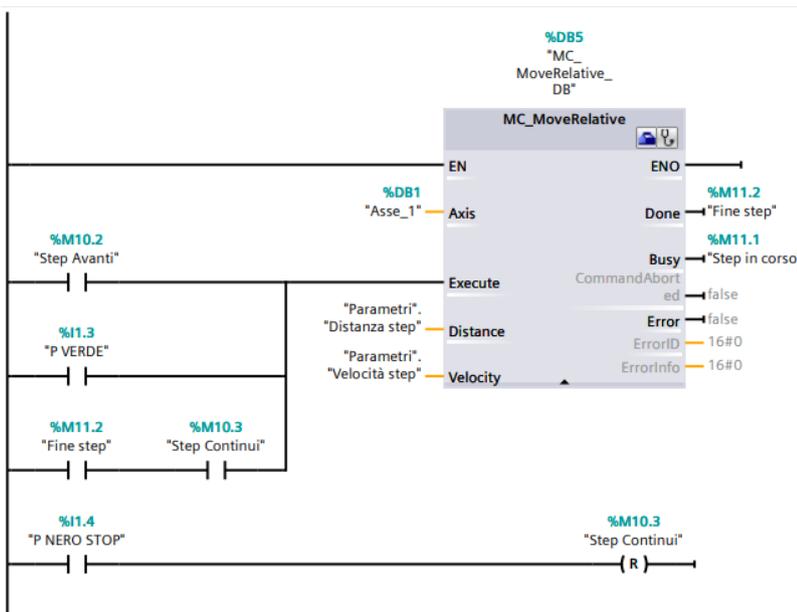
6.2.2 Controllo in tempo

Segmento 10: Switch controllo velocità/controllo tempo



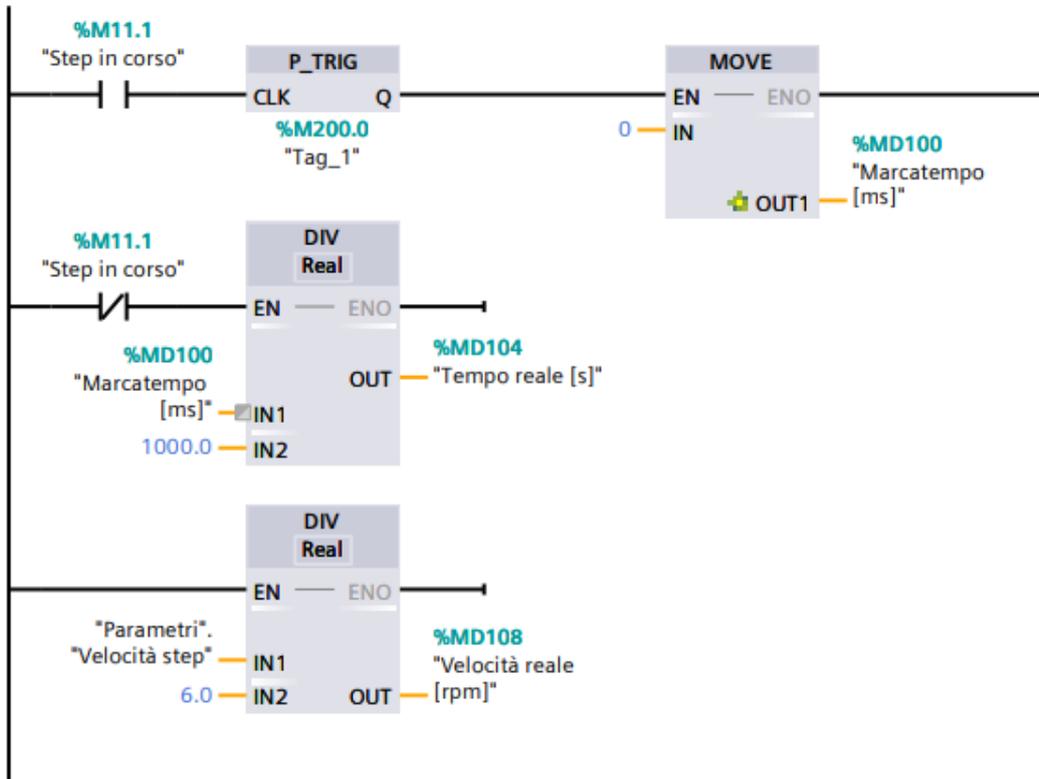
In questo segmento viene fatto un confronto: se il tempo inserito ha un valore maggiore di 0, allora la velocità imposta all'asse del motore sarà data dal rapporto spazio/tempo, altrimenti viene attuato un controllo mediante velocità.

Segmento 11: Moto relativo



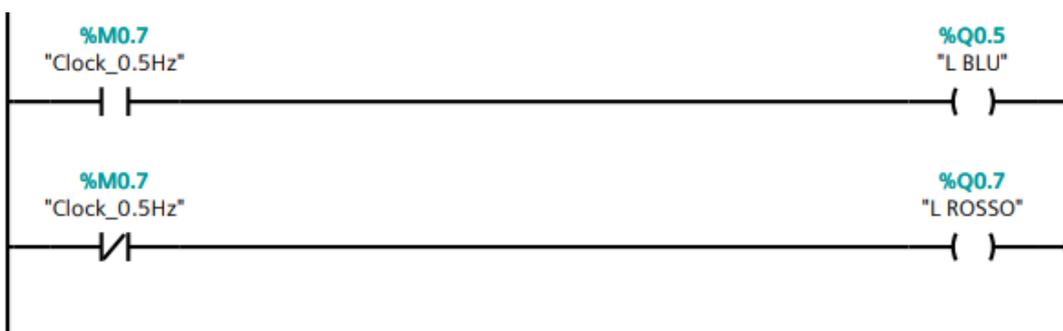
Mediante il blocco *MC_MoveRelative* viene imposta un movimento a step che segue la velocità impostata precedentemente (mediante controllo velocità o controllo tempo). In alternativa, è possibile anche far fare all'albero degli step continui alla medesima velocità.

Segmento 12: calcolo del tempo ciclo



Per tener conto del tempo impiegato a svolgere gli step è stato implementato un segmento apposito che attiva un temporizzatore nel momento in cui inizia lo step e si ferma nel momento in cui termina lo step.

Segmento 13



Infine, come specificato precedentemente, è stato implementato un codice in grado di far lampeggiare i pulsanti blu e rossi della pulsantiera in modo da evidenziare il corretto caricamento del programma relativo alla movimentazione della tavola.

6.3 Variabili

Una *variabile* è un contenitore di dati situato all'interno di una porzione di memoria destinata a contenere valori, destinati ad una possibile modifica nel corso del tempo. Una variabile è composta da un nome, tipicamente una sequenza di caratteri e cifre. Differente, invece, è la *costante*, la quale è un dato non modificabile situato in una porzione di memoria destinata a contenere un valore.

Nei linguaggi di programmazione, ogni variabile è caratterizzata da un tipo di dato, che specifica come deve essere considerato il dato rappresentato. Esse devono essere dichiarate prima di essere adoperate, in quanto il compilatore non sa come trattare oggetti sconosciuti non specificati precedentemente.

Le operazioni basilari che possono essere compiute su una variabile sono la lettura del valore in essa contenuto e la scrittura di un nuovo valore, anche definita con il nome di *assegnamento*. Il primo assegnamento della variabile è detto *inizializzazione*.

Il contesto in cui una variabile viene dichiarata all'interno di un programma determina la sua visibilità. Tutte le variabili a tempo di esecuzione in un certo istante sono contenute nell'ambiente. Se più variabili dello stesso nome e dello stesso tipo vengono dichiarate in contesti diversi, è l'ambiente messo a disposizione dal linguaggio che determina in che modo le variabili sono visibili in ogni momento.

6.3.1 Variabili PLC

Gli indirizzi delle tabelle delle variabili PLC sono costituiti dall'indicazione dell'area operandi e dell'indirizzo della stessa.

Gli indirizzi devono essere univoci in tutta la CPU. Se si inserisce un indirizzo già utilizzato per un'altra variabile, viene visualizzato un messaggio di errore.

Di seguito verranno elencate le tipologie di variabili più diffuse per la programmazione dei PLC:

- *BIT*: l'informazione digitale di base. Una cella di memoria che fisicamente è costituita da un transistor e che si considera che possa valere 0 o 1;
- *BYTE*: gruppo di 8 bit spesso utilizzato per rappresentare caratteri alfanumerici
- *WORD*: gruppo di 2 byte, quindi 16 bit. È tipicamente utilizzata per rappresentare un numero decimale nel range -32768 a +32767;
- *DOUBLE-WORD*: gruppo di 4 byte, quindi 32 bit. Costituita da 2 word, è usata per rappresentare un numero a virgola mobile. In tal modo si rappresentano numeri nel range da $-3,4028 \times 10^{38}$ a $+3,4028 \times 10^{38}$;
- *BOOL*: un singolo bit del sistema binario. Può assumere valore 0 o 1;
- *SINT*: abbreviativo di short-integer è composto da 1 byte;
- *USINT*: uno short-integer senza segno, anch'esso composto da 1 byte;
- *INT*: integer, 4 byte;
- *DINT*: double-integer, 4 byte;
- *REAL*: numeri in virgola mobile, 4 byte;
- *LREAL*: long-real, 8 byte.

Di seguito viene raffigurata la tabella contenente tutte le variabili utilizzate nel programma:

Encoder A	Tabella delle variabi..	Bool	%I0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Encoder B	Tabella delle variabi..	Bool	%I0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Encoder Zero (ob40)	Tabella delle variabi..	Bool	%I0.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
DI maglia zero (ob41)	Tabella delle variabi..	Bool	%I0.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Encoder Tavola A	Tabella delle variabi..	Bool	%I0.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Encoder Tavola B	Tabella delle variabi..	Bool	%I0.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Encoder Tavola Zero	Tabella delle variabi..	Bool	%I0.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Zero Tavola	Tabella delle variabi..	Bool	%I0.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
P BLU WIR (Wireless)	Tabella delle var..	Bool	%I1.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
P GIALLO MIS (Laser)	Tabella delle variabi..	Bool	%I1.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
P ROSSO SOTL	Tabella delle variabi..	Bool	%I1.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
P VERDE	Tabella delle variabi..	Bool	%I1.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
P NERO STOP	Tabella delle variabi..	Bool	%I1.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
P BIANCO (Avvio Ciclo)	Tabella delle variabi..	Bool	%I1.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
DI leva urto	Tabella delle variabi..	Bool	%I2.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
DI sensore SOTL	Tabella delle variabi..	Bool	%I2.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
DI Sicurezza OK	Tabella delle variabi..	Bool	%I2.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
DI driver Ready	Tabella delle variabi..	Bool	%I2.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
EncoderCount	Tabella delle variabi..	DInt	%ID1000	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Encoder Tavola	Tabella delle variabi..	DInt	%ID1004	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
DO LUCI	Tabella delle variabi..	Bool	%Q0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Asse_1_Impulso	Tabella delle variabi..	Bool	%Q0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Asse_1_Direzione	Tabella delle variabi..	Bool	%Q0.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
DO Laser	Tabella delle variabi..	Bool	%Q0.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
DO Wireless	Tabella delle variabi..	Bool	%Q0.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
L BLU	Tabella delle variabi..	Bool	%Q0.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
L GIALLO	Tabella delle variabi..	Bool	%Q0.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
L ROSSO	Tabella delle variabi..	Bool	%Q0.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
L VERDE	Tabella delle variabi..	Bool	%Q1.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
L CICLO	Tabella delle variabi..	Bool	%Q1.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Start	Tabella delle variabi..	Bool	%M10.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Stop	Tabella delle variabi..	Bool	%M10.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Step Avanti	Tabella delle variabi..	Bool	%M10.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Step Continui	Tabella delle variabi..	Bool	%M10.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Abilitazione macchina	Tabella delle variabi..	Bool	%M11.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Step in corso	Tabella delle variabi..	Bool	%M11.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
				<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Tag_2	Tabella delle variabi..	Bool	%M101.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Tag_1	Tabella delle variabi..	Bool	%M101.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Fine step	Tabella delle variabi..	Bool	%M11.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 6.1 Tabella delle variabili

6.4 Pannello operatore

Per il corretto svolgimento dei test, è stato implementato un pannello operatore direttamente sul software del pc. Tramite esso è possibile comandare al motore il movimento desiderato mediante un controllo in velocità, controllo in tempo, effettuando un solo step oppure degli step continui.

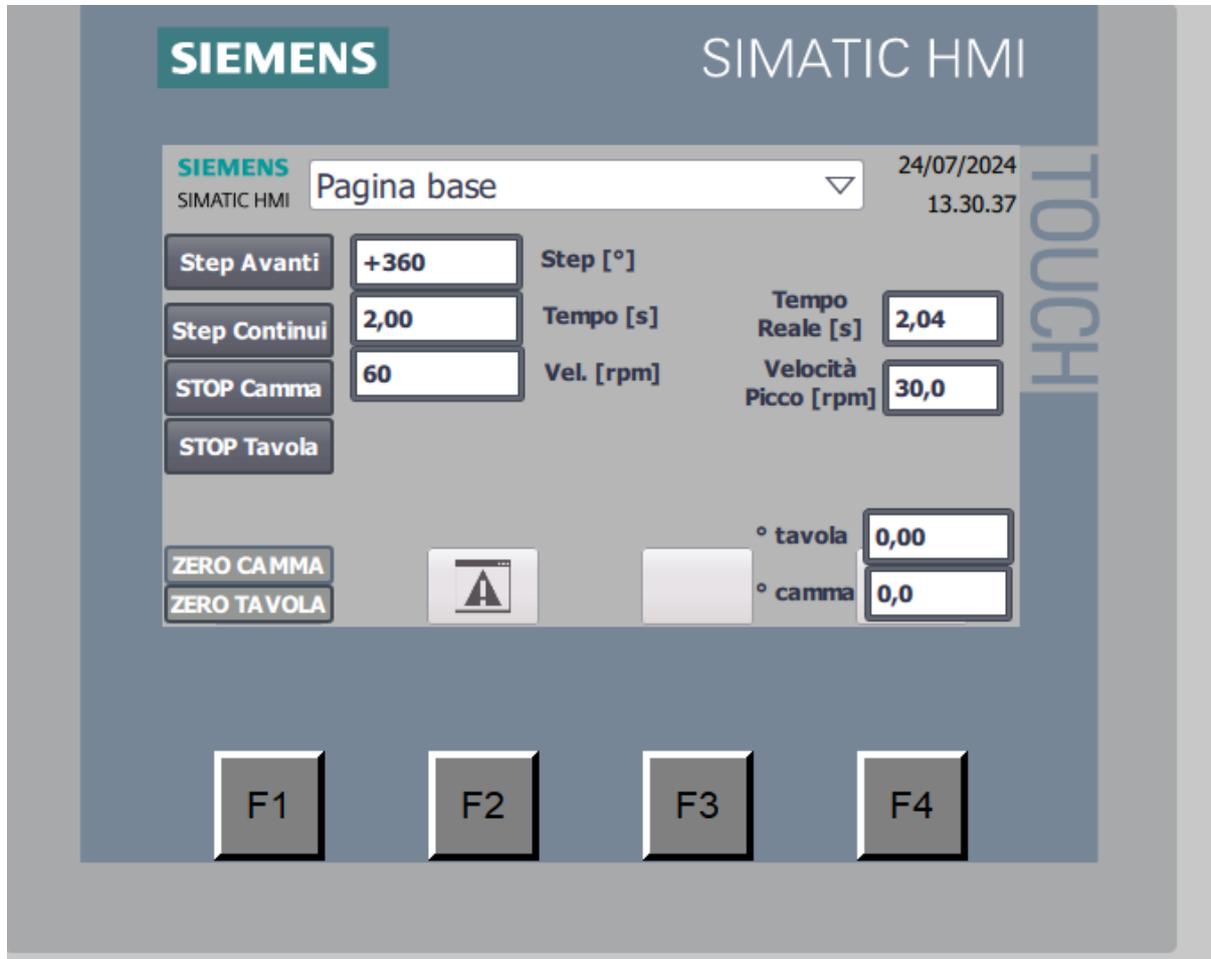


Figura 6.2 Pannello operatore

Su di esso compaiono, inoltre, i pulsanti per effettuare l'azzeramento di camma o tavola: *zero camma* e *zero tavola*. Di lato è possibile osservare come i due sistemi di riferimento alla fine coincideranno. Ulteriori informazioni sono la velocità di picco ed il tempo reale. Quest'ultimo, in particolare, non riesce ad essere perfettamente uguale al tempo teorico imposto (sulla sinistra) ma si è notato un leggero ritardo di qualche decimo.

Si è notato, infine, un limite nel far girare il motore. Infatti, impostando un angolo di movimento troppo grande ed una velocità elevata, la tavola si muove ma poi si ferma immediatamente. Infatti, in questo modo, viene conferita potenza all'azionamento ma esso si ferma immediatamente a causa delle elevate temperature o accelerazioni incontrollate.

Situazione simile si verifica impostando una velocità con valore più elevato rispetto ai limiti impostati, 1500 °/s. A quel punto la tavola rimane ferma.

6.5 Legge di moto

La legge di moto scelta per lo svolgimento delle prove è una trapezoidale con velocità massima di 1500 °/s, limite oltre al quale il motore non gira. Di seguito viene rappresentato il grafico:

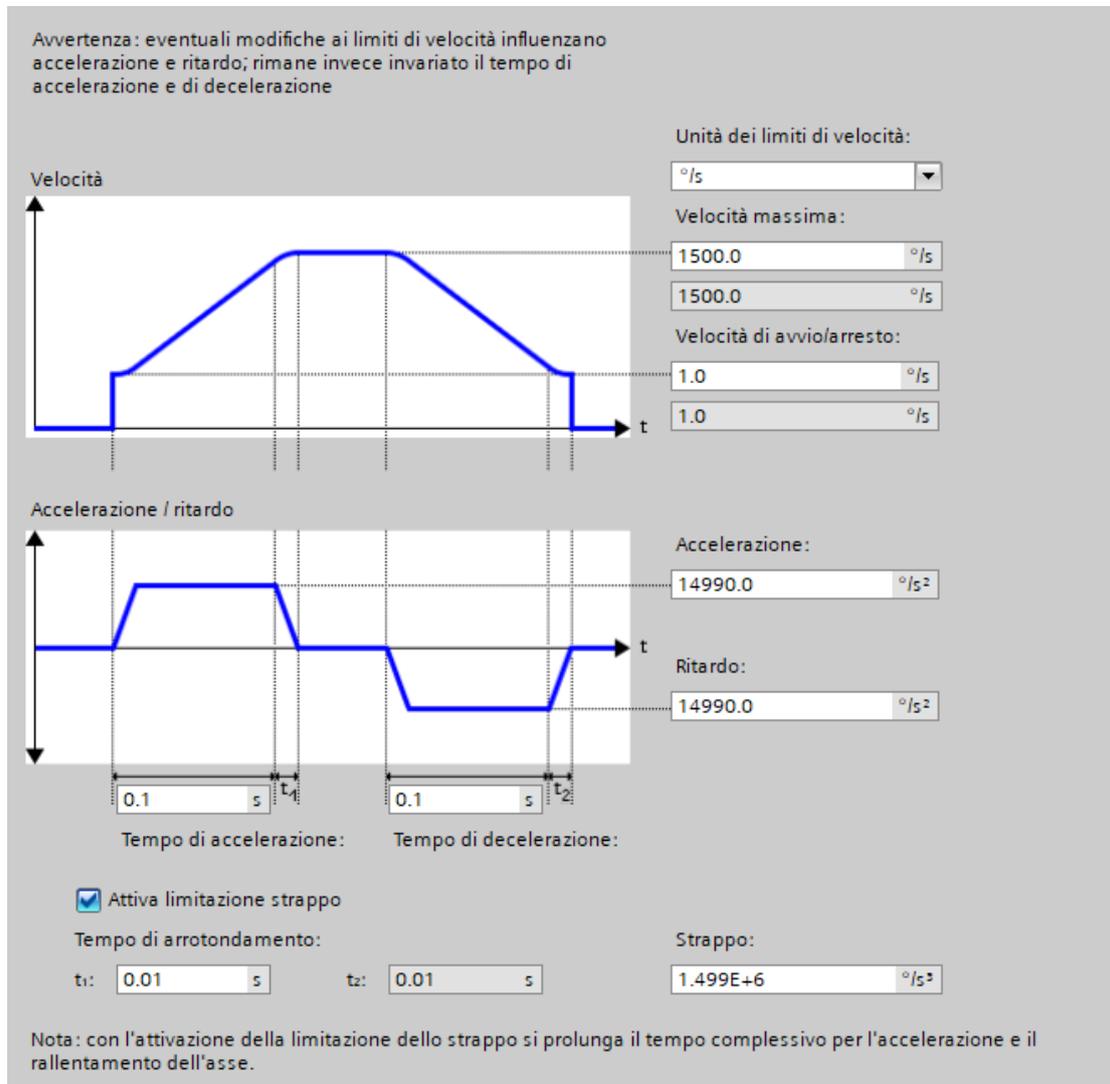


Figura 6.3 Legge di moto trapezoidale su software

7 Risultati e conclusioni

Questo lavoro di tesi si prefigge il compito di studiare ed analizzare il comportamento delle tavole rotanti movimentate mediante un motore brushless. Essendo quest'ultimo programmabile, è risultato interessante effettuare dei test a diverse velocità di rotazione del motore.

La necessità di approfondire queste tematiche è nata dopo che l'Italplant ha capito il grande potenziale di queste applicazioni. Nello specifico si riassumono i principali obiettivi dell'azienda:

- Inserire delle inerzie sul disco rotante della tavola ed effettuare delle prove sollecitando il motore a diverse velocità di rotazione per verificare l'effettiva tenuta di tutto il banco;
- Dare una prova visiva al cliente del gruppo che sta per acquistare;
- Effettuare prove in tempo reale cambiando la motorizzazione;
- Studiare l'effettiva capacità della camma continua nel soddisfare le necessità del cliente;
- Testare una nuova tavola;
- Capire meglio il funzionamento del motore brushless per sviluppi futuri.

È stata fatta anche una rappresentazione grafica delle prove. Grazie al software *Schneider* collegato all'azionamento, è stato possibile raffigurare gli andamenti di posizione, velocità e coppia.

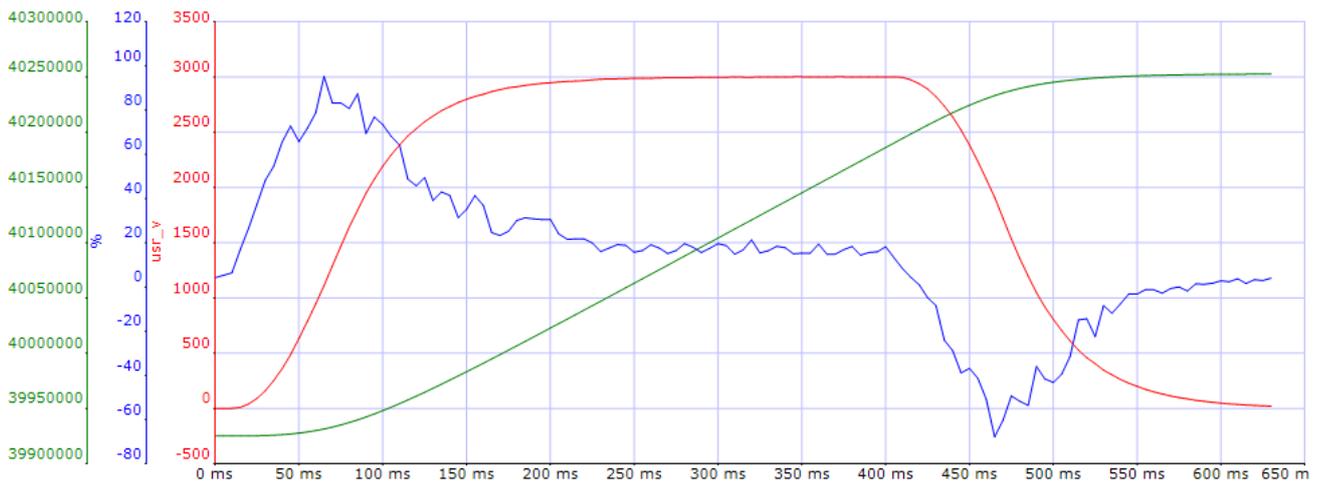


Figura 7.1 Andamenti posizione, coppia e velocità (3000 %/s)

Nell'immagine soprastante vengono rappresentati gli andamenti di:

- **Velocità:** curva rossa. Si nota il picco di velocità su 300 %/s. Trattandosi di una legge trapezoidale, l'andamento presenta un tratto a velocità costante che termina con un decremento che porta il suo valore a zero;
- **Posizione:** curva verde. La posizione è l'integrale della velocità. Si nota, quindi, un cambio di concavità della curva a metà della zona a velocità costante. Il suo andamento parte da un valore che può non essere nullo e termina quando si arriva al valore in corrispondenza del quale si ha il picco di velocità;
- **Coppia istantanea:** curva blu. Rappresenta la coppia erogata per il raggiungimento della velocità desiderata. Essa è positiva in corrispondenza della crescita di velocità e negativa nei punti in cui la velocità decresce. I picchi (positivo e negativo) si trovano in corrispondenza dei flessi di velocità.

Di seguito viene rappresentato un secondo grafico, molto simile al primo. L'unica differenza consiste nel picco di velocità raggiunto, che questa volta è 4000 °/s.

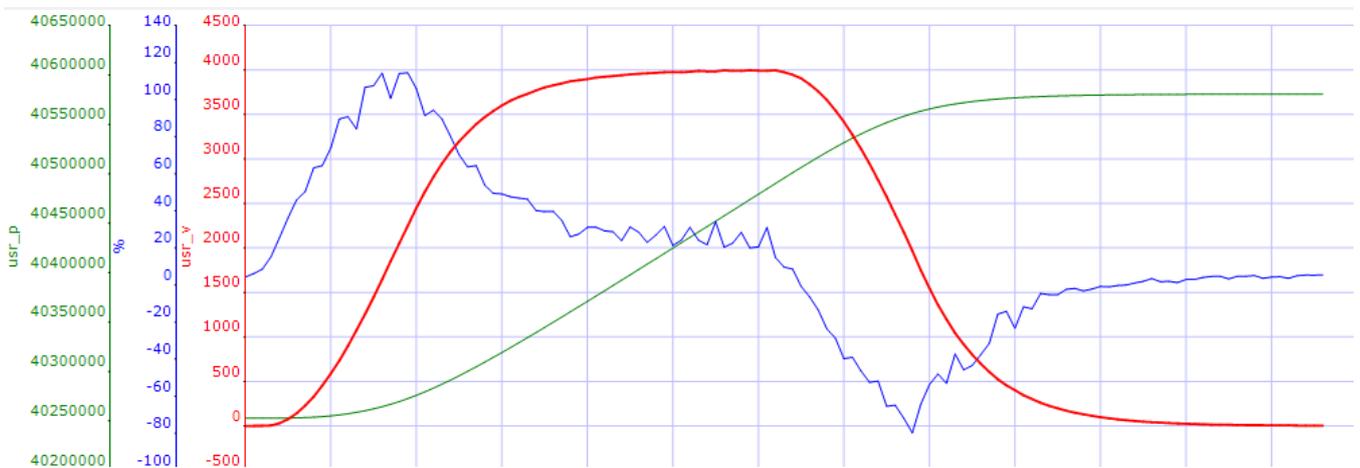


Figura 7.2 Andamenti posizione, coppia e velocità (4000 °/s)

È stata diagrammata anche la corrente (curva verde) erogata dall'azionamento. Si nota che questa segue l'andamento della coppia:



Figura 7.3 Andamento corrente (4000 °/s)

7.2 Potenziali sviluppi futuri

Questo lavoro mette un primo tassello fondamentale allo studio dei motori brushless nelle tavole rotanti. Ovviamente l'azienda si pone come obiettivo un miglioramento continuo ed una semplificazione di tutto il processo.

Prossimo passo sarà sicuramente la possibilità di poter scegliere la legge di moto con la quale fare girare il motore. Al momento è stata impostata una legge trapezoidale ma le più comuni sono la *MS* e la *MSC50*.

Sicuramente si vorrà svincolare i due banchi prova (esposizione fiera e prove motore su tavola rotante). Per motivi di ingombro è stato allestito un unico spazio destinato ad accogliere un conveyor e un banco prova con la tavola. L'ideale sarebbe avere uno spazio dedicato solamente alla simulazione della

camma continua. In questo modo non sarà più necessario avere i pulsanti blu/rossi della pulsantiera lampeggianti. Ne segue, quindi, una semplificazione del programma.

Per fare ciò, però, è necessario acquistare un nuovo PLC e creare un nuovo quadro elettrico con conseguente cablaggio. A questo punto, risulta necessario uno studio sulla fattibilità, anche economica, del lavoro.

7.3 Contributo personale

IL candidato si è occupato soprattutto della stesura del programma in linguaggio *Ladder*. Dopo alcune lezioni impartite da un professore del Politecnico di Torino, l'ing. Roberto Grassi, è stato in grado di gestire autonomamente il programma riguardante la movimentazione della tavola rotante. In seguito, è stato di fondamentale importanza la creazione di un pannello operatore, l'interfaccia principale grazie alla quale si riesce a comandare direttamente i movimenti del motore. In collaborazione con il personale interno all'azienda si è riusciti a montare il banco prova e a renderlo autonomo rispetto a quello già esistente della fiera. Infine, ottimo risultato è stata l'analisi che il candidato ha condotto tramite il software *Schneider* grazie al quale sono stati generati i grafici di posizione, velocità e coppia utili per lo studio delle prestazioni dell'intero sistema.

Bibliografia e sitografia

1. TRECCANI *Sito Internet* URL: [https://www.treccani.it/enciclopedia/automazione-industriale_\(Enciclopedia-Italiana\)/](https://www.treccani.it/enciclopedia/automazione-industriale_(Enciclopedia-Italiana)/)
2. CLS IMATION *Sito internet* URL: <https://www.cls-imation.com/automazione-industriale/>
3. IL SOLE 24 ORE *Sito internet* URL: <https://www.ilsole24ore.com/art/automotive-ripresina-d-autunno-e-incognite-nuovo-anno-AECKp5SC>
4. ITALCAMME *Sito internet* URL: <https://www.italcamme.it/catalogo/tavole-rotanti/tavole-rotanti-versione-intermittore/>
5. ITALPLANT *Sito internet* URL: <https://www.italplant.com/it/>
6. ITALPLANT *Lezione su meccanismi a camme per macchine automatiche.pdf*
7. YOUTUBE/ITALPLANT *Lezione su meccanismi a camme per macchine automatiche* URL: https://www.youtube.com/watch?v=5JahQ_Yv6gM&t=2463s
8. WIKIPEDIA /CAMMA *Sito internet* URL: <https://it.wikipedia.org/wiki/Camma>
9. WIKIPEDIA *Controllore Logico Programmabile Sito Internet* URL: https://it.wikipedia.org/wiki/Controllore_logico_programmabile
10. ELAR – AUTOMAZIONE INDUSTRIALE *Sito Internet* URL: <https://automazioneindustriale.eu/2023/05/25/limportanza-dei-plc-per-automazione-industriale-e-il-ruolo-di-el-ar/#:~:text=Diagnostica%20avanzata%3A%20I%20PLC%20sono,per%20evitare%20interruzioni%20nella%20produzione.>
11. SCHNEIDER ELECTRIC *Sito Internet* URL: <https://www.se.com/sg/en/product/BMH1402P17A2A/servo-motor-bmh-lexium-32-18-5nm-4000rpm-keyed-shaft-without-brake-ip54-16-multiturn-encoder/>
12. WIKIPEDIA/VARIABILI *Sito Internet* URL: [https://it.wikipedia.org/wiki/Variabile_\(informatica\)#:~:text=Una%20variabile%2C%20in%20informatica%2C%20%C3%A8,dell'esecuzione%20di%20un%20programma.](https://it.wikipedia.org/wiki/Variabile_(informatica)#:~:text=Una%20variabile%2C%20in%20informatica%2C%20%C3%A8,dell'esecuzione%20di%20un%20programma.)
13. SIEMENS *Sito Internet* URL: <https://support.industry.siemens.com/cs/mdm/109747174?c=83936937611&dl=it&lc=de-WW>
14. ELECTRO-YOU *Sito Internet* URL: https://www.electroyou.it/vis_resource.php?section=ArtCorso&id=36

Elenco delle figure

- 1.1 Linea di produzione automatica (pag.4)
- 1.2 Tavola rotante (pag.5)
- 1.3 Trasportatore lineare (pag.3)
- 2.1 Interni Italplant (pag.7)
- 2.2 Meccanismo SOTL (pag.8)
- 2.3 taglio camme (pag.8)
- 2.4 Intermittori SX (pag.9)
- 2.5 Intermittori SP (pag.10)
- 2.6 Intermittori MK2 (pag.10)
- 2.7 Intermittori TIG (pag.11)
- 2.8 REVOMOTION (pag.11)
- 2.9 PBC (pag.12)
- 2.10 PLC (pag.12)
- 2.11 PLC HA (pag.13)
- 2.12 P-TRAK (pag.13)
- 3.1 Meccanismo a camma piana (pag.14)
- 3.2 Meccanismo a camma globoidale (pag.14)
- 3.3 Interno di un'indexer (pag.15)
- 3.4 Perno folle Italplant (pag.16)
- 3.5 Cycle on demand(pag.16)
- 3.6 Curva di moto MS (pag.17)
- 3.7 Curva di moto legge MSC50 (pag.18)
- 3.8 Curva di moto legge trapezoidale (pag.18)
- 3.9 Camma continua Italplant (pag.19)
- 4.1 PLC Siemens (pag.20)
- 4.2 Esempio di linguaggio Ladder (pag. 21)
- 5.1 REV600 di Italplant (pag.22)
- 5.2 Modello CAD del complessivo (pag.23)
- 5.3 Motore brushless Schneider (pag. 23)
- 5.4 Riduttore KC90 Tramec (pag.24)

- 5.5 Encoder (pag. 24)
- 5.6 Posizione di azzeramento encoder (pag.25)
- 5.7 Posizione zona di sosta della camma indexata (pag.25)
- 5.8 Sensore proximity (pag.26)
- 5.9 Piastrina riferimento tavola (pag.26)
- 5.10 Pulsantiera di inizializzazione (pag.27)
- 5.11 Quadro elettrico (pag.28)
- 5.12 Gruppo tavola + moto-riduzione (pag.28)
- 5.13 Postazione di lavoro (pag.29)
- 6.1 Tabella delle variabili (pag.37)
- 6.2 Pannello operatore (pag.38)
- 6.3 Legge di moto trapezoidale su software (pag. 39)
- 7.1 Andamenti posizione, coppia e velocità (3000°/s) (pag.40)
- 7.2 Andamenti posizione, coppia e velocità (4000°/s) (pag.41)
- 7.3 Andamento corrente (pag.41)