



**Politecnico
di Torino**

Politecnico di Torino

Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Aerospaziale – DIMEAS
Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica

Controllo posizione di un attuatore pneumatico tramite PLC e HMI

Relatore:

Prof. Terenziano Raparelli

Correlatori:

Prof. Luigi Mazza

Ing. Giuseppe Pepe

Candidato:

Salvatore Andrea Russo

Anno accademico 2020-2021

Indice

Indice	III
Indice delle Figure	V
Abstract	X
Capitolo 1	1
Introduzione	1
1.1 Sistemi pneumatici.....	1
1.2 Struttura dei sistemi pneumatici.....	3
1.3 Il controllo posizione pneumatico.....	5
Capitolo 2	8
Soluzione adottate per il controllo posizione pneumatico	8
2.1 Fractional order sliding mode control of a pneumatic position servo system	8
2.2 Pneumatic positioner with Fuzzy control.....	11
2.3 Accurate Position Control of a Pneumatic Actuator Using On/Off Solenoid Valves.....	13
Capitolo 3	19
Descrizione del Banco	19
3.1 Controllore a Logica Programmabile (PLC)	20
3.1.1 Cenni Storici	21
3.1.2 Struttura del PLC.....	23
3.1.3 Linguaggio di Programmazione.....	25
3.1.4 Siemens S7-1200.....	27
3.2 Camozzi CX06 CPU	30
3.3 Cilindro Sensorizzato della serie 6PF.....	33
3.4 Simatic HMI KTP 700 Basic.....	34
3.5 Valvole	35
3.5.1 Elettrovalvola 5/3 vie a centri chiusi	35
3.5.2 Valvole proporzionali ad azionamento diretto Serie AP.....	36
3.6 Servovalvola serie LRXD2	38
3.7 Servovalvola serie LRWD.....	41
3.8 TIA Portal	43
3.8.1 Configurazione dispositivi	45
3.8.1.1 Configurazione PLC	46
3.8.1.2 Configurazione CX06.....	47
3.8.1.3 Configurazione HMI	52

3.8.2	Struttura di un programma in TIA Portal.....	54
3.8.3	Registrazione dei valori di misura con la funzione Trace	56
Capitolo 4		60
Descrizione blocchi di programma utilizzati.....		60
4.1	Sensor Reading [FC]	60
4.2	PWM Gen [FB]	62
4.3	Square Wave Generation [OB]	64
4.4	Sine Wave Generation [OB]	66
4.5	Cycle Interrupt per PID Compact	67
Capitolo 5		74
Risultati Sperimentali.....		74
5.1	Elettrovalvola digitale 5/3	74
5.1.1	Controllo del tipo ON-OFF.....	75
5.1.2	PWM	77
5.1.3	PWM con PID	80
5.2	Valvole proporzionali Serie AP	88
5.2.1	PWM utilizzando un'apposita uscita del PLC ed una particola istruzione	89
5.2.2	PWM controllato da PID	94
5.3	Valvole proporzionali Serie AP comandate tramite controllo elettronico	101
5.3.1	Generazione duty cycle tramite dispositivo elettronico	103
5.3.2	Generazione funzione sinusoidale	109
5.3.3	Generazione funzione d'onda quadra.....	110
5.4	Servovalvole serie LRXD e LRWD.....	112
5.4.1	Configurazione Master – Slave.....	114
Capitolo 6		120
Comparazione e determinazione del miglior metodo di controllo		120
6.1	Elettrovalvola 5/3.....	120
6.2	Valvola proporzionale Serie AP	121
6.3	Valvola proporzionale Serie AP con controllo elettronico	123
6.4	Valvole LRWD e LRXD.....	124
Capitolo 7		126
Progettazione supporto HMI e configurazione dispositivo		126
7.1	Supporto di montaggio della HMI	126
7.2	Interfacce programmi HMI	133
Conclusioni e futuri sviluppi		143
Bibliografia		144

Indice delle Figure

Figura 1.1 Diagramma a blocchi di un sistema pneumatico [2]	3
Figura 1.2 Schema a blocchi cilindro pneumatico con due posizioni di lavoro [2].....	5
Figura 1.3 Schema di un attuatore pneumatico a circuito chiuso con sensore di posizione [2].....	7
Figura 2.1 Diagramma a blocchi sistema SMC [3]	9
Figura 2.2 Schema servo sistema pneumatico di posizione [3]	10
Figura 2.3 Schema posizionario pneumatico [6].....	11
Figura 2.5 Regole camera posteriore [6]	12
Figura 2.4 Regole camera anteriore [6].....	12
Figura 2.7 Segnale rampa [6].....	13
Figura 2.6 Segnale positivo e negativo [6].....	13
Figura 2.8 Diagramma schematico del sistema di controllo [7].....	14
Figura 2.9 Schemi di pulsazione della valvola PWM. (a) Schema 1. (b) Schema 2. (c) Schema 3. (d) Schema 4. [7].....	15
Figura 2.10 Risposte a gradini ad anello aperto simulate per i modelli ARX (a) - (e). Ingresso = 100% [7]	16
Figura 2.11 Risposta al gradino dell'attuatore ad anello chiuso, schemi PWM 1-4. [7].....	17
Figura 2.12 Effetto della compensazione dell'attrito e dell'aumento della massa del sistema. [7]	18
Figura 3.1 Vista Banco prova	19
Figura 3.2 Schema di un PLC.....	23
Figura 3.3 Architettura hardware a bus di un PLC [10]	24
Figura 3.4 Architettura modulare di un PLC	24
Figura 3.5 Esempio di SFC.....	26
Figura 3.6 Esempio di diagramma Ladder	26
Figura 3.7 PLC S7-1200 [12]	28
Tabella 3.1 Caratteristiche PLC S7-1200 [12, pag. 7].....	28
Figura 3.8 Modulo aggiuntivo [13]	29
Tabella 3.2 Caratteristiche Modulo Aggiuntivo [13]	29
Figura 3.9 CX06 e moduli I/O [14].....	30
Figura 3.10 Connettore e diagramma elettrico del modulo di uscita digitale ME3-0004-DL [14]	31
Tabella 3.2 Dettagli moduli aggiuntivi alla CX06 [15].....	31
Figura 3.11 ME3-00K0-AL I/O analogici [14].....	32
Figura 3.12 Operazione ROL [14].....	32
Figura 3.13 Cilindro sensorizzato e schema trasduttore di posizione	33
Figura 3.14 Viste e caratteristiche HMI [17].....	34
Figura 3.15 Valvola 5/3 e corrispettivo simbolo ISO	35
Figura 3.16 3D progettazione disposizione valvole	36
Figura 3.17 Valvola proporzionale e corrispettivo simbolo ISO	37
Figura 3.18 Driver serie 130 [20]	37
Figura 3.19 Servovalvola LRXD2 con corrispettivo simbolo ISO [22].....	38
Figura 3.20 Circuito elettrico / pneumatico valvola LRXD2	38
Figura 3.21 Schermata valvola LRXD	39
Figura 3.22 Servovalvola LRWD con corrispettivo simbolo ISO.....	42

Figura 3.23	Primo principio di funzionamento LRWD [23].....	42
Figura 3.24	Secondo principio di funzionamento LRWD [23].....	42
Figura 3.25	Vista Portale TIA Portal.....	44
Figura 3.26	Vista Progetto TIA Portal	45
Figura 3.27	Inserire un dispositivo in TIA Portal.....	46
Figura 3.28	Configurazione PLC in TIA Portal	47
Figura 3.29	Connessione alla CX06 [14]	48
Figura 3.30	Proprietà di uno dei modulo della CX06 [14]	49
Figura 3.31	Inserimento CX06 in TIA Portal.....	50
Figura 3.32	Connessione tra PLC e CX06	50
Figura 3.33	Configurazione memoria CX06 in TIA Portal	51
Figura 3.34	Configurazione HMI in Tia Portal.....	52
Figura 3.35	Personalizzazione pannello HMI.....	53
Figura 3.36	Pannello di aggiunta nuovi blocchi.....	54
Figura 3.37	Struttura lineare [12]	
	Figura 3.38	Struttura modulare [12]
Figura 3.39	Configurazione Trace - PLC [12].....	56
Figura 3.40	Interfaccia di lavoro Traces [24]	57
Figura 3.41	Interfaccia di lavoro Traces 2.....	58
Figura 3.42	Interfaccia di lavoro Traces 3.....	59
Figura 4.1	Funzione ROL	61
Figura 4.2	Funzioni NORM_X e SCALE_X.....	61
Figura 4.3	Esempio PWM.....	62
Figura 4.4	Segmento 1 PWM Gen.....	63
Figura 4.5	Segmento 2 PWM Gen.....	63
Figura 4.6	Segmento 3 PWM Gen.....	64
Figura 4.7	Segmento 1 funzione onda quadra	65
Figura 4.8	Segmento 2 funzione onda quadra	65
Figura 4.9	Segmento 3 funzione onda quadra	65
Figura 4.10	Segmento 1 funzione seno	66
Figura 4.11	Segmento 2 funzione seno	66
Figura 4.12	Segmento 3 funzione seno	67
Figura 4.13	Segmento 4 funzione seno	67
Figura 4.14	PID Compact	68
Figura 4.15	Configurazione PID Compact_1	69
Figura 4.16	Configurazione PID Compact_2	70
Figura 4.17	Configurazione PID Compact_3	71
Figura 4.18	Configurazione PID Compact_4	72
Figura 4.19	Configurazione PID Compact_5	72
Figura 5.1	Schema prova con valvola 5/3.....	74
Figura 5.2	Ladder prova ON-OFF	75
Figura 5.2	Grafico posizione ed errore prova ON-OFF	76
Figura 5.3	Ladder prova PWM_1	77
Figura 5.4	Ladder prova PWM_2	77
Figura 5.5	Ladder prova PWM_3	78
Figura 5.6	Grafico posizione vari PWM	78
Figura 5.7	Grafico errori vari PWM.....	79
Tabella 5.1	Riassunto prova PWM.....	79
Figura 5.8	Ladder prova PWM con PID_1.....	81

Figura 5.9 Ladder prova PWM con PID_2.....	82
Figura 5.10 Ladder prova PWM con PID_3.....	82
Figura 5.11 Ladder prova PWM con PID_4.....	83
Figura 5.12 Grafico posizione al variare del Kp	84
Figura 5.13 Grafico errore al variare del Kp	84
Tabella 5.2 Tabella riassuntiva valori al variare del Kp.....	84
Figura 5.14 Grafico posizione al variare del Ki.....	85
Figura 5.15 Grafico errore al variare del Ki.....	85
Tabella 5.3 Tabella riassuntiva al variare dei Ki.....	86
Figura 5.16 Grafico posizione al variare del Kd	86
Figura 5.17 Grafico errore al variare del Kd	87
Tabella 5.4 Tabella riassuntiva al variare dei Kd.....	87
Figura 5.18 Grafici posizione ed errore con Kp 6.....	88
Tabella 5.5 Tabella riassuntiva con Kp 6.....	88
Figura 5.19 Schema valvole seconda prova.....	89
Figura 5.20 Impostazione generatore impulsi_1.....	90
Figura 5.21 Ladder seconda prova PWM_1.....	91
Figura 5.22 Ladder seconda prova PWM_2.....	91
Figura 5.23 Ladder seconda prova PWM_3.....	92
Figura 5.24 Andamento posizione prova PWM con periodi differenti.....	93
Figura 5.25 Andamento errore prova PWM con differenti periodi.....	93
Tabella 5.6 Tabella riassuntiva prova PWM	93
Figura 5.26 Ladder prova PWM con PID_1.....	94
Figura 5.27 Grafico posizione prova PWM con PID al variare del Kp	95
Figura 5.28 Grafico errore prova PWM con PID al variare del Kp	95
Tabella 5.7 Tabella riassuntiva prova PWM con PID al variare del Kp	95
Figura 5.29 Grafico posizione prova PWM con PID al variare del Kd	96
Figura 5.30 Grafico errore prova PWM con PID al variare del Kd	97
Tabella 5.8 Tabella riassuntiva prova PWM con PID al variare del Kd	97
Figura 5.30 Grafico posizione prova PWM con PID al variare del Ki	98
Figura 5.31 Grafico errore prova PWM con PID al variare del Ki	98
Tabella 5.9 Tabella riassuntiva prova PWM con PID al variare del Ki.....	98
Tabella 5.10 Formule calcoli parametri controllore [11].....	99
Tabella 5.11 Tabella valori finali Z-N	99
Figura 5.32 Grafico posizione prova PWM con PID con metodo Z-N.....	100
Figura 5.33 Grafico errore prova PWM con PID con metodo Z-N.....	100
Tabella 5.12 Tabella riassuntiva prova PWM con PID con metodo Z-N	101
Figura 5.34 Collegamenti fisici per i controllori elettronici	102
Figura 5.35 Schema prova con valvole proporzionali pilotate da dispositivi elettronici.....	102
Figura 5.36 Scelta del tipo di segnale	103
Figura 5.37 Configurazione segnale ingresso driver.....	104
Figura 5.38 Segmenti 4 e 5 prova valvole proporzionali con driver	104
Figura 5.39 Andamento posizione prova con driver al variare del Kp.....	105
Figura 5.40 Andamento errore prova con driver al variare del Kp.....	105
Tabella 5.13 Tabella riassuntiva al variare del Kp.....	106
Figura 5.41 Andamento posizione prova con driver al variare del Kd.....	106
Figura 2.42 Andamento errore prova con driver al variare del Kd.....	107
Tabella 5.14 Tabella riassuntiva al variare del Kd.....	107

Figura 5.43 Andamento posizione prova con driver al variare del Ki.....	108
Figura 5.44 Andamento errore prova con driver al variare del Ki.....	108
Tabella 5.15 Tabella riassuntiva al variare del Ki.....	108
Figura 5.45 Andamento posizione funzione sinusoidale.....	109
Figura 5.46 Andamento errore funzione sinusoidale.....	110
Figura 3.46 Andamento posizione funzione d'onda quadra.....	111
Figura 5.47 Andamento errore funzione d'onda quadra.....	111
Figura 5.48 Segmento 1 prova con valvole LR.....	112
Figura 5.49 Segmento 2 prova con valvole LR.....	113
Figura 5.50 Segmenti 3 e 4 prova con valvole LR.....	113
Figura 5.51 Schema sistema prova con valvole LR [22].....	114
Figura 5.52 Schema elettrico prova con valvole LR [22].....	115
Tabella 5.16 Tabella parametri PID S,M,F.....	115
Figura 5.53 Grafico posizione prova con valvole LR e PID.....	116
Figura 4.54 Grafico errore prova con valvole LR e PID.....	116
Figura 5.55 Grafico posizione prova con valvole LR e funzione onda quadra.....	117
Figura 5.56 Grafico errore prova con valvole LR e funzione onda quadra.....	118
Figura 5.57 Grafico posizione prova con valvole LR e funzione sinusoidale.....	119
Figura 5.58 Grafico errore prova con valvole LR e funzione onda quadra.....	119
Figura 6.1 Tempi di assestamento valvola 5/3.....	120
Figura 6.2 Errore valvola 5/3.....	121
Figura 6.3 Tempi di assestamento valvola proporzionale AP.....	122
Figura 6.4 Errore valvola proporzionale AP.....	122
Figura 6.5 Tempi di assestamento valvola proporzionale AP con controllo elettronico.....	123
Figura 6.6 Errore valvola proporzionale AP con controllo elettronico.....	124
Figura 6.7 Tempi di assestamento valvole LR.....	125
Figura 6.8 Errore valvole LR.....	125
Figura 7.1 3D montante, vista Solidworks.....	127
Figura 7.2 Pannello HMI fissato al montante.....	128
Figura 7.3 Cerniera con frizione 2D e 3D.....	129
Figura 7.4 Elementi di fissaggio HMI.....	130
Figura 7.5 Fissaggio clip HMI [17].....	130
Figura 7.6 Viste cassetta di derivazione.....	131
Figura 7.7 Vista pannello chiuso.....	132
Figura 7.8 Vista pannello aperto.....	133
Figura 7.9 Inserimento pagine HMI.....	134
Figura 7.10 Casella degli strumenti a sinistra.....	135
Figura 7.11 Esempio schermata HMI.....	136
Figura 7.12 Inserimento blocco DB e variabili.....	136
Figura 7.13 Inserimento pulsanti.....	137
Figura 7.14 Settaggio pulsanti monostabili e bistabili.....	137
Figura 7.15 Inserimento oggetti fisici.....	138
Figura 7.16 Movimentazione orizzontale.....	139
Figura 7.17 Schermata pannello prima prova PWM.....	140
Figura 7.18 Schermata PWM seconda prova.....	141
Figura 7.19 Schermata scelta segnale onda quadra o sinusoidale.....	142

Abstract

I sistemi pneumatici sono comunemente usati per il controllo posizione di molti azionamenti industriali, ma soprattutto sono scelti come mezzo preferito per le attività di automazione perché sono relativamente economici, facili da installare, disponibili in una varietà di dimensioni, hanno un'elevata ciclicità, e i loro componenti sono più puliti e non infiammabili, il che li rende più desiderabili in alcuni ambienti. Questa tecnologia può sostituire gli azionamenti elettromeccanici e idraulici in molte applicazioni.

Il lavoro di tesi svolto presenta il controllo posizione di un cilindro pneumatico a doppio effetto, realizzato tramite collegamento ad un PLC Siemens con l'ausilio di nodo seriale Camozzi, utilizzato principalmente per la gestione degli ingressi e delle uscite.

A seguito di una breve introduzione sui sistemi pneumatici e sul controllo posizione, vengono descritti tutti i componenti del banco messo a disposizione dal Politecnico di Torino e situato all'interno del DIMEAS nel laboratorio di automazione a fluido. Seguono la descrizione dei principali blocchi di programma implementati su TIA Portal, le tecniche di controllo utilizzate con le relative prove sulle valvole ed i risultati ottenuti. Infine, è stata eseguita la progettazione di un sostegno, finalizzato all'inserimento di un Touch Panel HMI, segue una sua configurazione, necessaria per avviare i programmi in assenza di PC.

Il banco didattica esposto durante la tesi fornirà agli studenti esercizi accademici e consentirà loro di interagire con lo strumento comprendendone la logica di funzionamento.

Capitolo 1

Introduzione

1.1 Sistemi pneumatici

La **pneumatica** dal greco *πνευματικός* ("*pneumatikos, proveniente dal vento*") è una branca della fisica e della tecnologia che studia il trasferimento di forze mediante l'utilizzo di gas in pressione, molto spesso aria compressa. [1]

I sistemi pneumatici sono comunemente usati per il controllo di posizione di molti azionamenti industriali. Questa tecnologia può sostituire gli azionamenti elettromeccanici e idraulici in molte applicazioni. Analizzando i vari azionamenti possiamo capire il perché sono maggiormente apprezzati.

Ad esempio, il vantaggio principale dei motori elettrici è che consentono di utilizzare un motore a basso costo che fornisce una coppia elevata a basse velocità. Tuttavia, tali sistemi sono molto sensibili alla variazione dei carichi.

Lo stesso vale per i cilindri idraulici, che hanno caratteristiche di coppia e potenza più elevate di qualsiasi metodo di avviamento, ma uno dei maggiori problemi con i sistemi idraulici è la ritenzione del fluido nell'attuatore. Non solo questo, ma può anche causare l'inquinamento dell'ambiente circostante. Inoltre, il fluido idraulico è infiammabile e pressurizzato, quindi le perdite possono rappresentare un pericolo estremo per l'attrezzatura e il personale. In aggiunta è necessaria una manutenzione extra indesiderata per mantenere il sistema pulito. Altri svantaggi includono ritardi di sistema e cambiamenti nella viscosità dell'olio dovuti a variazioni di temperatura. Tali variazioni di temperatura nel fluido possono risultare molto pericolose in quanto possono portare alla formazione di bolle di vapore che, se combinati con i cambiamenti di pressione del fluido, possono causare un fenomeno chiamato cavitazione.

Pertanto, gli attuatori pneumatici sono scelti come mezzo preferito per le attività di automazione perché sono relativamente economici, facili da installare e mantenere, forniscono anche un design e un funzionamento affidabili, sono disponibili in una varietà di dimensioni standard e hanno un'elevata ciclicità.

Inoltre, i componenti pneumatici sono più puliti e non infiammabili, il che li rende più desiderabili in alcuni ambienti. Un altro vantaggio è che i dispositivi sono meno sensibili ai cambiamenti di temperatura e all'inquinamento. Le nuove tecnologie odierne integrano l'energia dell'aria con il

controllo elettronico, la combinazione di queste tecnologie fornisce un'efficienza maggiore rispetto all'utilizzo di una sola. Questa tecnologia utilizzata spesso per sistemi di controllo della posizione, della velocità e della forza è generalmente meno costosa rispetto ai sistemi di movimentazione elettrica.

Tali sistemi servo-pneumatici mantengono i vantaggi della pneumatica standard e aggiungono la possibilità di controllo ad anello chiuso, programmabile con precisione millimetrica, in cui le posizioni possono essere raggiunte rapidamente e senza sovraelongazione e forniscono stabilità ai carichi variabili.

Il principale svantaggio di questa tecnologia è l'elevata non linearità degli azionamenti pneumatici, che influisce sulla dinamica del sistema, lo scarso smorzamento e l'alta compressibilità dell'aria.

I motivi principali della non linearità degli attuatori pneumatici sono: la dinamica della pressione nella camera dell'attuatore pneumatico, le variazioni di attrito e il flusso di aria compressa attraverso la valvola.

Lo sviluppo dei moderni sistemi di attuazione pneumatica è da considerarsi come un'evoluzione dei sistemi meccatronici, quando integrati con tecnologie meccaniche ed elettriche, sistemi di controllo elettronico e moderni algoritmi di controllo.

Il trend di sviluppo degli attuatori pneumatici può essere suddiviso nei seguenti aspetti [2]:

- Sviluppo di nuovi attuatori (in particolare unità senza attrito e flessibili) e attuatori specializzati.
- Ottimizzazione delle prestazioni e dell'affidabilità dei componenti.
- Sviluppo di nuovi algoritmi di controllo e unità di controllo con nuove interfacce tra segnali di controllo molto bassi e pneumatici ad alta potenza.
- Integrazione con sensori ed elettronica di controllo per implementazioni intelligenti servosistemi.

1.2 Struttura dei sistemi pneumatici

Il servosistema di azionamento pneumatico utilizzato nelle apparecchiature automatiche è costituito da due parti principali: alimentazione e sottosistema di controllo. (Vedi Fig. 1.1)

Il sistema comunemente utilizzato per la movimentazione lineare è il cilindro pneumatico, che dal punto di vista funzionale può essere a semplice effetto o doppio effetto. Nella configurazione a semplice effetto il cilindro può applicare solo una forza controllabile in una direzione e utilizzare una molla per riportare il pistone nella posizione iniziale. Differentemente, in quello a doppio effetto possono essere controllate attivamente entrambe le direzioni. Nel caso dell'azionamento rotativo, l'unità di potenza è costituita da un insieme di lame, che sono collegate all'albero del motore e racchiuse in una camera. Quest'ultime ruotano attraverso la differenza di pressione che si viene a creare all'interno della camera; in seguito, l'azione viene trasmessa attraverso l'albero del motore.

Una delle più parti importanti del sistema di controllo è il controller (o task controller), che memorizza le informazioni di input (come il posizionamento del punto richiesto, il tracciamento della traiettoria, la velocità o il valore della forza) e fornisce funzioni di controllo, elaborazione, confronto e diagnostica. In generale, il controller può essere di due tipi: analogico e digitale. Oggi, oltre il 90% di tutti i controller del settore sono digitali. La funzione principale di questo dispositivo è formare il segnale di controllo secondo un algoritmo di controllo.

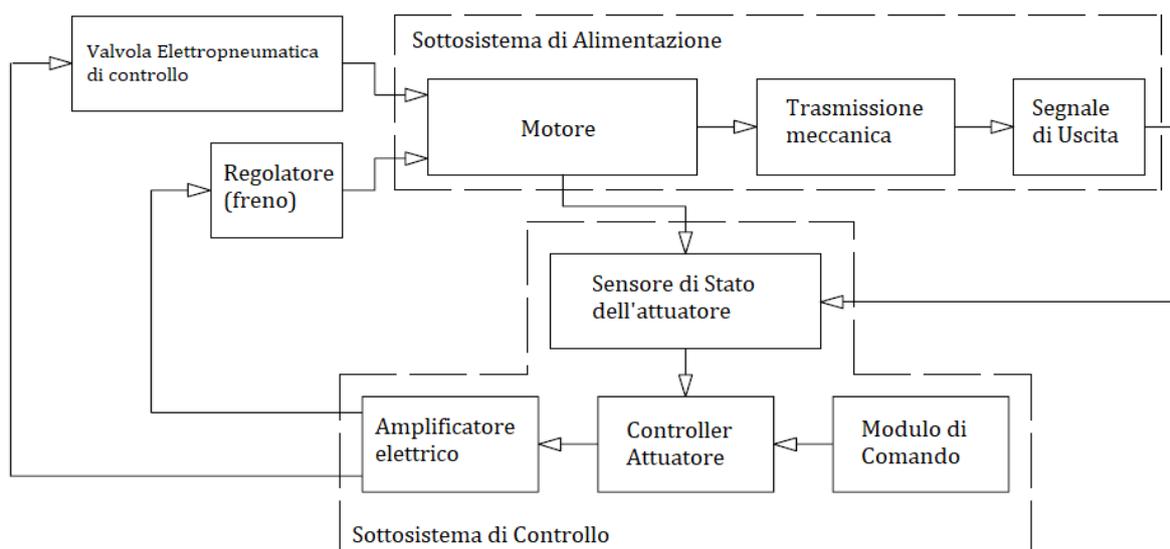


Figura 1.1 Diagramma a blocchi di un sistema pneumatico [2]

La forma più comunemente utilizzata di controller di processo nel settore è PID (proporzionale, integrale, derivativo). Quando il sistema è espresso come un modello lineare e i parametri non cambieranno con un uso estensivo o a lungo termine, il controllo PID è il metodo più efficace.

A causa della compressibilità e dell'elevato attrito dell'aria, il sistema dell'attuatore pneumatico è altamente non lineare e i parametri del sistema cambieranno nel tempo al variare delle caratteristiche esterne. Come accennato in precedenza, negli attuatori pneumatici, le prestazioni dinamiche del sistema cambieranno durante l'esecuzione, in questo caso, è possibile utilizzare un sistema di controllo adattivo per migliorare le prestazioni di controllo e regolare il controller in base ai risultati ottenuti.

Nell'attuatore pneumatico, la valvola di controllo è l'interfaccia tra il sottosistema di potenza e il sottosistema di controllo. In definitiva possiamo affermare che il controller è un elemento chiave, in cui vengono utilizzati segnali elettrici di piccola ampiezza e bassa potenza per fornire una modulazione della potenza pneumatica.

In generale vengono utilizzate delle elettrovalvole per effettuare tale compito. Quest'ultime sono dispositivi elettromeccanici che per controllare il funzionamento delle valvole utilizzano un solenoide. Tali dispositivi sono i componenti base della pneumatica e sono caratterizzati da elevata affidabilità e dimensioni compatte, sono economici e versatili nei sistemi pneumatici con controllo on / off. Utilizzando l'elettrovalvola con il metodo di controllo PWM (Pulse Width Modulation), è possibile ottenere le stesse prestazioni del controllo continuo e proporzionale.

Tipicamente, i sistemi di azionamento pneumatico sono collegati a linee di aria compressa con una pressione da 0,3 a 1 Mpa, in cui i compressori sono integrati ad un serbatoio per lo stoccaggio dell'aria compressa, un filtro, un essiccatore d'aria e un regolatore di pressione.

1.3 Il controllo posizione pneumatico

I sistemi di posizionamento pneumatico sono stati ampiamente utilizzati in robot, saldatrici e rivettatrici, attrezzature pick and place, veicoli e molti altri tipi di attrezzature.

Gli azionamenti pneumatici di posizionamento possono essere sostanzialmente suddivisi in due gruppi: controllo posizione in **anello aperto** e **chiuso**.

Tipicamente, un sistema di posizionamento pneumatico ad **anello aperto** include fermi meccanici rigidi, nel caso più semplice il sistema prevede un cilindro in cui due coperchi fungono da fermi meccanici rigidi definendo la posizione delle battute di arresto.

La Figura 1.2 mostra uno schema di un tale attuatore.

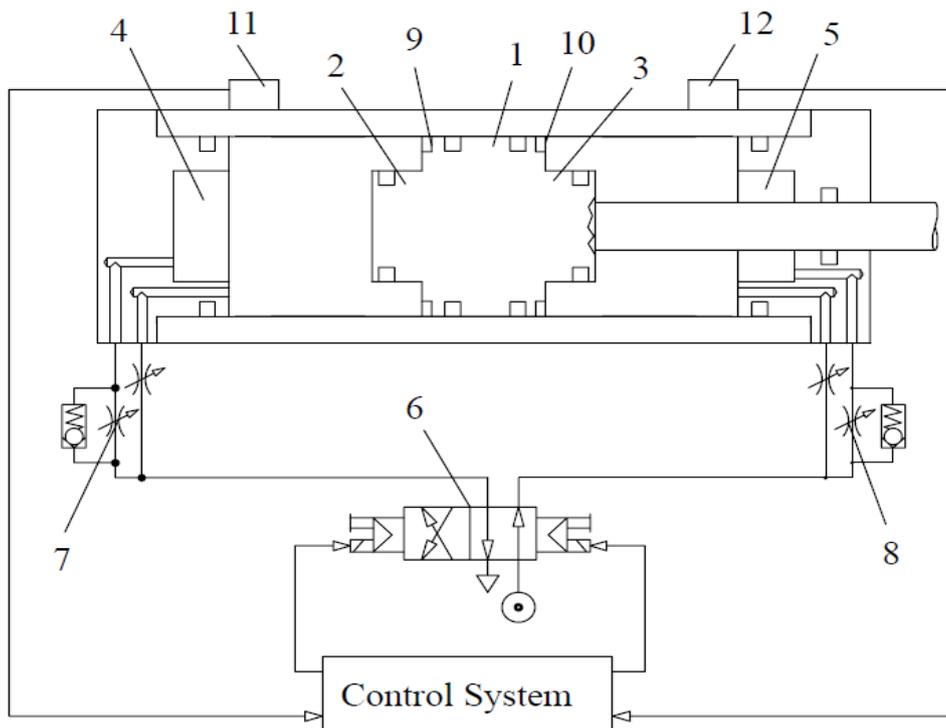


Figura 1.2 Schema a blocchi cilindro pneumatico con due posizioni di lavoro [2]

Analizzando la struttura soprastante quest'ultima è costituita da un pistone (1) con due parti cilindriche, detti anche naselli (2 e 3) costruiti per inserirsi perfettamente all'interno di due rientranze nel coperchio (4 e 5) e forniscono un meccanismo di ammortizzazione attraverso l'intrappolamento dell'aria, quest'ultima in seguito alla chiusura della comunicazione con la camera del cilindro, viene

rilasciata tramite dei trafilamenti. L'elettrovalvola (6) collega l'attuatore pneumatico all'alimentazione di pressione e allo scarico delle camere secondo la sequenza di controllo.

I regolatori di flusso (7 e 8) definiscono la velocità massima del pistone. Quest'ultimo possiede due magneti permanenti (9 e 10) e due sensori di prossimità (11 e 12) fissati all'esterno del cilindro, i quali forniscono un'indicazione della posizione, senza avere alcun contatto col cilindro.

Quando il pistone si avvicina, il campo magnetico generatosi chiude l'interruttore, chiudendo il circuito e generando un segnale elettrico. La funzione fondamentale dell'ammortizzo è quella di assorbire e dissipare l'energia cinetica dell'impatto, in modo da ridurre la decelerazione ad un livello accettabile. Un altro grande vantaggio dell'utilizzo dell'ammortizzazione dell'aria è la significativa riduzione dell'inquinamento acustico, che rappresenta un rischio per i lavoratori e l'ambiente.

Oltre ai finecorsa magnetici, in pneumatica vengono molto utilizzati anche quelli ad azionamento meccanico. L'organo di comando, solitamente lo stelo di un attuatore, esercita un'azione meccanica su quest'ultimi provocando la commutazione di valvole o di contatti nel caso di finecorsa elettrici, provvedendo a bloccare il movimento dello stesso.

Fra i principali finecorsa ad azionamento meccanico vi sono quelli a pulsante, a saltarello (leva con rotella) e a rotella (o rullo).

Tra i principali vantaggi dei finecorsa meccanici vi sono la buona durata (fino a decine di 10^6 manovre) e la elevata capacità di commutazione.

Invece, tra gli svantaggi più comuni vi sono: l'ingombro, la necessità di manutenzione per ridurre l'usura meccanica ed infine la frequenza di commutazione bassa (alcuni Hertz).

Differentemente, il sistema di posizionamento pneumatico a circuito chiuso possiede un sensore che misura il segnale di feedback in uscita e lo converte in un segnale elettrico. Il segnale di feedback viene confrontato con il segnale di comando e il segnale di errore risultante viene applicato per ottenere il posizionamento necessario.

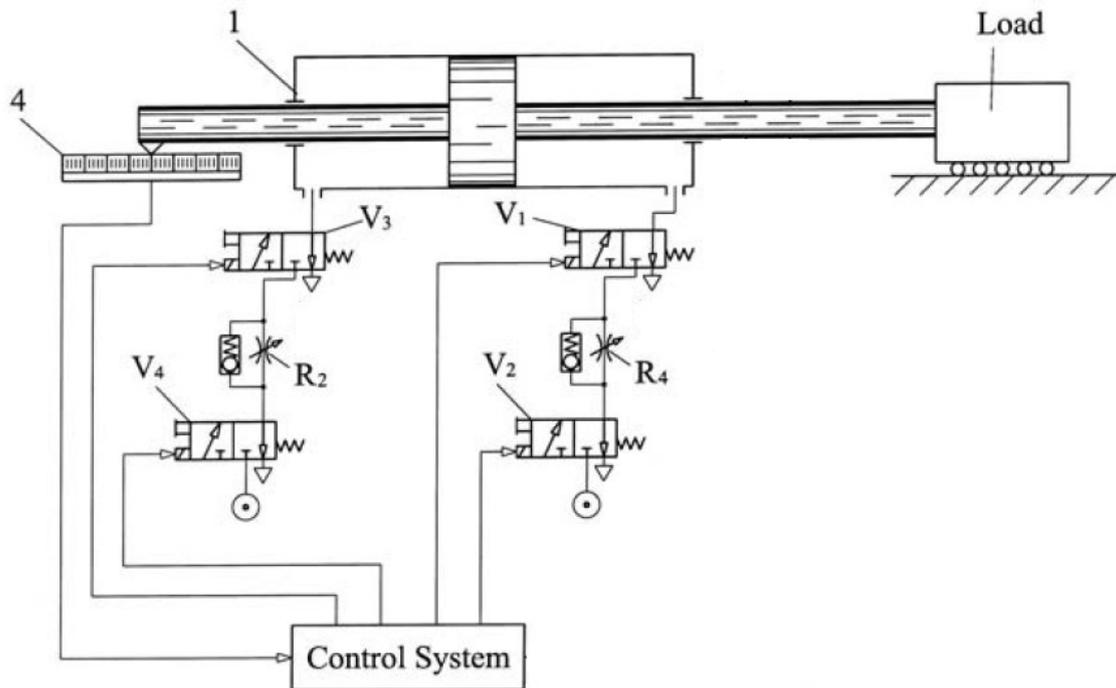


Figura 1.3 Schema di un attuttore pneumatico a circuito chiuso con sensore di posizione [2].

Un diagramma schematico di tale sistema di posizionamento è mostrato nell'immagine sopra riportata (Fig. 1.3), essa comprende un attuttore pneumatico (1), un sensore di posizione (4) che misura lo spostamento, valvole (V1-V4), regolatori di flusso (R2-R4) e un sistema di controllo. Quattro valvole (V1-V4) controllano il cilindro pneumatico (1) e sono disposte a coppie in serie, il che consente il controllo indipendente delle velocità di carico.

Si può concludere che, le principali differenze tra un circuito ad anello aperto ed uno chiuso sono:

- Il sistema ad anello aperto, a differenza del sistema ad anello chiuso, non presenta un segnale di feedback, pertanto l'output del sistema è libero e non dipenderà dall'input.
- La costruzione del sistema ad anello aperto risulta essere più semplice per la presenza di pochi elementi, tuttavia, è meno preciso ed affidabile di un sistema ad anello chiuso.

Capitolo 2

Soluzioni adottate per il controllo posizione pneumatico

Come accennato nel capitolo precedente, grazie ai vantaggi che gli attuatori pneumatici possiedono tra i quali: basso costo, buon rapporto potenza / peso, facilità di manutenzione e pulizia ed infine una fonte di alimentazione molto economica e disponibile, sono stati ampiamente utilizzati in ambito industriale. Quest'ultimi sono soggetti a vari fenomeni legati principalmente ad attriti e caratteristiche dall'aria, causando la non linearità del sistema, rendendo così il controllo posizione difficile da ottenere.

Questo capitolo introduce principalmente le ricerche innovative sull'argomento trattato con i relativi lavori pubblicati.

2.1 Fractional order sliding mode control of a pneumatic position servo system

In questo lavoro, viene proposto un nuovo controller in modalità scorrevole ad ordine frazionario per il controllo sperimentale del servosistema di posizione pneumatico. I contributi principali di questo articolo sono i seguenti: in primo luogo, il controller in modalità scorrevole in ordine frazionario proposto utilizza per la prima volta una superficie scorrevole in ordine frazionario semplice e viene dimostrata la stabilità del controller proposto. In secondo luogo, i risultati sperimentali, il metodo proposto ha prestazioni migliori rispetto ad alcuni metodi esistenti, inoltre, il metodo proposto riduce significativamente le vibrazioni della forza di controllo e consuma meno energia. Infine, poiché il sensore di pressione non è richiesto, la struttura del sistema di controllo è semplice ed economica. [3]

Per chiarezza si definisce:

- **sistema di ordine frazionario**, nel campo dei sistemi dinamici e della teoria del controllo, è un sistema dinamico che può essere modellato da un'equazione differenziale frazionaria contenente derivate di ordine non intero. [4]
- Con il termine **controllo sliding mode** (o **sliding mode** o **sliding mode control**) si fa riferimento a un controllore a struttura variabile in retroazione di stato che modifica il comportamento di un sistema non lineare forzandolo con un segnale di controllo in alta frequenza. [5]

L'obiettivo del controllo è fare in modo che l'uscita y del sistema segua il segnale di riferimento y_d in modo asintotico. Lo schema a blocchi del sistema di controllo in modalità scorrevole (SMC) in ordine frazionario è mostrato in Fig.2.1. Il tracking error è definito come $e = y(t) - y_d(t)$. La superficie in modalità scorrevole è definita come:

$$S = \ddot{e} + 2\lambda D^\mu e + \lambda^2 e,$$

Riportiamo in seguito il diagramma a blocchi del sistema:

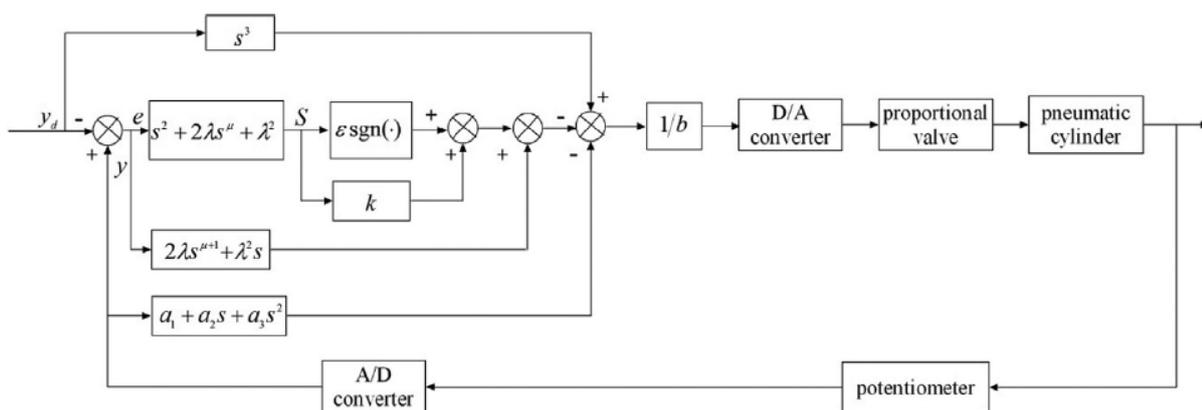


Figura 2.1 Diagramma a blocchi sistema SMC [3]

La piattaforma sperimentale utilizzata in questo studio [Figura 2.2] è stata prodotta da Festo, Germania. Include un alimentatore regolato, un cilindro senza stelo, un regolatore di pressione, un potenziometro, una valvola proporzionale a cinque vie a tre posizioni di lavoro, un carico utile e una scheda di acquisizione dati PCI2306. L'interfaccia utente visualizza la posizione del carico utile e del segnale di riferimento e viene utilizzata anche per selezionare il tipo di segnale di ingresso, impostare i parametri e così via. Il tempo di campionamento è impostato su 10 ms e la posizione effettiva del carico utile y viene rilevata dal sensore.

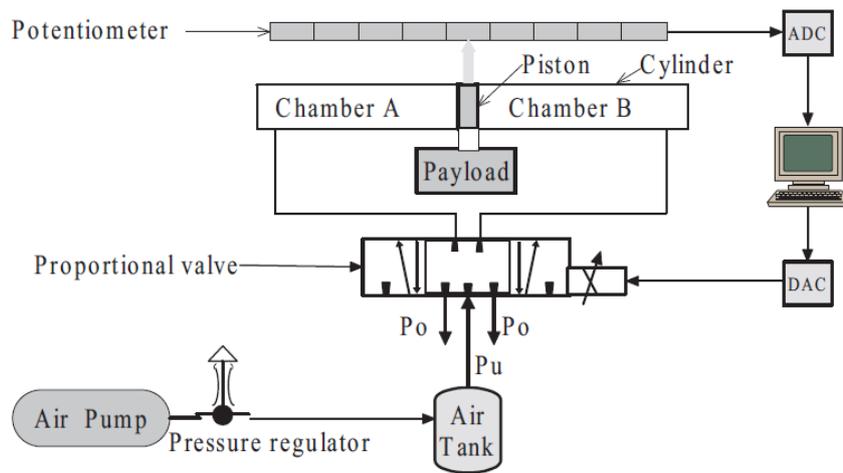


Figura 2.2 Schema servo sistema pneumatico di posizione [3]

Per confrontare i risultati sulla base dell'errore, in questo metodo è stato utilizzato l'RMSE (Errore quadratico medio), in cui si evince ancora una volta le migliori prestazioni di questo metodo rispetto ad altri metodi esistenti.

2.2 Pneumatic positioner with Fuzzy control

È risaputo che per il problema dell'attuazione continua sistemi di posizionamento pneumatico, non è stata ancora sviluppata una soluzione completamente soddisfacente. Questi sistemi, infatti, dovrebbero avere un posizionamento accurato e ripetibile in qualunque posizione lo si desidera, essere insensibili alle interferenze e alle variazioni di carico e dovrebbero essere dotati di sistemi di controllo facile da definire e implementare. Belforte, Raparelli e M. Velardocchia in questo articolo hanno cercato di superare questi limiti sviluppando un algoritmo di controllo basato su regole che formalizzava il comportamento aero fisico del posizionatore.

Viene descritto un posizionatore pneumatico con controllo fuzzy ad anello chiuso. Il sistema è costituito da un cilindro pneumatico, due valvole proporzionali, un sensore di posizione e velocità, un fuzzy controller e una scheda di conversione A/D - D/A. Non ci sono dispositivi di frenatura per mantenere la posizione prevista sullo stelo del cilindro. Il controllo considera l'errore di posizione e la velocità dell'attuatore come antecedenti, e le tensioni di controllo delle valvole come conseguenti. Le funzioni di appartenenza, l'insieme delle regole e pesi di ciascuno sono stati ottenuti considerando le caratteristiche dei componenti e le relazioni tra gli antecedenti e le portate alle camere del cilindro con tensioni di comando variabili. Infine sono state calcolate utilizzando i criteri min-max centro di gravità (COG). Sono state effettuate prove sperimentali il sistema di posizionamento con differenti forme del segnale di riferimento e con differenti carichi applicati. Risultati mostrano una buona precisione di posizionamento e ripetibilità, assenza di overshoot e stabilità del sistema sotto condizioni operative variabili. [6]

In seguito è riportata una vista schematica del sistema di posizionamento in Figura 2.3.

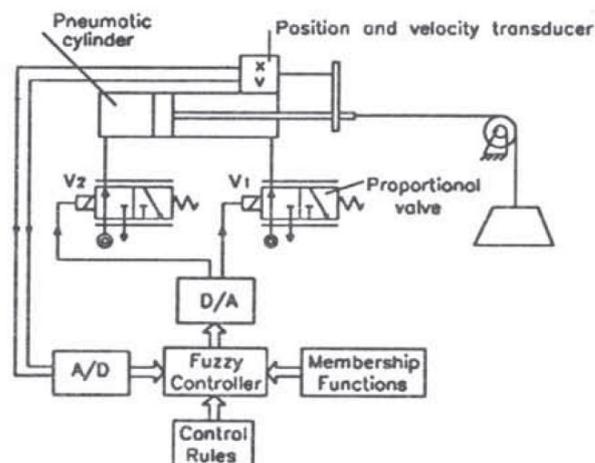


Figura 2.3 Schema posizionatore pneumatico [6]

Per applicare la logica di controllo fuzzy al posizionamento del sistema sopra menzionato, deve essere considerata la relazione tra errore di posizione e velocità dell'attuatore (antecedenti) e tensione di controllo della valvola (conseguenti). È importante collegare la tensione di controllo alla velocità e all'errore di posizione dell'attuatore, in questo modo, l'azione di controllo può far fronte alla velocità con cui cambia l'errore e quindi impedire che si verifichino problemi.

Durante il test, sono stati testati diversi set di regole per mantenere invariata la funzione di appartenenza.

I migliori risultati per il comando della valvola della camera anteriore e della camera posteriore nelle Figure 2.4 e 2.5.

v	e	NM	NS	ZR	PS	PM
NS		PM	PM	NS	NS	NM
ZR		PM	PM	ZR	NS	NS
PS		PM	PS	PS	ZR	NS
			PS			

NM: negative medium;
 NS: negative small;
 ZR: zero;
 PS: positive small;
 PM: positive medium.

v	e	NM	NS	ZR	PS	PM
NS		NS	ZR	PS	PM	PM
ZR		NS	NS	ZR	PM	PM
PS		NM	NS	NS	PS	PM
					PS	

Figura 2.4 Regole camera anteriore [6]

Figura 2.5 Regole camera posteriore [6]

La prima riga della figura mostra la funzione di appartenenza dell'errore (e), e la prima colonna mostra la funzione di appartenenza alla velocità (v), che è utilizzata come antecedente nella regola fuzzy, infine, gli altri termini includono la funzione di appartenenza dell'uscita (V1, V2) risultante dall'applicazione della regola. Queste regole possono essere trovate nelle Figure 2.4 e 2.5, che mostrano le funzioni di appartenenza degli antecedenti e determinano le funzioni di appartenenza successive, come l'intersezione di linee rette e colonne.

Il test è stato eseguito sotto una pressione di alimentazione di 0,6 MPa, inclusa l'applicazione di diverse forme di segnali di riferimento al sistema e la registrazione della risposta del sistema, il segnale di riferimento è l'uscita di tensione della funzione generatrice. Per un test eseguito senza carico, la Figura 2.6 mostra la risposta di un sistema tipico al passaggio di segnali positivi e negativi (dato un segnale ad onda quadra). La dimensione del gradino positiva corrisponde all'estensione dell'asta, mentre la dimensione del gradino negativa corrisponde alla retrazione. In media, il tempo di risposta del sistema ai passi positivi è di 0,25 s e il tempo di risposta ai passi negativi è di 0,2 s, inoltre, il tempo di risposta misurato è il 50% del valore del segnale di uscita a regime.

L'errore stazionario viene mantenuto costante intorno 0,2 mm sia per l'estensione che per la retrazione. Questi i livelli di prestazione possono essere considerati soddisfacenti in vista dell'attuatore utilizzato (guarnizioni standard con alta livelli di attrito variabili con le pressioni di esercizio e velocità) e in considerazione dei tempi di risposta della valvola. [6]

Applicando un segnale a rampa (Figura 2.7), la risposta del sistema è soddisfacente: durante l'estensione dell'attuatore, l'errore di posizionamento è virtualmente costante. D'altra parte, durante la ritrazione, la risposta dell'attuatore mostra discontinuità dovuto al maggior peso dello stick-slip, come la spinta la sezione è ridotta dalla presenza dell'asta.

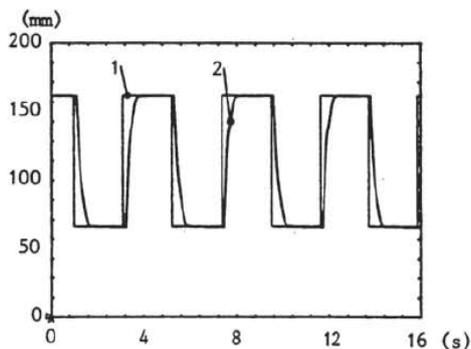


Figura 2.6 Segnale positivo e negativo [6]

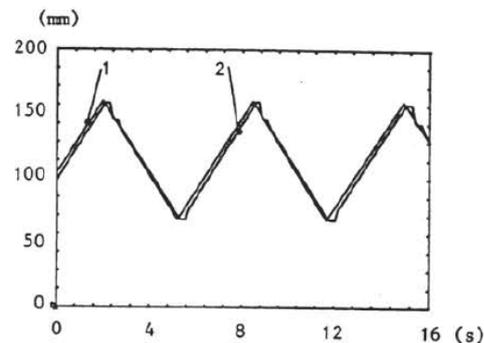


Figura 2.7 Segnale rampa [6]

Infine si conclude che, sperimentalmente i risultati mostrano che la logica di controllo fuzzy è efficace per un sistema ripetitivo quale mostra un buon posizionamento di precisione.

2.3 Accurate Position Control of a Pneumatic Actuator Using On/Off Solenoid Valves

Lo sviluppo di sistemi di attuatori pneumatici per il controllo della posizione veloci, accurati ed economici che possono essere applicati descrive una varietà di applicazioni pratiche di posizionamento, ha portato allo sviluppo di un nuovo algoritmo di modulazione della pulsazione (PWM) che consente l'uso di elettrovalvole on / off invece delle costose servo valvole. Il confronto tra le risposte a ciclo aperto e chiuso della tecnologia PWM standard e le medesime con la nuova tecnologia PWM mostra che ci sono stati miglioramenti significativi nel controllo. Tale algoritmo insieme ad un controller realizzato dalla combinazione di controllore PID (Proporzionale Integrale

Derivativo) con compensazione aggiuntiva dell'attrito ed un feed-forward di posizione hanno portato a dei risultati notevoli, come mostrato nell'articolo di Robert B. van Varseveld and Gary M. Bone.

Il diagramma schematico del sistema di controllo è mostrato nella Figura 2.8. Come attuatore è stato utilizzato un cilindro standard a doppio effetto (corsa 152 mm e 27 mm di diametro interno) con un'opzione a basso attrito per ridurre al minimo l'attrito causato dall'attuatore non lineare. L'attuatore è collegato al pattino lineare orizzontale ed al di sopra di esso possono essere fissate masse di diversa entità. Un meccanismo di frenatura pneumatico è installato nel cursore lineare, una volta che l'attuatore raggiunge la precisione a regime richiesto, può essere applicato e bloccato saldamente in posizione. Con ogni cilindro vengono utilizzate due elettrovalvole a tre vie standard.

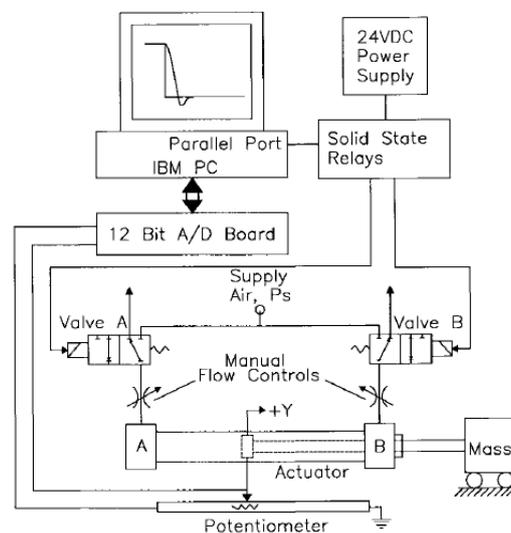


Figura 2.8 Diagramma schematico del sistema di controllo [7]

Quando si utilizzano elettrovalvole on / off per controllare la posizione del pistone, l'uscita del controller u deve essere risolta in una pulsazione individuale delle due valvole, A e B. Precedente i ricercatori hanno utilizzato una modulazione di larghezza dell'impulso (PWM per il controllo di elettrovalvole per pneumatica e attuatori idraulici. Saranno utilizzati quattro schemi PWM 1-4, di cui i primi due saranno confrontati coi nuovi schemi, in particolare lo schema PWM 4 ricoprirà un ruolo importante per la sperimentazione, quest'ultimo è stato progettato per rimuovere completamente le non linearità sull'intero intervallo di u . Viene aggiunto un punto di flesso, dove al ciclo di lavoro della valvola A o B non è consentito scendere al di sotto del ciclo di lavoro minimo possibile, pertanto, la valvola continuerà a rispondere.

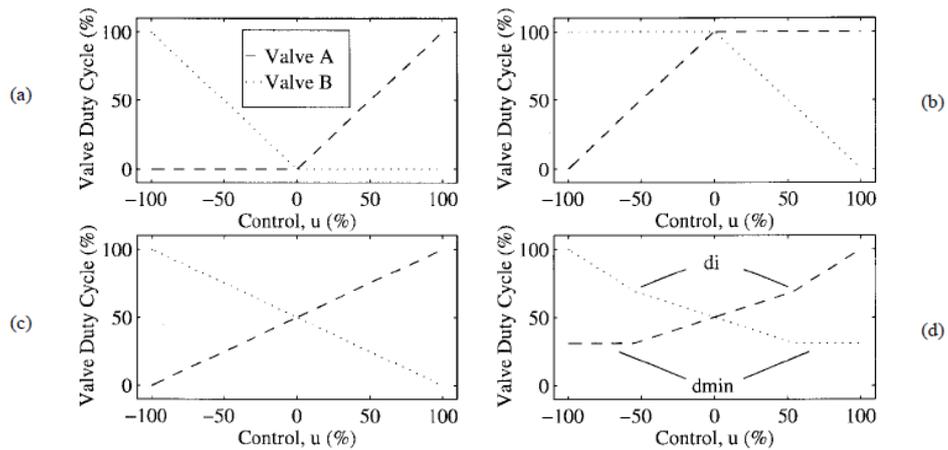


Figura 2.9 Schemi di pulsazione della valvola PWM. (a) Schema 1. (b) Schema 2. (c) Schema 3. (d) Schema 4. [7]

La progettazione del controller richiede un modello di processo. Il processo utilizza test a ciclo aperto per registrare i dati di modellazione in cui l'attuatore è soggetto a segnali di ingresso binari pseudo-casuali (PRBS) con ampiezze variabili in diverse posizioni sulla corsa dell'attuatore. Lo schema PWM viene utilizzato con un periodo di 16 ms ed il periodo di campionamento è uguale per tutti. La novità è l'utilizzo del modello ARX (auto regressivo con ingresso esterno). L'equazione di uscita ha un'estensione specifica, dove $\Delta Y(k)$ è la posizione dell'attuatore differenziale e $u(k)$ è l'uscita di controllo al tempo di campionamento k .

Sono stati ottenuti modelli per le ampiezze PRBS e l'attuatore iniziale posizioni come segue [7]:

(a) 22% a 75 mm; (b) 36% a 75 mm; (c) 73% a 75 mm; (d) 36% a 25 mm; e (e) 36% a 125 mm

I casi (a), (b) e (c) rappresentano l'effetto della variazione dell'ampiezza di input nella posizione iniziale di 75 mm (metà corsa dell'attuatore), mentre i casi (b), (d) ed (e) rappresentano l'effetto della variazione del pistone posizione con una grandezza di input del 36%.

Le risposte simulate ad anello aperto dei modelli (a) - (e) sono rappresentati graficamente in Fig.2.10.

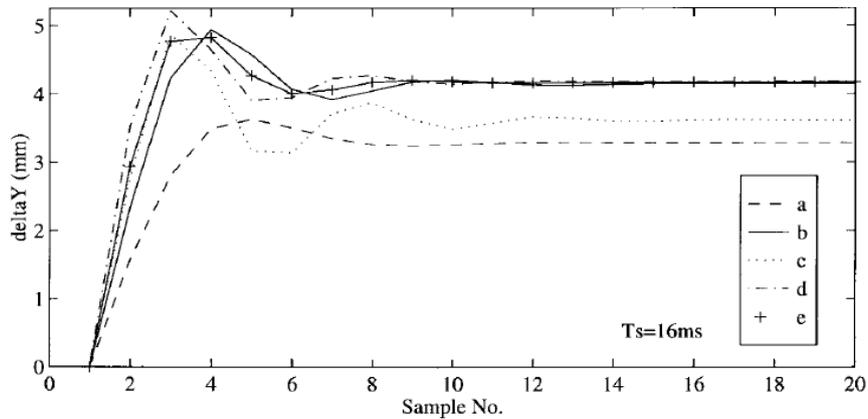


Figura 2.10 Risposte a gradini ad anello aperto simulate per i modelli ARX (a) - (e). Ingresso = 100% [7]

Questi risultati mostrano che all'aumentare dell'ampiezza di ingresso, l'overshoot aumenterà in modo significativo. Ciò può essere dovuto all'entità relativa dell'attrito e della pressione dell'aria. Ad ampiezze di ingresso basse, la forza di attrito controlla la risposta e sopprime l'overshoot, viceversa, ad ampiezze di input più elevate, l'ampiezza relativa dell'attrito diminuisce, mentre l'overshoot aumenta.

Precedenti ricercatori hanno scoperto che per gli attuatori pneumatici, lo smorzamento del processo dipende dalla posizione, mentre gli attuatori a metà corsa si trovano nella posizione più instabile a causa del loro basso smorzamento. I nostri risultati mostrano che il massimo overshoot (smorzamento massimo) si verifica all'estremità retratta dell'attuatore e il più piccolo overshoot (massimo smorzamento) si verifica all'estremità estesa.

Per la realizzazione del ciclo chiuso è stato progettato un particolare controller, quest'ultimo combina quattro componenti: 1) controllo PID; 2) compensazione dell'attrito; 3) azione integrale limitata; e 4) posizione feed-forward.

Sono stati eseguiti diversi test a circuito chiuso per confrontare le risposte di ciascuno dei quattro schemi PWM e da valutare le prestazioni del controller in una varietà di condizioni. La Fig. 2.11 mostra i risultati di questi step test dove si trova il setpoint variava da quasi completamente retratto (11 mm) all'attuatore corsa intermedia (74 mm).

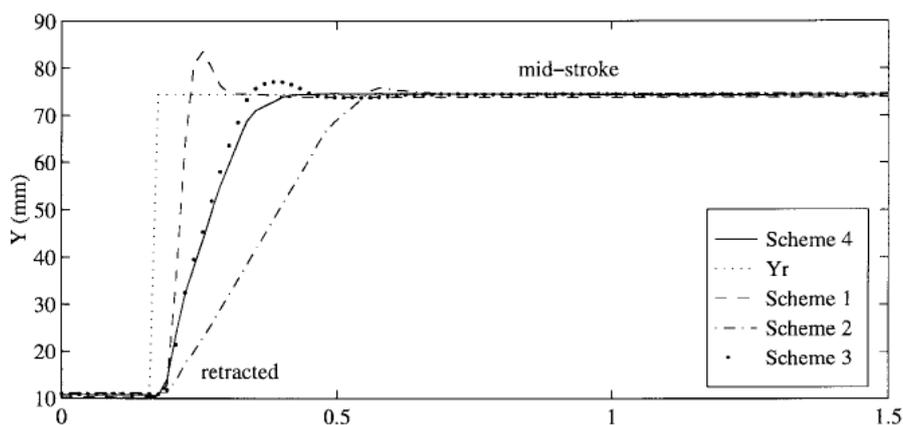


Figura 2.11 Risposta al gradino dell'attuatore ad anello chiuso, schemi PWM 1-4. [7]

Quando si utilizza lo schema PWM 1, la velocità di risposta è migliorata, ma la zona morta più ampia produrrà un evidente sovra-elongazione, lo schema PWM 2 riduce significativamente la velocità di risposta, l'opzione 3 migliora la velocità di risposta, ma porta un maggiore overshoot, lo schema 4 produce una velocità di risposta simile e l'overshoot può essere ignorato. Chiaramente, lo schema PWM 4 ha prodotto i migliori risultati.

Sono stati eseguiti numerosi esperimenti utilizzando PWM schema 4 per valutare le prestazioni del controller in una varietà di condizioni, utilizzando i parametri del modello ARX ottenuti con un'ampiezza di ingresso del 36% a metà corsa dell'attuatore in combinazione con la sintonizzazione manuale del guadagno K.

Il guadagno sintonizzato era $K=7.9\%/mm$, combinato insieme ad una serie di prove a gradini in cui il setpoint viene variato da quasi completamente represso (11 mm), a metà corsa (74 mm), a quasi completamente esteso (138 mm). Compensazione dell'attrito, azione integrale e feed-forward non sono stati inclusi in questo test. Il sistema ha risposto favorevolmente, soprattutto a metà corsa, con un superamento di solo 0,6 mm e un errore di stato stazionario di 0,3 mm. Come accennato in precedenza, è stata aggiunta la compensazione dell'attrito per ridurre l'errore di stato stazionario che ha ridotto l'errore medio del 40% da 0,19 mm a 0,11 mm. È stata anche esaminata la robustezza del controller rispetto alla massa variabile. La massa originale del pistone, dell'asta e della slitta lineare (senza carico utile) era $m=0.94$ kg, con l'aggiunta del carico utile quest'ultima è aumentata di sei volte in kg. Anche se l'aggiunta massa ha leggermente aumentato l'overshoot di 1 mm e il tempo di assestamento di 0,75 s, la risposta è ancora stabile e la precisione dello stato stazionario non è stata compromessa. [7]

Le Figure seguenti mostrano i grafici relativi alla risposta del sistema in presenza della compensazione dell'attrito e dell'aggiunta di una massa.

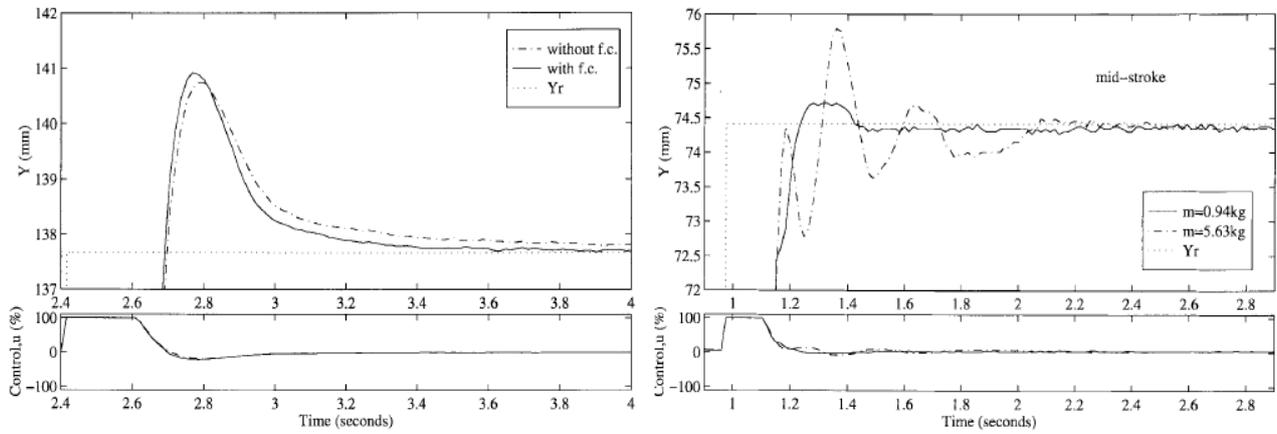


Figura 2.12 Effetto della compensazione dell'attrito e dell'aumento della massa del sistema. [7]

Si conclude che le prestazioni complessive dell'attuatore con i sistemi adottati sono paragonabili a quelli ottenuti utilizzando il servo valvole.

Capitolo 3

Descrizione del Banco

In questo capitolo verranno descritti tutti i vari elementi facenti parte del banco prova, a partire dal PLC, seguito dal cilindro e dalle valvole di controllo. Di seguito è riportata una vista complessiva del banco.

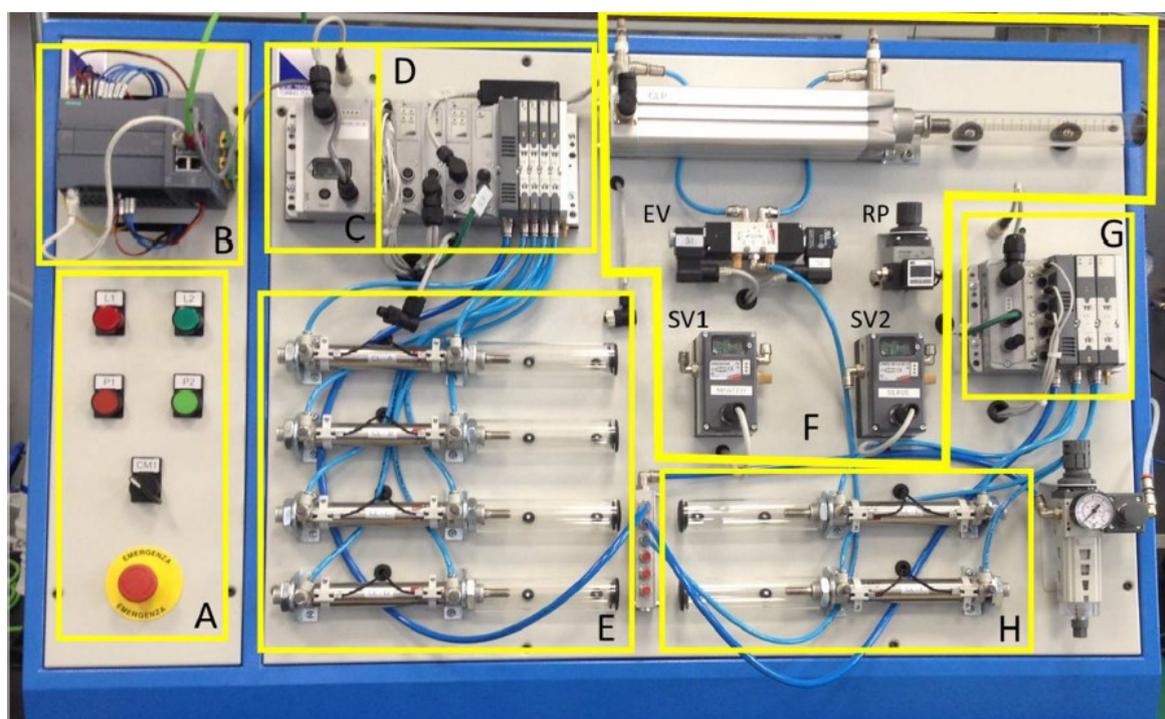


Figura 3.1 Vista Banco prova

Il riquadro (A) mostra la pulsantiera manuale utilizzata per i comandi base: start, stop, segnali luminosi e di emergenza. Nella casella (B) è possibile vedere il PLC Siemens della serie S7-1200. I pulsanti e le segnalazioni luminose del riquadro (A) sono collegati agli I/O integrati nel PLC mediante cablaggio tradizionale punto/punto. Accanto al PLC, è possibile vedere lo switch Scalance della Siemens utilizzato per collegare in rete vari dispositivi. Allo switch confluiscono il PLC, il PC (non visibile in figura) in cui è installato il software TIA Portal per la programmazione del PLC, il nodo seriale CX03 ed un eventuale pannello HMI; tutti questi dispositivi sono collegati allo switch mediante cavo ethernet e comunicazione mediante protocollo Profinet. Nel riquadro (C) è riportato il nodo seriale CX03 (Camosz, Italia), dotato di CPU profinet, che può gestire fino a 1024 I/O. Il nodo gestisce un gruppo di n.4 elettrovalvole 5/2, sia di tipo bistabile e monostabile, montate su manifold (visibili

sulla destra all'interno del riquadro (D)) per il controllo dei cilindri pneumatici a doppio effetto mostrati nel riquadro (E). I cilindri sono dotati di finecorsa reed installati direttamente sull'esterno della camicia dei cilindri. I cavi dei finecorsa sono collegati al modulo ingressi digitali (8 input) gestito direttamente mediante comunicazione seriale dal nodo CX03.

Nel riquadro (F) è invece visibile l'elettropneumatica proporzionale con cui possibile effettuare il controllo in posizione dell'attuatore pneumatico a doppio effetto con sensore potenziometrico lineare integrato internamente. Il controllo di posizione può avvenire in modo indipendente mediante tre soluzioni:

- a) con elettrovalvola digitale 5/3, con bocche chiuse nella posizione centrale (EV);
- b) con n.1 servovalvola master (SV1) per il controllo del flusso in una camera e camera opposta controllata da regolatore di pressione (RP) di precisione azionato manualmente;
- c) con n.2 servovalvole per il controllo del flusso in entrambe le camere del cilindro: una servovalvola (SV1) con funzione master e l'altra (SV2) con funzione slave.

La soluzione c) che utilizza il controllo mediante servovalvole è quella che garantisce la maggior precisione di posizionamento; le servovalvole sono del tipo 3/3 a posizionamento continuo grazie all'adozione di un cassetto ruotante mosso da motore elettrico dotato di retroazione interna mediante encoder. [8]

3.1 Controllore a Logica Programmabile (PLC)

Per molti anni, il Programmable Logic Controller (controllore logico programmabile o PLC in breve) si è effettivamente affermato come componente base dell'automazione industriale in virtù della sua affidabilità, scalabilità, facilità di programmazione e flessibilità. In generale, si può dire che un controllore logico è un dispositivo che associa variabili di ingresso (logiche) con variabili di uscita attraverso un insieme di algoritmi di combinatori e/o sequenziali.

Se le equazioni che collegano l'input e l'output sono statiche (l'output del sistema dipende contemporaneamente dal valore immesso), il controller viene chiamato statico; se queste equazioni sono sequenziali (l'output del sistema dipende anche dal valore passato dell'input).

Generalmente, un controllore logico può essere implementato in due modi diversi: definire un algoritmo logico / sequenziale creato tramite un insieme di dispositivi fisici che realizzano porte logiche e le loro interconnessioni (in questo caso, lo chiamiamo controller logico cablato), oppure tramite il sistema dispositivo elettronico programmabile e mezzi appropriati per memorizzare il programma di controllo (in questo caso, lo chiamiamo controllore logico programmabile).

3.1.1 Cenni Storici

La possibilità di far eseguire in maniera automatica processi di lavorazione o loro parti è sempre stato uno degli obiettivi della tecnica, fin dalla sua nascita. Prima della scoperta dell'elettricità automatismi funzionanti con controlli di tipo meccanico erano già diffusi: tra i più comuni si ricordano l'orologio a pendolo, l'orologio ad acqua, il regolatore di velocità di Watt. [9]

Alla fine degli anni '60, il rapido sviluppo della tecnologia elettronica digitale indusse un gran numero di utenti dell'automazione industriale a richiedere lo sviluppo di controllori logico/sequenziali programmabili. La richiesta di controllori programmabili nell'automazione industriale è guidata dal fatto che i controllori logico/sequenziali cablati (e quindi dedicati ad applicazioni specifiche) hanno le caratteristiche di avere bassi costi di produzione e alti costi di progettazione. General Motors ha compiuto uno sforzo decisivo alla fine degli anni '60 per definire un controller logico/sequenziale programmabile "standard": questa azienda diventò il più grande utente al mondo di sistemi di automazione e, dopo aver automatizzato completamente le sue linee di produzione, si è trovato in uno stato in cui diverse macchine automatiche, ognuna caratterizzata da un proprio controllore, funzionano e interagiscono tra loro utilizzando diverse tecnologie.

Il controllore logico/sequenziale doveva [10]:

- essere facilmente programmabile e riprogrammabile anche sul luogo di funzionamento con tempi di interruzione minimi;
- essere robusto e dunque realizzato con componenti e materiali adeguati al funzionamento in un ambiente industriale;
- essere caratterizzato da una modularità tale da rendere semplici le azioni di manutenzione e riparazione;
- essere caratterizzato da una configurazione facilmente espandibile;

- avere dimensioni e consumi energetici contenuti;
- essere in grado di interfacciarsi in maniera semplice e immediata con i sensori e gli attuatori standard;
- essere in grado di interfacciarsi con sistemi centralizzati per la registrazione e la raccolta di dati;
- essere competitivo in termini di costi;
- avere una memoria interna espandibile per programmi e dati.

Il suo successo è dovuto innanzitutto al modo in cui è concepito: un componente programmabile che interagisce con il mondo esterno (sensori / attuatori standard, ecc.) E con l'utente in modo semplice e intuitivo. Il PLC, infatti, è dotato di un sistema operativo e di diverse modalità di programmazione orientate all'utente: per consentire una logica di programmazione, è inoltre dotato di un linguaggio di programmazione grafico, che segue molto fedelmente lo schema elettrico dei relè, in questo modo, il passaggio dalla programmazione logica cablata alla programmazione software PLC è facile per tecnici e aziende.

Dalla nascita del PLC ad oggi, dal punto di vista della tecnologia e delle funzioni disponibili, il suo sviluppo è enorme, ma per garantire la continuità della soluzione e tutelare l'investimento industriale in termini di risorse e design, la sua struttura e alcuni concetti di base sono rimasti invariati.

Il Comitato elettrotecnico internazionale (IEC) ha emesso un regolamento nel 1993 per standardizzare la struttura hardware e software del PLC. L'abbreviazione della norma è IEC 61131; in particolare, il documento IEC 61131-1 prevede l'introduzione e la definizione del PLC, il documento IEC 61131-2 riguarda la sua struttura hardware e il documento IEC 61131-3 riguarda la definizione linguaggio di programmazione del PLC, questa norma è stata implementata in Italia nel 1996 dalla Comitato Elettrotecnico Italiano.

In particolare, lo standard **IEC 61131-1** definisce in maniera sommaria il PLC come “un sistema elettronico a funzionamento digitale, destinato all'uso in ambito industriale che utilizza una memoria programmabile per l'archiviazione interna di istruzioni orientate all'utilizzatore per l'implementazione di funzioni specifiche, quelle logiche, di sequenziamento, di temporizzazione, di conteggio e di calcolo aritmetico, e per controllare, mediante ingressi e uscite sia digitali sia analogiche, vari tipi di macchine e processi”. [10]

3.1.2 Struttura del PLC

Il PLC è costituito di due parti profondamente diverse tra loro [11]:

- l'insieme dei circuiti e delle apparecchiature necessarie per fornire le varie funzioni (hardware);
- l'insieme delle istruzioni che formano il programma utente sulla base delle esigenze specifiche (software).

Il principio di funzionamento del sistema PLC può essere riassunto nella figura sottostante (Figura 3.2)

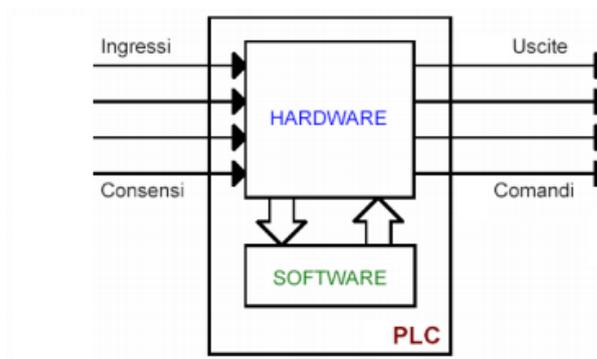


Figura 3.2 Schema di un PLC

Il PLC riceve i segnali di ingresso dai sensori di campo, elabora questi segnali in base al programma ed emette segnali di comando.

Si precisa che la Figura 3.3 mostra l'architettura hardware di base del PLC nella configurazione minima, è presente un'unità centrale di calcolo, normalmente dotata di una certa quantità di memoria dedicata, che è collegata all'interfaccia di input / output tramite bus, il modulo è collegato a sua volta con il sensore e l'attuatore di livello. Esistono anche interconnessioni via bus con moduli dedicati a funzioni specifiche e con unità di programmazione: oggi si tratta solitamente di un comune personal computer collegato ad un PLC e utilizzato per la progettazione e la programmazione del software.

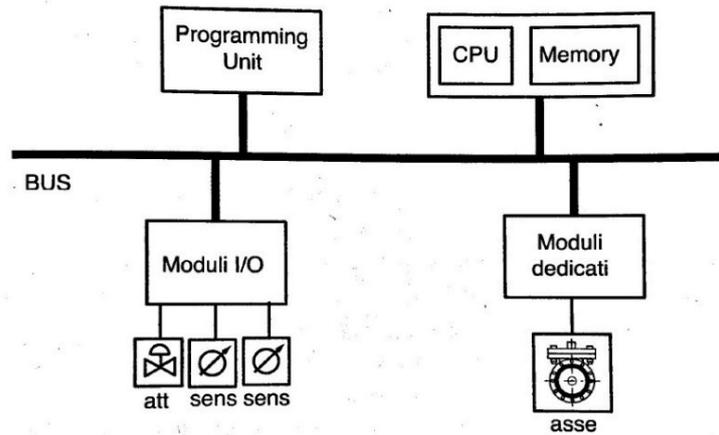


Figura 3.3 Architettura hardware a bus di un PLC [10]

Da un punto di vista puramente strutturale, la caratteristica imprescindibile della modularità ha portato nel tempo alla progettazione di PLC, come mostrato nella Figura 3.4, mette in evidenza i diversi moduli che lo compongono e i componenti contenuti all'interno del rack, in una configurazione tipica all'interno del rack, che ne garantisce il collegamento meccanico e elettrico, troviamo: il modulo di alimentazione, modulo processore, moduli di interfaccia input / output, quest'ultimi ricoprono un ruolo importante poiché consentono la connessione tra il PLC e il mondo esterno.

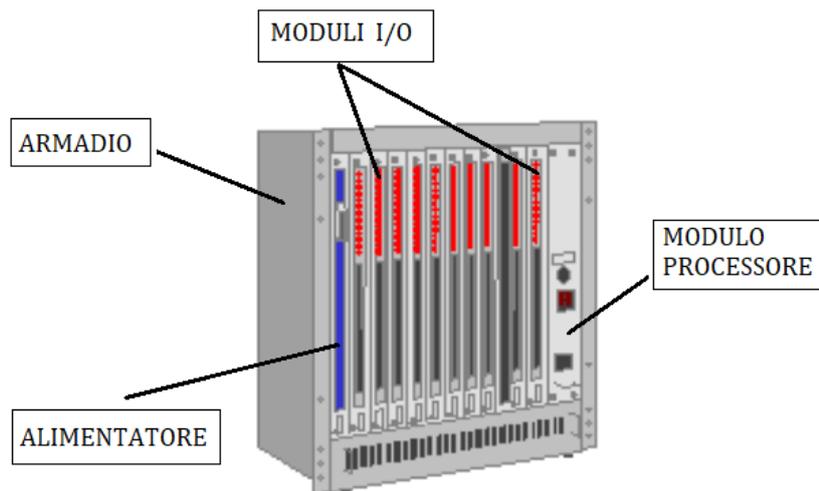


Figura 3.4 Architettura modulare di un PLC

Nella Figura soprastante possiamo notare:

- Armadio (cestello o rack), quest'ultimo contiene i vari moduli necessari ed assicura la connessione elettrica attraverso il bus sul fondo del rack;
- Moduli I/O, sono schede che permettono l'interfacciamento del modulo processore con il mondo esterno;
- Modulo processore, è una scheda a microprocessore che controlla e supervisiona tutte le operazioni eseguite all'interno del sistema;
- Alimentatore, il cui compito è alimentare tutte le schede presenti nel cestello.

3.1.3 Linguaggio di Programmazione

La IEC 1131 specifica anche i linguaggi di programmazione per sistemi di controllo e PLC, quest'ultimo dovrebbe portare alla standardizzazione della sintassi dei linguaggi di programmazione, che porta allo sviluppo dei metodi moderni di applicazione (programmazione strutturata, modularità del software), facilitando il trasferimento di codici tra macchine diverse e la verifica dei codici, consentendo il loro riutilizzo in modo da ridurre i costi e abbreviare i tempi di programmazione.

Lo standard prevede i seguenti cinque linguaggi di programmazione per i PLC: diagramma funzionale sequenziale (o SFC, da *Sequential Functional Chart*), linguaggio a contatti (*Ladder Diagram*), diagramma a blocchi funzionali (o FBD, da *Function Block Diagram*), lista di istruzioni, testo strutturato. I primi tre sono linguaggi di programmazione grafici, gli ultimi due sono linguaggi testuali. [9]

I **diagrammi funzionali sequenziali** consentono di utilizzare i concetti di fasi e transizioni per sviluppare applicazioni di controllo del processo fisico. In breve, le fasi rappresentano azioni che possono essere eseguite, eventualmente in parallelo, mentre le transizioni rappresentano le condizioni che devono essere soddisfatte per passare da una fase all'altra. Questo linguaggio in un certo senso viene considerato superiore agli altri quattro, poiché è possibile definire determinate fasi e transizioni utilizzando una delle altre quattro lingue. Le sue principali caratteristiche includono la possibilità di previsione delle sequenze che si sviluppano in parallelo o in alternativa, la possibilità di assegnare loro delle priorità che permettono di prevedere sequenze di feedback, modificando così lo sviluppo delle normali sequenze.

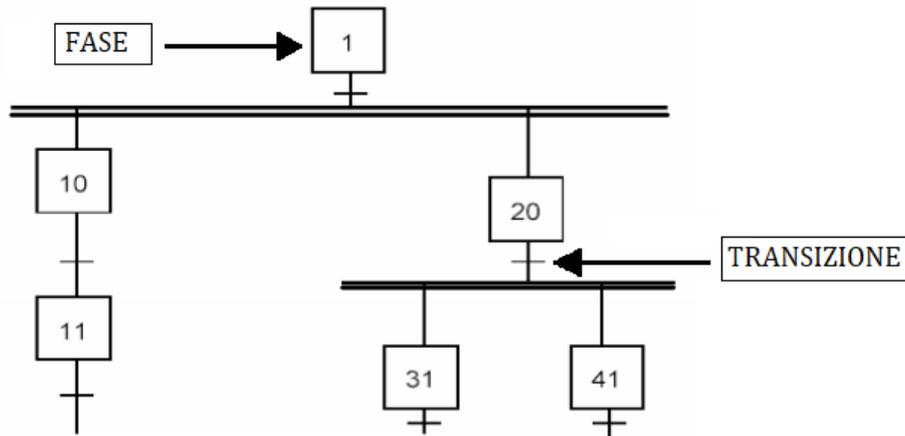


Figura 3.5 Esempio di SFC

Il **linguaggio a contatti**, conosciuto anche con il nome inglese Ladder Diagram, prevede l'utilizzo degli elementi contatto aperto, contatto chiuso e bobina, tipici degli schemi di controllo a relè elettromeccanici (Figura 3.6). Sono inoltre previste delle istruzioni per realizzare funzioni di temporizzazione e di conteggio. Il linguaggio a contatti è stato concepito per trattare principalmente logica binaria anche se è stato esteso attraverso l'uso di funzioni speciali per permettergli, per esempio, di poter trattare numeri reali e realizzare funzionalità di controllo di processo (regolatore PID). [9]

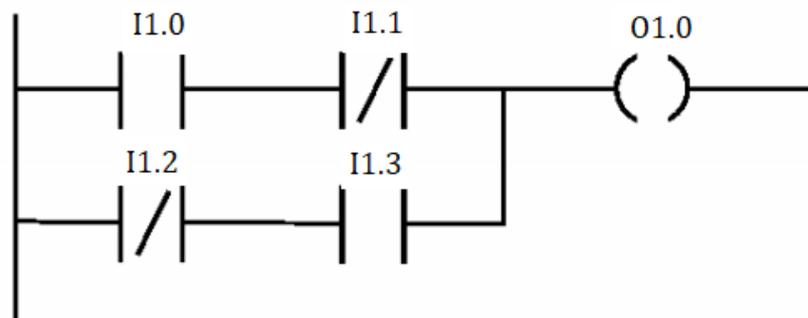


Figura 3.6 Esempio di diagramma Ladder

Infine, abbiamo il diagramma a blocchi funzionali che è stato introdotto dalla norma IEC 61131-3 può essere considerato simile a uno schema circuitale, dove l'interconnessione tra i vari componenti

(blocchi funzionali) rappresenta il percorso del segnale. Questi blocchi funzionali sono rappresentati come delle scatole caratterizzati da dati di input, output e dagli algoritmi che vengono elaborati in essi.

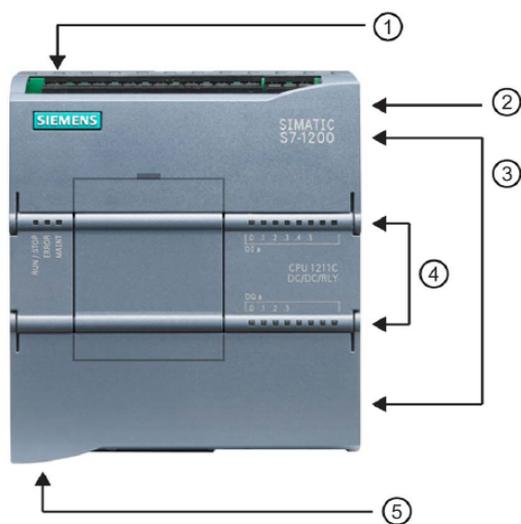
Lo standard IEC 61131-3 definisce anche in dettaglio le varie tipologie di dati, il numero di bit e il valore iniziale assegnato dal sistema, utilizzati particolarmente per la rappresentazione del sistema. Infine, è possibile definire diverse tipologie di costanti, tra i quali: numeri reali, numeri interi, alfanumerici, booleane e temporali.

3.1.4 Siemens S7-1200

La serie S71200 è una linea di controllori a logica programmabile (PLC) in grado di controllare un'ampia varietà di applicazioni. La compattezza del design, il costo contenuto e l'esteso set di istruzioni fanno dell'S71200 la soluzione ottimale per numerose applicazioni industriali. Inoltre i modelli di S7-1200 e il tool di programmazione STEP 7 basato su Windows garantiscono la flessibilità necessaria per affrontare e risolvere i più svariati problemi di automazione. [12]

La CPU combina il microprocessore e l'alimentatore in un unico dispositivo compatto con circuiti di ingresso e uscita integrati, PROFINET integrato, I / O ad alta velocità che supportano la funzione di controllo del movimento, creando così un potente controllore. Quando il programma viene caricato, la CPU contiene la logica necessaria per il controllo ed il comando dei dispositivi utilizzati nell'applicazione, controlla gli ingressi e modifica le uscite secondo la logica del programma utente che può comprendere: operazioni booleane, contatori e temporizzatori, operazioni matematiche complesse, funzioni di controllo movimentazione e comunicazione con altri dispositivi intelligenti.

Di seguito viene riportato un'immagine e una tabella delle caratteristiche di questo dispositivo.



- ① Connettore di alimentazione
- ② Slot per la memory card protetto da un coperchio
- ③ Morsettiera estraibile per il cablaggio utente (dietro i coperchi)
- ④ LED di stato per gli I/O on-board
- ⑤ Connettore PROFINET (in basso nella CPU)

Figura 3.7 PLC S7-1200 [12]

Caratteristiche PLC Siemens

Modello	S7-1200
CPU	CPU 1214C DC/DC/DC
Dimensioni di ingombro (mm)	110 x 100 x 75
I/O on-board locali, Digitali	14 ingressi / 10 uscite (24V DC)
I/O on-board locali, Analogici	2 ingressi (0 - 10V DC)
Contatori veloci	Fino a 6 configurati per l'uso di qualsiasi ingresso integrato
Uscite di impulsi	Fino a 4 configurate per l'uso di qualsiasi uscita integrata
Ampliamento con modulo di I/O (SM)	8
PROFINET	1

Tabella 3.1 Caratteristiche PLC S7-1200 [12, pag. 7]

Al PLC è stato aggiunto un modulo aggiuntivo SIEMENS 6ES7232-4HB30-0XB0, con lo scopo di aggiungere due uscite analogiche, necessarie per il corretto funzionamento delle valvole proporzionali in seguito descritte. Nelle Fig. 3.8 e nella Tabella 3.2 vengono mostrate le sue caratteristiche.



Figura 3.8 Modulo aggiuntivo [13]

Caratteristiche SIEMENS 6ES7232-4HB30-0XB0

Modello	SM 1232, AQ 2x 14 bit
Tensione di alimentazione	24 V
Potenza dissipata	1.5 W
Uscite analogiche	2; corrente o tensione

Tabella 3.2 Caratteristiche Modulo Aggiuntivo [13]

3.2 Camozzi CX06 CPU

Il PLC è collegato via Ethernet alla CPU Camozzi CX06, quest'ultima permette di controllare e gestire l'attivazione di uscite digitali e / o analogiche in base ai comandi ricevuti dal bus Profinet esterno, e di trasmettere sul bus esterno le informazioni diagnostiche fornite dal sistema e dagli ingressi digitali e / o analogici. Inoltre, PLC e CPU comunicano tramite protocollo Profinet standard, con questa configurazione è possibile espandere il numero di ingressi e uscite PLC fino a un massimo di 128 byte e 128 byte (1024 ingressi digitali e 1024 uscite digitali) rispettivamente. La memoria della CPU è suddivisa in parti di ingresso e di uscita, quindi è impossibile configurare con 130 byte associati agli ingressi e 126 byte associati alle uscite. Per poter utilizzare questi ingressi e queste uscite, è necessario aggiungere, sul lato destro del modulo principale, una serie di moduli. È possibile inserire non solo moduli I / O digitali, ma anche moduli I / O analogici, isole di valvole e moduli di sottorete.



Figura 3.9 CX06 e moduli I/O [14]

Nella foto soprastante possiamo notare la CPU CX06 Camozzi nel quale vi sono collegati vari moduli, di questi ne descriveremo soltanto alcuni, principalmente quelli chiamati in causa durante le prove. Da sinistra verso destra nella Fig. 3.9. vi sono:

ME3-0800-DC: Il modulo di Ingressi Digitali si può collegare solo in presenza di una CPU o di un modulo di Espansione, mescolandosi con altri dispositivi di I/O sia Digitali che Analogici ed il modulo iniziale della sottorete. Ha 8 o 4 connessioni M8 3 poli femmina, in cui sono collegati i fincorsa magnetici dei cilindri A - D. [15]

ME3-0004-DL: Il modulo ha due connessioni M12 A 5 poli femmina, ogni connettore può gestire 2 uscite digitali e può erogare un massimo di 10 W a 24 V DC. Il dispositivo è utile per pilotare una

valvola bistabile o due valvole monostabili per ogni connettore, o per attivare delle elettrobobine o altri dispositivi elettrici con assorbimento massimo di 10 W a 24 V DC. Collegando due uscite ad un unico dispositivo elettrico ed azionandole in contemporanea, è possibile erogare al massimo 20 W a 24 V DC.[15] Per quanto riguarda il nostro banco di test, sono presenti due connettori di cui uno è collegato tramite le uscite 3 e 4 ai solenoidi S1 e S2 della valvola digitale 5/3 situata direttamente sotto il cilindro di rilevamento. In seguito viene mostrato lo schema elettrico nella Fig. 3.10.

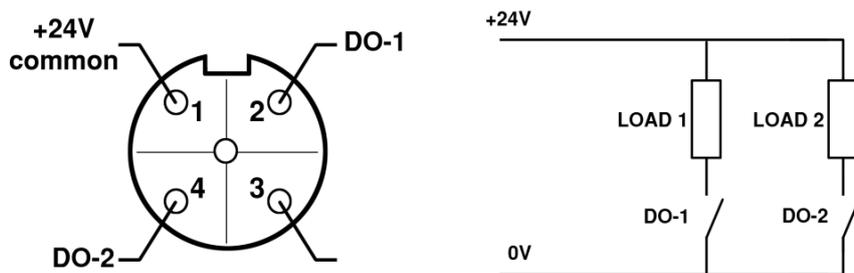


Figura 3.10 Connettore e diagramma elettrico del modulo di uscita digitale ME3-0004-DL [14]

ME3-**-AL:** Il modulo ha due connessioni M12 A 5 poli femmina ed è possibile configurarlo come 2 Output o 2 Input o 1 Input + 1 Output analogici. Ogni uscita o ingresso analogico ha una risoluzione a 12 bit, sia per ingressi che per uscite disponibili nelle versioni da 0-10 V DC e da 4-20 mA. Il tempo di rinfresco dei dispositivi analogici è subordinato al ritardo della sottorete e quindi alla sua topologia. Un ritardo medio è inferiore a 6 ms, al quale va aggiunto il ritardo della rete principale gestita dal PLC.[15]

Modello	N° ingressi analogici	N° uscite analogiche
ME3-00T0-AL	-	2 uscite 0-10 V
ME3-00K0-AL	1 ingresso 0-10 V	1 uscita 0-10 V

Tabella 3.2 Dettagli moduli aggiuntivi alla CX06 [15].

Nel modulo ME3-00K0-AL la risoluzione dell'ingresso può essere modificata, da 12 fino a 8 bit, se necessario. La Figura 3.11 mostra i collegamenti corretti per ogni connettore a 5 poli. Anche in questo caso ogni I / O occupa 2 byte di memoria (o 1 byte nel caso dell'ingresso analogico con risoluzione impostata a 8 bit). [14]

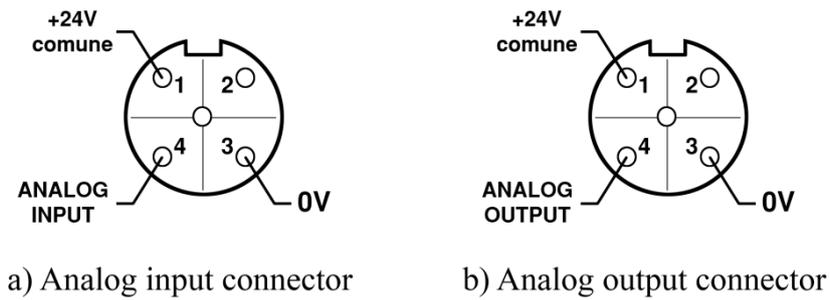


Figura 3.11 ME3-00K0-AL I/O analogici [14]

Quando si utilizzano 12 bit di risoluzione, i dati analogici occupano 2 byte di memoria e in particolare i 12 bit più significativi. Un altro problema sta nel fatto che la comunicazione utilizza la codifica little endian, ciò significa che il primo byte viene effettivamente salvato come secondo. Per ricostruire correttamente i dati, il modo più semplice è utilizzare il blocco ROL, o Roll Left, nel TIA Portal: questo blocco rotola il numero di bit specificato sulla sinistra; ogni volta che un bit viene spinto fuori dal byte, occupa il posto liberato sul lato destro. Il risultato dell'operazione è mostrato nella Figura 3.12: i quattro zeri ora occupano i 4 bit più significativi, con tutti gli altri bit nel giusto ordine a destra. [14]

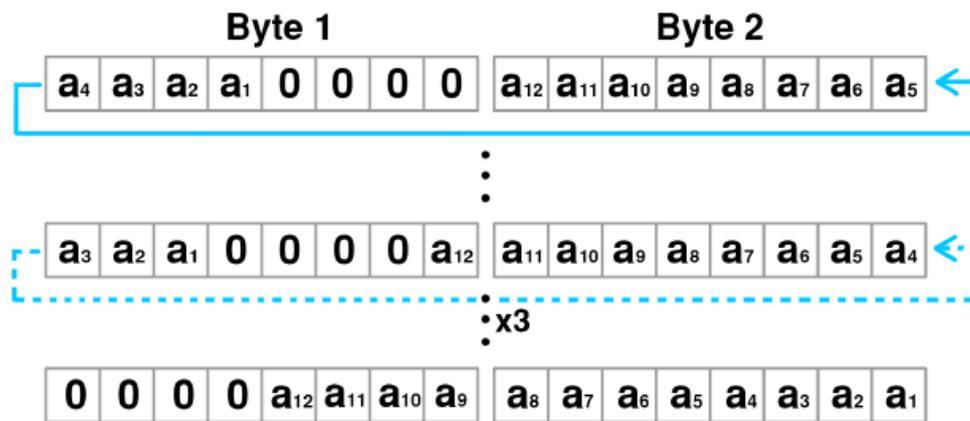


Figura 3.12 Operazione ROL [14]

3.3 Cilindro Sensorizzato della serie 6PF

Gli attuatori pneumatici Serie 6PF sono muniti di trasduttore di posizione lineare potenziometrico integrato all'interno dello stelo. Questo tipo di cilindro permette il controllo costante lungo tutta la corsa della posizione dello stelo che viene rilevata elaborando la variazione di resistenza interna del trasduttore. I pistoni sono muniti di un magnete permanente che rende possibile l'utilizzo di sensori finecorsa esterni. Le guarnizioni di tenuta dinamiche sono specifiche per basso attrito. La connessione elettrica, realizzata tramite un connettore M12 maschio posizionato sulla testata posteriore, rende il cilindro conforme al grado di protezione IP67. Il design robusto, la grande flessibilità d'installazione e le elevate prestazioni li rendono adatti ad essere utilizzati in applicazioni con: cilindri tensionatori, cilindri posizionatori, sistemi di riempimento, taglio e misura. [16]

In Figura 3.13 troviamo un'immagine del cilindro e il simbolo del trasduttore di posizione.



Figura 3.13 Cilindro sensorizzato e schema trasduttore di posizione

Il cilindro utilizzato è della serie 6PF3P050A0200 di Camozzi, a doppio effetto con una corsa di 200 mm e un alesaggio interno di 50 mm. Poiché il modulo di ingresso analogico invia 24Vdc, ma accetta solo 10Vdc come tensione di ingresso massima, viene utilizzato un partitore di tensione come ingresso del sensore per ottenere un'uscita con un intervallo valido di 0-10Vdc.

3.4 Simatic HMI KTP 700 Basic

Con i SIMATIC HMI Basic Panel 2nd Generation Siemens soddisfa la richiesta degli utenti di disporre di funzioni di comando e visualizzazione eccellenti anche nelle macchine e negli impianti di piccole dimensioni. La connettività è realizzabile a scelta con un'interfaccia PROFINET o PROFIBUS ed un collegamento USB, inoltre l'utilizzo del software WinCC nel TIA Portal ha reso più agevole la progettazione e il comando dei nuovi pannelli operatore. [17]

Il pannello è stato utilizzato infine per simulare i programmi svolti, nei capitoli successivi verranno rese note le possibili soluzioni di progettazione di quest'ultimo.

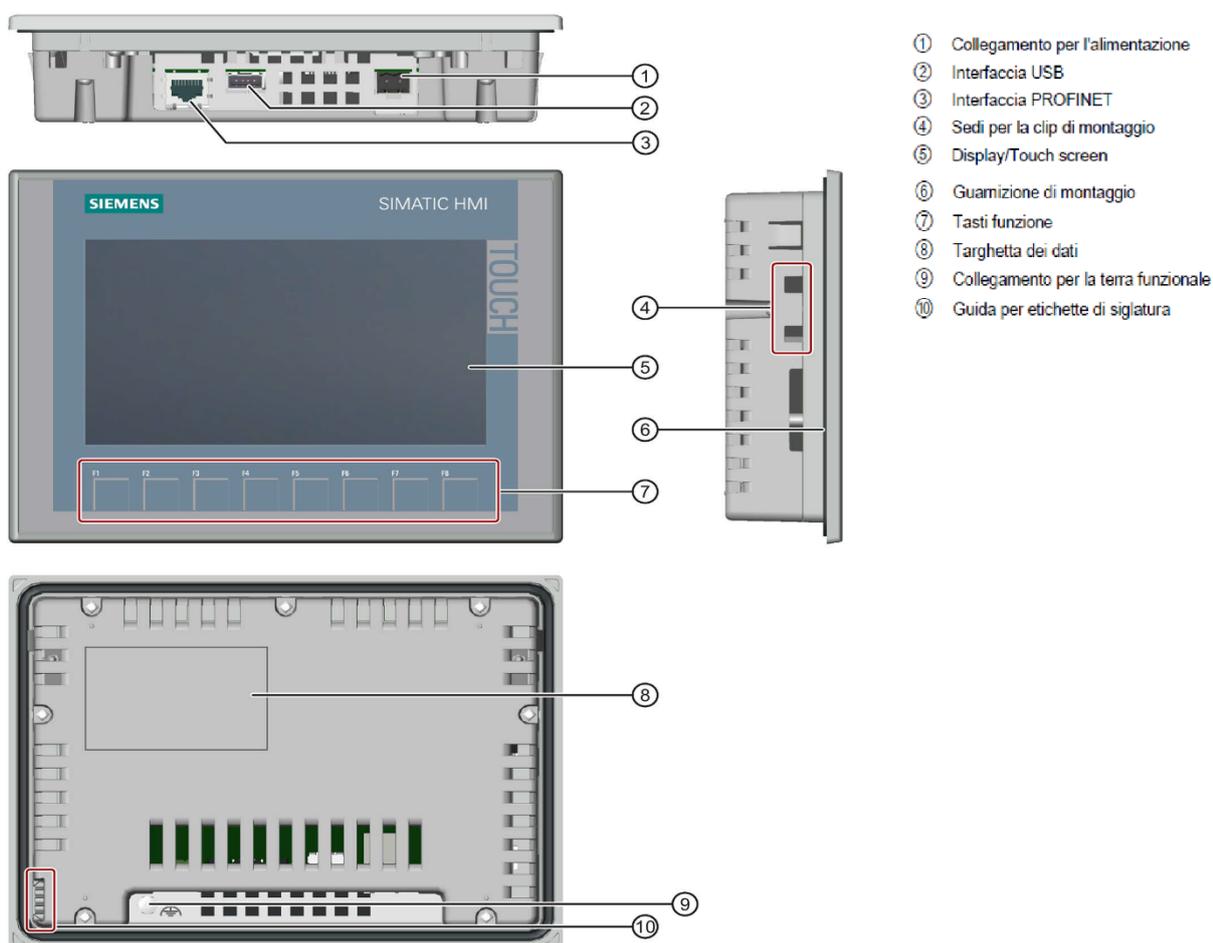


Figura 3.14 Viste e caratteristiche HMI [17]

3.5 Valvole

3.5.1 Elettrovalvola 5/3 vie a centri chiusi

Le elettrovalvole della Serie 3 da G1/8 e da G1/4 sono state realizzate nelle versioni 2x3/2 - 3/2 - 5/2 e 5/3 nei due dispositivi fondamentali: - con azionamento elettropneumatico e riposizionamento con molla meccanica - con azionamento e riposizionamento elettropneumatico con servopilotaggio interno ed esterno. [18]

La Figura 3.14 mostra la valvola e il corrispettivo simbolo ISO

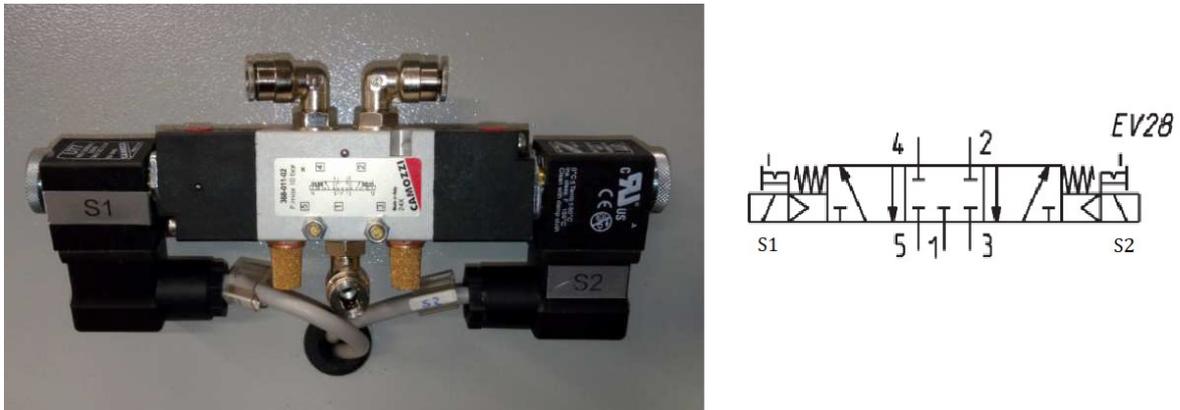


Figura 3.15 Valvola 5/3 e corrispettivo simbolo ISO

I segnali di comando delle bobine S1 e S2 della valvola sono entrambi collegati tramite lo stesso cavo, cavo X, alle uscite digitali 3 e 4 del modulo ME3-0004-DL. La valvola, utilizzata per il controllo della bombola sensorizzata posta sopra di essa, garantisce una portata di 700 Nl / min ANR e una pressione di esercizio di 2 ÷ 10 bar. [14]

3.5.2 Valvole proporzionali ad azionamento diretto Serie AP

Le valvole proporzionali Serie AP sono realizzate al fine d'ottimizzare e minimizzare frizioni ed effetto stickslip, inoltre, il flusso in uscita è proporzionale al segnale di comando [19]. Sono state utilizzate quattro valvole della serie "AP-7211-LR2-U711", accoppiate a due a due per gestire indipendentemente le fasi di fuoriuscita e rientro dell'attuatore, come mostrato in Fig. 3.16. Quest'ultime vengono controllate direttamente dal PLC attraverso il modulo aggiuntivo descritto nel paragrafo 3.1.4

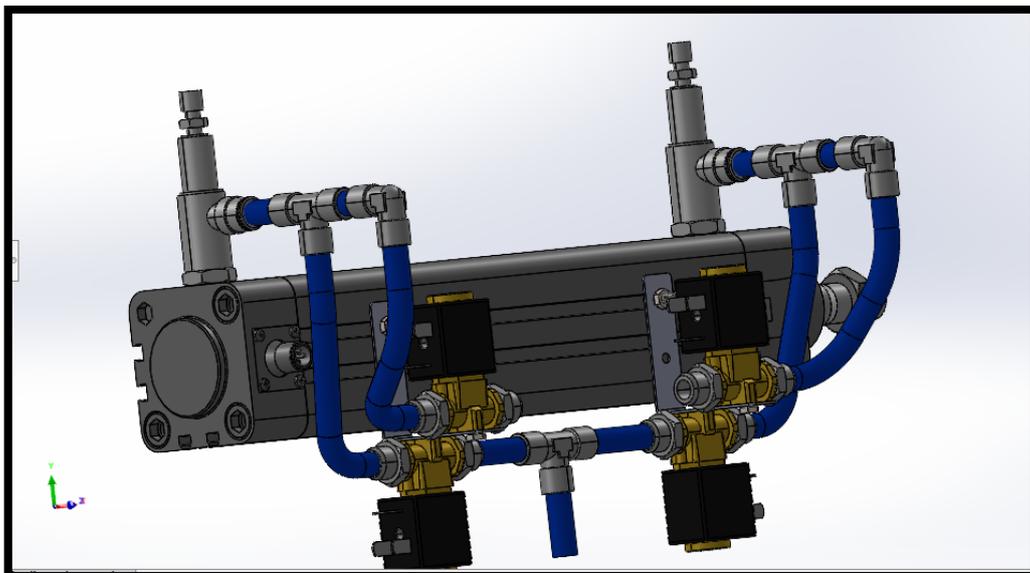


Figura 3.16 3D progettazione disposizione valvole

Più dettagliatamente, sono valvole 2/2 NC con orifici da 1.6 mm, 1.0 l/min di portata e con una pressione max di 6 bar, segue un'immagine di quest'ultima col corrispettivo simbolo ISO.

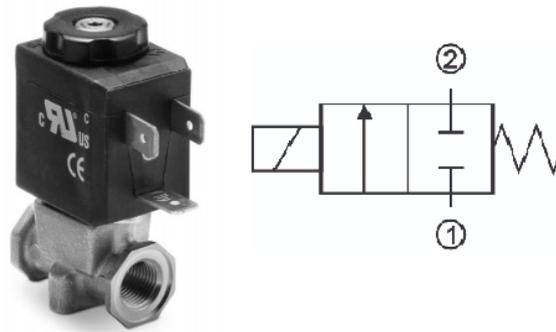


Figura 3.17 Valvola proporzionale e corrispettivo simbolo ISO

Successivamente alle valvole sono stati collegati dei dispositivi di controllo elettronico della Serie 130 (Vedi Fig. 3.18) che consentono il pilotaggio di una qualsiasi valvola proporzionale con corrente massima di 1 A, convertendo un segnale di ingresso standard (0-10V o 4-20 mA) in un segnale PWM per ottenere in uscita al solenoide una corrente proporzionale al segnale di ingresso. È possibile regolare la corrente massima e la corrente minima fornite al solenoide, inoltre, il segnale di uscita può avere un andamento a rampa regolabile tra 0 e 5 secondi. Il dispositivo ha un firmware dedicato alla valvola proporzionale da pilotare per garantirne il funzionamento ottimale.



Figura 3.18 Driver serie 130 [20]

3.6 Servovalvola serie LRXD2

La servovalvola LRXD2 è una valvola proporzionale con controllo integrato ad alta precisione per il posizionamento del cilindro. La valvola include un sistema brevettato a 3/3 vie basato sul principio di una bobina rotante e controlla elettronicamente la posizione della bobina. Questo servosistema pneumatico a circuito chiuso consente il controllo della posizione tramite feedback da sensori di posizione o cilindri Camozzi 6PF con sensore lineare integrato. Velocità e accelerazione sono gestite direttamente dalla scheda elettronica integrata nel display Corpo valvola. La valvola master modello LRXD2 è dotata di un segnale speciale per il controllo della valvola LRWD2, che fungerà da valvola slave. [21]

Nelle Fig. 3.19 e Fig. 3.20 vengono mostrate rispettivamente un'immagine della valvola e il suo circuito elettrico / pneumatico.



Figura 3.19 Servovalvola LRXD2 con corrispettivo simbolo ISO [22]

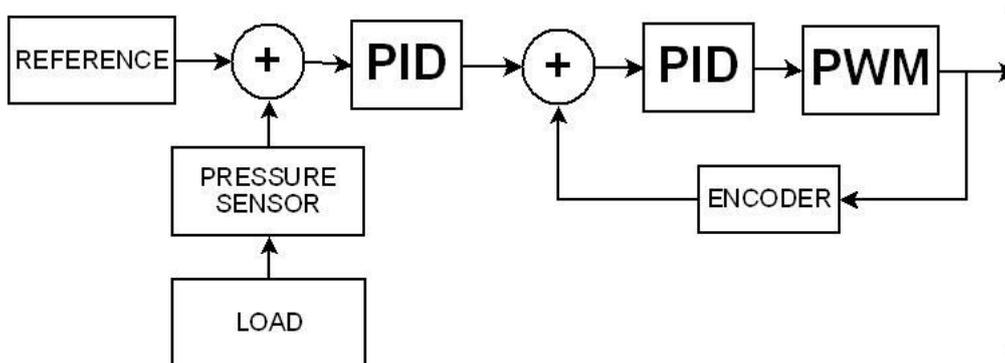


Figura 3.20 Circuito elettrico / pneumatico valvola LRXD2 [22]

Con l'ausilio di un'altra valvola LRWD slave è possibile ottenere varie configurazioni di sistema, in base anche alle prestazioni che si desiderano ottenere. In particolare le soluzioni viste sono tre, quali: utilizzando 2 valvole LR (master + slave), oppure utilizzando soltanto una valvola master LRXD, imponendo nella camera opposta del cilindro una resistenza (pressione o una molla).

Prima di utilizzarla, questa valvola necessita di una piccola configurazione, collegandola al PC tramite USB ed avviando il software "LrxdConfigurator" disponibile gratuitamente nel sito della Camozzi. Nel software "LrxdConfigurator" è possibile ricevere alcune informazioni e effettuare alcune modifiche a livello di impostazioni. La schermata visualizzata sarà simile a quella mostrata nella Figura 3.21 ed il livello di funzionalità fornito varierà in base al tipo di utente utilizzato che utilizza il configuratore. Per gli utenti "Utente" non è possibile modificare i seguenti parametri, ma solo visualizzarli. Ma, inserendo un'appropriata password e premendo il pulsante "App" si può accedere al livello "Utilizzatore", dove è possibile apportare cambiamenti a livello di funzionamento della servovalvola.

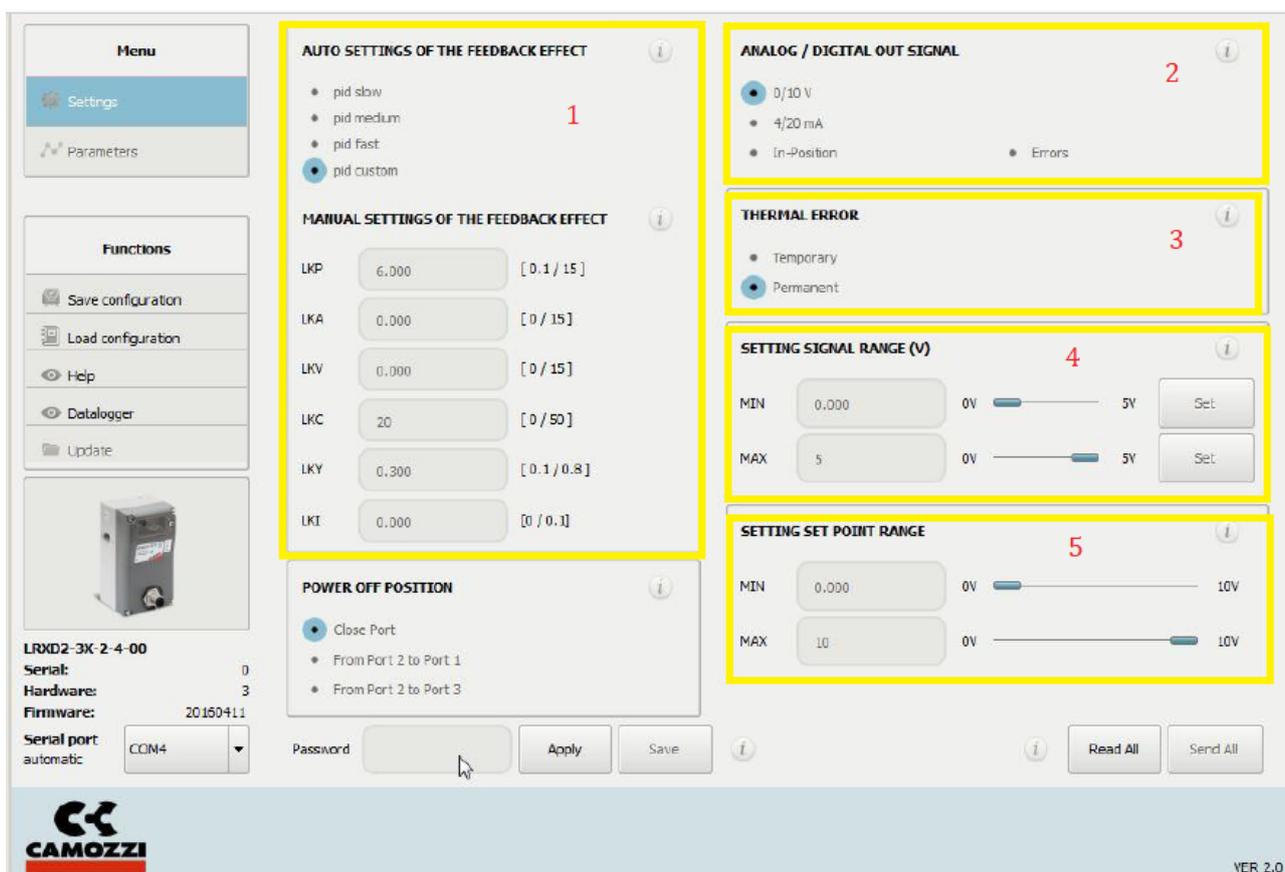


Figura 3.21 Schermata valvola LRXD

Nella sezione 1 “**AUTO SETTINGS OF THE FEEDBACK EFFECT**” è possibile selezionare fra 3 set preimpostati di parametri K del controllo PID interno: “pid slow”, “pid medium” e “pid fast”. Selezionando uno di questi 3 set verranno visualizzati nelle caselle sottostanti i valori impostati per i sei parametri K (“LKP”, “LKA”, “LKV”, “LKC”, “LKY” e “LKI”). [22]

- **LKP:** L'azione proporzionale è ottenuta moltiplicando l'errore “*e*” con un'opportuna costante, tanto maggiore è l'errore *e* tanto maggiore sarà l'azione proporzionale. La sola azione proporzionale non è in grado di fare convergere a zero il segnale d'errore “*e*”;
- **LKV:** Il guadagno di velocità va ad agire sulla velocità dello stelo. Aumentando questo guadagno è possibile tenere sotto controllo le variazioni di velocità dello stelo riducendole nel caso in cui vi siano sovra-elongazioni indesiderate della posizione;
- **LKA:** Il guadagno di accelerazione LKA va ad agire sull'accelerazione dello stelo. Aumentando questo guadagno è possibile agire sull'accelerazione dello stelo riducendola nel caso in cui sia troppo elevata;
- **LKC:** Il guadagno LKC definisce ogni quanti campioni sull'andamento della posizione viene calcolata la velocità e l'accelerazione del sistema;
- **LKY:** Il guadagno LKY va direttamente ad agire sul controllo moltiplicando in modo opportuno l'azione di controllo quando la posizione del cilindro è prossima al valore impostato. Questo guadagno viene principalmente utilizzato per evitare overshoots del sistema nel caso in cui vi siano delle masse da movimentare. Il guadagno LKY in sostanza permette di frenare il movimento dello stelo con maggiore o minore anticipo;
- **LKI:** il guadagno integrativo LKI è necessario introdurlo per annullare completamente l'errore a transitorio esaurito;

In “**MANUAL SETTINGS OF THE FEEDBACK EFFECT**” è comunque possibile personalizzare i valori dei parametri K per meglio adattarli all'applicazione inserendone manualmente i valori nelle relative caselle di testo: in questo caso si abiliterà il set di parametri “pid custom”. I valori dei parametri K sono limitati e non è possibile inserire valori al di fuori di questi range preimpostati.

Il formato del segnale di feedback che la servovalvola Serie LRXD fornisce al sistema di controllo tramite il pin 8 del connettore M12 è selezionabile nella sezione 2 “**ANALOG/DIGITAL OUT SIGNAL**”: 0-10V, 4-20 mA, in-position o errore. Nei primi due casi il valore misurato analogamente sarà proporzionale al valore misurato esternamente. Nel terzo caso sarà disponibile un segnale digitale che visualizzerà in tempo reale il raggiungimento del target.

Nella sezione 3 **“THERMAL ERROR”** è possibile impostare il comportamento che assumerà il servovalvola Serie LRWD in caso di errore termico. Questo errore si verifica quando viene rilevata una temperatura eccessivamente alta, che potrebbe danneggiare il motore interno della valvola

Nella finestra 4 **“SETTING SIGNAL RANGE”** è possibile impostare la dimensione massima del segnale controllato (la posizione del cilindro controllabile) focalizzandosi sul segnale proveniente dal trasduttore esterno. I valori utilizzati per identificare questi punti variano dal valore minimo al valore massimo del range del segnale di attivazione del sensore esterno (che varia a seconda del tipo di sensore esterno selezionabile in fase di ordine della valvola) e sono espressi in valore assoluto [V o mA].

Questa caratteristica permette di limitare la corsa dell'attuatore comandata dalla servovalvola LRXD ad un valore inferiore alla sua corsa massima pur continuando a controllare la servovalvola utilizzando un segnale di riferimento analogico che copre l'intera gamma.

È possibile impostare un intervallo del segnale di riferimento minimo e massimo nel riquadro 5 **“SETTING SET POINT RANGE”**. Questa caratteristica permette di limitare l'ampiezza del segnale di riferimento rispetto al range nominale controllando anche l'intero range di corsa dell'attuatore tramite la servovalvola LRXD.

Se, ad esempio, viene utilizzato un segnale di riferimento di tipo 0-10V, il valore del punto minimo viene impostato a 2 e il valore del punto massimo viene impostato a 7, allora il cilindro raggiungerà la posizione di partenza della sua corsa con un segnale di riferimento di 2V e con un segnale di riferimento di 7V raggiungerà la posizione finale.

3.7 Servovalvola serie LRWD

La servovalvola LRWD viene anch'essa controllata come la LRXD da un segnale di riferimento 0-10V, le due valvole collaborano durante le prove. Nella Fig. 3.22 viene riportata un'immagine della valvola col corrispettivo simbolo ISO.



Figura 3.22 Servovalvola LRWD con corrispettivo simbolo ISO

Sul corpo della servovalvola Serie LRWD sono presenti tre porte pneumatiche G1/4 indicate con i numeri 1, 2 e 3. La servovalvola Serie LRWD lavora nel seguente modo: con segnale di riferimento inferiore al 50% F.S. la servovalvola mette in collegamento la connessione 3 con la connessione 2 e quindi vi è passaggio d'aria tra queste due porte pneumatiche. [23]

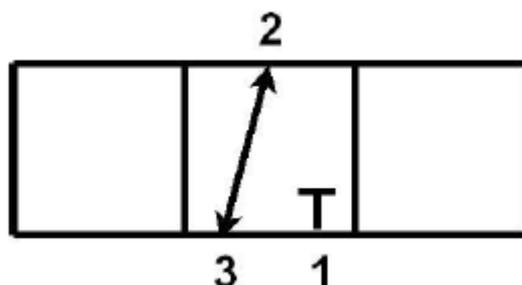


Figura 3.23 Primo principio di funzionamento LRWD [23]

Con segnale di riferimento superiore al 50% F.S, la connessione 1 viene messa in collegamento con la connessione 2 e quindi vi è passaggio d'aria tra queste due porte pneumatiche.

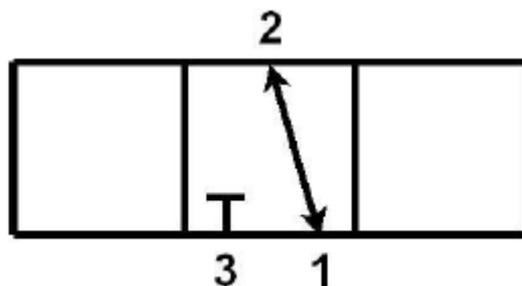


Figura 3.24 Secondo principio di funzionamento LRWD [23]

Con segnale di riferimento pari al 50% F.S, le connessioni 1, 2 e 3 risultano essere chiuse e quindi non vi è passaggio d'aria tra le porte pneumatiche.

Per quanto riguarda la configurazione la schermata è simile alla valvola descritta in precedenza, con un'unica differenza, il pannello **“AUTO SETTINGS OF THE FEEDBACK EFFECT”** e **“MANUAL SETTINGS OF THE FEEDBACK EFFECT”** è disabilitato per la servovalvola Serie LRWD. Eventuali valori visualizzati non hanno alcun effetto sul funzionamento della servovalvola Serie LRWD.

3.8 TIA Portal

Il Totally Integrated Automation Portal (TIA Portal) integra diversi prodotti SIMATIC in un software che consente una maggiore produttività ed efficienza, i prodotti TIA collaborano alla creazione di una soluzione automatizzata all'interno del portale TIA. È possibile utilizzare il portale TIA per configurare sia il PLC, ma anche per la visualizzazione di un sistema unificato. Entrambi i dati possono essere salvati in un unico progetto. I componenti per la programmazione (STEP 7) e di visualizzazione (WinCC) non sono programmi isolati, ma piuttosto editor di un sistema che si collega a un database condiviso.

Un'interfaccia utente comune viene utilizzata per fornire l'accesso alle funzioni di visualizzazione e programmazione in ogni momento. I principali vantaggi dell'utilizzo del portale TIA sono la gestione centralizzata dei dati e la visualizzazione dei dati, nonché operazioni di facile utilizzo come operazioni di tipo drag and drop e un supporto grafico per la configurazione e la diagnosi. Inoltre, la gestione centralizzata dei dati garantisce la coerenza dei dati prevenendo il disallineamento tra essi all'interno del progetto, infatti, qualsiasi variabile può essere creata o modificata in qualsiasi parte del software e continuamente aggiornata.

Il portale TIA fornisce due ambienti di lavoro distinti che forniscono un rapido accesso alla casella degli strumenti e ai singoli componenti del progetto:

- vista portale: supporta la configurazione orientata alle attività.
- vista dal progetto: aiuta nello sviluppo del design orientato agli oggetti.

La visualizzazione del portale viene mostrata all'avvio del software, presentando una struttura chiara e comprensibile mentre guida principianti ed esperti attraverso un accesso intuitivo alle funzioni chiave.

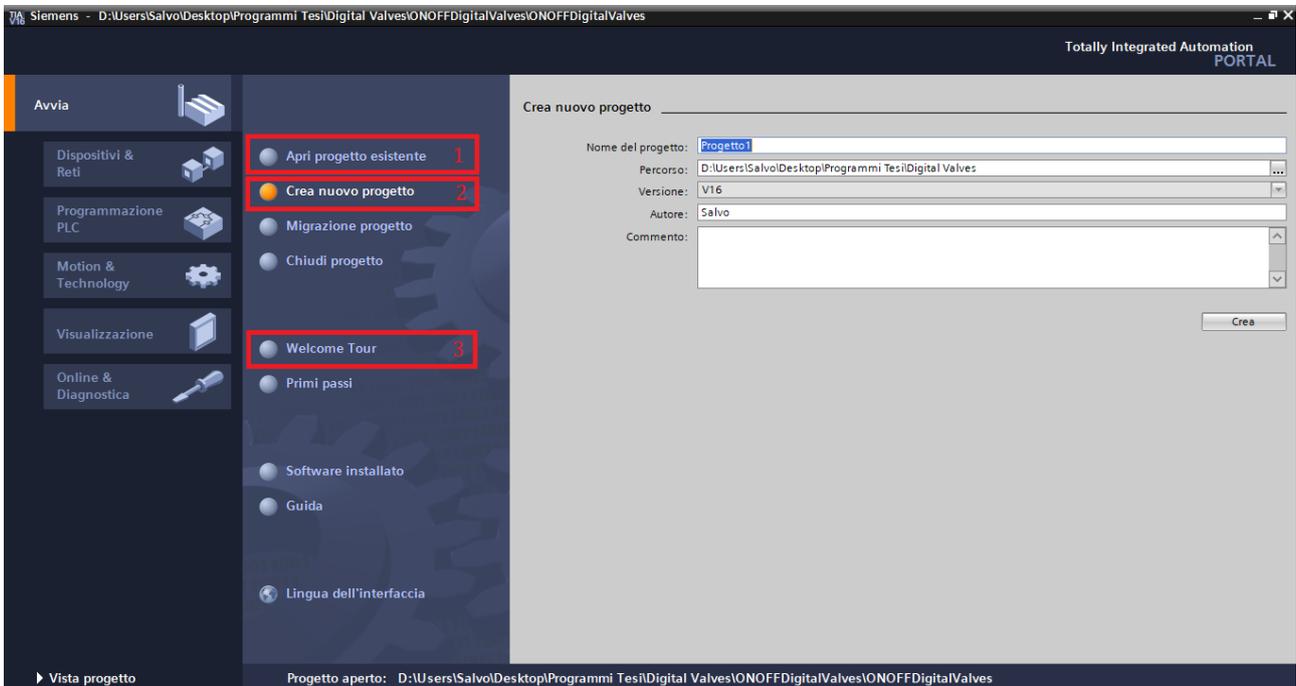


Figura 3.25 Vista Portale TIA Portal

La vista del portale fornisce una semplice interfaccia per spostarsi tra le funzioni del progetto e i dati. In fase di configurazione la vista può essere modificata automaticamente per favorire la vista del progetto in base alla funzione da eseguire. La schermata di avviamento nell'immagine sopra, mostra le opzioni per creare un nuovo progetto (2) o aprirne uno esistente (1).

Oltre alla gestione del progetto, questa pagina contiene un "Tour di benvenuto" (3) particolarmente utile per i nuovi utenti per avere un'idea delle funzionalità del portale TIA, nonché un servizio di supporto online che consente l'accesso alla documentazione tecnica. La pagina si conclude con le informazioni sulle applicazioni installate e un'opzione di selezione della lingua.

Segue anche in Fig. 3.26 la vista progetto con la descrizione delle relative aree.

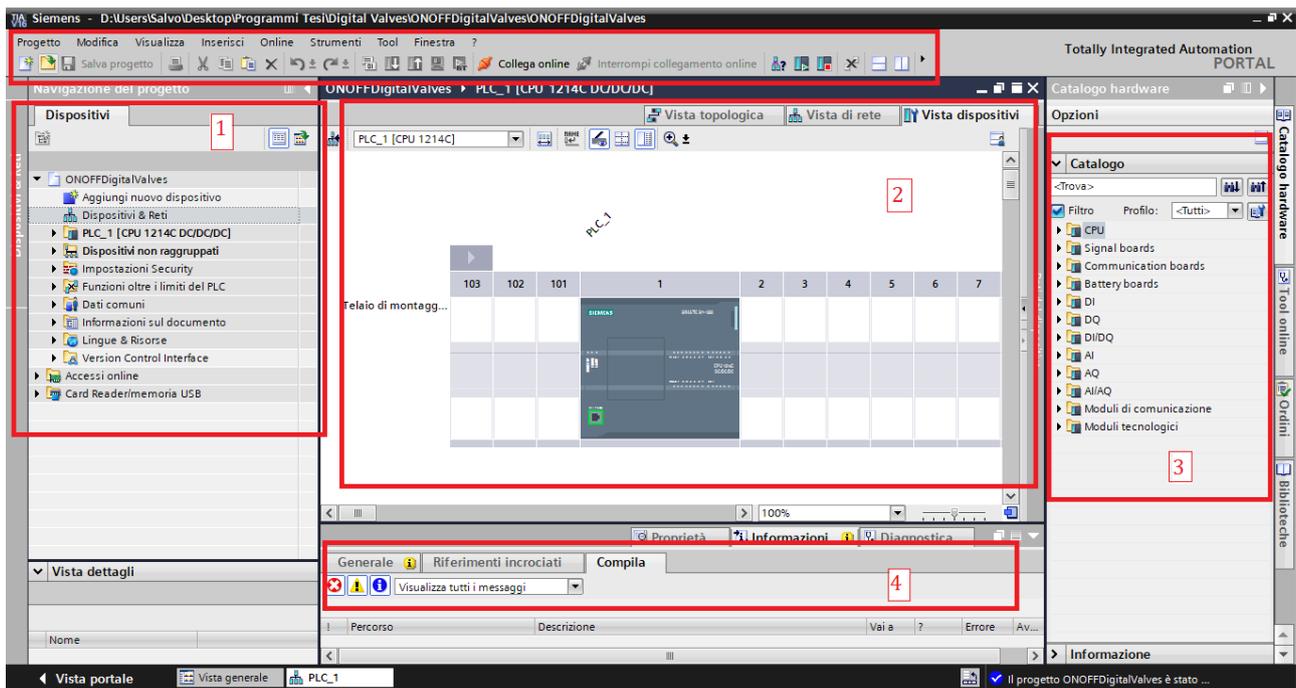


Figura 3.26 Vista Progetto TIA Portal

- (1) Un menu per la gestione del programma in cui sono menzionati tutti i dispositivi, insieme ai collegamenti ai programmi associati;
- (2) Area di lavoro;
- (3) Catalogo Hardware da cui inserire ulteriori componenti semplicemente trascinandoli nell'area di lavoro;
- (4) Area in cui vengono visualizzate le informazioni per l'elemento selezionato e i parametri che possono essere configurati dalla scheda "Proprietà".

3.8.1 Configurazione dispositivi

Dalla vista del portale si nota che lo sviluppo del progetto è molto semplice ed intuitivo. Tutto ciò che è necessario è scegliere l'opzione appropriata e inserire il nome del progetto e il percorso con il quale verrà salvato per un utilizzo futuro. (Fig. 3.25)

Se il progetto viene portato a termine con successo, viene creato un grafico che mostra tutti i possibili percorsi da intraprendere per continuare lo sviluppo.

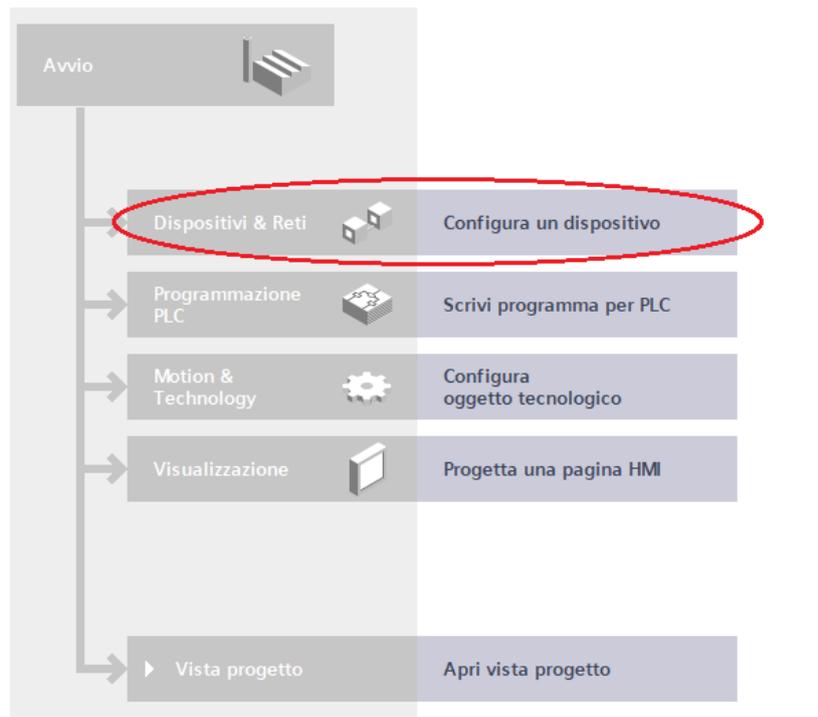


Figura 3.27 Inserire un dispositivo in TIA Portal

Offre la possibilità di scegliere tra un'ampia gamma di dispositivi suddivisi in:

- Controllori
- Pannelli HMI
- Sistemi PC

3.8.1.1 Configurazione PLC

Iniziamo col configurare il PLC, dalla schermata dei "Controllori", cliccando nella sottovoce "Simatic S7-1200" e successivamente sulla voce "CPU" cerchiamo quella relativa al PLC utilizzato. Nell'immagine sottostante possiamo vederne un esempio.

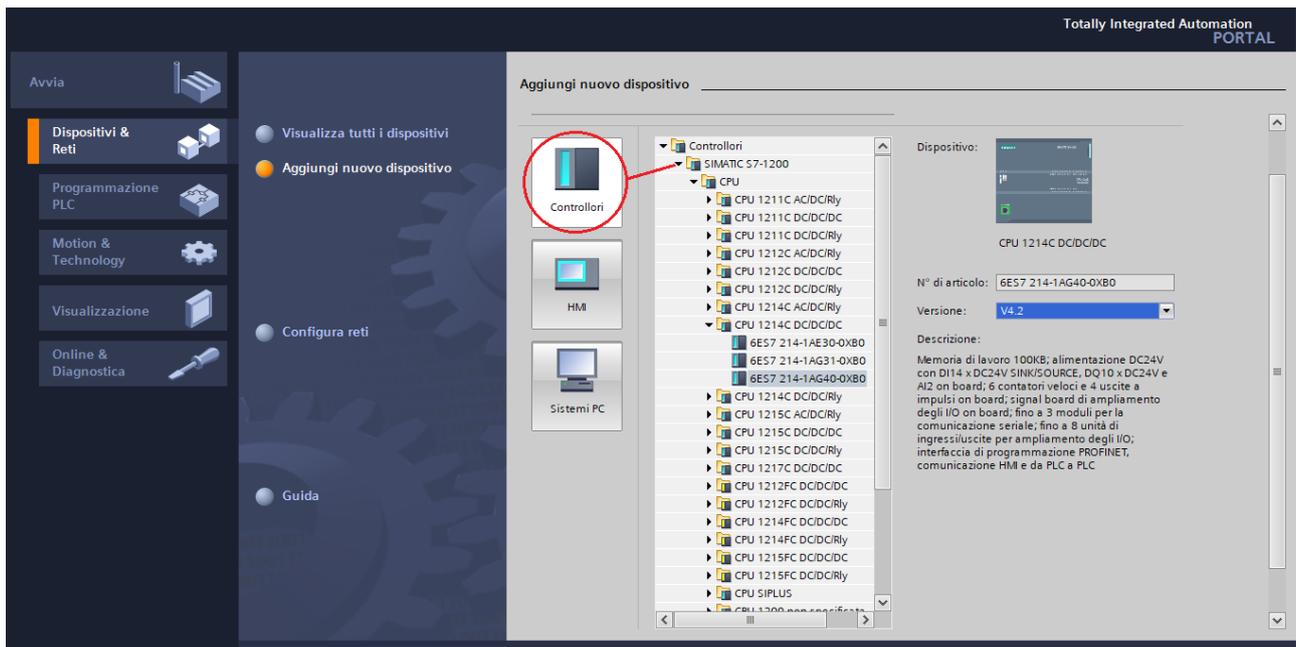


Figura 3.28 Configurazione PLC in TIA Portal

3.8.1.2 Configurazione CX06

La configurazione del CX06 è un passaggio molto importante per assicurarsi che comunicherà correttamente con il PLC. Prima di tutto, installiamo il software CX-Configurator su qualsiasi Windows PC, poi colleghiamo il CX06 a un PC tramite un cavo micro USB. Accendendo il banco di prova e aprendo il CX-Configurator si aprirà una finestra, vedi Fig. 3.29.

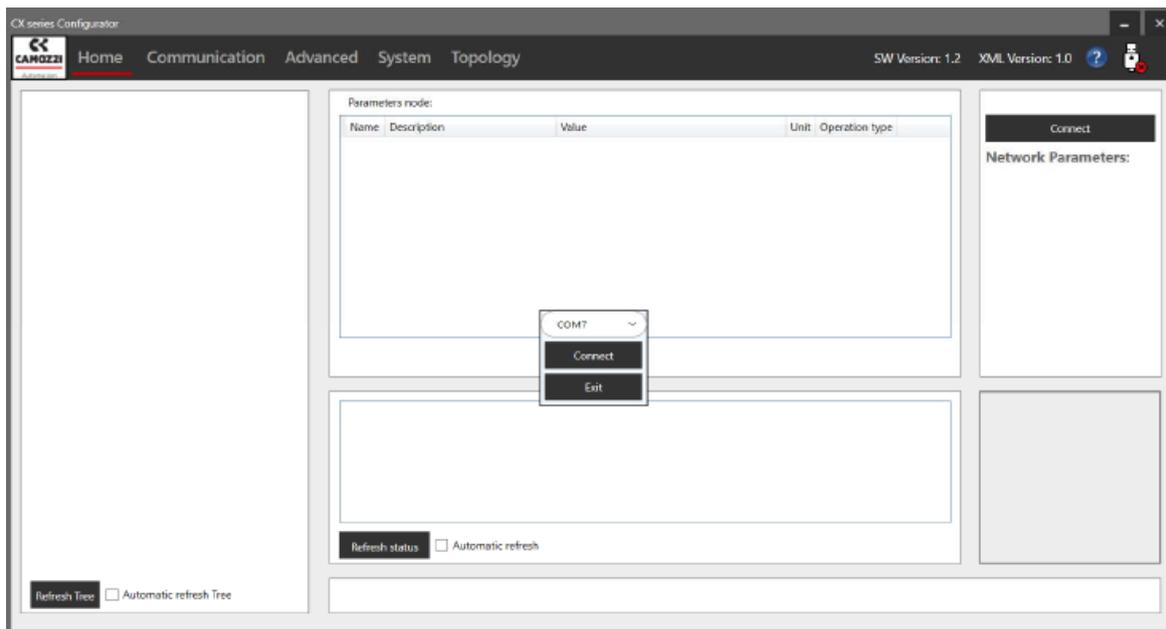


Figura 3.29 Connessione alla CX06 [14]

Cliccando sul tasto “Connect” e successivamente su “COM” si aprirà una finestra in cui a sinistra, si vede l'albero che rappresenta l'attuale configurazione della CX06, con tutti i moduli compresi quelli di sottorete. Facendo clic su ciascuno dei moduli nella struttura ad albero, le sue proprietà vengono visualizzate nel pannello centrale superiore, mentre nella scheda in basso al centro è possibile vedere gli stati degli ingressi e delle uscite dei moduli selezionati, e, se il modulo selezionato è un modulo di uscita, forzarli ad attivarli o disattivarli oppure scegliere un valore specifico, nel caso di uscite analogiche. La Figura sottostante mostra un esempio di quanto detto.

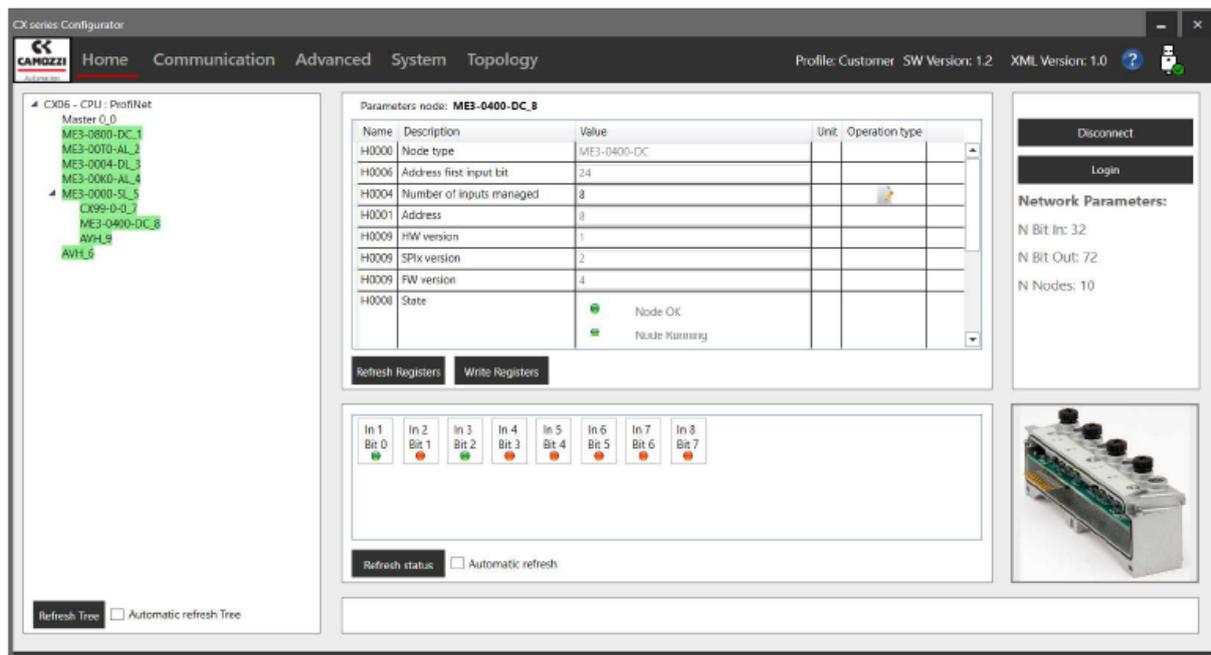


Figura 3.30 Proprietà di uno dei modulo della CX06 [14]

Eseguiti i precedenti passaggi, affinché l'S7-1200 possa comunicare con il CX06, è necessario configurare l'hardware all'interno del progetto Tia Portal. I passaggi sono i seguenti:

- Crea un nuovo progetto e inserire il PLC all'interno del progetto;
- Fare doppio clic su "Dispositivi e reti";
- Nella scheda Catalogo a destra, aprire "Altri dispositivi da campo" --> "PROFINET IO" --> "I / O" --> "Camoszi Spa" --> "Serie CX";
- Trascinare e rilasciare il dispositivo "CX06-PNS Adapter rev1" al PLC già creato, come mostrato in Figura 3.31;

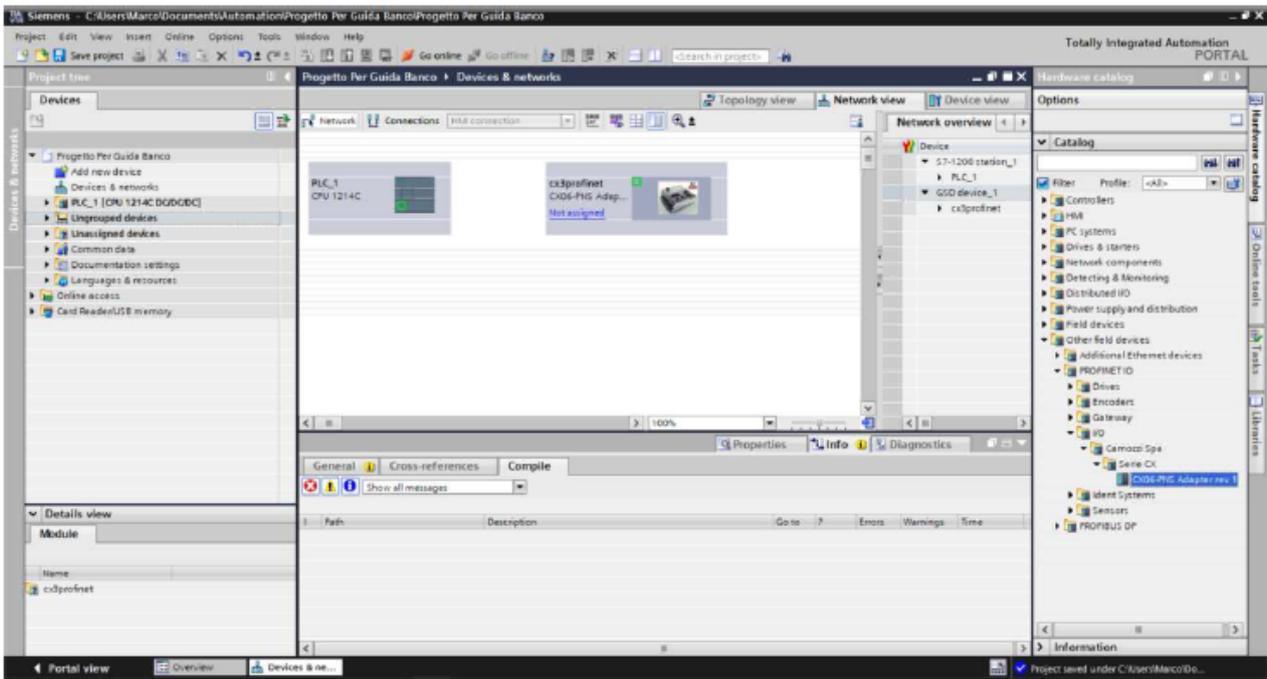


Figura 3.31 Inserimento CX06 in TIA Portal

- Fare clic con il tasto sinistro e tenere premuto sulla porta Ethernet verde sul PLC, trascina e rilascia sul quadrato verde sul modulo CX06. PLC e il CX06 dovrebbero ora essere collegati da una linea verde come mostrato nella Figura 3.32;

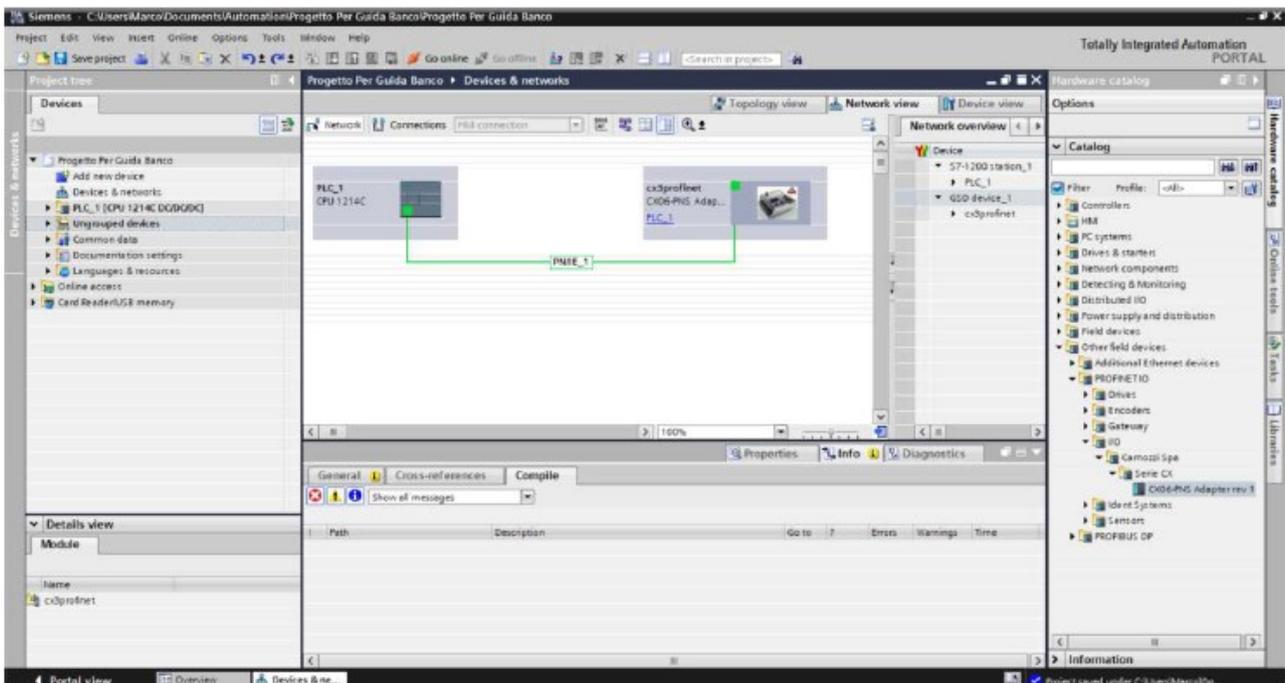


Figura 3.32 Connessione tra PLC e CX06

- Fare doppio clic sull'immagine del CX06. Apparirà una nuova finestra, espandere la cartella Module a destra. All'interno della cartella dovresti vedere una cartella Moduli di input e una cartella dei moduli di output; espandere entrambi;
- Ora dovresti trascinare e rilasciare il file numero corretto di byte di input e output all'interno della tabella accanto al CX06;

La prima volta, la tabella contiene già 128 byte di input e 128 byte di output. Elimina i due e popolare la tabella in base ai moduli specifici collegati al CX06. Figura 3.33 mostra la tabella compilata per la configurazione presentata in questo manuale.

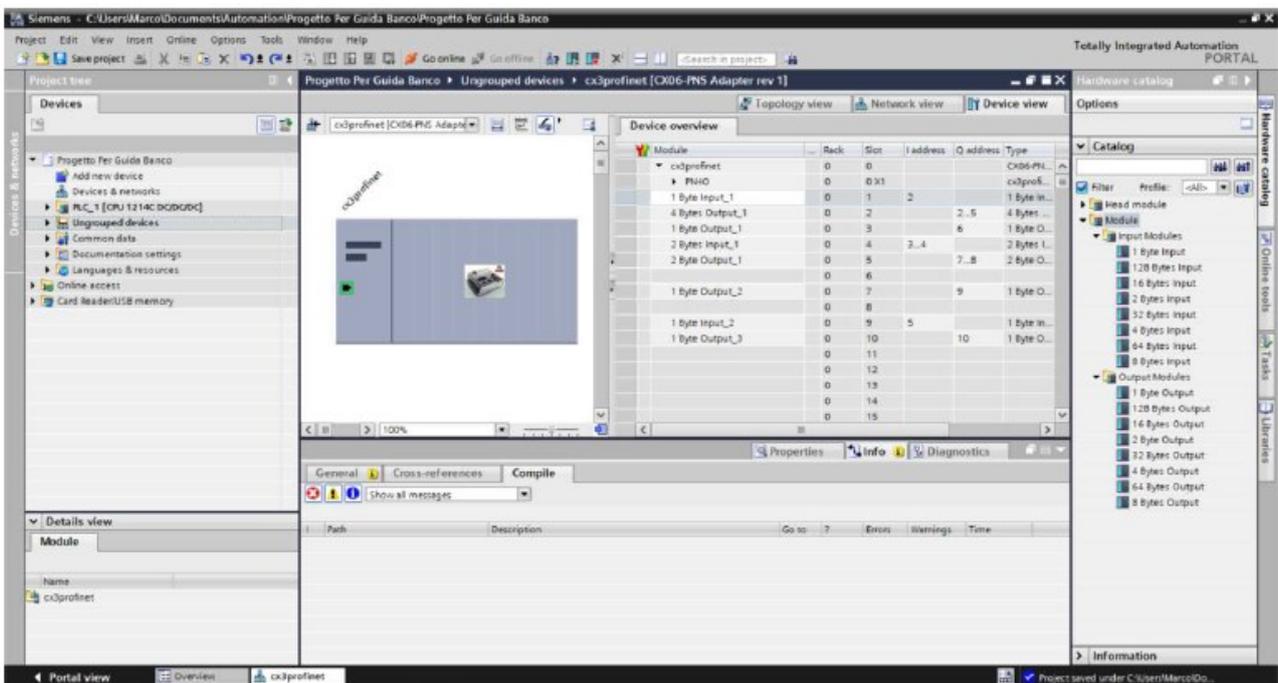


Figura 3.33 Configurazione memoria CX06 in TIA Portal

Le righe vuote sono stati lasciati lì solo per motivi di chiarezza.

3.8.1.3 Configurazione HMI

L'aggiunta del pannello avviene secondo le modalità regolari del TIA Portal, come introdotto nei capitoli precedenti con altre disposizioni. In questo caso, bisogna andare alla sezione HMI e selezionare il tipo di HMI e il codice di identificazione HMI, in questo caso il touch screen da configurare è un SIMATIC Basic Panel, Display da 7 ", con codice identificativo" 6AV2 123-2GB03-0AX0 ", come si vede in Figura 3.34.

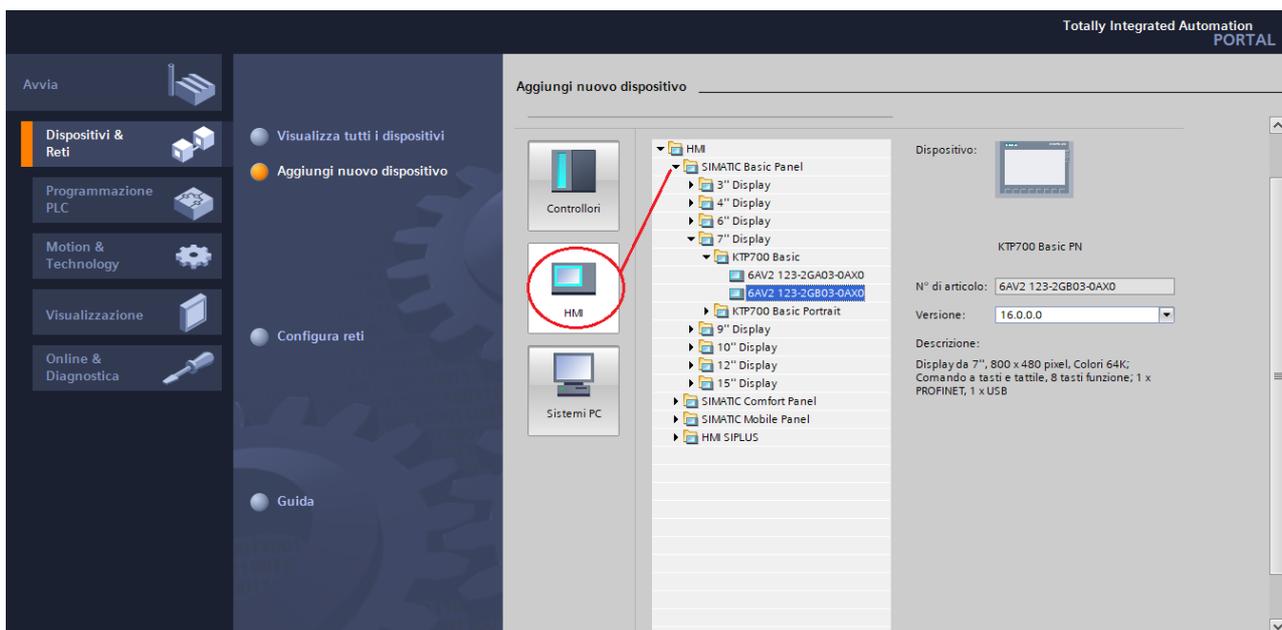


Figura 3.34 Configurazione HMI in Tia Portal

Anche in questo caso si possono trovare maggiori dettagli sulla sinistra dopo aver inserito il pannello HMI, si aprirà una nuova finestra che consentirà di configurare il collegamento tra CPU e pannello, vedi Figura 3.34.

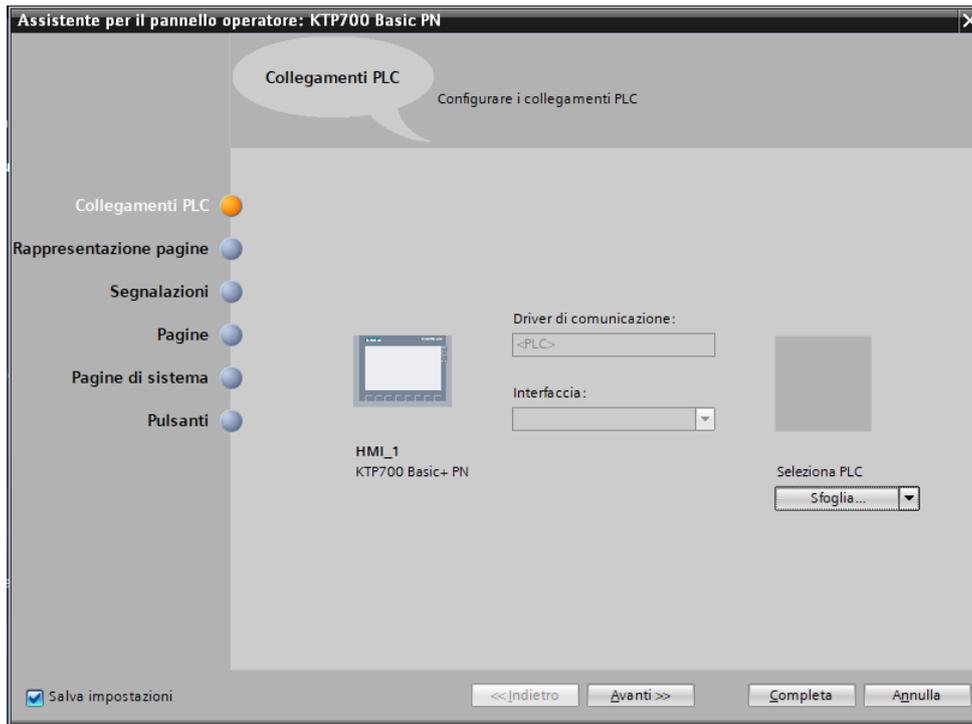


Figura 3.35 Personalizzazione pannello HMI

Si può scegliere il PLC a cui si desidera collegarsi selezionandolo dall'elenco delle opzioni disponibili, se non sei interessato ad ulteriori configurazioni si può terminare questa procedura oppure, si può continuare configurando le pagine del pannello.

3.8.2 Struttura di un programma in TIA Portal

Se si sceglie di aggiungere nuovi blocchi al software, basta semplicemente utilizzare l'opzione appropriata (Fig.3.36) che consiste nell'inserimento di un blocco organizzativo, un blocco funzione, una funzione o un blocco dati.

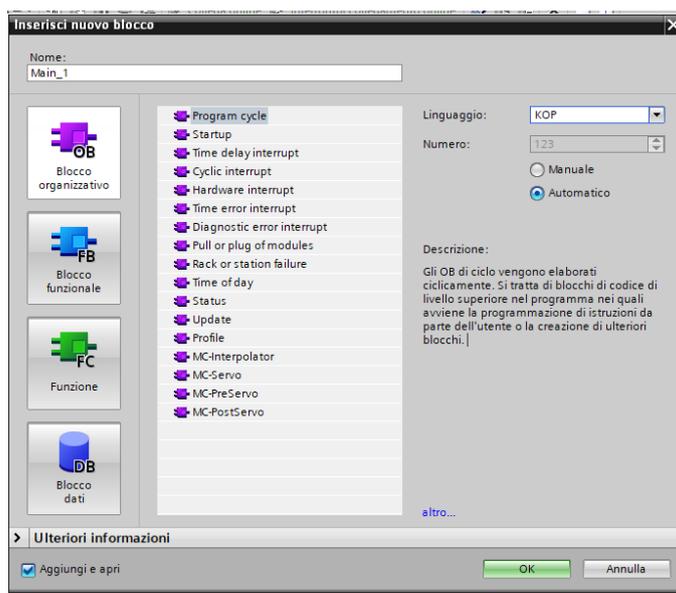


Figura 3.36 Pannello di aggiunta nuovi blocchi

È inoltre possibile scegliere il tipo di linguaggio da utilizzare all'interno dei blocchi, oltre al nome e al numero di sequenza. In particolare [12]:

- **I blocchi organizzativi (OB)** reagiscono a un evento specifico che si verifica nella CPU e possono interrompere l'esecuzione del programma utente, definiscono la struttura del programma e fungono da interfaccia tra il sistema operativo e il programma utente. Gli OB sono "comandati da eventi", ovvero vengono eseguiti dalla CPU quando si verifica un determinato evento, ad es. un allarme di diagnostica o un intervallo di tempo.
- **I blocchi funzionali (FB)** sono sottoprogrammi la cui esecuzione viene richiamata da un altro blocco di codice (OB, FB o FC). Il blocco richiamante passa i parametri all'FB e identifica anche un blocco dati (DB) specifico che salva i dati per il richiamo o l'istanza di quell'FB. La possibilità di modificare il DB di istanza consente a un FB generico di comandare il funzionamento di un gruppo di dispositivi. Gli FB, inoltre, dispongono di una memoria per le variabili collocate in un blocco dati DB.

- **Le funzioni (FC)** sono sottoprogrammi la cui esecuzione viene richiamata da un altro blocco di codice (OB, FB o FC). I valori in uscita dalle FC devono essere scritti in un indirizzo di memoria o un DB globale. Una funzione (FC) generalmente esegue un'operazione specifica su un gruppo di valori di ingresso e memorizza i risultati dell'operazione in varie locazioni di memoria.

A seconda dei requisiti dell'applicazione, si può scegliere di creare un programma utente con una struttura lineare o modulare:

- I programmi lineari eseguono tutte le istruzioni per le attività automatizzate in sequenza, una dopo l'altra. In generale, questo tipo di programma inserisce tutte le istruzioni nell'OB di esecuzione del ciclo (OB 1).
- I programmi modulari richiedono blocchi di codice che eseguono compiti di base. Per costruire una struttura modulare basta suddividere l'attività di automazione in sotto attività che corrispondono alle funzioni tecnologiche del processo. Ogni blocco di codice fornisce una sezione di programmazione per uno scopo specifico. È necessario chiamare uno dei blocchi di codice da un altro blocco per strutturare il programma.

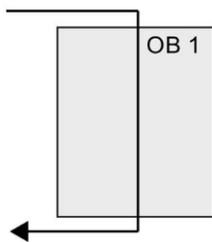


Figura 3.37 Struttura lineare [12]

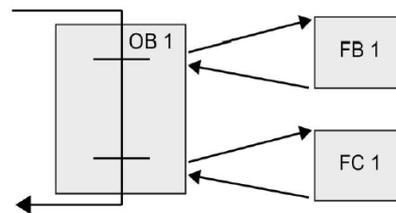


Figura 3.38 Struttura modulare [12]

Attraverso la creazione di blocchi di codice generici che possono essere riutilizzati nell'interfaccia utente, la struttura e l'implementazione dell'interfaccia utente vengono semplificate.

3.8.3 Registrazione dei valori di misura con la funzione Trace

STEP 7 fornisce funzioni di tracciamento e analisi logica per la configurazione delle variabili che il PLC deve tracciare e registrare. Di conseguenza, i dati delle misure di tracciamento memorizzate nel dispositivo di programmazione possono essere scaricati e analizzati, gestiti e rappresentati utilizzando gli strumenti messi a disposizione nel programma, utilizzando la cartella Traces nell'albero di progetto di TIA Portal.

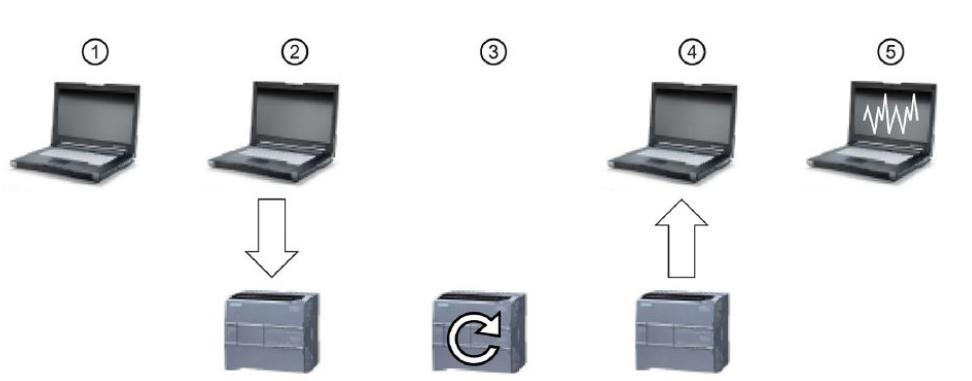


Figura 3.39 Configurazione Trace - PLC [12]

Nella Figura 3.39, possiamo notare alcuni step fondamentali per la configurazione della funzione: Per Configurare il tracciamento nell'apposito editor di STEP 7, È possibile configurare le seguenti opzioni:

- Valori di dati da registrare
- Durata della registrazione
- Frequenza della registrazione
- Condizione di trigger

Seguendo la numerazione, troviamo:

- 2) Trasferimento della configurazione Traces da STEP 7 al PLC.
- 3) Il PLC esegue il programma e inizia a registrare i dati di tracciamento quando viene soddisfatta la condizione di trigger.
- 4) Trasferimento dei valori registrati dal PLC in STEP 7.
- 5) Utilizzo degli strumenti di STEP 7 per analizzare i dati, visualizzarli graficamente e salvarli.

Successivamente si passa alla configurazione del traces, una schermata generale si vede Fig. 3.40.

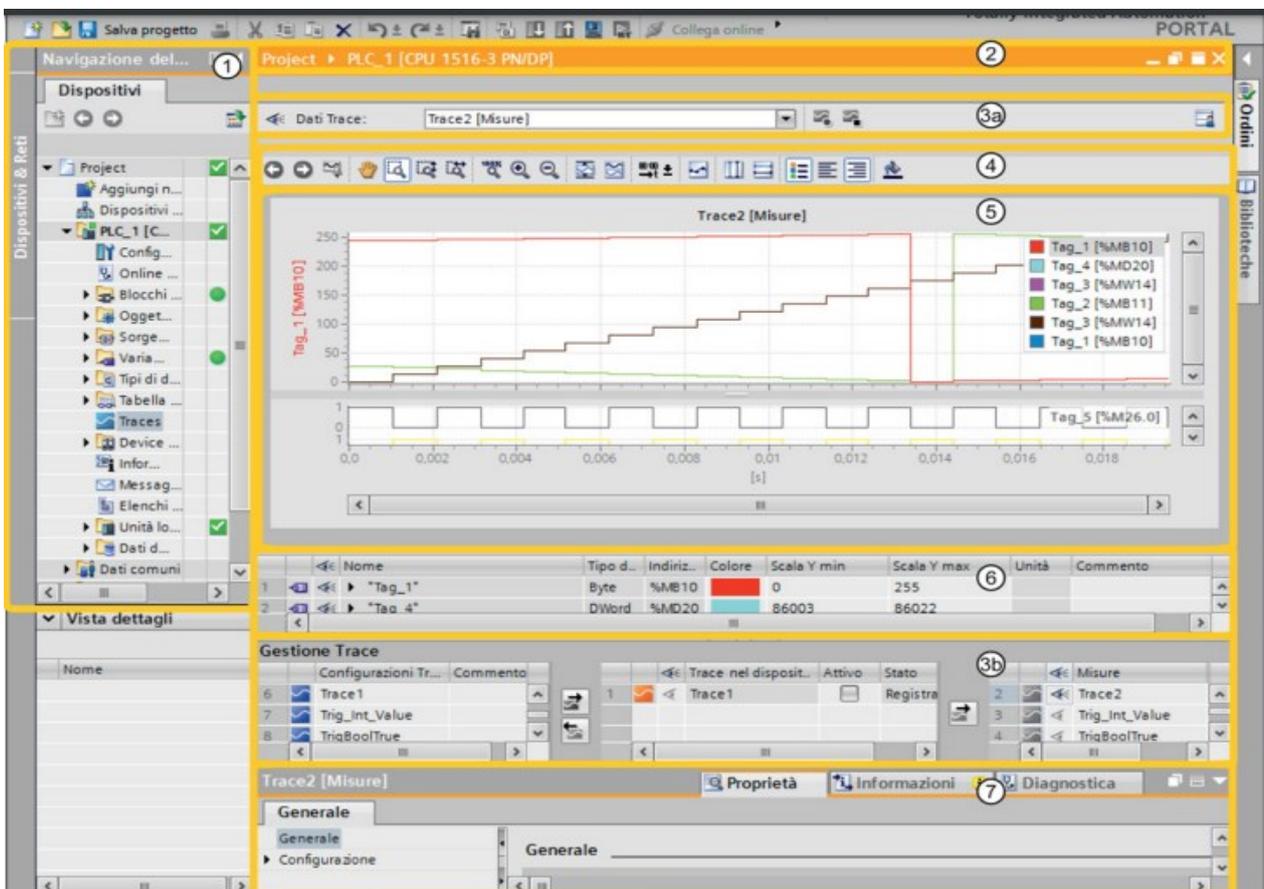


Figura 3.40 Interfaccia di lavoro Traces [24]

In particolare possiamo notare [24]:

1. Navigazione del progetto, area di lavoro;
2. Barra del titolo dell'area di lavoro, mostra a quale dispositivo appartiene la rappresentazione corrente;
- 3a. Barra degli strumenti della gestione Trace, selezione di registrazioni per la visualizzazione nel diagramma delle curve e di pulsanti per attivare/disattivare Trace nel dispositivo;
4. Barra degli strumenti del diagramma delle curve, strumenti per elaborare la misura e adattare la rappresentazione nel diagramma delle curve;
5. Diagramma delle curve, visualizzazione dei valori registrati;
6. Tabella dei segnali, segnali della misura rappresentata;
- 3b. Gestione Trace, creazione di nuove configurazioni Trace e gestione delle misure;
7. Area delle proprietà nella finestra di ispezione, finestre di dialogo di configurazione relative alla durata della registrazione, alla condizione di trigger e alla selezione dei segnali;

La configurazione, relativa ai successivi programmi analizzati, segue i seguenti passi:

- Dopo aver caricato i valori su cui si vuole effettuare il tracciamento, si digiti l'icona all'interno del cerchietto con numero "1". Vedi Fig. 3.41.

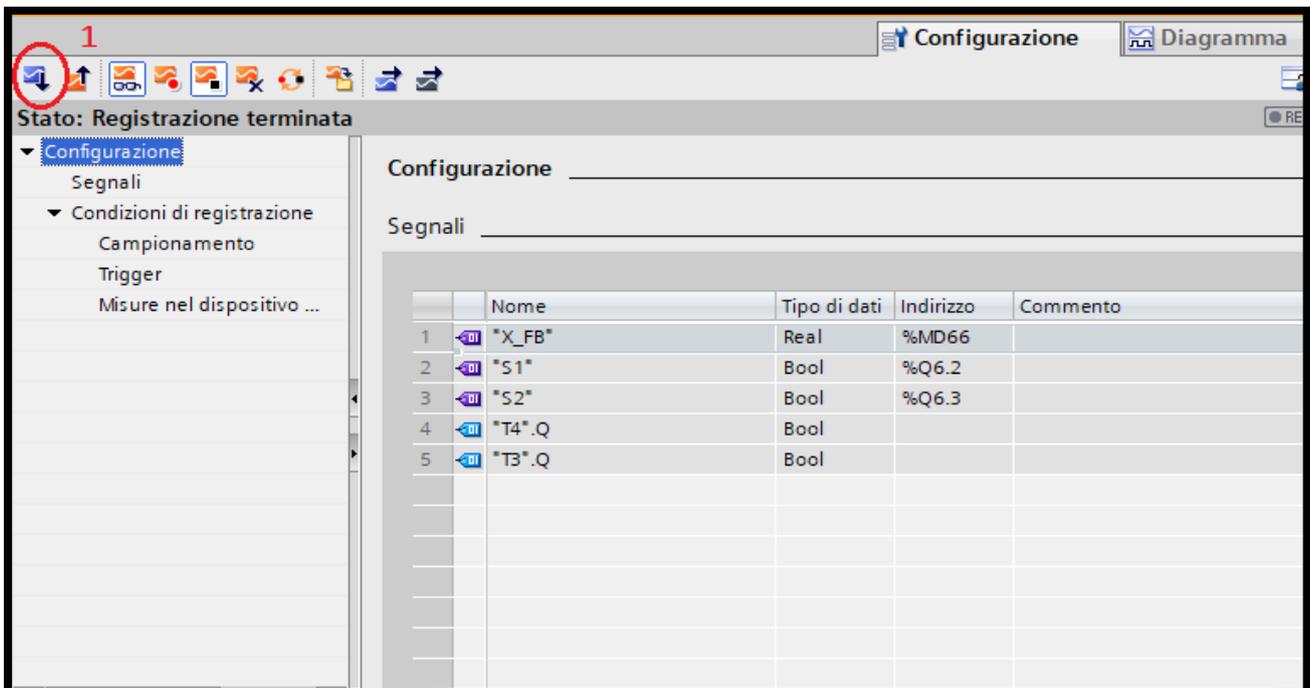


Figura 3.41 Interfaccia di lavoro Traces 2

- Iniziare la registrazione cliccando sull'icona "2".
- Infine, salvare tutto in formato .csv, cliccando sull'icona "3".

Come mostrato nella successiva Figura 3.42.

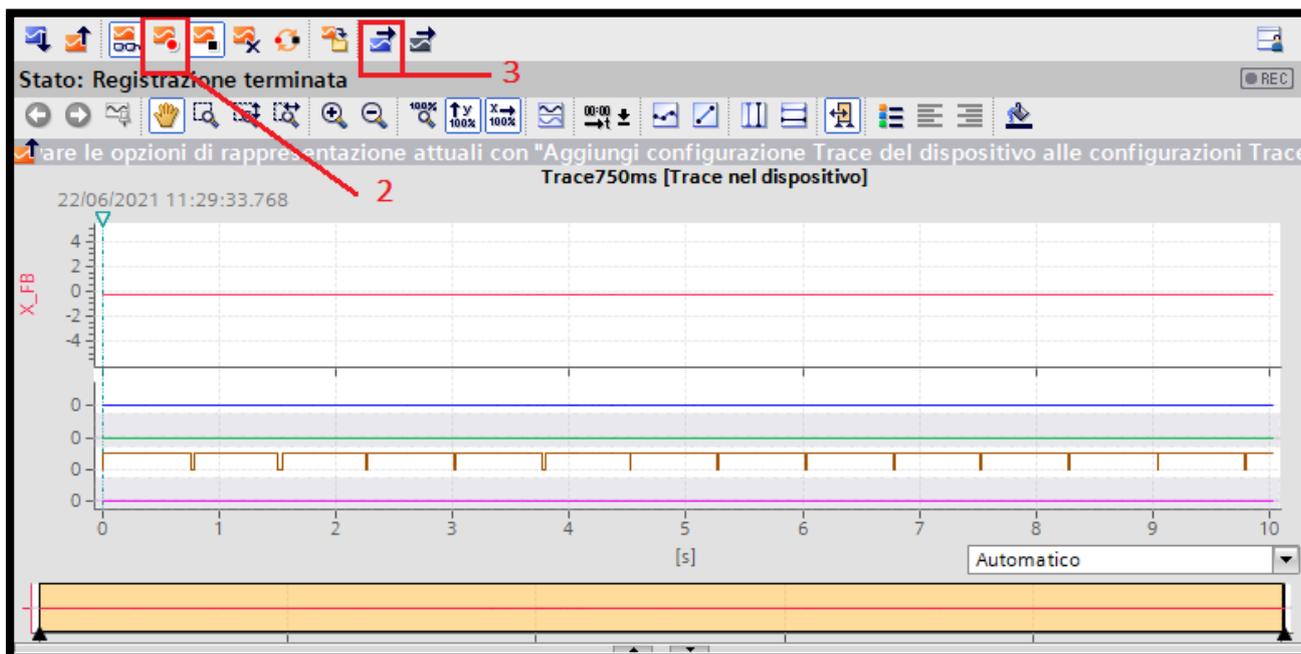


Figura 3.42 Interfaccia di lavoro Traces 3

Capitolo 4

Descrizione blocchi di programma utilizzati

Come anticipatamente citato nel Capitolo 3.1.3, per la realizzazione dei codici è stato utilizzato il linguaggio di programmazione Ladder implementato all'interno del programma della Siemens TIA Portal. Sono stati utilizzati dei modelli modulari in cui all'interno dell' OB principale "Main", venivano richiamati altri blocchi come FC e FB, per un chiarimento sui vari blocchi vedasi il Capitolo 3.8.2.

I blocchi utilizzati sono i seguenti:

- Sensor Reading [FC];
- PWM Gen [FB];
- Square Wave Generation [OB]
- Sine Wave Generation [OB];
- Cyclic Interrup [OB];

4.1 Sensor Reading [FC]

La funzione "Sensor Reading" viene utilizzata per tutti i codici utilizzati per la stesura della tesi, quest'ultima è composta da due segmenti, nel primo come riportato nella Fig. 4.1, possiamo notare un blocco "ROL", il quale riceve in ingresso una variabile del tipo "Word" e ne restituisce una del tipo "Int". Il compito di questa funzione è quella di traslare i primi quattro bit da sinistra verso destra poiché la comunicazione avviene secondo la codifica little endian, per un ulteriore chiarimento vedasi il Capitolo 3.2.

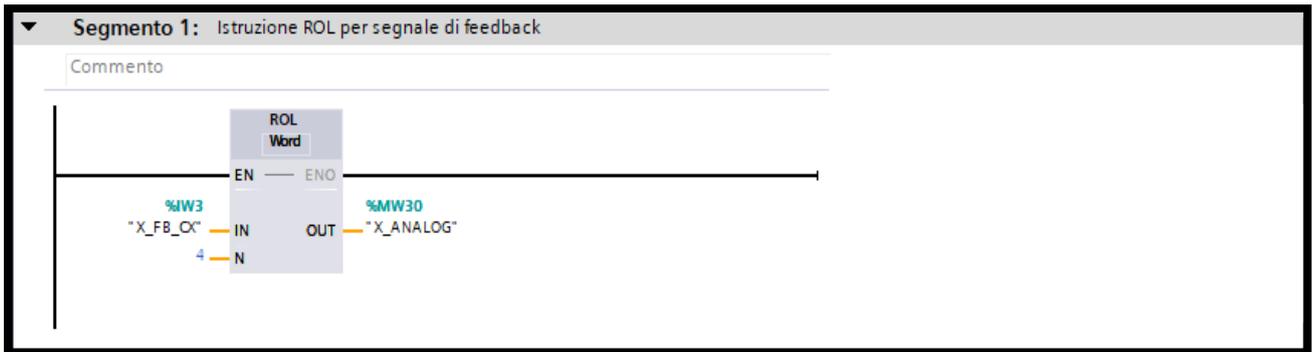


Figura 4.1 Funzione ROL

In particolare in ingresso viene letto il segnale di feedback proveniente dal cilindro “%IW3 (X_FB_CX)”, letto dal modulo Camozzi CX06, in uscita la variabile “%MW30 (X_ANALOG)” viene utilizzata come variabile di ingresso nel secondo blocco, Fig.4.2.

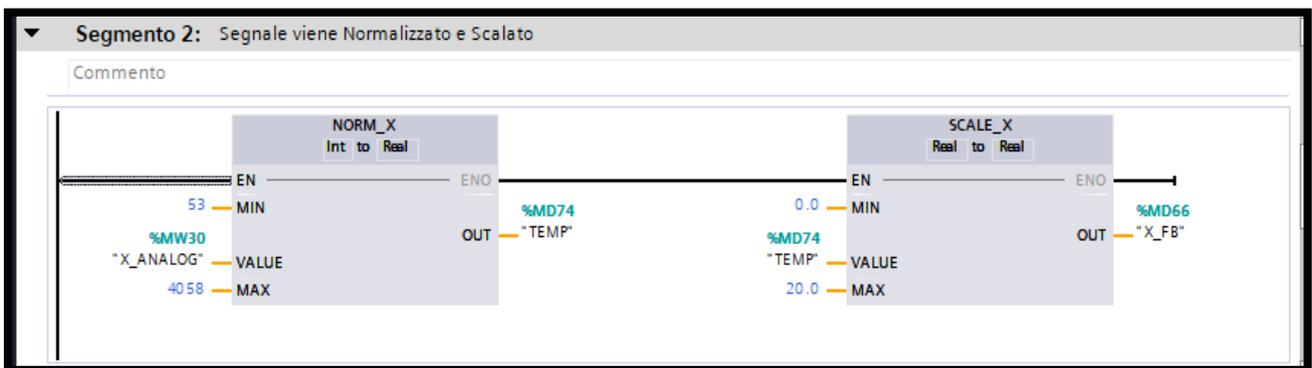


Figura 4.2 Funzioni NORM_X e SCALE_X

Nel secondo segmento possiamo trovare i blocchi "NORM_X" e "SCALE_X" sono utilizzati per sistemare il segnale e farcelo restituire secondo una scala diversa. Il comando "NORM_X" normalizza il valore della variabile "MW30 (X_ANALOG)" precedentemente inserita esprimendo la variabile su scala lineare, i parametri MIN e MAX vengono utilizzati per definire i limiti superiore e inferiore di una serie di valori scalari e sono stati inseriti manualmente. In particolare a cilindro completamente retratto il valore 53 restituisce il valore 0.0, analogamente a cilindro completamente fuoriuscito viene restituito il valore 1.0, che corrisponde al valore 4058. In uscita al primo blocco viene restituita la variabile “%MD74 (TEMP)” del tipo Real, pertanto un numero con virgola mobile (o floating point), quest’ultima diventa la variabile di ingresso del blocco “SCALE_X”, il cui compito è quello di scalare il valore tra i suoi limiti, impostati quanto la corsa completa del cilindro cioè da 0 a 20 cm. La variabile “%MD66 (X_FB)” infine restituisce il valore effettivo della posizione dello stelo del cilindro.

4.2 PWM Gen [FB]

PWM (Pulse Width Modulation, ovvero modulazione a variazione della larghezza d'impulso) è un segnale a duty-cycle variabile che permette di controllare l'assorbimento (potenza) di un attuatore (o un motore elettrico) variando (o modulando) il duty cycle. Un segnale PWM si distingue per la sua frequenza fissa e per il "duty cycle" variabile.

Il "duty cycle" è il rapporto tra il tempo in cui l'onda quadra ha il valore "alto" e il periodo T, dove "T" è la frequenza invertita: $T = 1 / f$.

Un segnale PWM mostra due stati:

- ON = stato attivo = segnale alto
- OFF = stato passivo = segnale basso

I due stati si alternano entro un periodo di tempo predeterminato e costante.

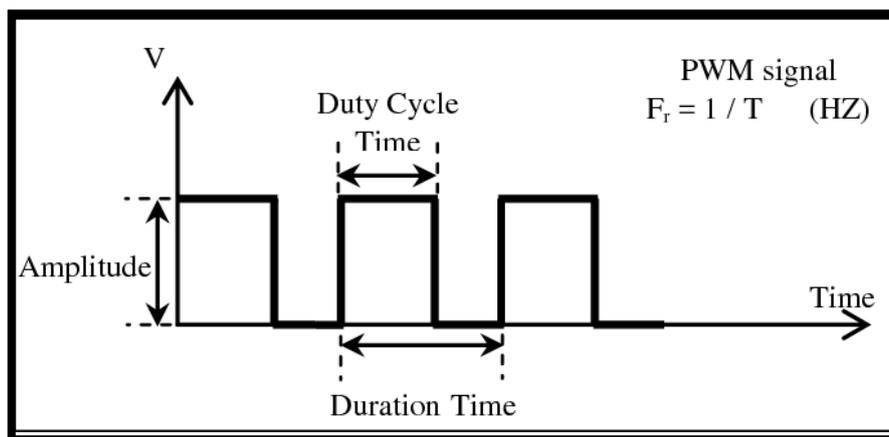


Figura 4.3 Esempio PWM

Il blocco di programma utilizzato è un FB, per il semplice motivo che è possibile valutare il PWM con diversi periodi e confrontarne i valori. Nelle figure sottostanti vengono descritti i codici utilizzati per creare questa funzione.

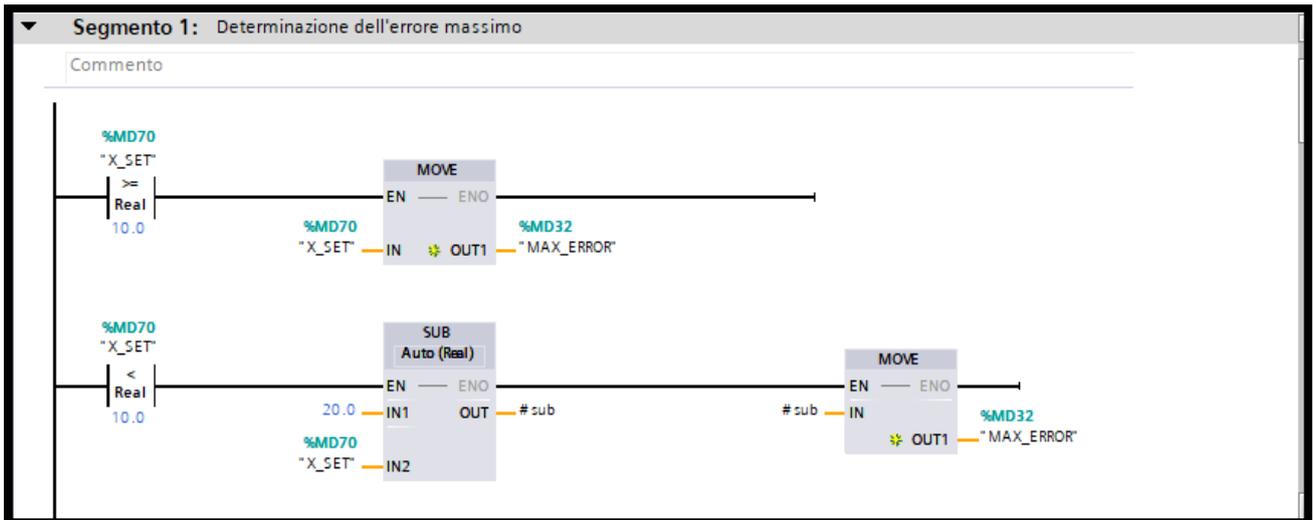


Figura 4.4 Segmento 1 PWM Gen

Nel segmento 1 viene calcolato l'errore massimo, quest'ultimo varia a seconda del setpoint impostato "%MD70 (X_SET)", in particolare usando delle operazioni di confronto, se il setpoint è maggiore o uguale a 10 cm, l'errore massimo è egli stesso. Viceversa, se il setpoint è minore di 10cm, l'errore massimo verrà calcolato sottraendo (tramite il blocco "SUB") dalla corsa massima effettuabile dall'attuatore (20 cm) il valore del setpoint, ottenendo nuovamente il valore massimo dell'errore salvato nella variabile "%MD32 (MAX_ERROR)".

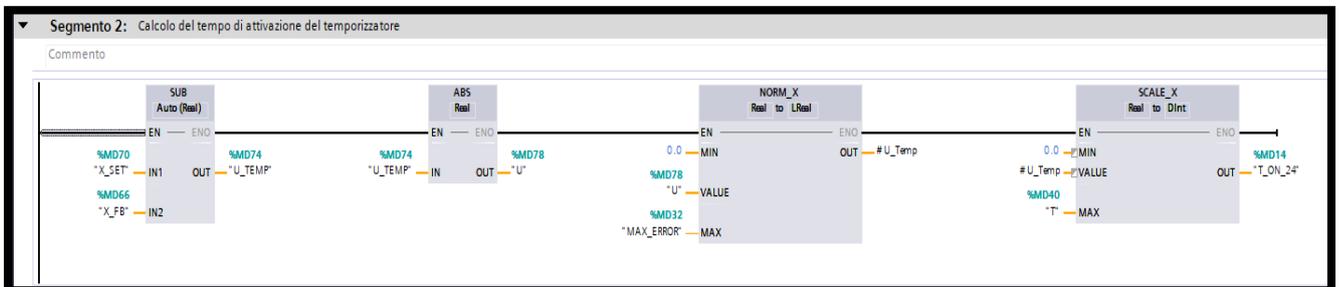


Figura 4.5 Segmento 2 PWM Gen

Il segmento 2 ha il compito di calcolare il periodo ON del duty cycle "%MD14 (T_ON_24)", quest'ultimo risulta essere direttamente proporzionale all'errore. L'errore "%MD78 (U)" viene calcolato facendo la differenza tra la variabile relativa al setpoint e quella di feedback tramite il blocco "SUB", successivamente per evitare i valori negativi il blocco "ABS" ne fa il valore assoluto, restituendoci così il valore effettivo dell'errore. In seguito quest'ultimo viene normalizzato "NORM_X" tra 0 e il valore massimo dell'errore e scalato "SCALE_X" tra 0 e il valore del periodo "%MD40 (T)", stabilito successivamente nel segmento 3. Il manuale della valvola suggerisce che, per avere buone prestazioni non bisogna mai scendere sotto i 750ms di periodo.

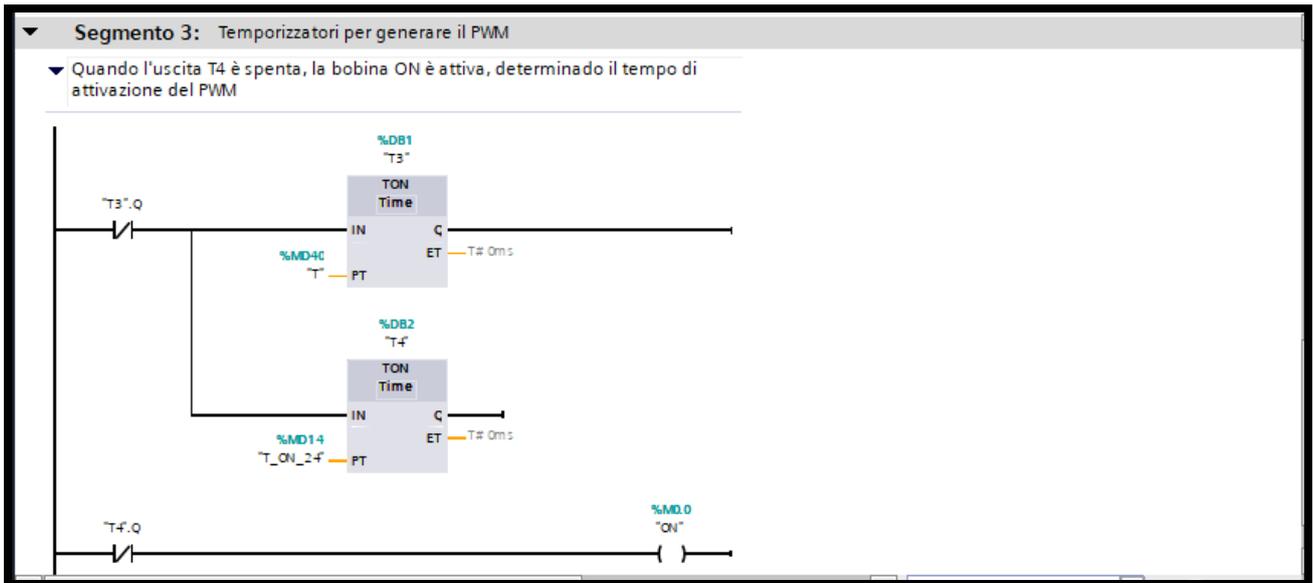


Figura 4.6 Segmento 3 PWM Gen

Infine il segmento 3 ha il compito di generare i segnali del PWM, in particolare il temporizzatore “%DB1 (T3)” genera il periodo del segnale e si ripeterà dopo il tempo inserito manualmente. Il temporizzatore “%DB2 (T4)” ha il compito di generare un segnale che è pari al periodo ON del PWM precedentemente calcolato

4.3 Square Wave Generation [OB]

Per generare la funzione d’onda quadra è stato utilizzato un blocco OB del tipo Cyclic Interrupt, la caratteristica di questi blocchi è la ciclicità di esecuzione del ciclo di scansione in tempi costanti e prestabiliti, ideali per generare questo genere di funzioni con un duty cycle pari 0.5. Nel segmento 1, vedi Fig. 4.7, sono stati inseriti due temporizzatori della tipologia TON, “%DB2 (SW_timer1)” ed “%DB4 (SW_timer2)”, fondamentali per la creazione dell’onda quadra. In particolare, dopo aver impostato un semiperiodo uguale per entrambi i temporizzatori “%MD60 (SW_period)”, si nota che, quando l’uscita del primo temporizzatore è attiva “SW_timer1.Q”, cioè allo scadere del tempo impostato, attiva un secondo temporizzatore, la cui attivazione interrompe il funzionamento del primo. Tale processo si ripete in maniera ciclica.

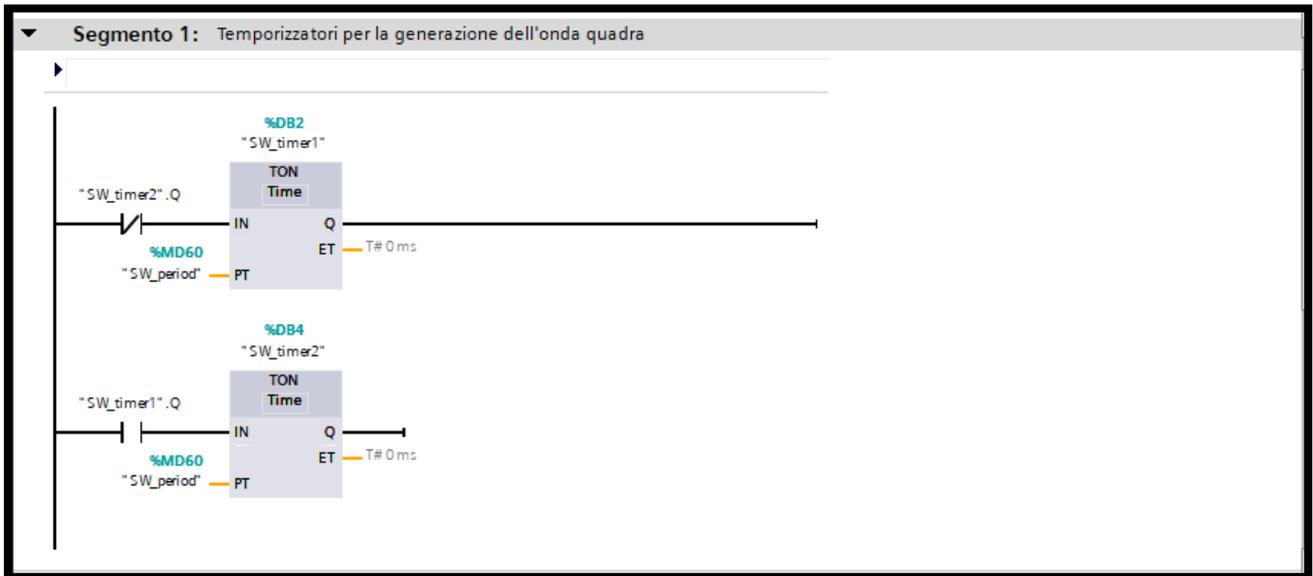


Figura 4.7 Segmento 1 funzione onda quadra

I successivi due segmenti di codice consentono l'aggiornamento della posizione del pistone, che varia tra un minimo memorizzato nella variabile "%MD86 (SW_POS_DOWN)" ed un massimo memorizzato nella variabile "%MD82 (SW POS UP)".



Figura 4.8 Segmento 2 funzione onda quadra



Figura 4.9 Segmento 3 funzione onda quadra

4.4 Sine Wave Generation [OB]

La funzione seno è simile alla funzione descritta precedentemente, anche in questo caso è stato utilizzato un OB del tipo Cycle Interrupt. Attraverso questa funzione è possibile variare il setpoint dell'attuatore nonché l'ampiezza e la frequenza della funzione periodica, la cui espressione è la seguente:

$$X_{SET_SIN} = \text{Offset} + A \times \sin(\omega t)$$

Notiamo nel segmento 1 un temporizzatore “%DB5 (SINE_timer)” che riparte ogni qualvolta si azzer il tempo impostato sulla “%MD90 (SIN_period)”.



Figura 4.10 Segmento 1 funzione seno

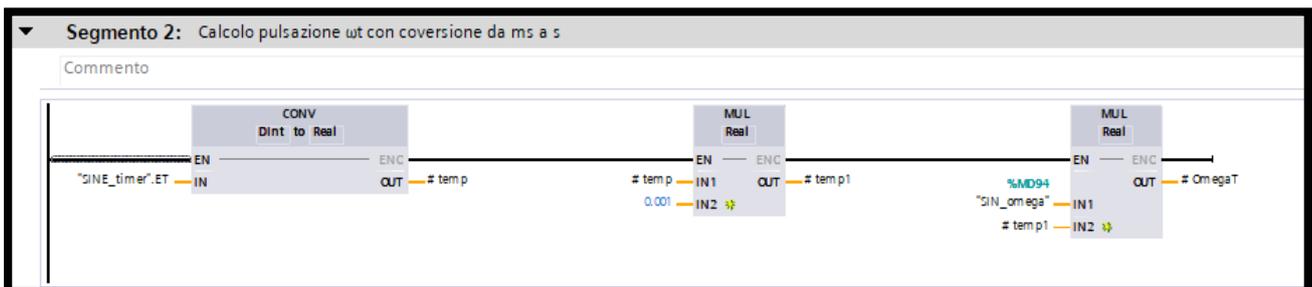


Figura 4.11 Segmento 2 funzione seno

Nel segmento 2 viene eseguita la conversione da ms a s, seguito dal prodotto ωt , dove $\omega = 2\pi / T$.

In 3 viene calcolato il prodotto $A \times \sin(\omega t)$ con l'addizione in seguito dell'offset di riferimento.

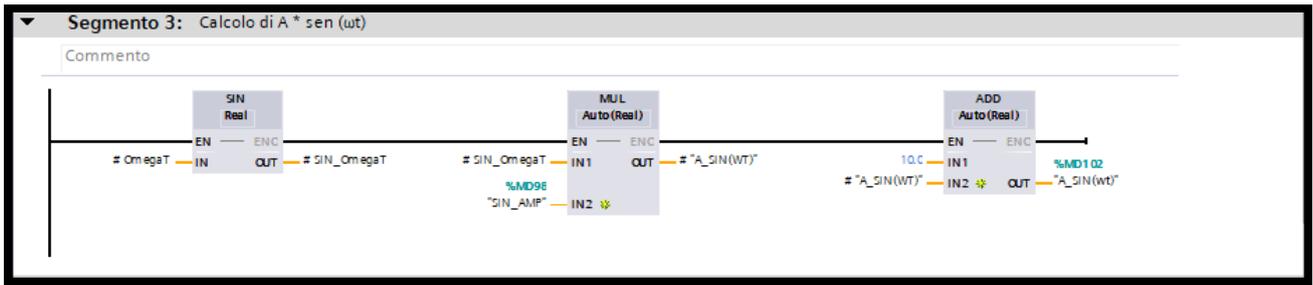


Figura 4.12 Segmento 3 funzione seno

Nell'ultimo segmento la variabile %MD110 (X_SET_SIN) viene continuamente aggiornata.

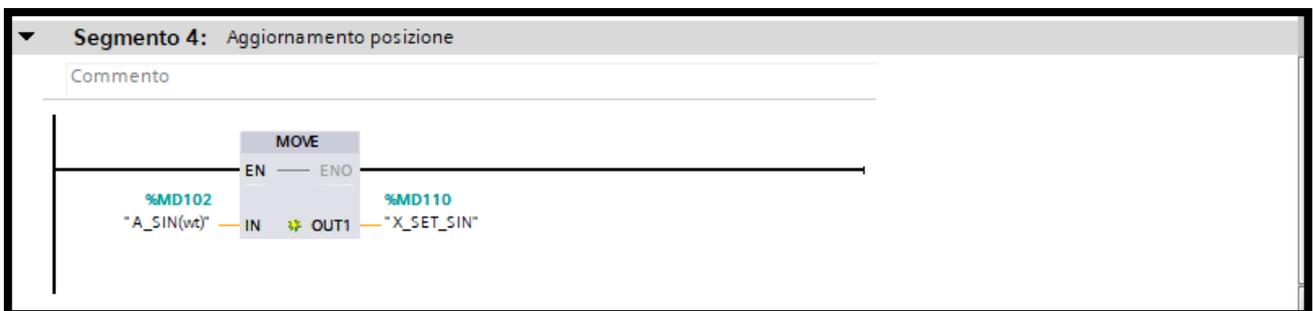


Figura 4.13 Segmento 4 funzione seno

4.5 Cycle Interrupt per PID Compact

Anche in questo caso per creare la funzione desiderata bisogna creare un OB del tipo Cyclic Interrupt, le caratteristiche di quest'ultimo sono state menzionate nei paragrafi precedenti. All'interno di esso si posiziona un blocchetto chiamato "%DB5 (PID Compact)", facente parte della famiglia di oggetti tecnologici. Una volta generato e posizionato all'interno del segmento, è possibile settarlo. Uno dei principali parametri è il periodo di campionamento, esso mette in evidenza il numero di ripetizioni del codice prima che quest'ultimo aggiorni le uscite. In questo caso, l'algoritmo PID viene eseguito ogni millisecondo e i valori vengono aggiornati ogni due secondi. Una volta letta e convertita la posizione del pistone, questa viene inviata, insieme al set point desiderato, al blocco PID, che compensa l'errore tra i due inserti e salva il risultato in una variabile temporale denominata "#time_pid", essa entra quindi in un blocco ABS, dove otteniamo il valore assoluto del segnale uscente, memorizzato nella variabile "PID_Output".

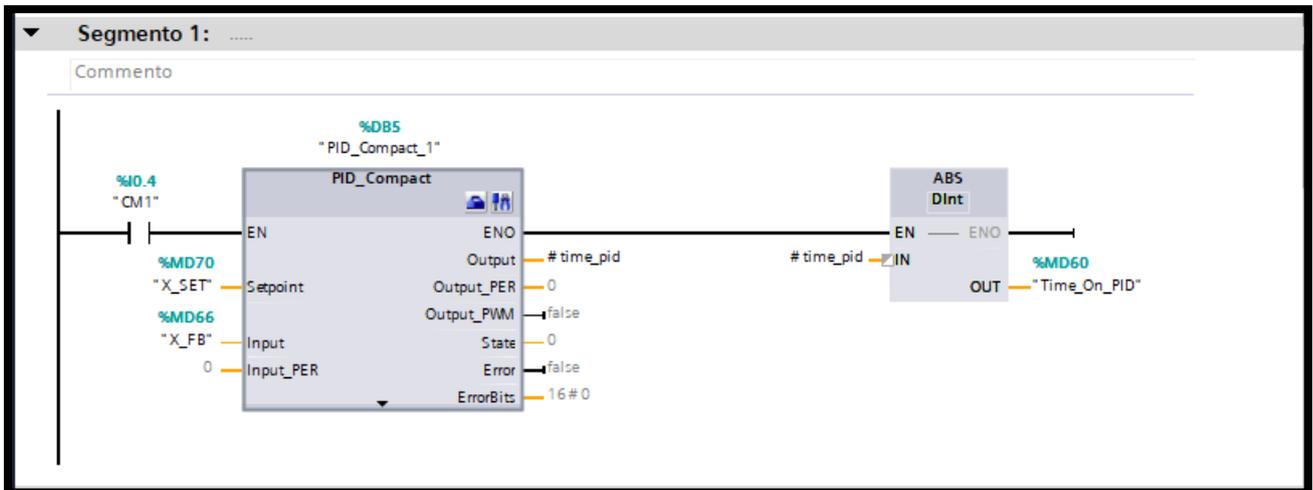


Figura 4.14 PID Compact

L'ABS viene utilizzato poiché l'uscita PID potrebbe essere amesso in vari modi durante il test. Ad esempio, quando un comando PID comanda un PWM, questo comando deve essere convertito in un comando a tempo variabile, quindi non c'è tempo negativo, oppure, nei driver delle valvole proporzionali, essendo comandati da segnali limitati tra 0 - 10 V non si accettano segnali di comando negativi.

Cliccando sul pulsante "Configurazione" è possibile modificare alcuni parametri, vedi Fig. 4.15.

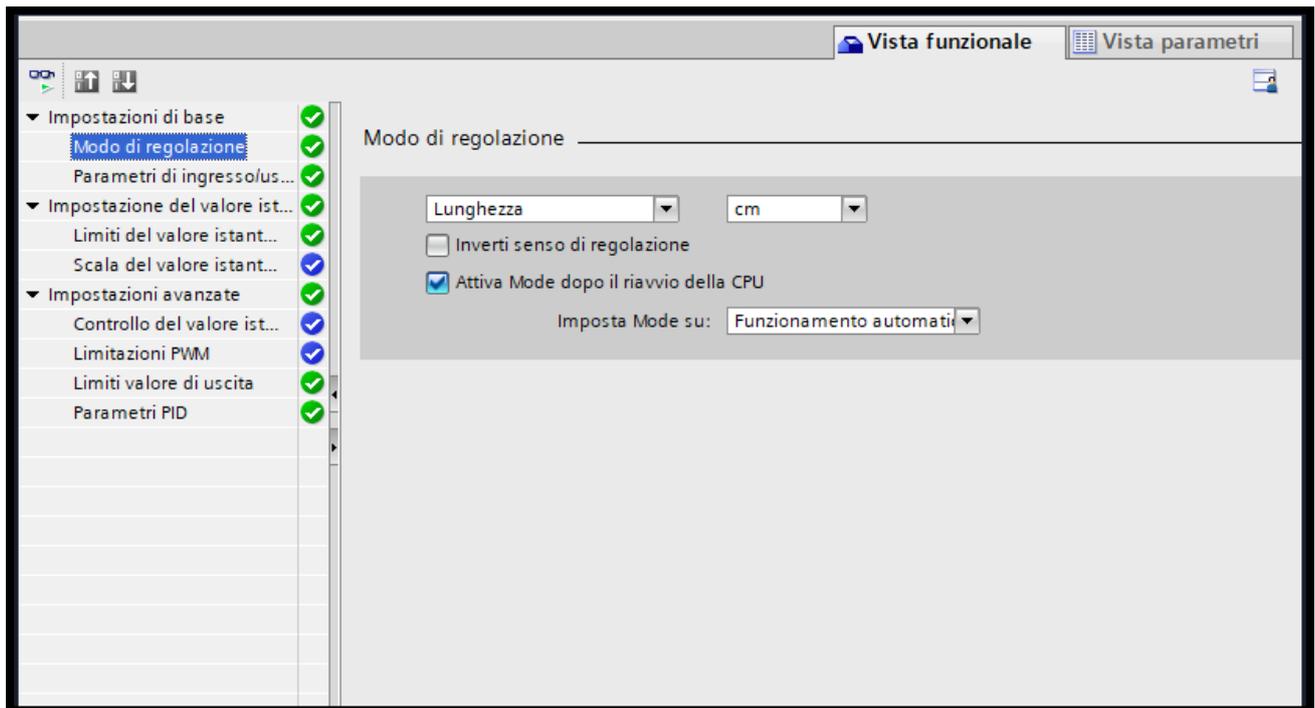


Figura 4.15 Configurazione PID Compact_1

Ci sono tre grandi tipologie di impostazione, ognuno dei quali contiene ulteriori parametri da configurare.

- Impostazioni di base
- Impostazione del valore istantaneo
- Impostazioni avanzate

All'interno di impostazioni di base troviamo:

- Modo di regolazione, in cui è possibile scegliere la variabile da misurare con la corrispettiva unità di misura, nel nostro caso sono stati selezionati "Lunghezza" e "cm".
- Parametri di ingresso/uscita, l'utente può selezionare il tipo di ingresso e uscita, in questo caso viene selezionata l'opzione "Input" dall'elenco a discesa e l'utente deve fornire il nome della variabile in cui viene salvato il valore. È inoltre possibile scegliere tra tre diversi tipi di uscita, quali: Output_PER (analogico), che consente di attivare l'attuatore tramite un'uscita analogica (0-10V, 4-20 mA); Output, valore necessita di elaborazione; Output_PWM, attuatore controllato da un'uscita digitale con una modulazione avente tempi minimi di accensione e spegnimento, modificabili all'interno di impostazioni avanzate "Limitazioni PWM"

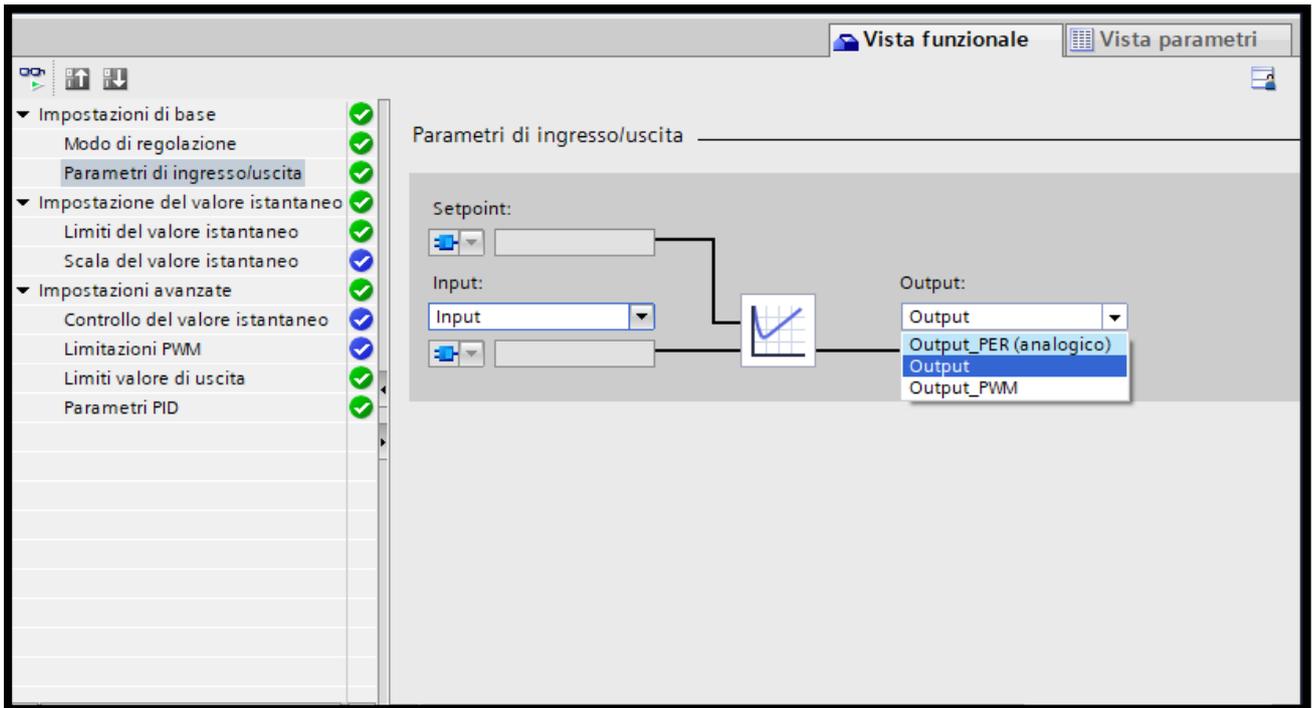


Figura 4.16 Configurazione PID Compact_2

All'interno di impostazioni del valore istantaneo troviamo:

- Limiti del valore istantaneo, in cui si deve fornire un valore del limite superiore e inferiore del sistema. Quando il valore di processo supera questi limiti, verrà rilevato un errore "ErrorBits = 0001h" e l'ottimizzazione viene interrotta. In questo caso, come mostrato in Fig. 4.17, il limite superiore è impostato a 20 cm e il limite inferiore è impostato a 0 cm poiché la corsa totale del cilindro è di 20 cm, pertanto il valore di processo sarà sempre contenuto all'interno di questo intervallo.
- Scala del valore istantaneo

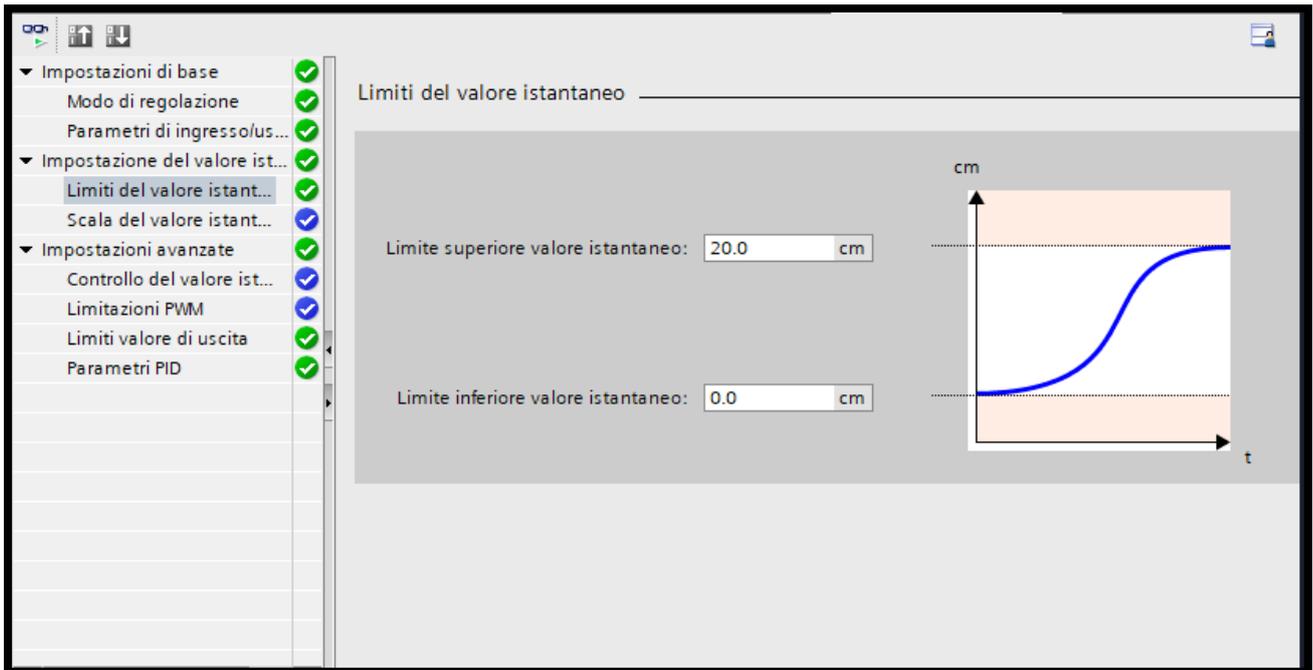


Figura 4.17 Configurazione PID Compact_3

All'interno di impostazioni avanzate troviamo:

- Controllo valore istantaneo
- Limitazione PWM
- Limiti valore di uscita, in cui L'utente specifica il limite superiore del valore di uscita in percentuale, esso non verrà superato in modalità manuale o automatizzata. In caso di supero il valore sarà sempre quello del limite. Vedi Fig. 4.18.
- Parametri PID, quest'ultimi posso essere modificati manualmente o vengono inseriti dal programma in maniera automatica, al fine di ottimizzare il tutto. In Fig.4.19 vengono mostrati i parametri che è possibile immettere.

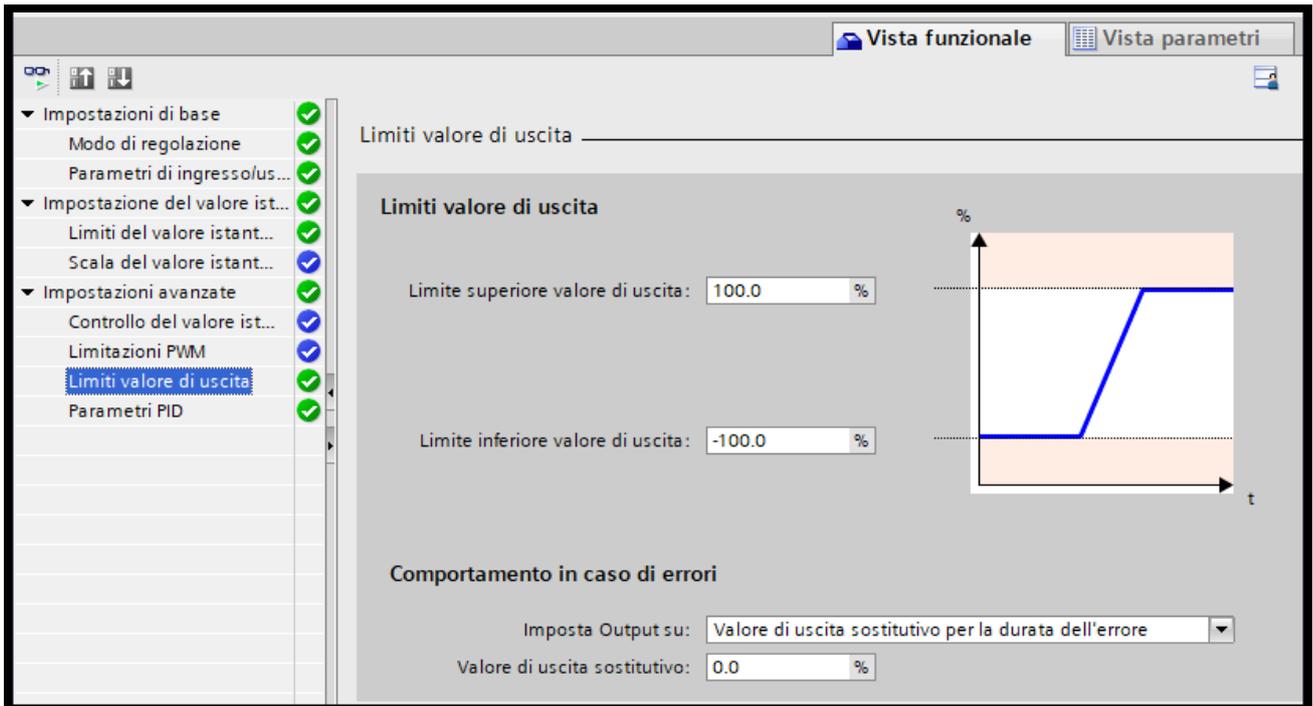


Figura 4.18 Configurazione PID Compact_4

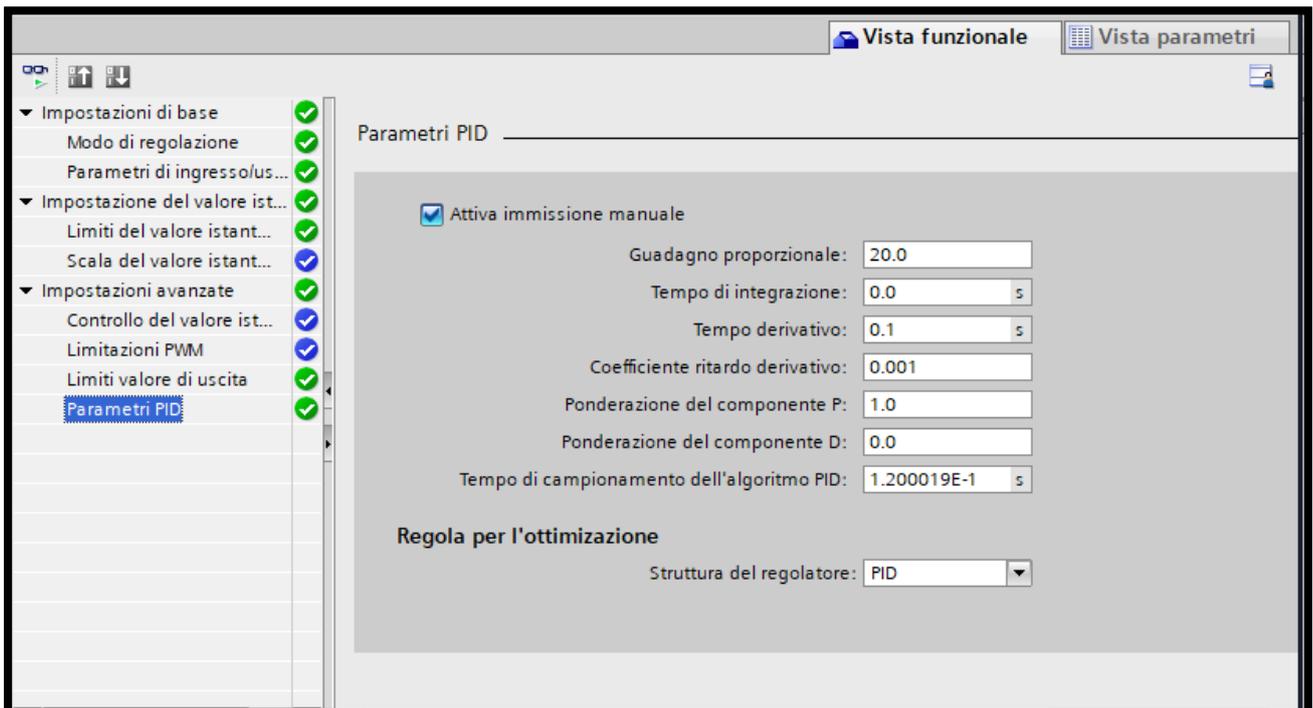


Figura 4.19 Configurazione PID Compact_5

All'interno di TIA Portal, la struttura della legge di controllo del PID è la seguente:

$$y_{PID} = K_p [(\omega_p x_{SET} - x_{FB}) + \frac{1}{T_i s} (x_{SET} - x_{FB}) + \frac{T_d s}{\tau T_d s + 1} (\omega_d x_{SET} - x_{FB})]$$

In cui x_{SET} e x_{FB} indicano un segnale di riferimento generale e il corrispondente feedback dal traduttore, se non fosse per i due coefficienti ω_p e ω_d , che vanno sotto i nomi "coefficiente di ponderazione della parte proporzionale" e "coefficiente di ponderazione della parte derivativa", questa sarebbe abbastanza simile all'espressione di un controllore PID standard. Lo scopo di ω_p e ω_d , che assumono valori compresi nel range 0-1, è quello di escludere o limitare l'intervento delle componenti proporzionale e derivativa nei casi in cui l'errore in ingresso al controllore sia dovuto ad una variazione del riferimento e non ad una variabile nel controllore. Se impostati pari ad 1, l'equazione diventa:

$$y_{PID} = K_p [(x_{SET} - x_{FB}) + \frac{1}{T_i s} (x_{SET} - x_{FB}) + \frac{T_d s}{\tau T_d s + 1} (x_{SET} - x_{FB})]$$

Possiamo trovare una corrispondenza con l'equazione classica dai seguenti termini:

$$T_i = \frac{k_p}{k_i}$$

Dove T_i è "tempo di azione integrale", k_p è il "guadagno proporzionale" e k_i è il "guadagno integrale".

$$T_d = \frac{k_d}{k_p}$$

Dove T_d è "tempo di azione derivativo", k_d è il "guadagno derivativo".

Grazie a questa conversione, sarà semplice analizzare e confrontare le risposte del sistema quando questi valori variano.

5.1.1 Controllo del tipo ON-OFF

Il controllo **ON-OFF** è una forma di controllo ad anello chiuso in cui il funzionamento del controllore è discontinuo. Il controllore decide quando intervenire in base al grado di scostamento tra il valore atteso ed il valore effettivo. Nel nostro caso il controllore attiva una delle due uscite della valvola in base al valore dell'errore. Per un chiarimento segue il diagramma ladder di tale controllo.

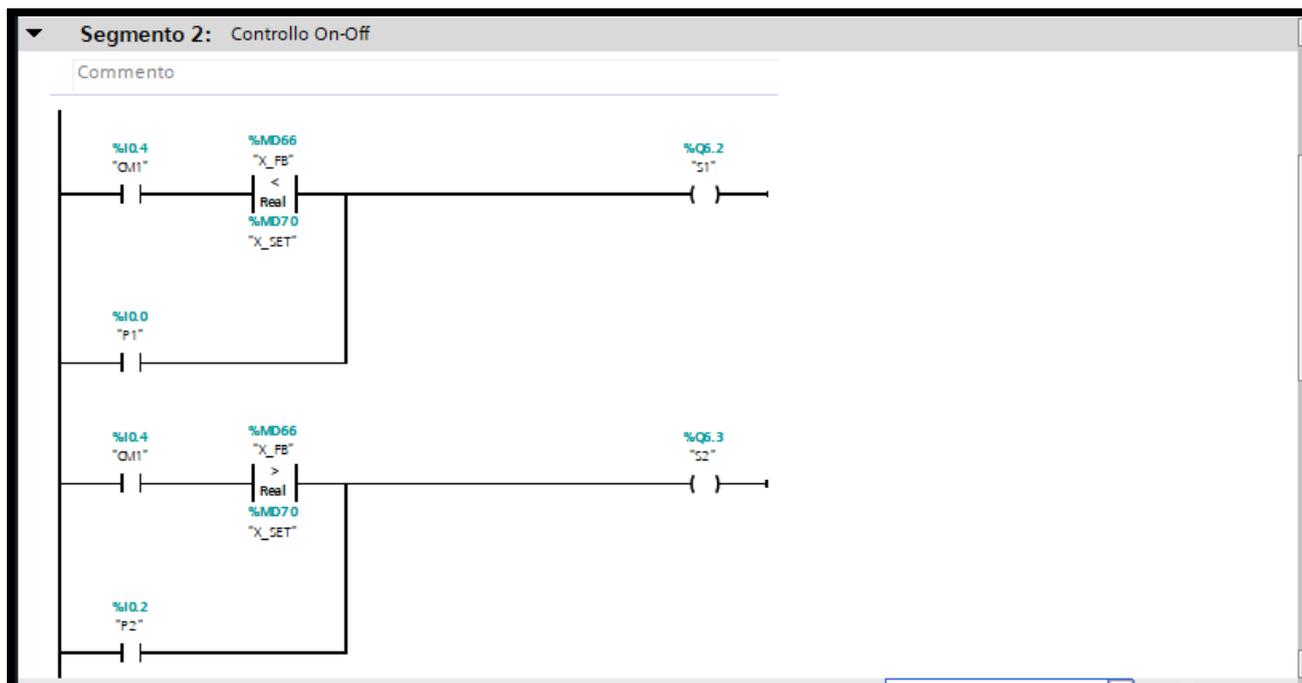


Figura 5.2 Ladder prova ON-OFF

Come possiamo notare abbiamo due rami con derivazione in cui è possibile muovere il cilindro manualmente schiacciando i pulsanti “%I0.0 (S1)” o “%I0.2 (S2)”, azionando di conseguenza il solenoide S1 provocando l’uscita del cilindro, o imporgli il rientro attivando il solenoide S2. Le uscite S1 e S2 sono memorizzate rispettivamente in “%Q6.2” ed in “%Q6.3”. È possibile anche far funzionare il tutto automaticamente, ruotando il commutatore “%I0.4 (CM1)” in posizione ON. Quest’ultimo contatto è seguito in entrambi i rami da una funzione comparativa, che confronta, il segnale di setpoint “%MD70 (X_SET)”, impostato dall’utente, ed il segnale di feedback proveniente dal cilindro e letto all’interno della variabile “%MD66 (X_FB)”. La loro differenza indica il cosiddetto **errore**, che a seconda del valore ottenuto, cioè se positivo o negativo (dipende dalla posizione del cilindro rispetto al setpoint), attiva o il solenoide S1 per la fuoriuscita o l’S2 per il rientro. I grafici di tale prova vengono rappresentati nella Fig. 5.2.

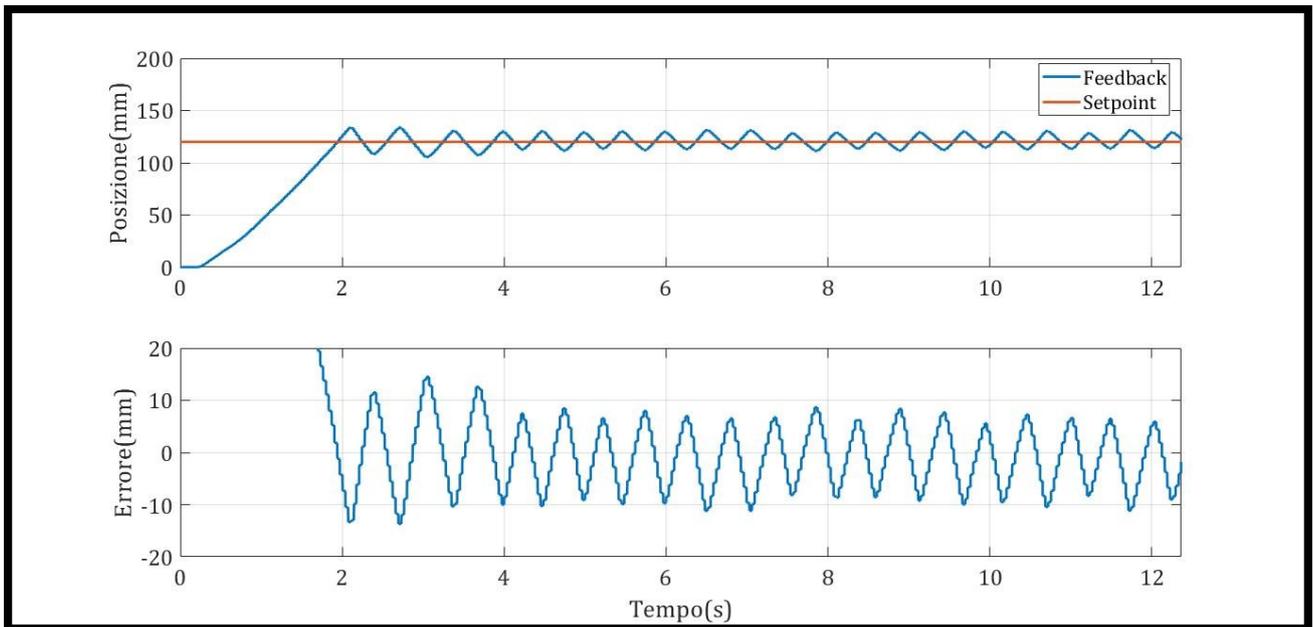


Figura 5.2 Grafico posizione ed errore prova ON-OFF

Il primo grafico mostra la risposta dinamica del sistema quando viene impostato un valore di setpoint pari a 120 mm. Il secondo mostra l'errore " $u(t)$ " nell'intorno del setpoint. Si può concludere che questa tipologia di controllo non è molto precisa, in quanto, come si nota dalle immagini, non si raggiunge mai la posizione di arrivo impostata, possiamo arrivarci molto vicino ma soltanto per pochi secondi, poiché la velocità con cui si muove il pistone è tale da rendere impreciso questo tipo di controllo.

5.1.2 PWM

Questa funzione è stata precedentemente descritta nel Capitolo 4.2, infatti nel segmento 1 e 2 si notano i blocchi richiamanti la lettura del segnale ed il blocco relativo alla funzione PWM.

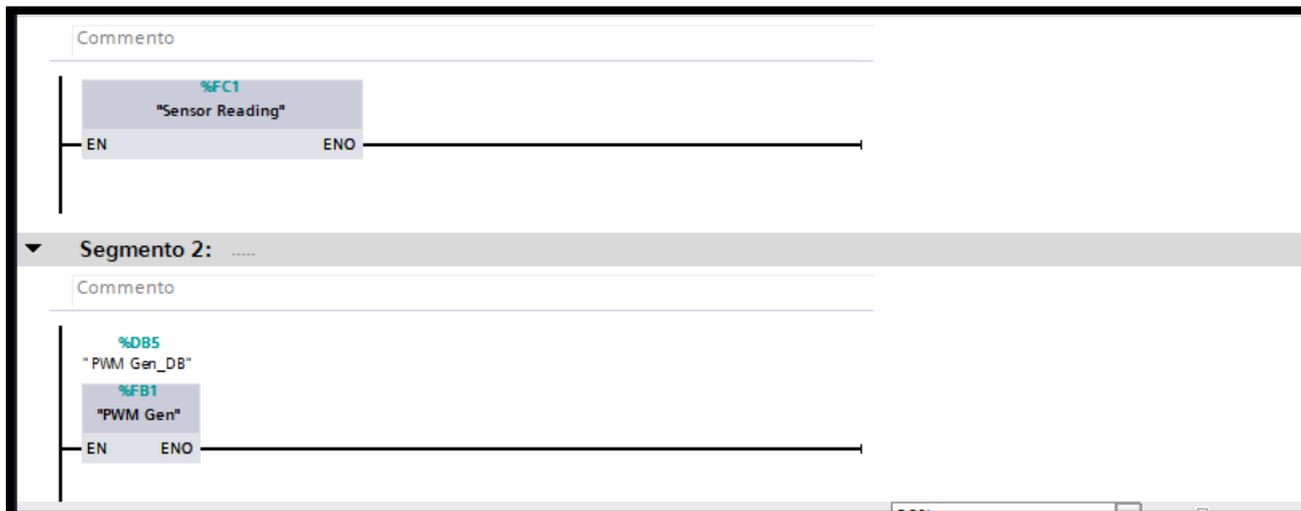


Figura 5.3 Ladder prova PWM_1

Nel blocco principale troviamo anche altri due segmenti. Il primo, dopo aver attivato il commutatore “%I0.4 (CM1)”, se l’errore, inteso come differenza setpoint meno feedback, è maggiore di zero, si attiva il blocco comparativo “%MD74 (U_TEMP)”, successivamente si attiverà l’uscita “%Q6.2 (S1)” per la fuoriuscita del cilindro, la quale rimarrà attiva per un periodo pari al tempo di attivazione del PWM. Tale periodo viene impostato all’interno del blocco “PWM_GEN”, imponendo così la chiusura del contatto “%M0.0 (ON)”.

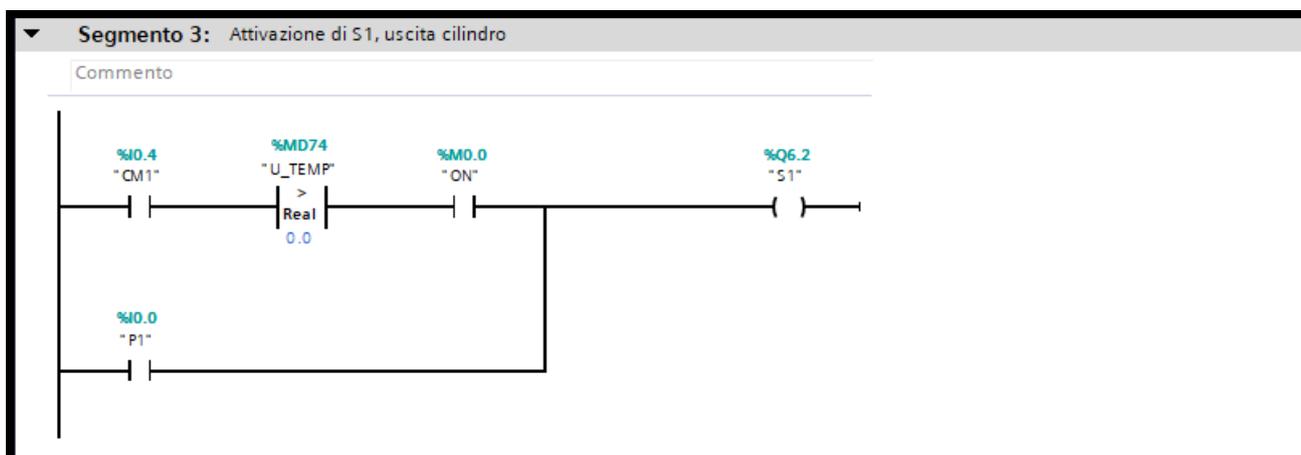


Figura 5.4 Ladder prova PWM_2

Il segmento 4 svolge la medesima funzione del precedente, ma si attiva quando l'errore è minore di zero, attivando così l'uscita relativa alla camera anteriore "%Q6.3 (S2)".

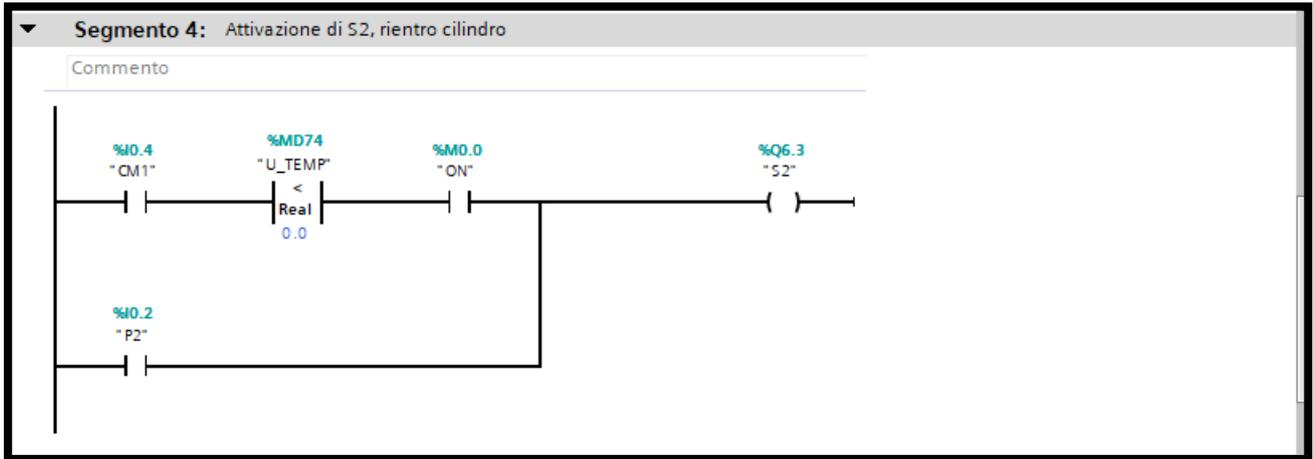


Figura 5.5 Ladder prova PWM_3

È possibile comandare il cilindro manualmente, come nel caso del controllo ON-OFF, grazie ai pulsanti "P1" e "P2".

In seguito sono state effettuate delle prove, impostando un valore di setpoint e cambiando il periodo di attivazione del PWM, in particolare sono state effettuate prove a 650, 750 e 850 ms. Le figure successive Fig. 5.6 e Fig. 5.7, mostrano la risposta del sistema e il corrispettivo errore nell'intorno del setpoint. Il metodo di controllo risulta essere più efficace del precedente ma, la differenza di spinta, dovuta alle differenti aree tra le due camere, fa sì che il pistone non mantenga mai la posizione raggiunta, muovendosi sempre.

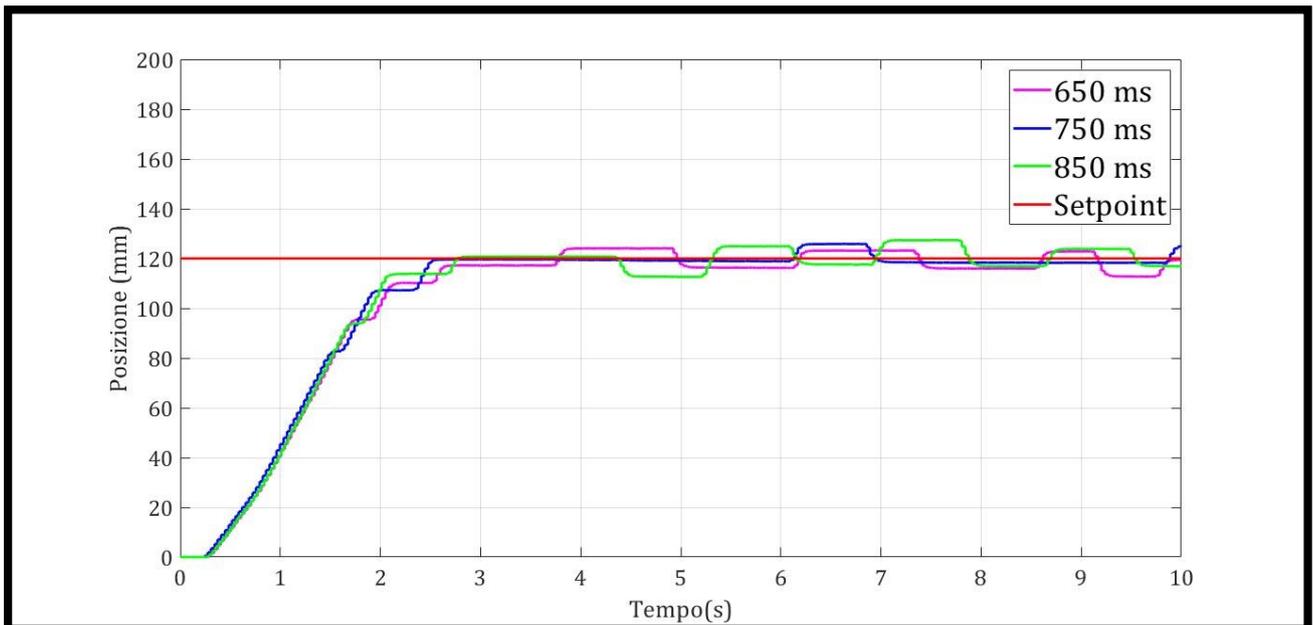


Figura 5.6 Grafico posizione vari PWM

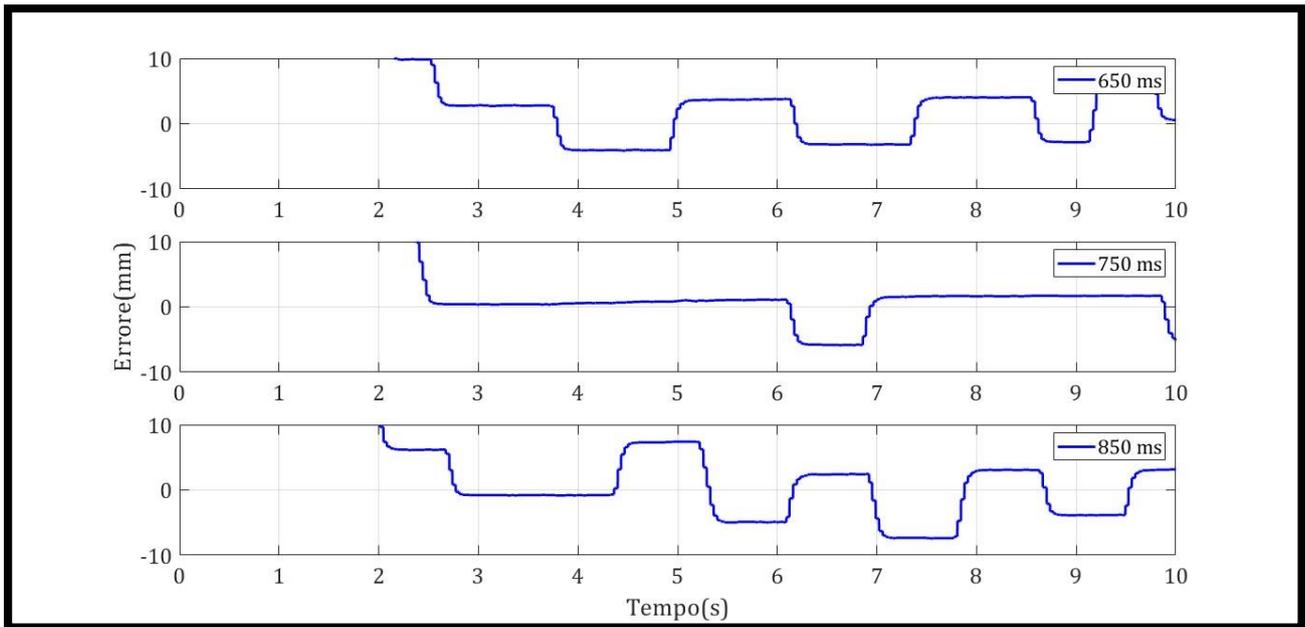


Figura 5.7 Grafico errori vari PWM

Una tabella riassuntiva viene mostrata in seguito.

I parametri analizzati sono sostanzialmente due:

- **Tempo di assestamento (T_a)**, che è il tempo necessario affinché la curva di risposta raggiunga una banda di errore attorno al setpoint, tale margine di errore è stato considerato del $\pm 5\%$.
- **L'errore**, cioè lo scostamento massimo dal valore di setpoint.

Periodo	T_a (s)	Errore massimo (mm)
650 ms	2.55	7.297
750 ms	2.45	5.879
850 ms	2.30	7.427

Tabella 5.1 Riassunto prova PWM

5.1.3 PWM con PID

Il metodo di controllo PID (proporzionale, integrale e derivativo) è il più utilizzato nelle applicazioni industriali. La diffusione di questo metodo è dovuta alla semplicità della legge di controllo, che si basa su pochi parametri di controllo, nonché all'esistenza di metodi di controllo empirici che consentono l'identificazione del processo da controllare e il calcolo dei parametri di controllo ottimali.

In seguito sono elencati gli effetti positivi e negativi di ogni parametro. [11]

1) Contributo dell'azione proporzionale (K_p)

Effetti positivi:

- aumenta la banda passante;
- un aumento di K_p crea una riduzione del tempo di salita;
- in caso di disturbo in assenza di azione integrale riduce l'errore a regime rispetto all'anello aperto, all'aumentare di K_p l'errore statico diminuisce;
- diminuisce l'effetto di variazioni parametriche del sistema.

Effetti negativi:

- riduce il margine di stabilità.

2) Contributo dell'azione integrale

Effetti positivi:

- azzerare l'errore a regime; l'errore si azzerare tanto più velocemente quanto più K_i è grande (ovvero T_i piccolo).

Effetti negativi:

- riduce la banda passante;
- all'aumentare di k_i si riduce il margine di stabilità.

3) Contributo dell'azione derivativa

Effetti positivi:

- diminuisce la sovraelongazione;
- aumenta i margini di stabilità;
- aumenta la banda passante.

Effetti negativi:

- amplifica i rumori alle alte frequenze.

Adesso si passa alla descrizione del programma, quest'ultimo come i precedenti nel blocco principale presenta il blocco FC per la lettura del segnale. Segue, vedi Fig. 5.8, il secondo segmento, dove viene definito il ciclo del PWM, che diversamente dal paragrafo dove il duty cycle era proporzionale all'errore, in questo caso dipenderà da un controllore PID. L'uscita del controllore "PID_OUTPUT" viene elaborata in un altro blocco della tipologia "Cycle Interrupt" descritta nel Paragrafo 4.5. Il blocco chiamato "%DB5 (PID_PWM)", oltre ad avere in ingresso l'uscita, ha il periodo del PWM, salvato nella variabile "%MW4 (T)", necessario per la generazione del segnale ON del duty cycle "MD14 (T_ON_24)". Viene effettuata una conversione perché il temporizzatore legge soltanto valori del tipo Int o DInt.

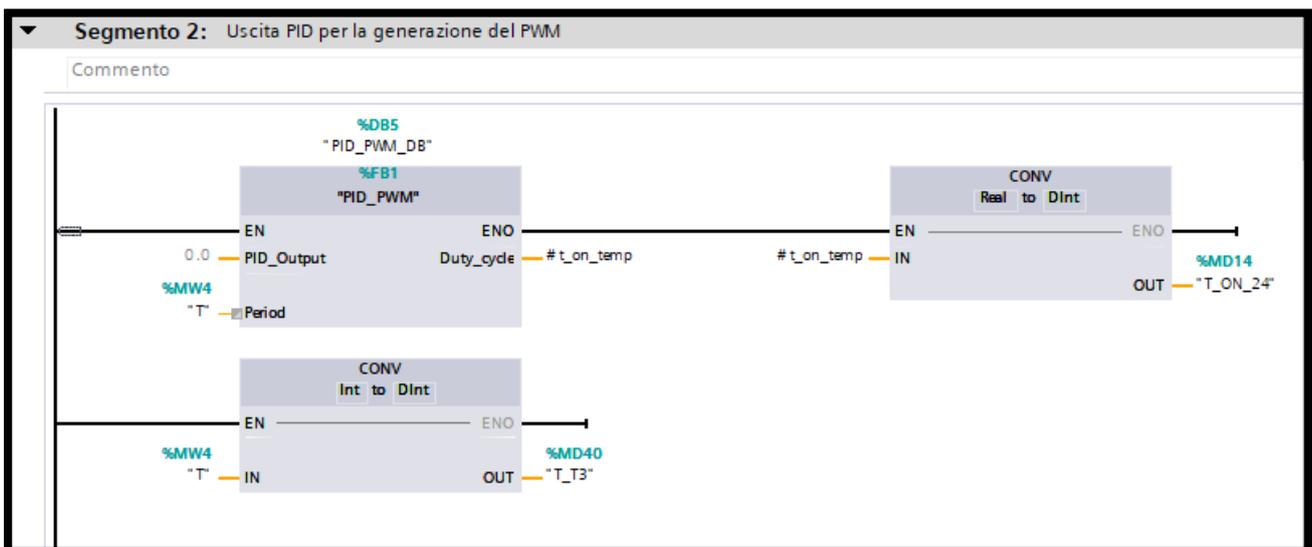


Figura 5.8 Ladder prova PWM con PID_1

All'interno del blocco FB sopra citato, la variabile di uscita del PID viene normalizzata e successivamente moltiplicata per il periodo, ottenendo così un'uscita temporanea chiamata "#Duty_cycle".

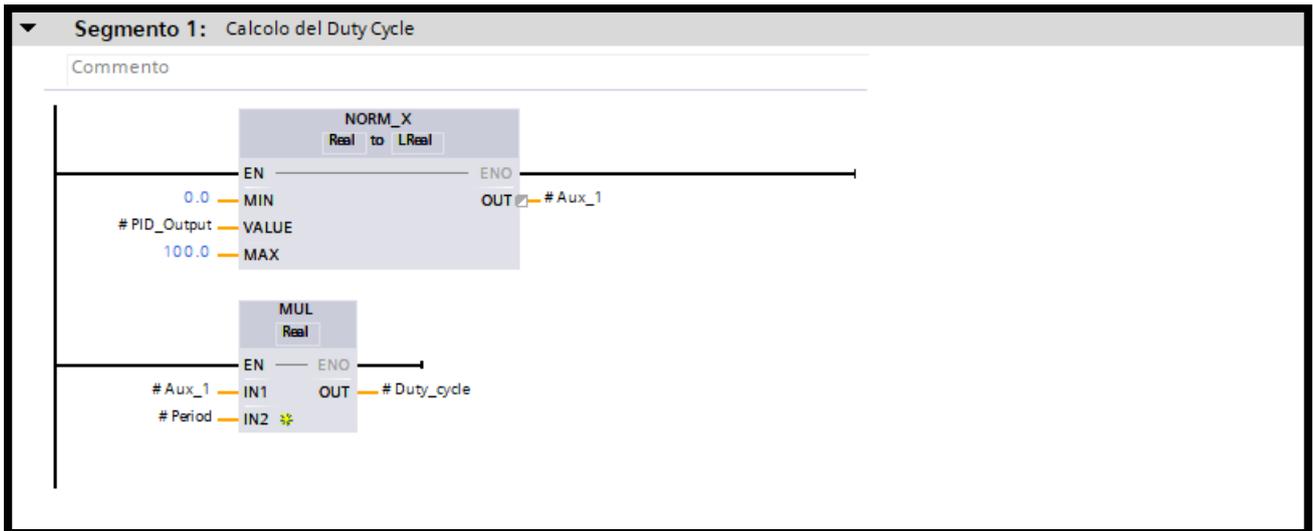


Figura 5.9 Ladder prova PWM con PID_2

La Fig 5.10 mostra come viene generato il segnale PWM, simile a quello del paragrafo precedente.

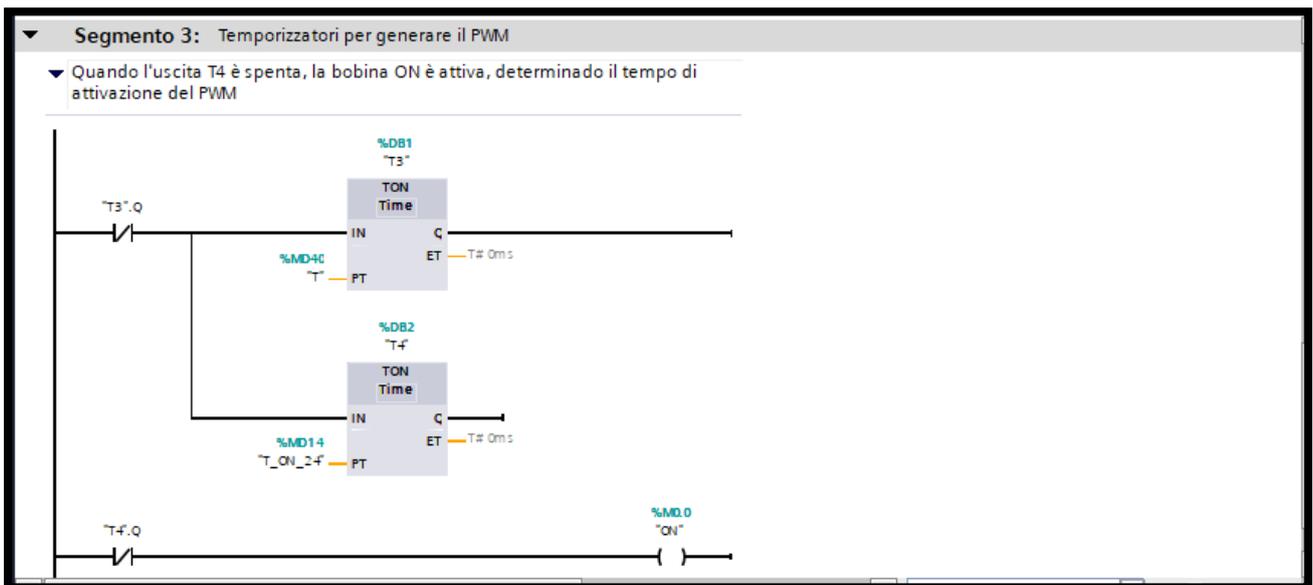


Figura 5.10 Ladder prova PWM con PID_3

La logica di controllo è anch'essa simile al precedente capitolo, dove l'attivazione dei solenoidi della valvola le cui uscite sono collegate alle camere del cilindro, si attivano al variare del valore dell'errore. Ad errore nullo la valvola viene disattivata. Vedi Fig. 5.11.

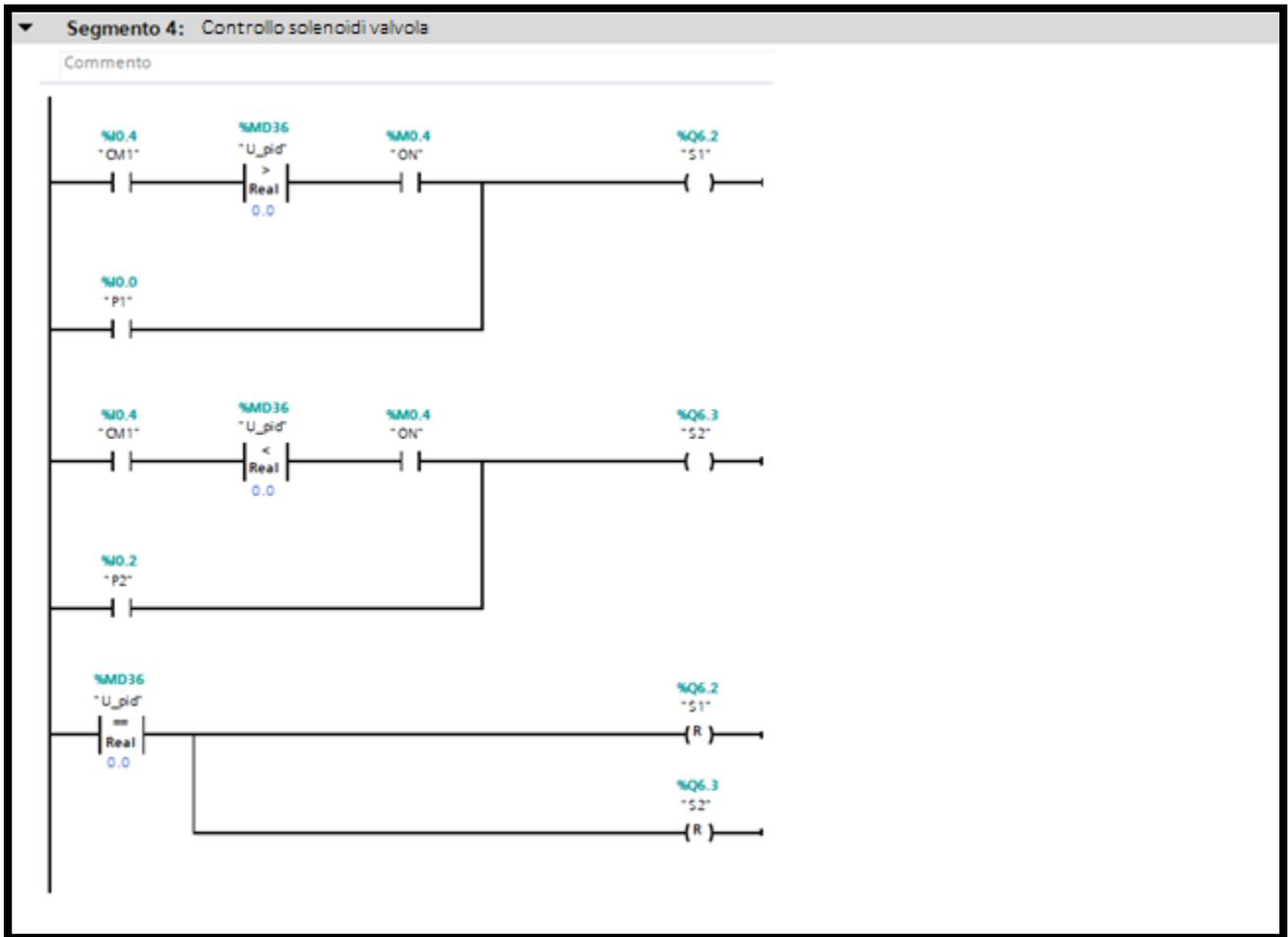


Figura 5.11 Ladder prova PWM con PID_4

Le prove sono state effettuate cambiando gradualmente i parametri, a partire dal K_p , mantenendo costante gli altri parametri, e così via variando anche il K_i e il K_d . Nella Fig. 5.12 mostra la risposta del sistema al variare di tale parametro, in particolare, all'aumentare di esso, aumenta la prontezza del sistema ma diminuisce la sua stabilità. Anche l'errore (Fig. 5.13) risulta essere molto, una tabella riassuntiva mette in evidenza i risultati sopra citati.

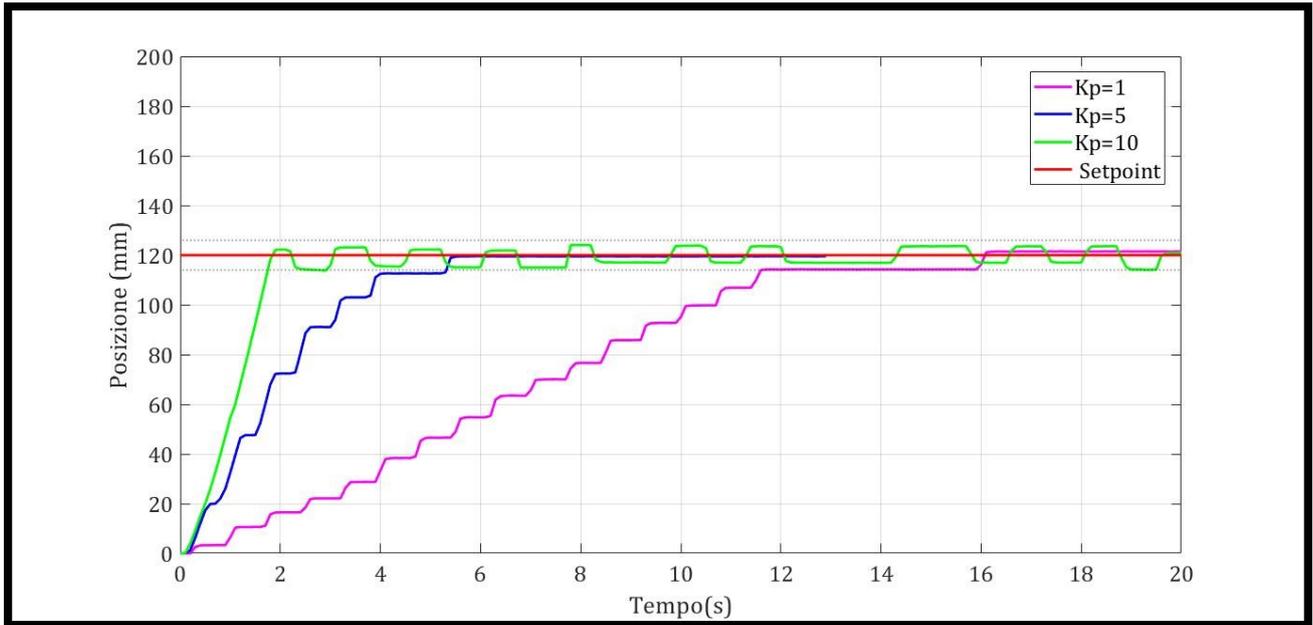


Figura 5.12 Grafico posizione al variare del Kp

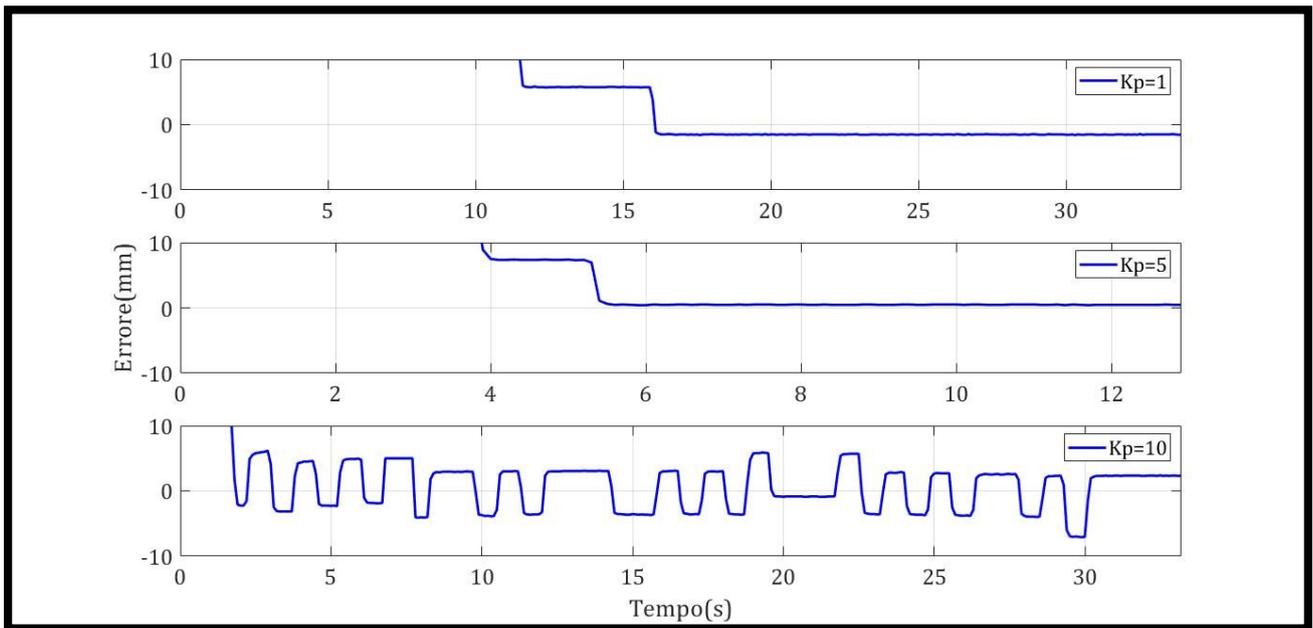


Figura 5.13 Grafico errore al variare del Kp

Kp / Parametri	Ta (s)	Errore massimo (mm)
1	11.7	1.48
5	5.3	0.45
10	1.7	6

Tabella 5.2 Tabella riassuntiva valori al variare del Kp

Adesso mantenendo costante il K_p ad un valore pari a 5, si fa variare il K_i , possiamo notare dalle Fig. 5.14 e Fig. 5.15 come varia la risposta del sistema, in particolare come previsto, all'aumentare dell'azione integrale la stabilità del sistema diminuisce, ma inaspettatamente l'errore a regime non diminuisce all'aumentare del K_i , anzi aumenta.

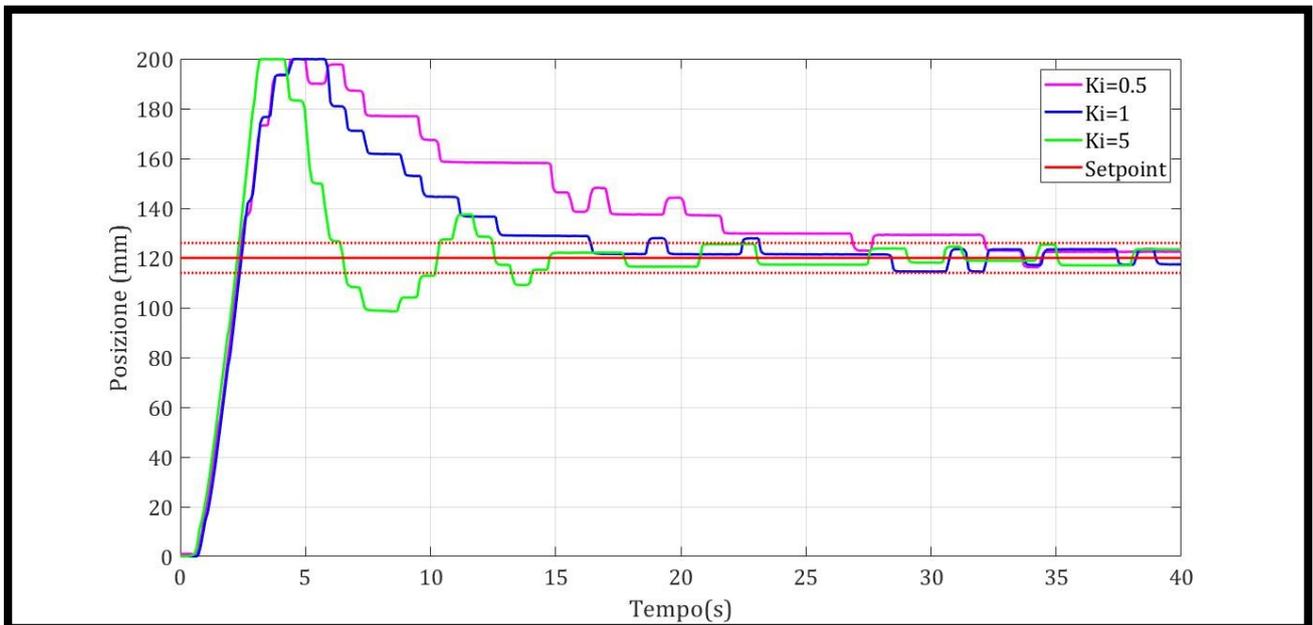


Figura 5.14 Grafico posizione al variare del K_i

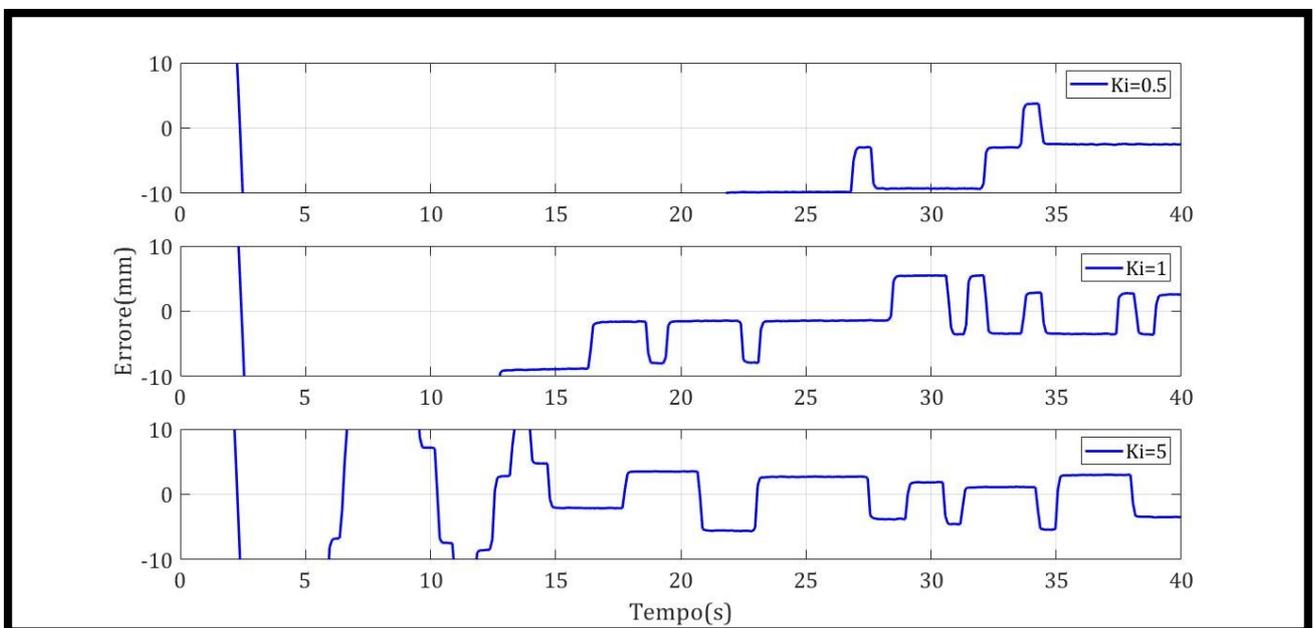


Figura 5.15 Grafico errore al variare del K_i

La tabella sottostante mostra un riassunto di tale prova

Ki / Parametri	Ta (s)	Errore massimo (mm)
0.5	32.1	3.75
1	23.3	5.5
5	14.1	5.58

Tabella 5.3 Tabella riassuntiva al variare dei Ki

Come ultima prova del controllore PID, facciamo variare il Kd entro alcuni valori, mantenendo gli altri due parametri Kp e Ki pari a 5. Si nota subito dalla Fig. 5.16, che il sistema risulta essere leggermente più lento, ma più stabile. Per quanto riguarda gli errori, quest'ultimi risultano essere molto simile ai casi precedenti, segue una tabella riassuntiva.

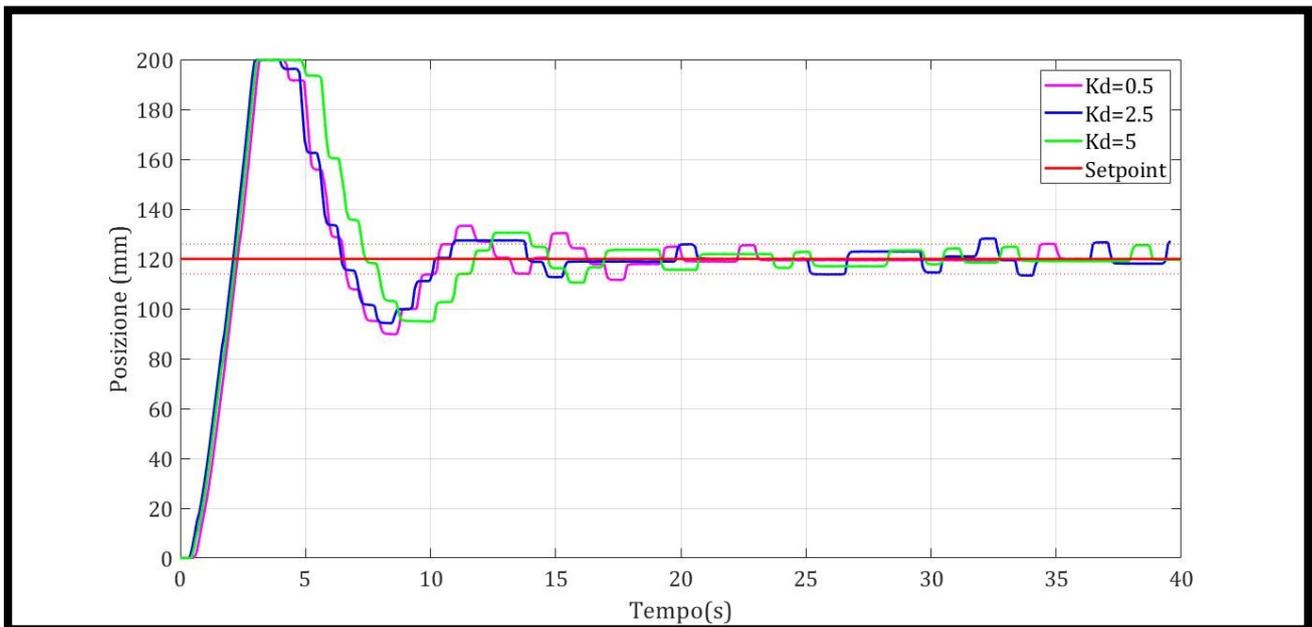


Figura 5.16 Grafico posizione al variare del Kd

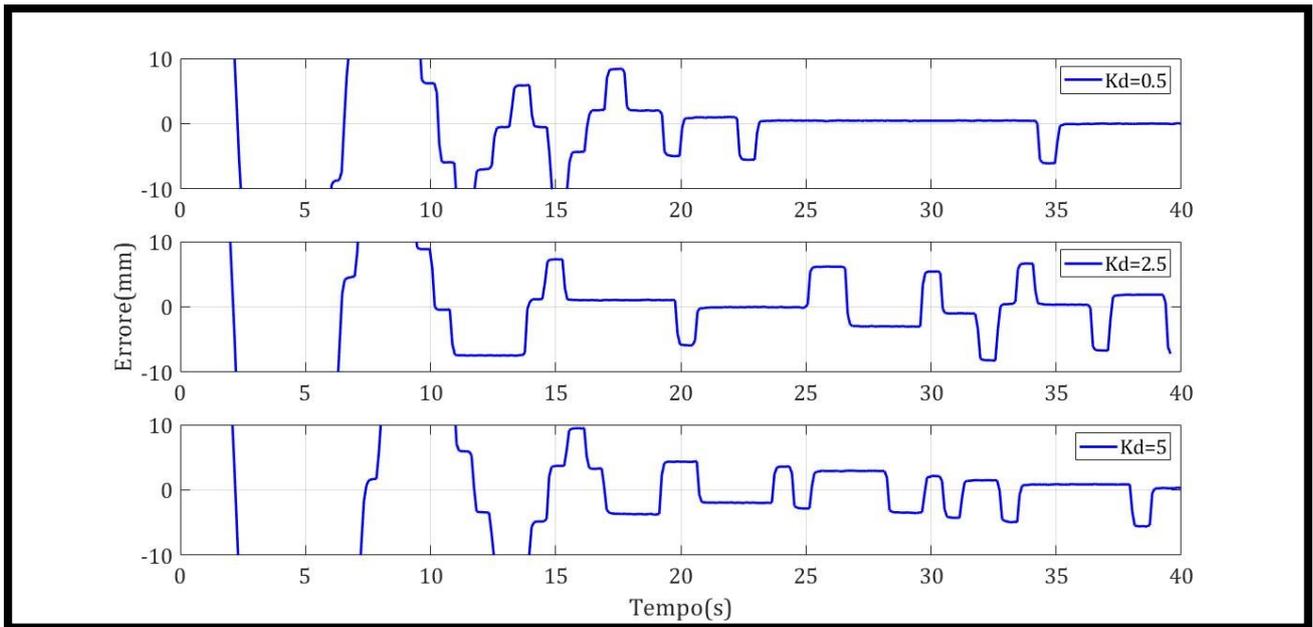


Figura 5.17 Grafico errore al variare del Kd

Kd / Parametri	Ta (s)	Errore massimo (mm)
0.5	17.87	5.4
2.5	15.27	5.8
5	16.34	5.8

Tabella 5.4 Tabella riassuntiva al variare dei Kd

È possibile effettuare manualmente una regolazione, sapendo che per questi tipi di sistemi l'azione proporzionale risulta essere più che sufficiente per garantire una precisione ottimale, pertanto si è individuato che con un valore del Kp pari a 6, si ha un errore massimo dello di 0.72 cm soltanto per una frazione piccola di secondi.

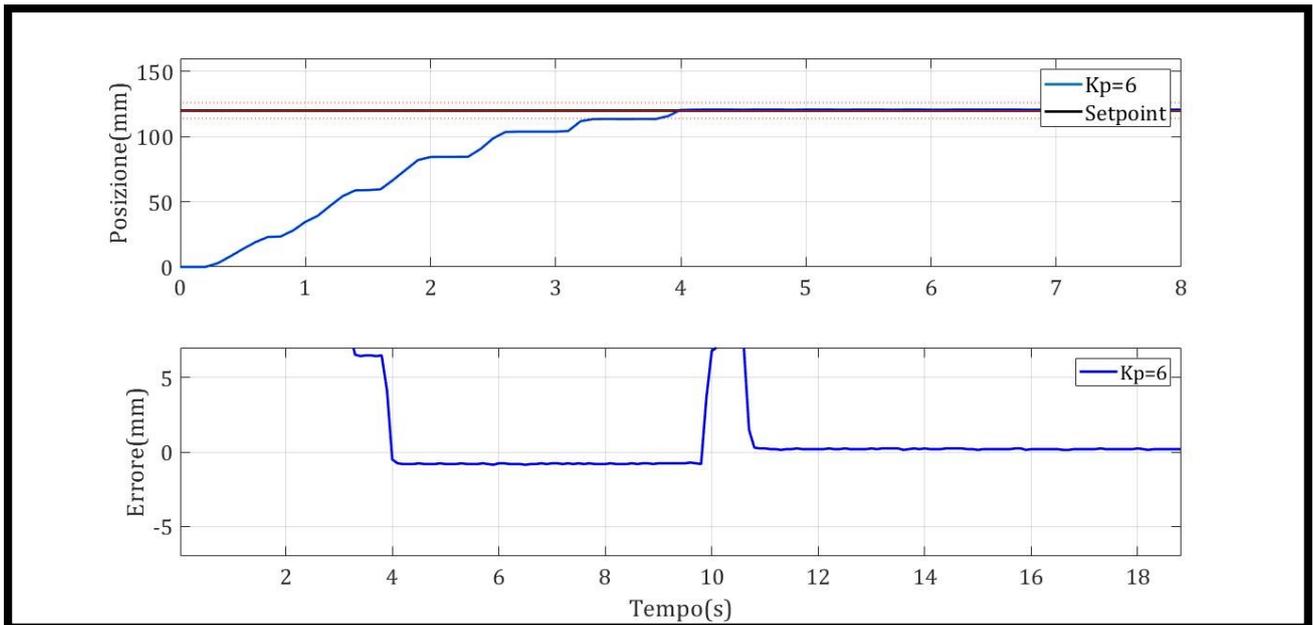


Figura 5.18 Grafici posizione ed errore con $K_p 6$

K_p	T_a (s)	Errore massimo (mm)
6	3.71	0.71

Tabella 5.5 Tabella riassuntiva con $K_p 6$

Si conclude che tale regolazione è la migliore tra tutte le precedenti.

5.2 Valvole proporzionali Serie AP

La seconda tipologia di valvole studiate, sono state le valvole proporzionali della Serie AP, per maggiori dettagli vedasi Capitolo 3.5.2. La figura sottostante mostra uno schema bidimensionale del banco, su cui sono state principalmente effettuate due prove:

- PWM utilizzando un'apposita uscita del PLC ed una particola istruzione;
- PWM come nel caso precedente, ma controllato da PID.

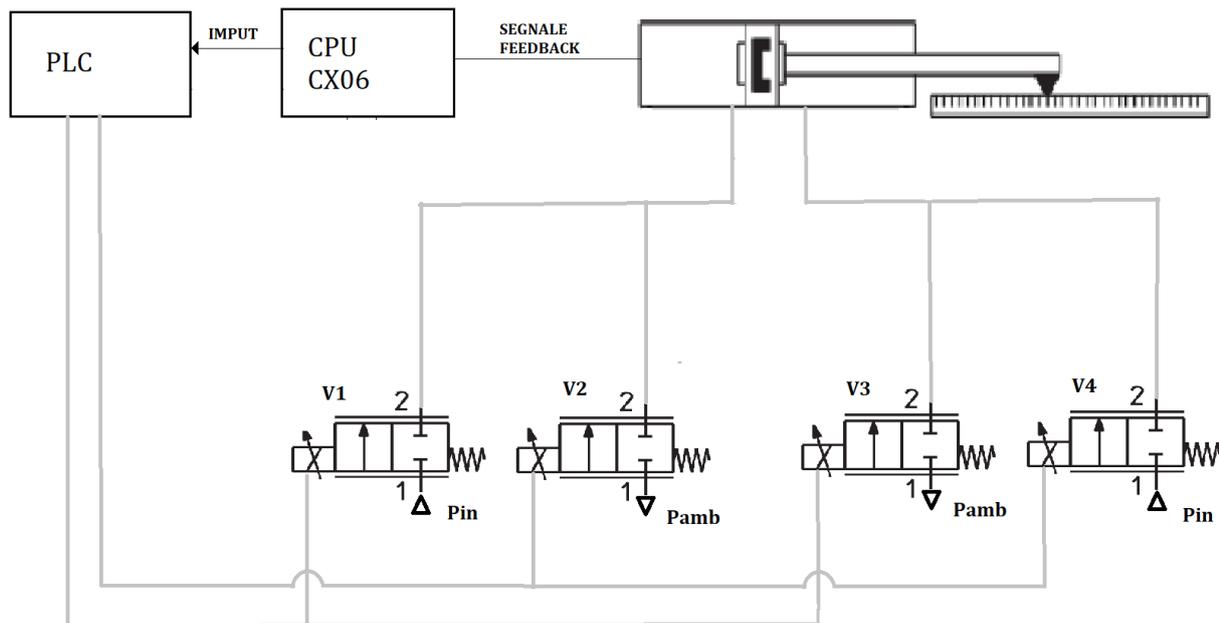


Figura 5.19 Schema valvole seconda prova

Le quattro valvole sono collegate a due a due, in modo da gestire indipendentemente le fasi di fuoriuscita e rientro. Per esempio, durante la fuoriuscita del cilindro (fase denominata “Carico”), una valvola ha il compito di immettere l’aria nella camera posteriore del cilindro, mentre l’altra ha il compito di svuotare la camera anteriore per favorirne la fuoriuscita. Stesso procedimento nel caso il rientro. Dai dati tecnici sappiamo che per alimentare tali valvole serve una corrente pari a 271 mA, le uscite digitali della CPU del PLC hanno corrente max pari a 0.5 A, pertanto riusciamo ad alimentarle senza problemi.

5.2.1 PWM utilizzando un’apposita uscita del PLC ed una particolare istruzione

Per questa prova sono state utilizzate due uscite particolari del PLC (“Q0.2” e “Q0.3”), il cui compito è quello di generare degli impulsi, necessari per la tipologia di controllo effettuato, cioè il PWM. Innanzitutto, per poter utilizzare queste uscite, bisogna configurarle. Cliccando sulle proprietà della CPU del PLC, è possibile notare la voce “Generatori di impulsi (PWM/PTO)”, successivamente bisogna cliccare sulla spunta “Attiva questo generatore di impulsi”. Sempre nella medesima pagina è possibile impostare alcuni valori (Fig. 5.20), tra i quali: il tipo di segnale, la durata degli impulsi ed il tempo ciclo.

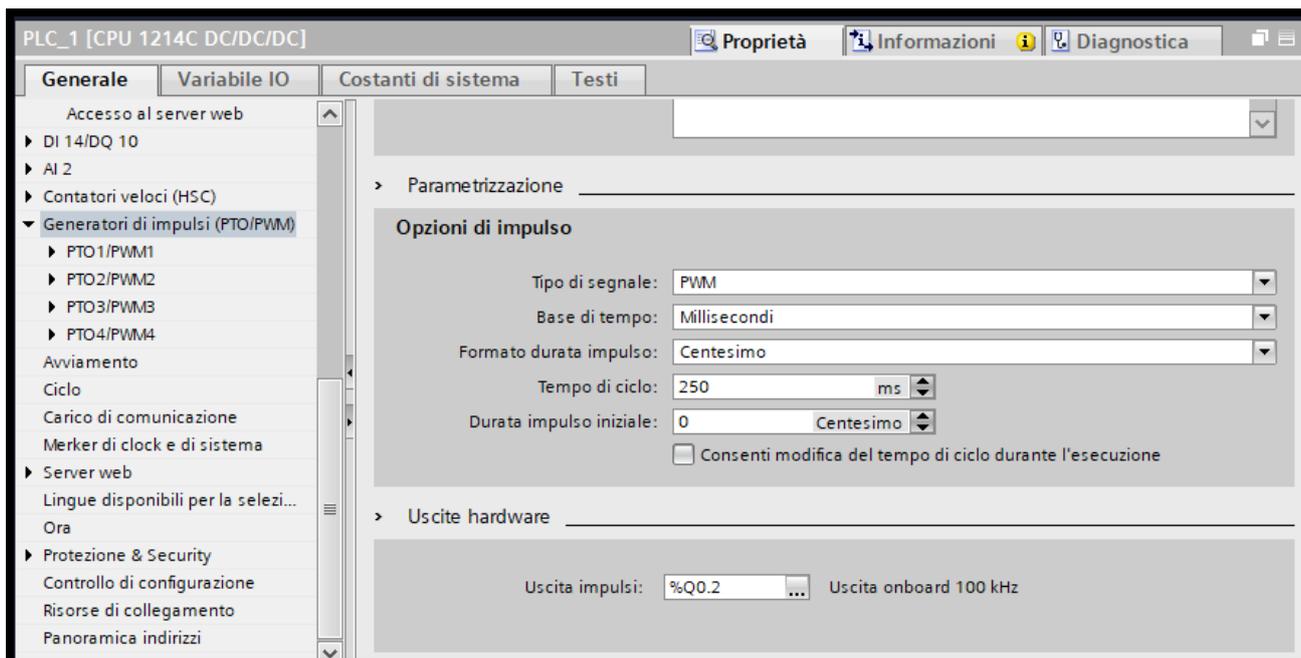


Figura 5.20 Impostazione generatore impulsi_1

Utilizzeremo due impulsi per inserirli all'interno di una particolare istruzione, il blocco in questione si chiama "*CTRL_PWM*", il cui compito è quello di generare un'uscita con tempo ciclo fissa, ed un duty cycle che cambia di conseguenza. In particolare, in ingresso a questo blocco inseriremo due parametri:

- PWM, è un identificativo in cui vengono inseriti i nomi degli impulsi precedentemente attivati;
- Enable, è un booleano che assume valore 1 per attivare il generatore, 0 viceversa.

Il segnale di uscita contenente la durata dell'impulso, precedentemente impostata, viene inserita all'interno di una variabile di uscita (nel nostro caso sono le "*Q0.2*" e "*Q0.3*"). Tali uscite sono uniche, cioè non utilizzabili per altri scopi all'interno del programma.

Per quanto riguarda il Ladder, come nei precedenti casi, nel blocco principale troviamo il blocco funzione di lettura del segnale, segue, similmente al caso del Paragrafo 4.2, la creazione del massimo errore ottenibile in base alla posizione dell'attuatore, necessario per la generazione del PWM. I primi tre segmenti, riguardanti le operazioni sopra descritte, non vengono riportati. Viene riportato in Fig. 5.21 il segmento numero 4, il cui compito è quello di attivare uno dei segnali "*M8.0 (Carico)*" o "*M8.1 (Scarico)*", utilizzati per l'attivazione di uno dei blocchi "*DB3 (CTRL_PWM)*", vedi Fig. 5.22. Tali blocchi, all'arrivo del comando di attivazione, genereranno un segnale analogico proporzionale al duty cycle, per il funzionamento delle valvole.

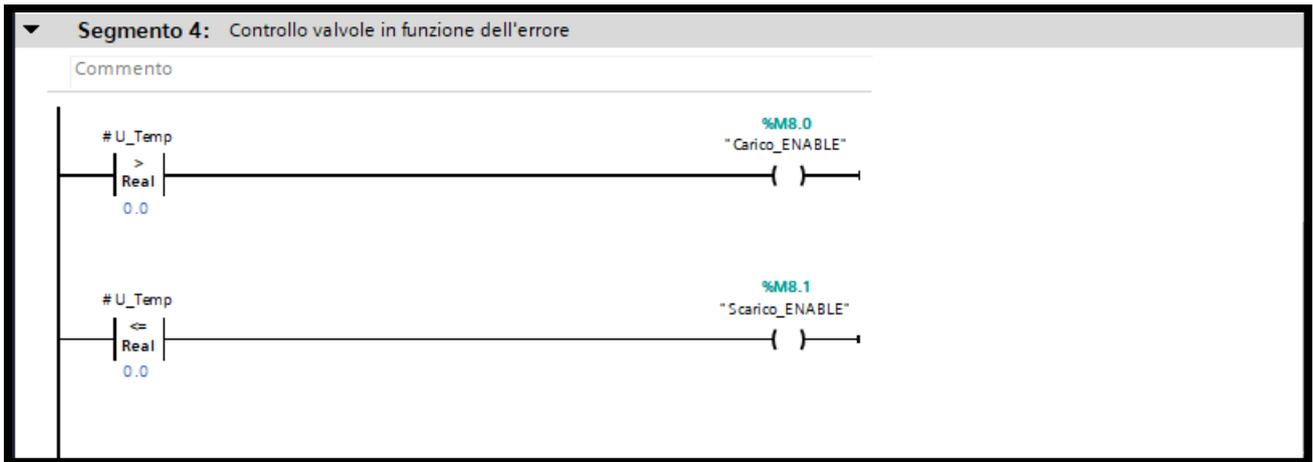


Figura 5.21 Ladder seconda prova PWM_1

All'interno del blocco "Cyclic interrupt" troviamo un blocco istruzione "MOVE" (Fig.5.22), che ha il compito di trasferire il segnale "MD48 (Time_ON)" in una delle uscite "%QW1008 (Carico)" o "%QW1002 (Scarico)".

Per generare un blocco "Move" con due uscite, basta semplicemente cliccare col tasto destro del mouse direttamente sul blocco e selezionare tra le voci del menu "Inserisci Uscita".

Gli indirizzi precedentemente citati possono essere cambiati, ma l'obiettivo principale di quest'ultimi è, determinare la cosiddetta "Durata dell'impulso iniziale". Per essere più chiari, il "Tempo ciclo" comprende sia la fase ON che OFF del PWM, la "Durata dell'impulso", che rappresenta la fase ON del PWM, è data dal prodotto tra il "Tempo ciclo" e la "Durata dell'impulso iniziale". Questo spiega il perché in presenza dell'errore massimo il duty cycle è massimo, ma avvicinandoci al setpoint quest'ultimo diminuisce.



Figura 5.22 Ladder seconda prova PWM_2

Seguono, in Fig. 5.23, i due segmenti necessari per il controllo delle camere, in cui vengono inseriti i blocchi per la generazione degli impulsi, entrambi attivati mediante il commutatore "10.4 (CM1)".

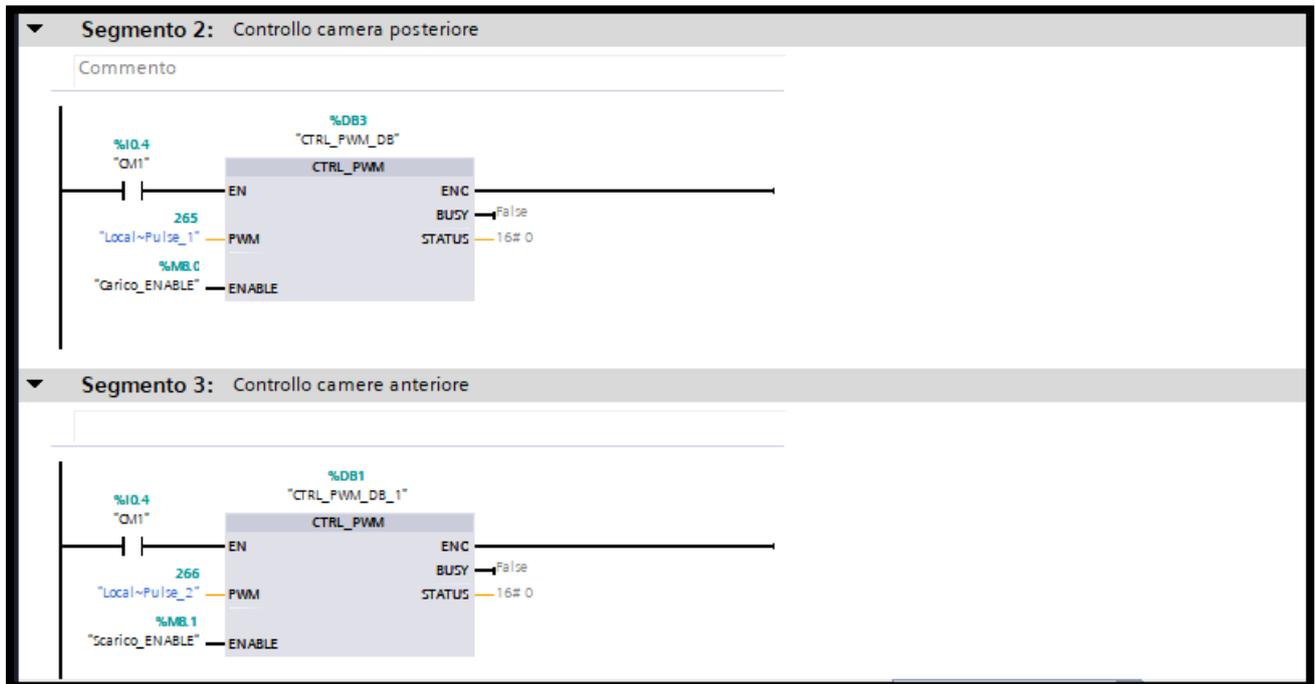


Figura 5.23 Ladder seconda prova PWM_3

Sono state effettuate tre prove, con tre periodi differenti. La prima impressione rispetto alla precedente valvola, utilizzando il medesimo sistema di controllo, è stata ottimale. Seguono la Fig.5.24 e 5.25 per la risposta dinamica del sistema e la Tabella 5.6 riassuntiva di tale prova.

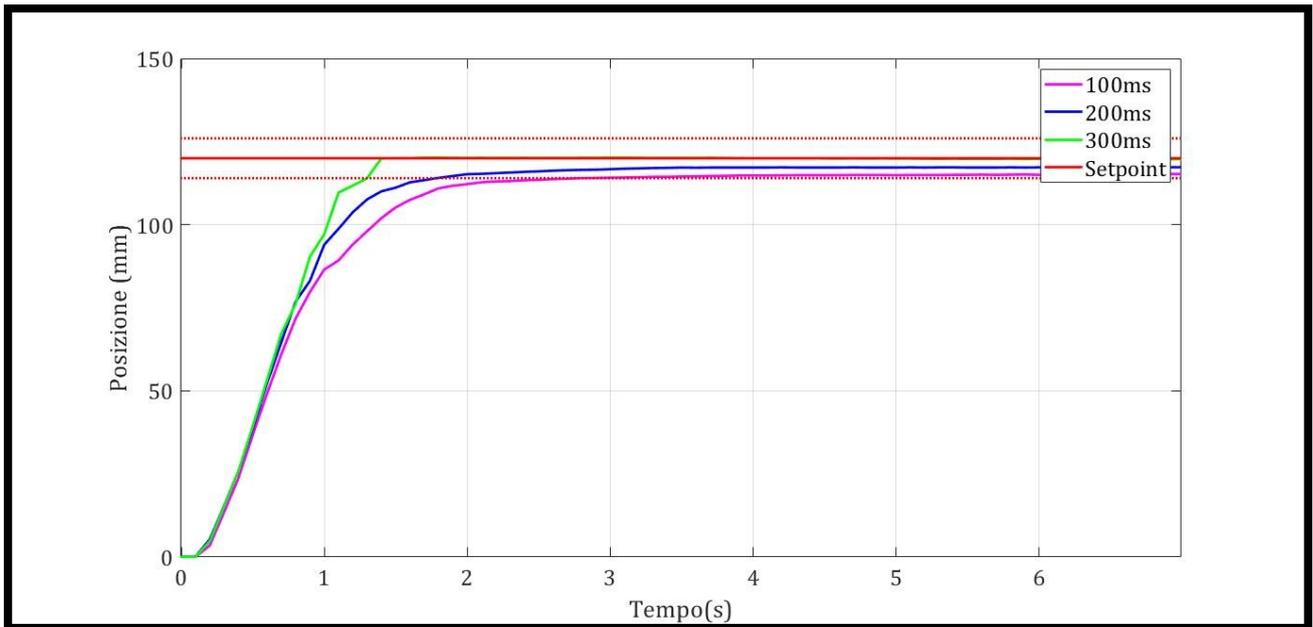


Figura 5.24 Andamento posizione prova PWM con periodi differenti

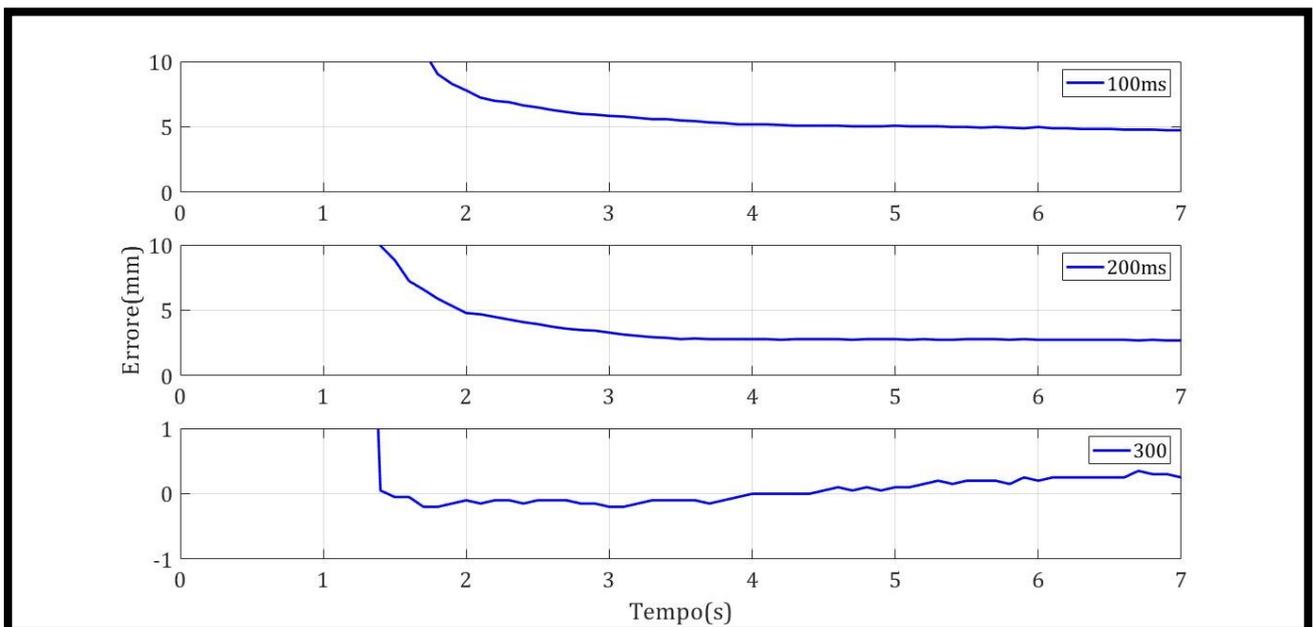


Figura 5.25 Andamento errore prova PWM con differenti periodi

Periodo	Ta (s)	Errore massimo (mm)
100 ms	2.8	4.9
200 ms	1.8	2.8
300 ms	1.3	0.34

Tabella 5.6 Tabella riassuntiva prova PWM

Visionando i grafici si nota come al diminuire del periodo del ciclo, l'attuatore non riesce a raggiungere con precisione il setpoint, anche con margini notevoli, poiché le valvole hanno una frequenza sotto al quale non rispondono più, conseguentemente al diminuire dell'errore, quando il duty cycle è molto piccolo, essendo esso proporzionale all'errore, la valvola smette di funzionare.

5.2.2 PWM controllato da PID

Come nel caso della valvola 5/3 è stato implementato un codice nel quale il metodo del PWM fosse migliorato con l'ausilio di un controllore PID, le immagini successive mostrano il contenuto del blocco utilizzato, che è del tipo "Cycle Interrupt" con tempo di scansione 50ms. Per quanto riguarda il blocco principale, è il medesimo della precedente prova.

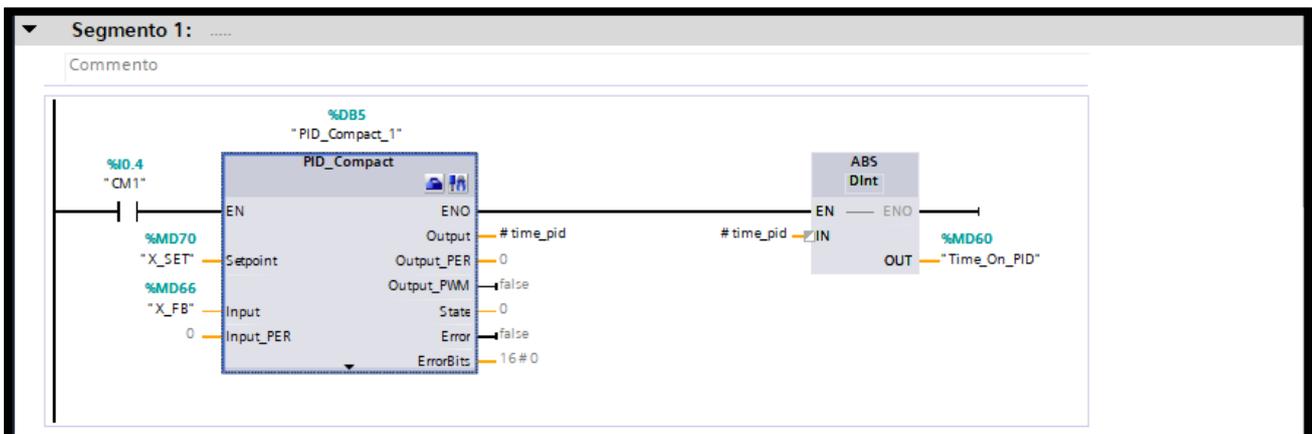


Figura 5.26 Ladder prova PWM con PID_1

In questo caso sarà l'uscita del PID ad essere trasferita nelle variabili di uscita "%QW1008 (Carico)" o "%QW1002 (Scarico)".

Le prove che susseguono, riprendono la logica utilizzata in precedenza, si inizia col variare il Kp, dopodiché, mantenendo fisso un parametro si variano sia il Kd che il Ki. Come ulteriore step è stato utilizzato il metodo di taratura di Ziegler-Nichols, successivamente spiegato dettagliatamente.

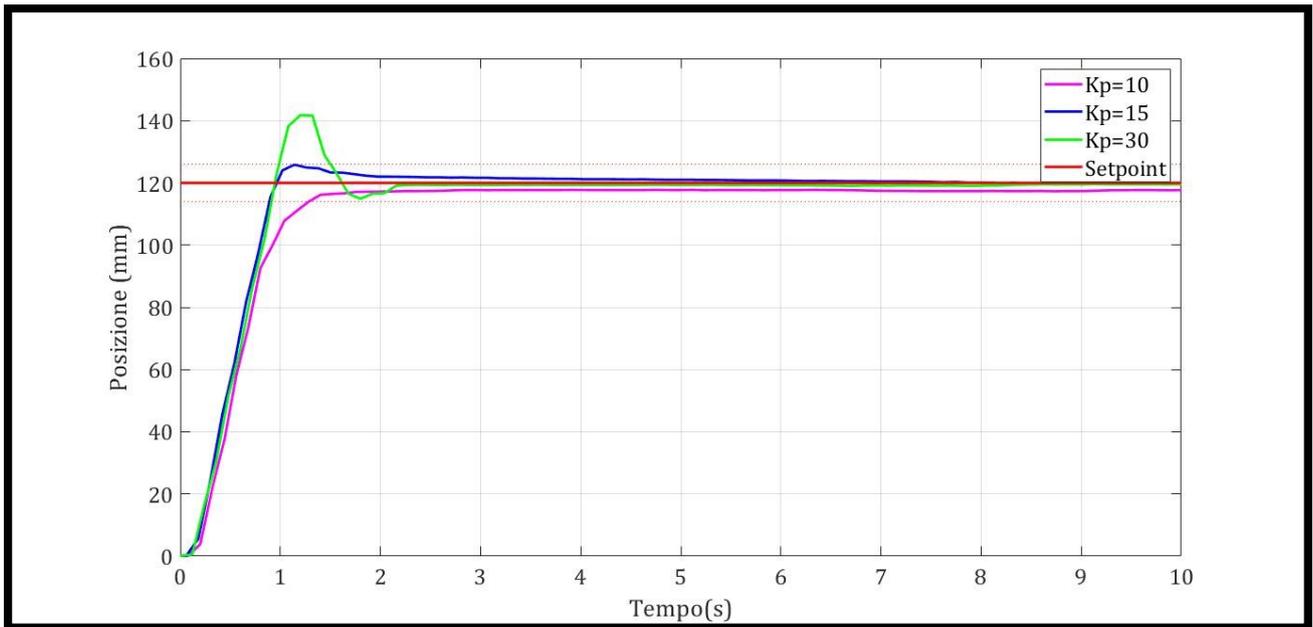


Figura 5.27 Grafico posizione prova PWM con PID al variare del Kp

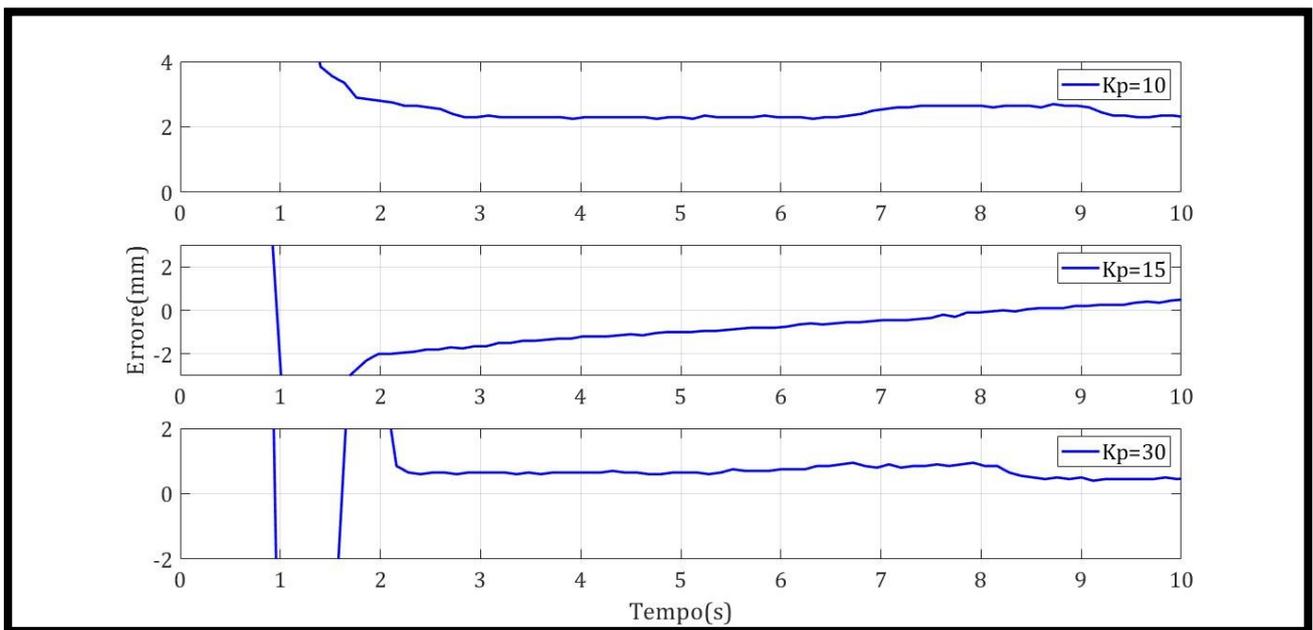


Figura 5.28 Grafico errore prova PWM con PID al variare del Kp

Kp / Parametri	Ta (s)	Errore massimo (mm)
10	1.32	2.2
15	1.2	0.39
30	1.56	0.34

Tabella 5.7 Tabella riassuntiva prova PWM con PID al variare del Kp

Si nota che al variare del K_p , la prontezza del sistema aumenta all'aumentare di tale parametro, ma come possiamo notare nella Fig. 5.27, per K_p relativamente bassi il sistema non presenta alcuna sovraelongazione, mentre per $K_p = 30$, pur il sistema essendo più reattivo, presenta una sovraelongazione, pertanto si conclude che aumentando tale parametro si incorre ad instabilità. Gli errori sono molto bassi, una tabella riassuntiva ne mostrerà i risultati.

Mantenendo il K_p pari a 15, viene valutato il sistema al variare del K_d , in particolare, all'aumentare di tale parametro il sistema diventa più preciso, ma il tempo di assestamento aumenta. La figura e la tabella successiva daranno maggiori chiarimenti.

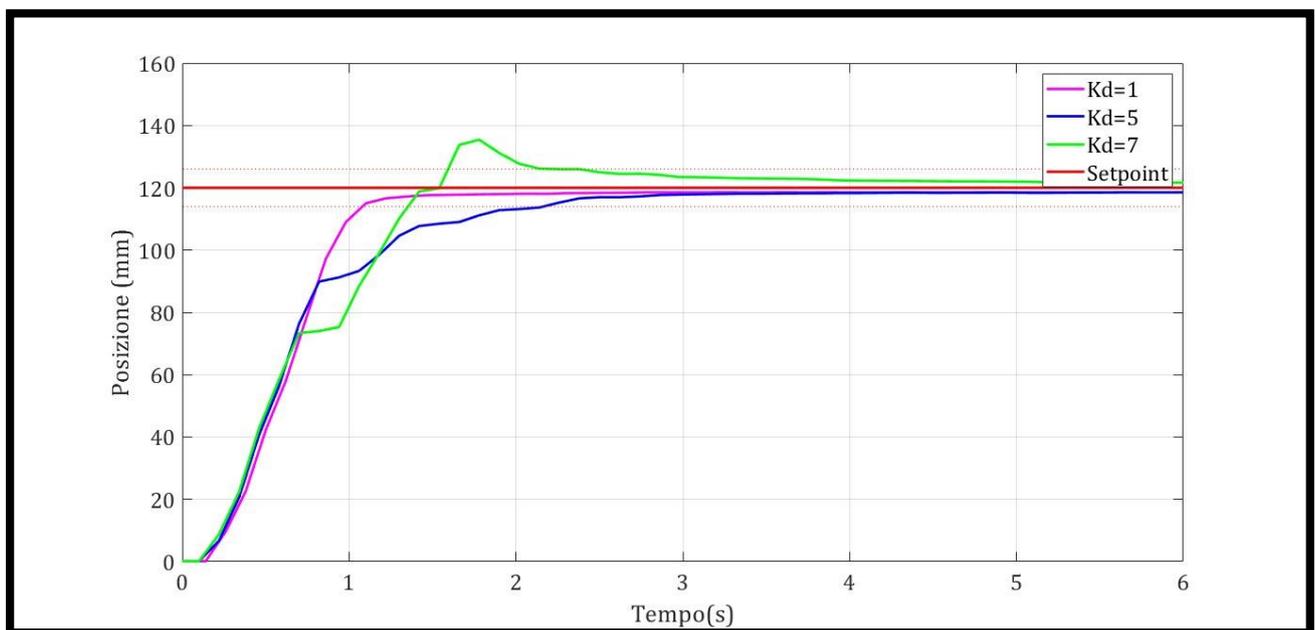


Figura 5.29 Grafico posizione prova PWM con PID al variare del K_d

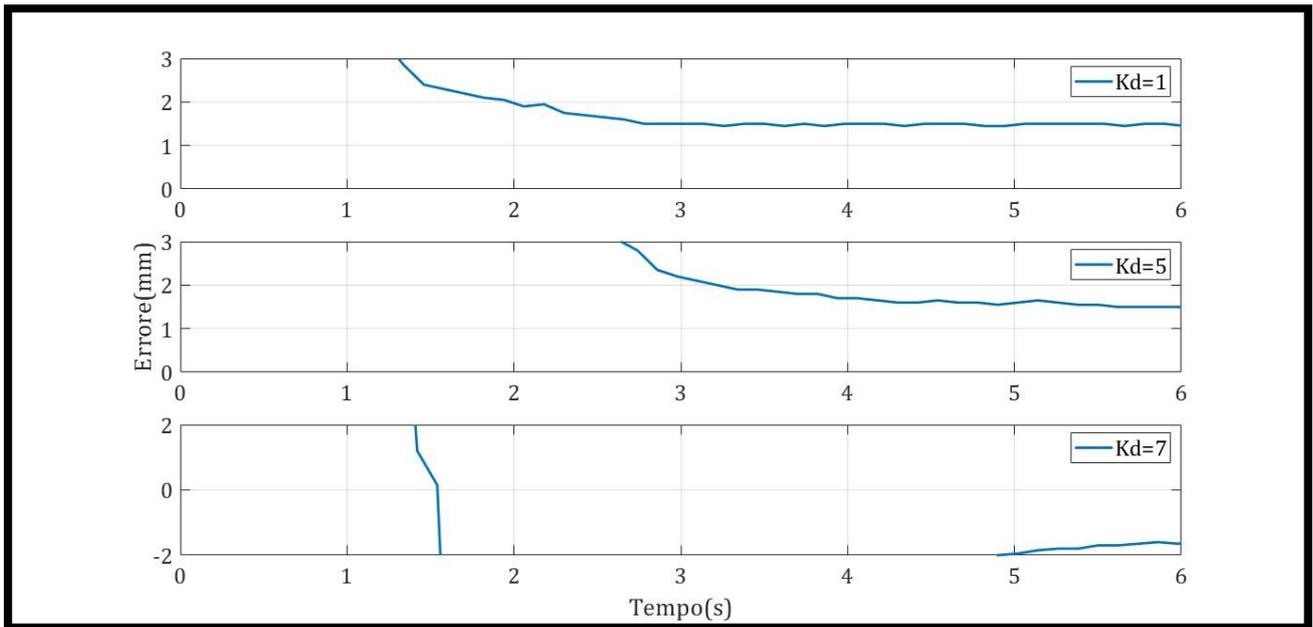


Figura 5.30 Grafico errore prova PWM con PID al variare del Kd

Kd / Parametri	Ta (s)	Errore massimo (mm)
1	1.2	1.41
5	2.06	1.5
7	2.18	0.5

Tabella 5.8 Tabella riassuntiva prova PWM con PID al variare del Kd

Infine notiamo che al variare del Ki, il sistema reagisce in maniera simile a tutti i valori inseriti, abbiamo un leggero miglioramento dell'errore all'aumentare di esso. Le figure seguenti e la tabella successiva riassumo tali aspetti.

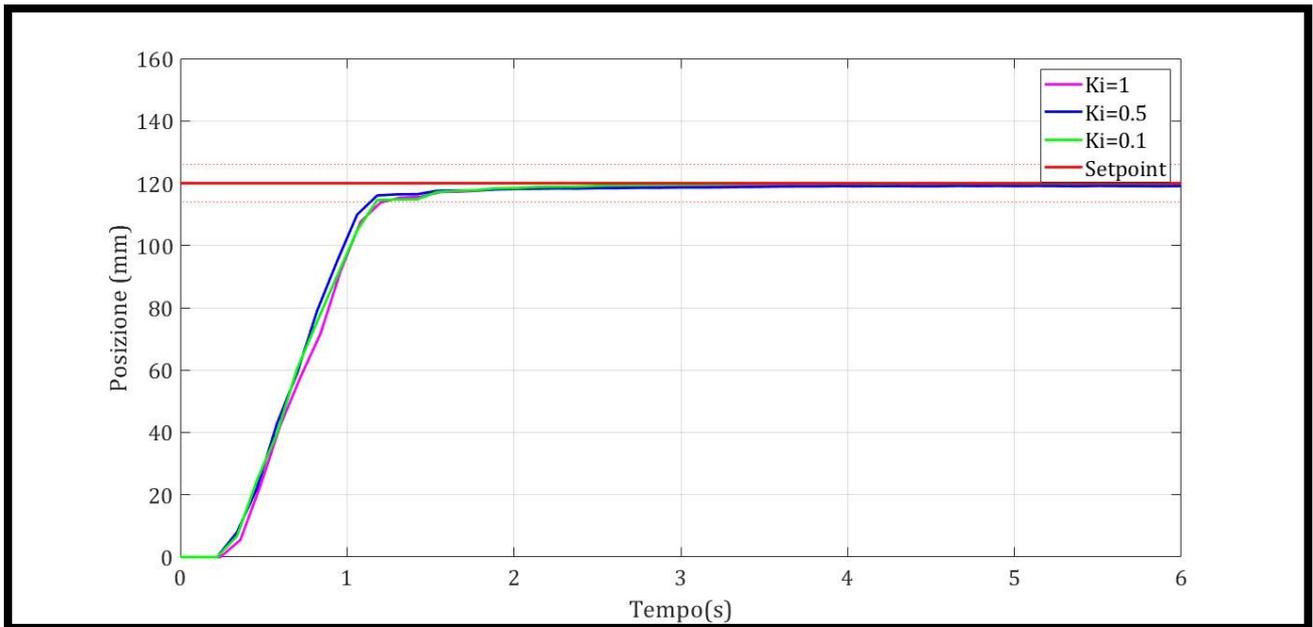


Figura 5.30 Grafico posizione prova PWM con PID al variare del K_i

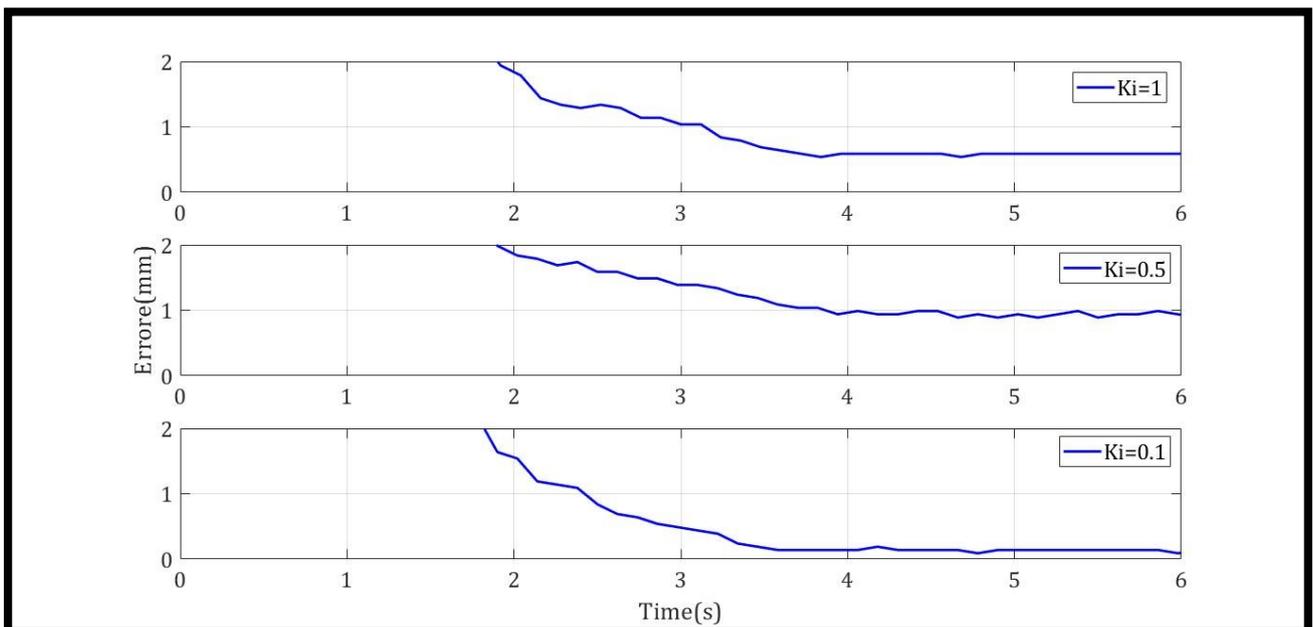


Figura 5.31 Grafico errore prova PWM con PID al variare del K_i

K_i / Parametri	T_a (s)	Errore massimo (mm)
1	1.2	0.53
0.5	1.2	0.83
0.1	1.2	0.13

Tabella 5.9 Tabella riassuntiva prova PWM con PID al variare del K_i

Come citato in precedenza, come ultimo step useremo il metodo di taratura di Metodo di Ziegler-Nichols in anello chiuso per testare le valvole. Per applicare tale metodo è necessario seguire i seguenti passaggi [11]:

- 2.1 nel sistema di controllo ad anello chiuso si portano a zero i coefficienti K_p , K_d e K_i ;
- 2.2 si aumenta gradatamente il valore del coefficiente proporzionale K_p finchè la risposta ad una minima perturbazione a gradino dell'ingresso comporta un'oscillazione permanente dell'uscita;
- 2.3 in tali condizioni, al limite dell'instabilità, si registrano il guadagno proporzionale K_{p0} ed periodo delle oscillazioni T_0 . I parametri dei controllori proposti da Ziegler e Nichols si ricavano mediante le formule della seguente tabella.

Tale metodo non si può utilizzare per quei sistemi che, se portati alla soglia dell'instabilità, possono provocare danni.

	Kp	Ti	Td
P	0.5 K_{p0}	-	-
PI	0.45 K_{p0}	$T_0/1.2$	-
PID	0.6 K_{p0}	$T_0/2$	$T_0/8$

Tabella 5.10 Formule calcoli parametri controllore [11]

Dopo aver variato il K_p , è stato individuato un K_{p0} pari a 65 e un tempo di oscillazione T_0 pari a 1.245 s. Da cui seguendo le seguenti formule inverse, otteniamo la Tab. 5.11.

$$T_i = \frac{k_p}{k_i};$$

$$T_d = \frac{k_d}{k_p}$$

	Kp	Ki	Kd
P	32.5	-	-
PI	29.25	31.33	-
PID	38.35	68.48	5.46

Tabella 5.11 Tabella valori finali Z-N

I risultati sottostanti mostrano un confronto tra i tre metodi analizzati da tale metodo, mettendo in evidenza quanto il controllore PID sia il migliore tra i tre. Anche gli errori sono molto bassi.

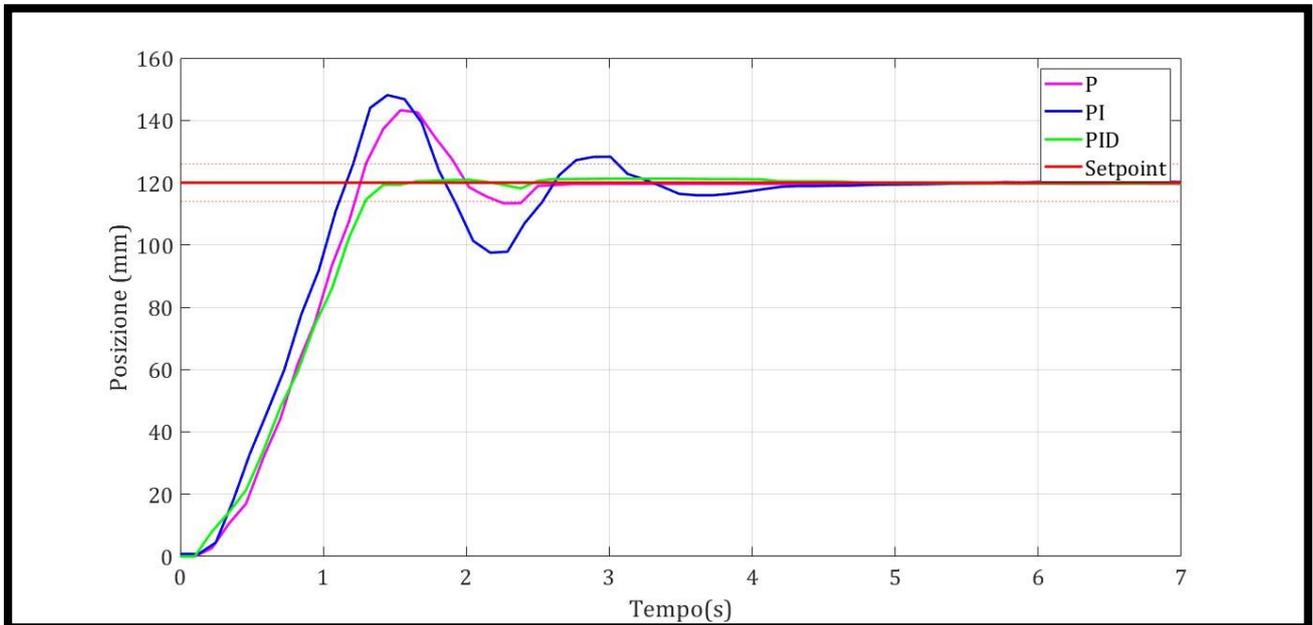


Figura 5.32 Grafico posizione prova PWM con PID con metodo Z-N

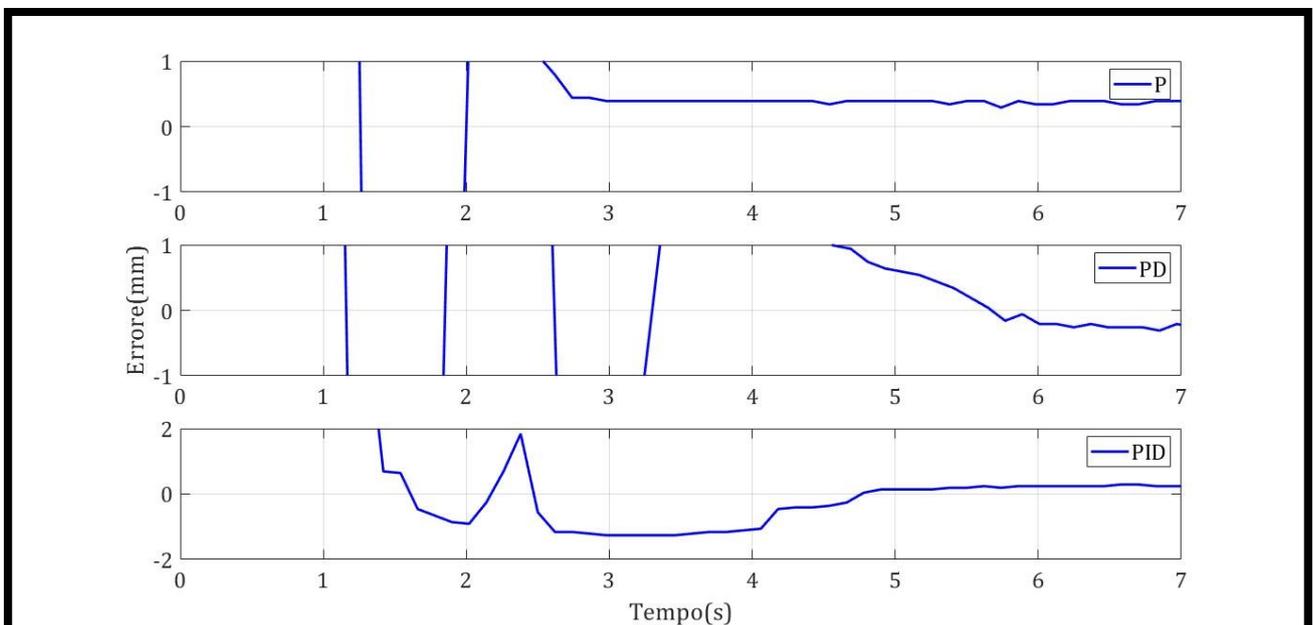


Figura 5.33 Grafico errore prova PWM con PID con metodo Z-N

Tipo di controllo	Ta (s)	Errore massimo (mm)
P	2.48	0.28
PI	3.1	0.25
PID	1.3	0.23

Tabella 5.12 Tabella riassuntiva prova PWM con PID con metodo Z-N

5.3 Valvole proporzionali Serie AP comandate tramite controllo elettronico

In questo paragrafo vengono mostrate alcune prove effettuate sul banco, partendo dalla vecchia configurazione (Paragrafo 5.2) ed implementandola. È stato collegato al PLC un modulo aggiuntivo descritto nel Paragrafo 3.1.4, al fine di aggiungere due ulteriori uscite analogiche. Tali uscite verranno opportunamente collegate a dei dispositivi elettronici consentendo il pilotaggio di una qualsiasi valvola proporzionale con corrente massima di 1 A, convertendo un segnale di ingresso standard (0-10V o 4-20 mA) in un segnale PWM per ottenere in uscita al solenoide una corrente proporzionale al segnale di ingresso. Le immagini successive mostrano i collegamenti effettuati, mentre, la logica di sistema che regolava le fasi di carico e scarico con coppie di valvole è rimasta invariata.

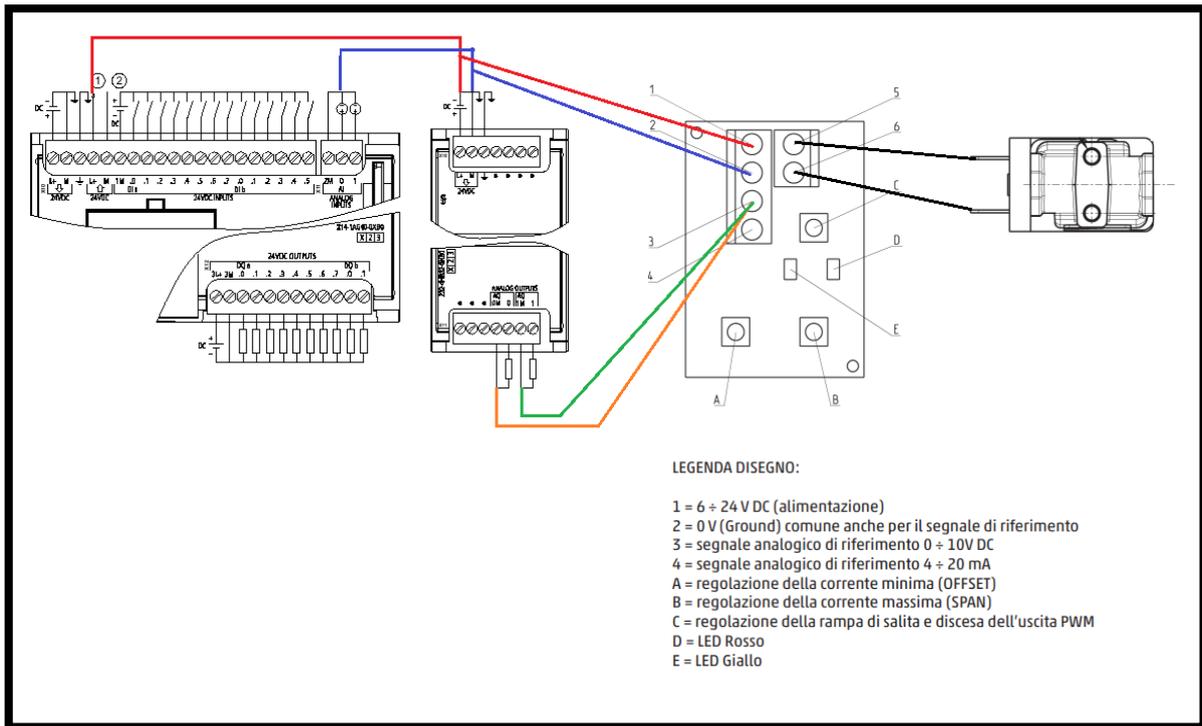


Figura 5.34 Collegamenti fisici per i controllori elettronici

In breve, il sotto modulo viene alimentato tramite una 0-24V prelevata dal PLC. Le stesse uscite vengono utilizzate per alimentare i quattro driver utilizzati per la prova. Vedi schema Fig. 5.34.

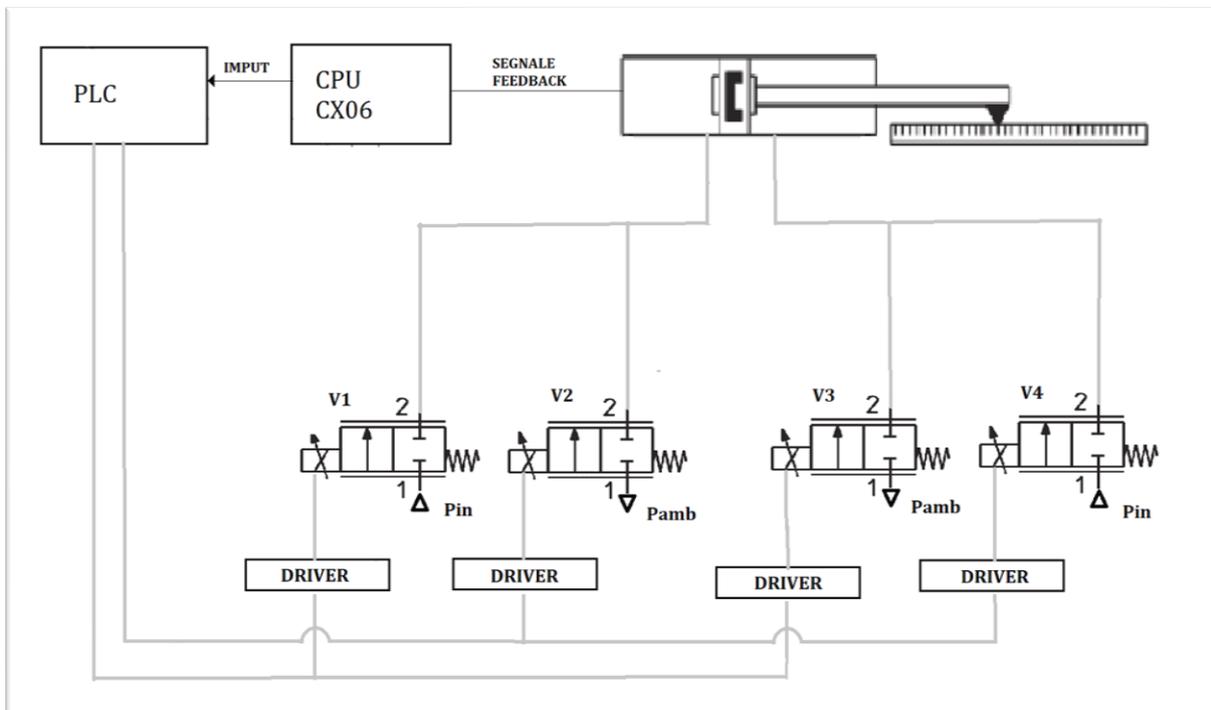


Figura 5.35 Schema prova con valvole proporzionali pilotate da dispositivi elettronici

5.3.1 Generazione duty cycle tramite dispositivo elettronico

In questo paragrafo vengono mostrati i segmenti di programma implementati su TIA Portal per effettuare le prove successivamente spiegate. Come primo segmento, al solito, troviamo il blocco funzione incaricato nella lettura del segnale di feedback proveniente dall'attuatore. Il segmento numero due, utilizzato in seguito, permette di scegliere tramite un blocco denominato “%MD114 (Select)”, il tipo di segnale che vogliamo generare, in particolare, o un'onda sinusoidale premendo il tasto 1, o un'onda quadra. A questo segue un blocco “MOVE”, attraverso il quale è possibile scegliere il “Setpoint” di partenza di tale funzione, inviata come segnale di ingresso al blocco PID inserito come nei precedenti casi in un Cycle Interrupt.

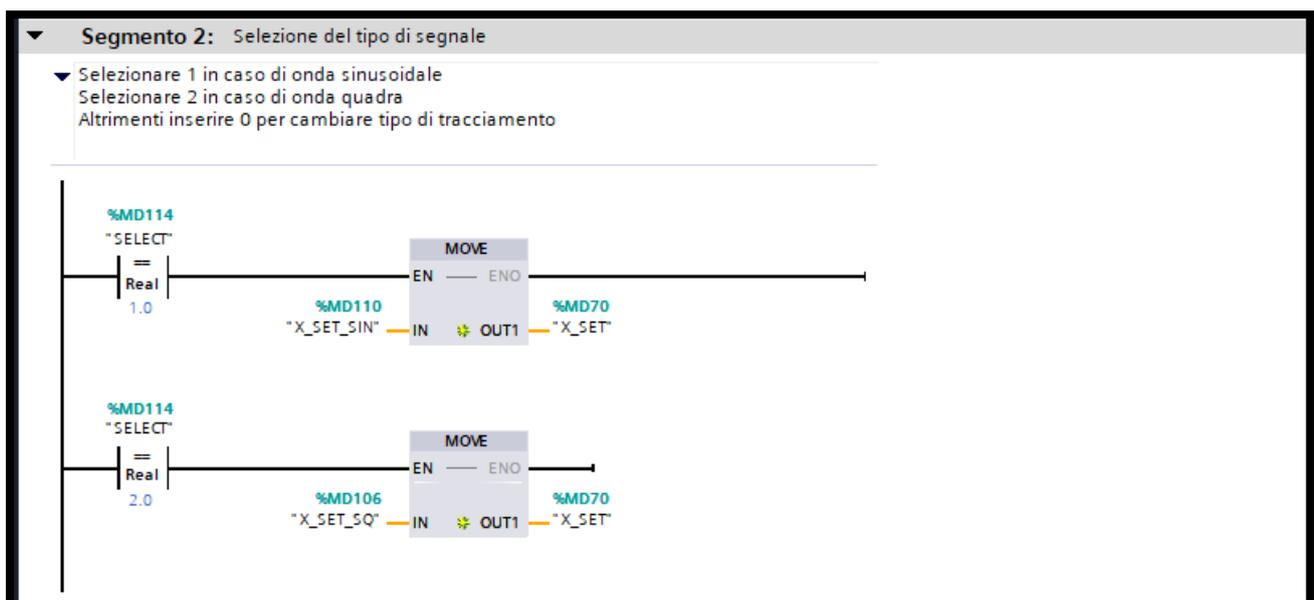


Figura 5.36 Scelta del tipo di segnale

Il segmento numero tre mostra due blocchi, in ingresso riceve l'uscita del PID, il quale viene normalizzato e scalato tra due valori “MIN 9680.0” e “MAX 27648.0”, che rappresentano i valori in bit letti dal PLC, rappresentanti i valori di tensioni 3.5V e 10V. Procedura necessaria poiché le valvole leggono un segnale analogico in ingresso, con tensione minima di 3.5V.

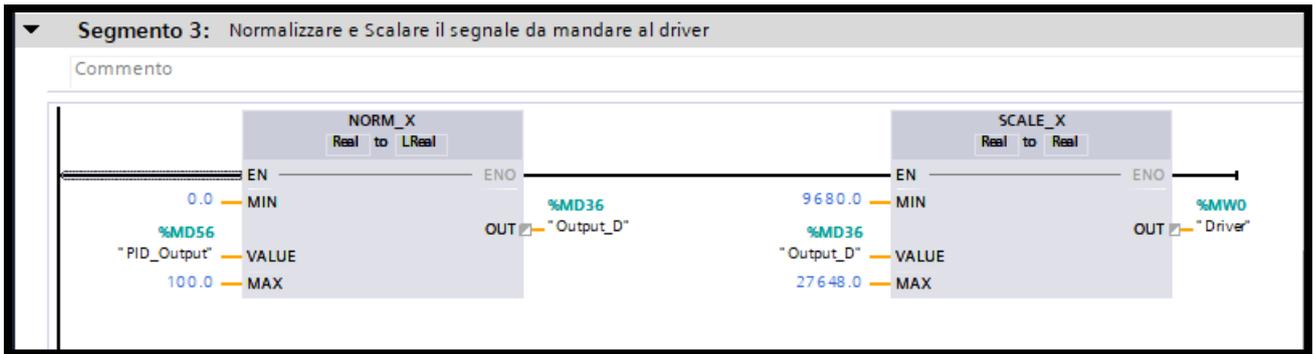


Figura 5.37 Configurazione segnale ingresso driver

Seguono i segmenti 4 e 5, il cui compito è quello di inviare un'azione alle valvole. In particolare, quando la differenza tra setpoint e feedback assume un valore maggiore o minore di 0, si attiva uno dei due rami, azionando le coppie di valvole adibite per la fase di “%QW96 (Carico)” e “%QW98 (Scarico)”. L'errore viene ottimizzato tramite una legge di controllo PID, ricordando che il risultato sarà il segnale di uscita del dispositivo elettronico.

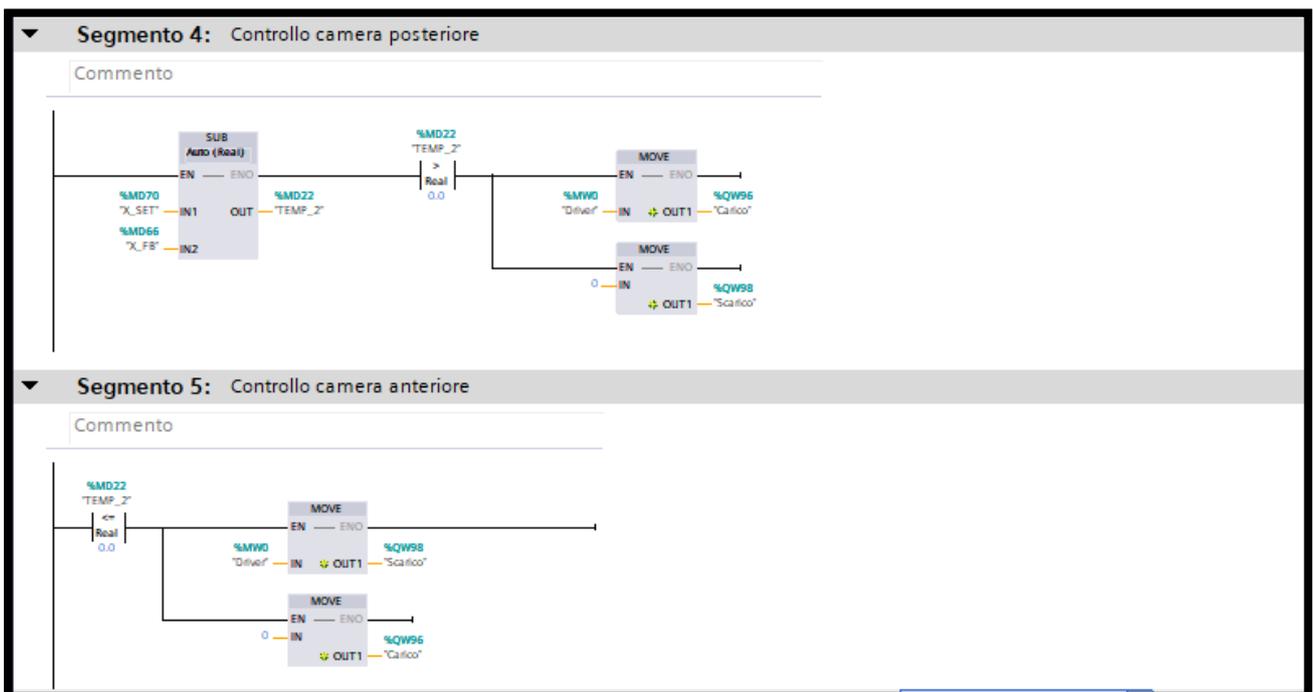


Figura 5.38 Segmenti 4 e 5 prova valvole proporzionali con driver

Le prove successive rispecchieranno quelle fatte in precedenza, tramite un controllore si parte variando il valore del guadagno proporzionale K_p , per poi via cambiare gli altri, visualizzando di volta in volta il comportamento del sistema.

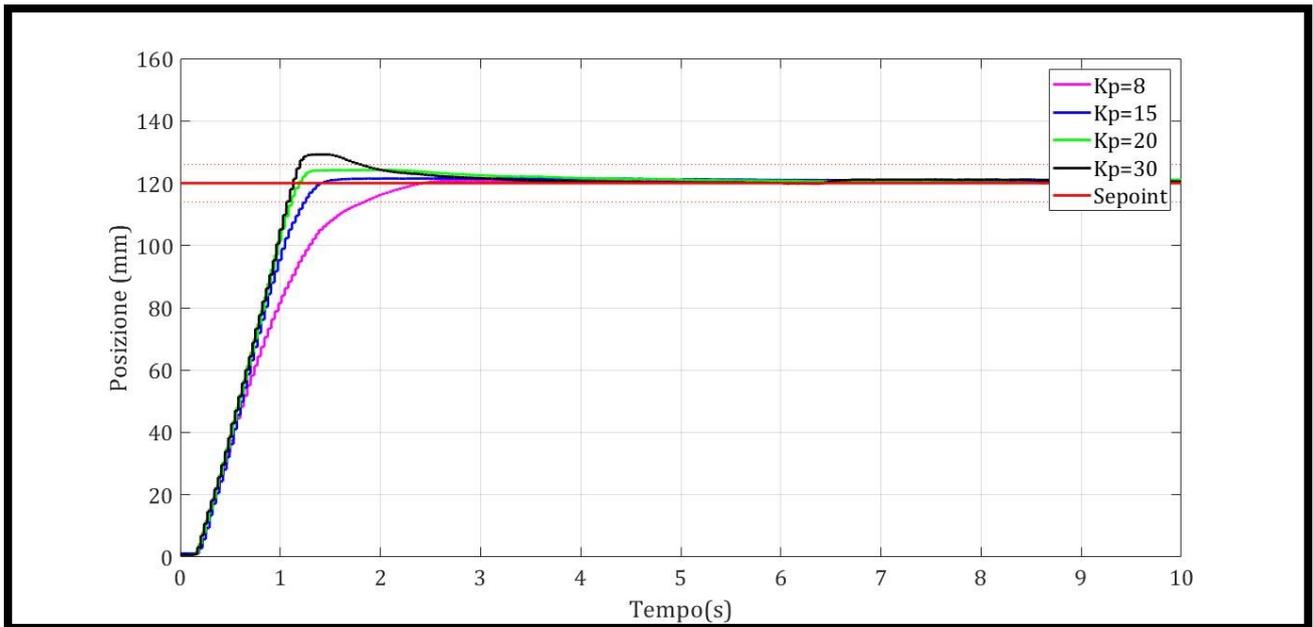


Figura 5.39 Andamento posizione prova con driver al variare del K_p

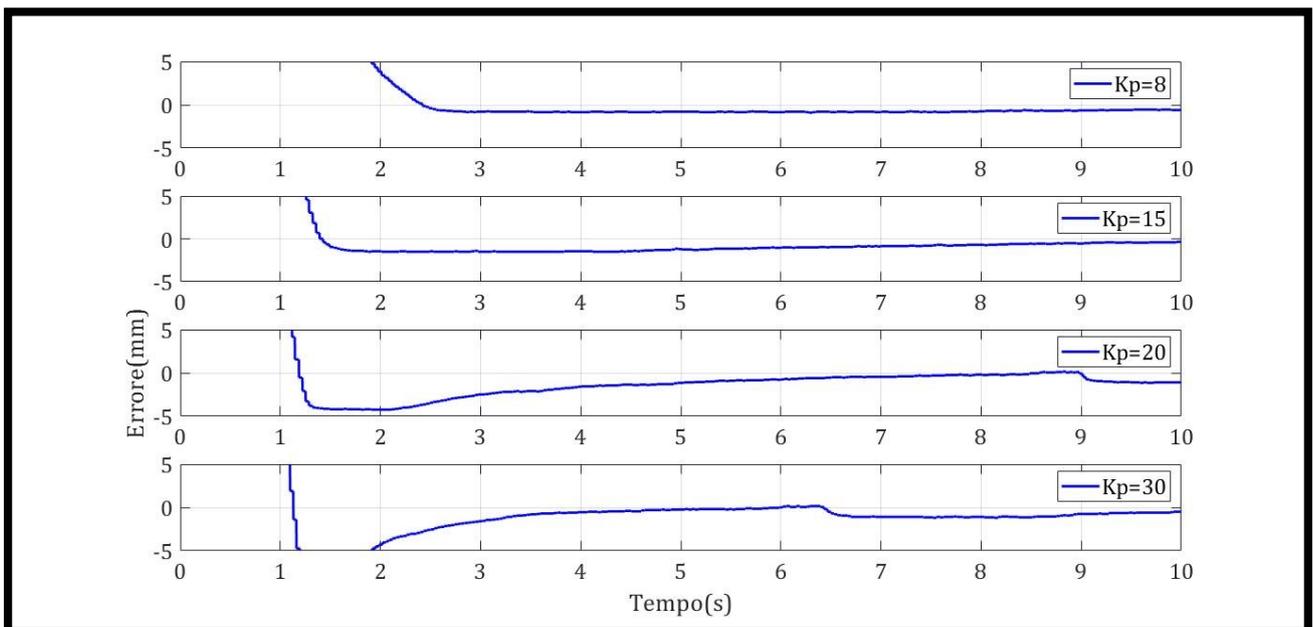


Figura 5.40 Andamento errore prova con driver al variare del K_p

Le Fig. 5.39 e Fig. 5.40 mettono in evidenza la risposta del sistema, dopo aver impostato come al solito un setpoint pari a 12 cm, al variare del parametro K_p . Si nota come all'aumentare di quest'ultimo il sistema diventa più reattivo, per K_p pari a 8 non abbiamo una sovra elongazione, mentre per parametri più elevati, oltre ad aumentare la velocità di risposta e la precisione dell'attuatore, si nota una certa instabilità, lo si vede per esempio per K_p pari 30 dove si ha un accenno di una sovra elongazione. Segue anche una tabella riassuntiva.

Kp / Parametri	Ta (s)	Errore massimo (mm)
8	1.84	0.7
15	1.24	0.4
20	1.12	0.18
30	1.06	0.6

Tabella 5.13 Tabella riassuntiva al variare del Kp

Mantenendo il Kp fisso pari a 20, facciamo variare il valore del guadagno derivativo Kd. Si nota che all'aumentare di tale parametro diminuisce la sovra elongazione, l'errore è molto piccolo, il sistema è più stabile ma diminuisce la sua prontezza. Le Fig 5.41, Fig 5.42 e la Tabella 5.14 riassumono tale prova.

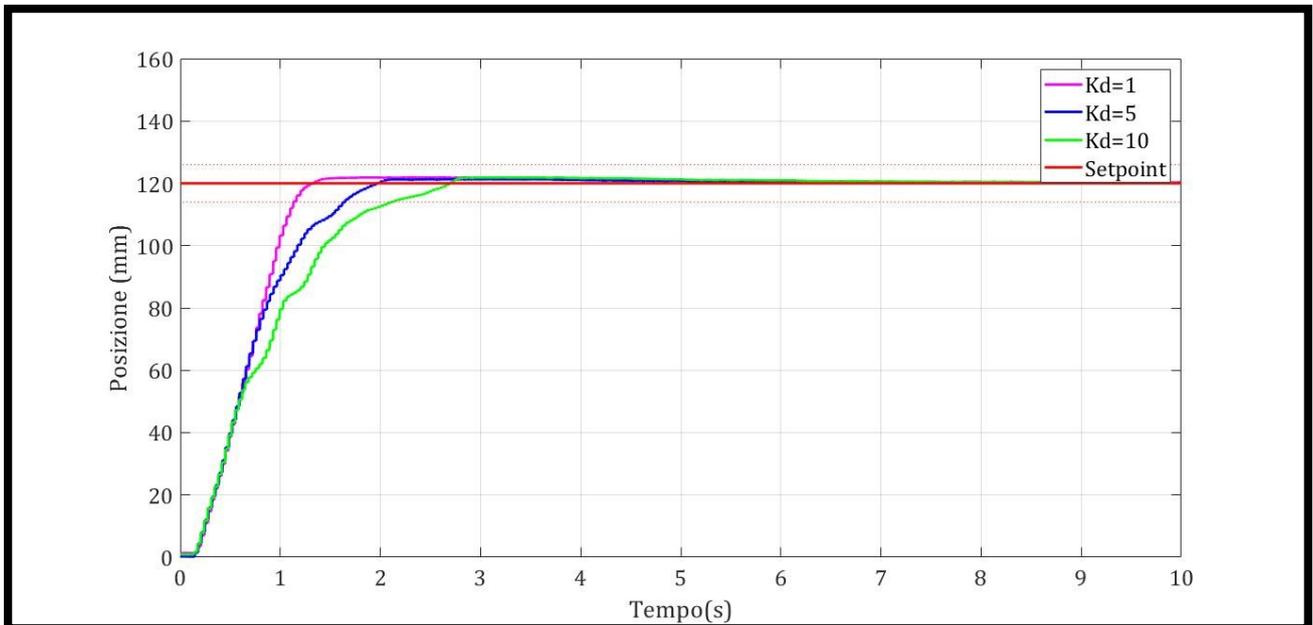


Figura 5.41 Andamento posizione prova con driver al variare del Kd

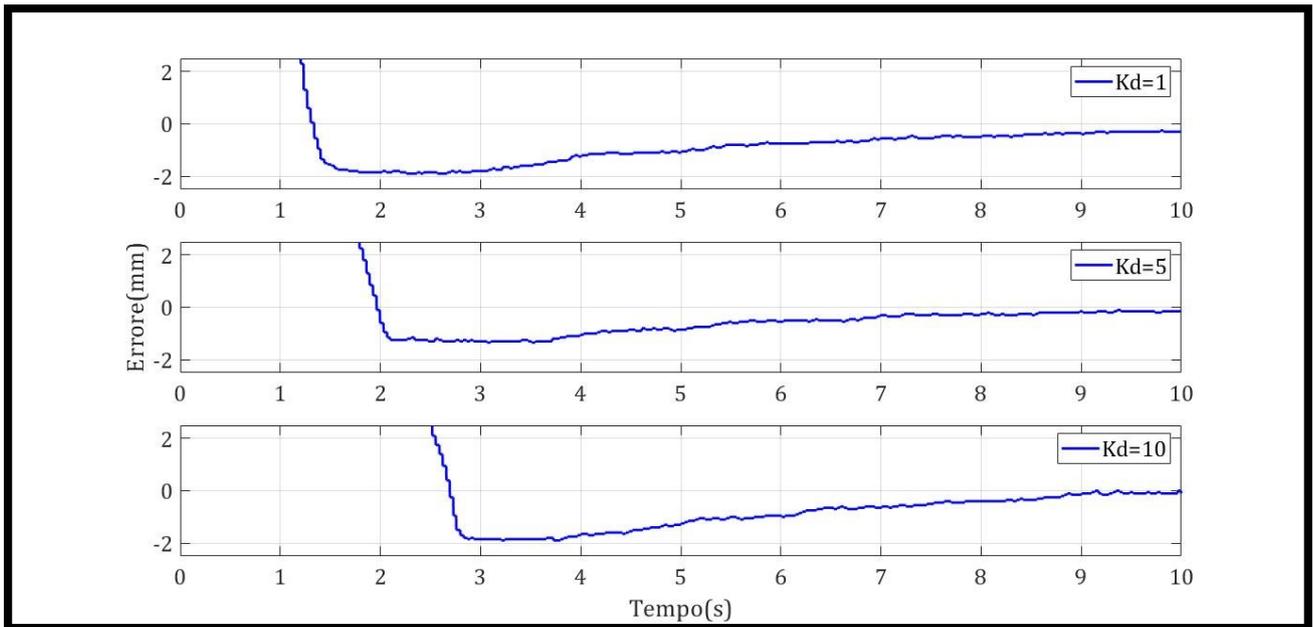


Figura 1.42 Andamento errore prova con driver al variare del K_d

Kd / Parametri	Ta (s)	Errore massimo (mm)
1	1.25	0.3
5	1.66	0.22
10	2.12	0.26

Tabella 5.14 Tabella riassuntiva al variare del K_d

Infine, mantenendo fissi i valori di K_p e K_d , rispettivamente pari a 20 e 5, faccio variare il guadagno integrale K_i . In particolare, all'aumentare di tale parametro entro certi limiti, si azzerava l'errore a regime. Le figure successive mostrano l'andamento del sistema al variare di tale parametro.

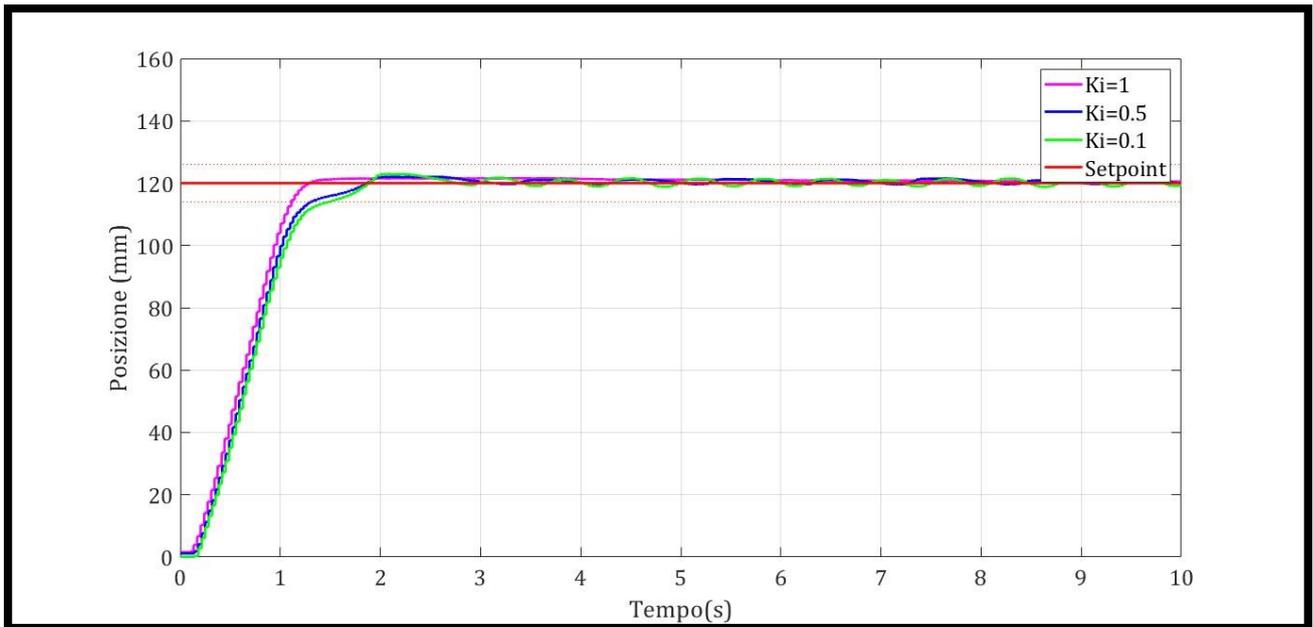


Figura 5.43 Andamento posizione prova con driver al variare del Ki

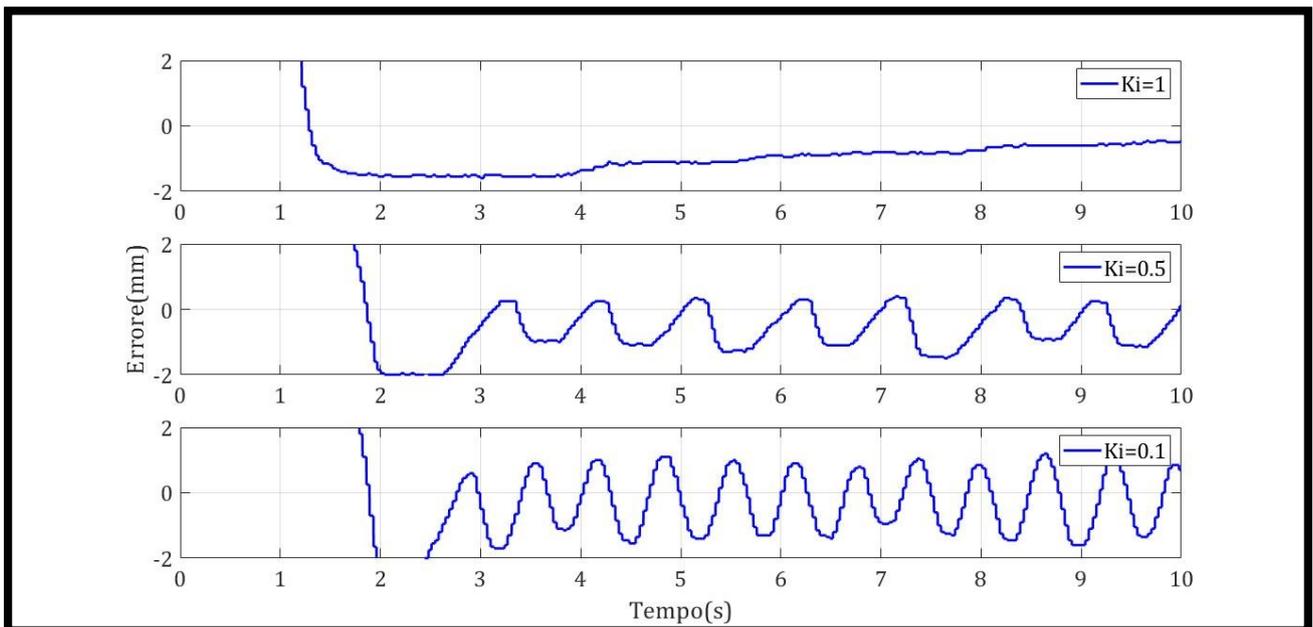


Figura 5.44 Andamento errore prova con driver al variare del Ki

Ki / Parametri	Ta (s)	Errore massimo (mm)
1	1.19	0.4
0.5	1.13	1.2
0.1	1.4	1.1

Tabella 5.15 Tabella riassuntiva al variare del Ki

5.3.2 Generazione funzione sinusoidale

La generazione del segnale sinusoidale è stata affrontata nel Paragrafo 4.4, i test successivi mettono in evidenza come all'aumentare del periodo di oscillazione dell'onda o al diminuire della frequenza, il fenomeno sfasamento diventa più evidente. Tale funzione segue una generica equazione, in cui: chiamato t_d la differenza in termini temporali tra un punto dell'onda e il medesimo di successiva ed essa, è possibile calcolare lo sfasamento ϕ come il prodotto tra la pulsazione ω e t_d . In cui ω è direttamente proporzionale al periodo T come: $\omega = 2\pi / T$.

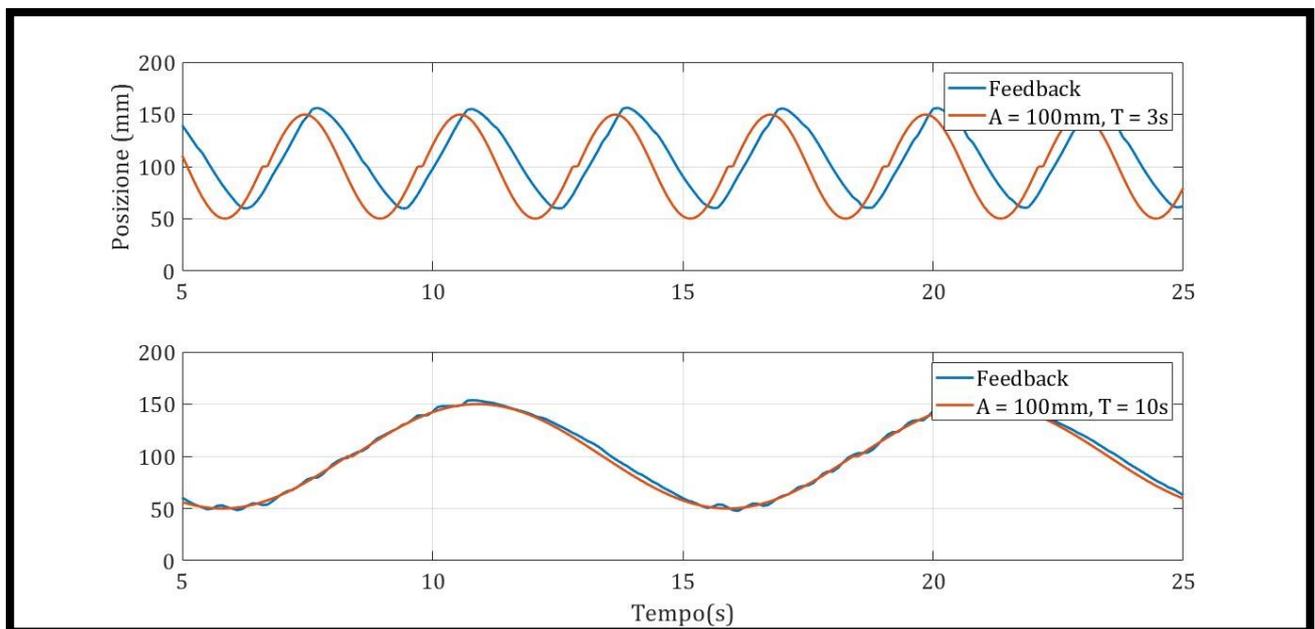


Figura 5.45 Andamento posizione funzione sinusoidale

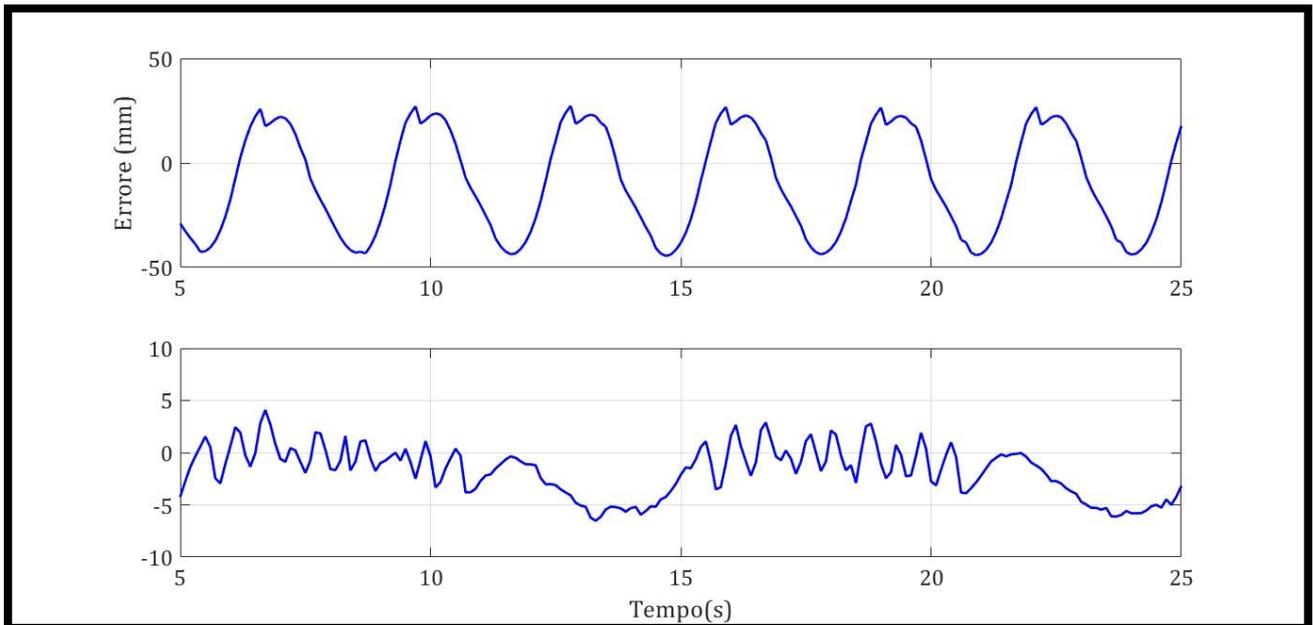


Figura 5.46 Andamento errore funzione sinusoidale

La prima figura mostra una funzione sinusoidale avente un periodo a $T = 3s$ ed un tempo t_d pari a $0.5s$, pertanto eseguendo due semplici calcoli, si ottiene un ritardo pari a sessanta gradi, cioè $\phi = \pi/3$ rad/s. La seconda prova è stata effettuata con un periodo più alto, pari a $10s$, in cui lo sfasamento è quasi nullo.

5.3.3 Generazione funzione d'onda quadra

La generazione del segnale d'onda quadra è stata affrontata nel Paragrafo 4.3, i test successivi, come nel caso precedente, presentano uno sfasamento maggiore all'aumentare del periodo. Seguono due casi eseguiti fissando un'ampiezza di $12cm$ ed un periodo variabile tra 2 e 10 .

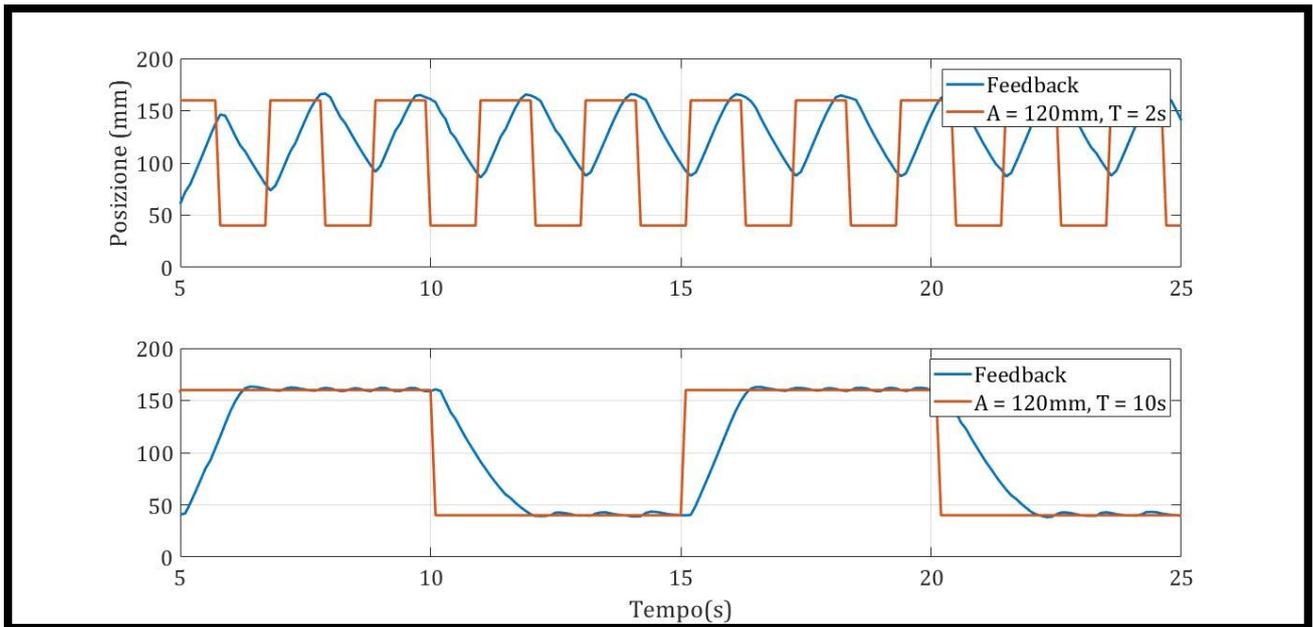


Figura 2.46 Andamento posizione funzione d'onda quadra

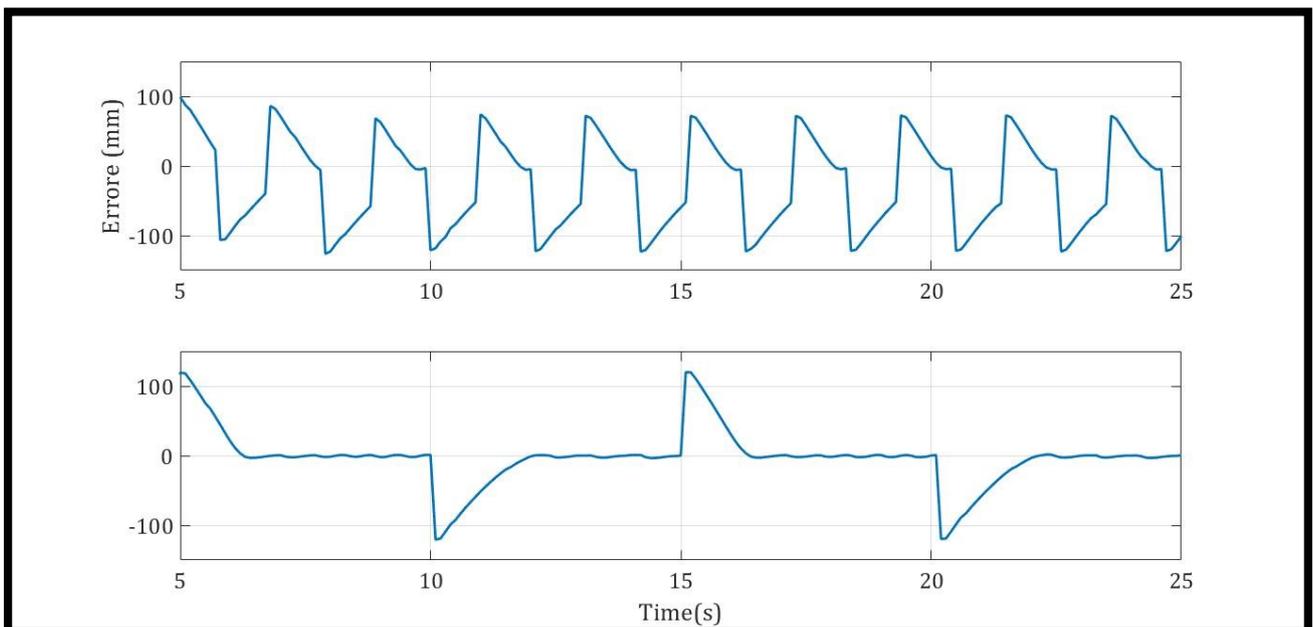


Figura 5.47 Andamento errore funzione d'onda quadra

Come si può notare dalla figura precedente, nella prima prova avente un periodo pari a 2s, data la rapidità del sistema, il segnale di feedback nonché l'attuatore, non riesce nemmeno a raggiungere il segnale di riferimento. Invece, con periodo maggiore come nel secondo caso pari a 10s, l'attuatore resta in posizione fin quando il segnale non cambia di segno, anche l'errore risulta essere molto piccolo.

5.4 Servovalvole serie LRXD e LRWD

Come ultime valvole analizzate troviamo le servovalvole della serie LR, in particolare la LRXD (Master) e la LRWD (Slave). Quest'ultime utilizzano un segnale di input di 0-10V dalla CPU CX06, comandata dal PLC tramite linguaggio ladder. La valvola LRXD, riceve il segnale di feedback proveniente dal cilindro, e in base al metodo di regolazione settato all'interno del programma dedicato (Paragrafo 3.6), gestisce in maniera del tutto autonoma, la quantità di aria da mandare affinché, con l'ausilio della valvola LRWD, l'attuatore possa raggiungere il setpoint nel minor tempo possibile, e con la massima precisione.

Come precedentemente citato, viene riportato il codice ladder per il funzionamento della valvola. In particolare, nel segmento 1, viene letto il segnale di ingresso del sensore "IW64 (Analog Input)", quest'ultimo essendo del tipo analogico, viene normalizzato tra due valori, rappresentanti la conversione in bits del segnale di feedback e poi scalato tra 0 e 20, rappresentanti la corsa in centimetri dell'attuatore.

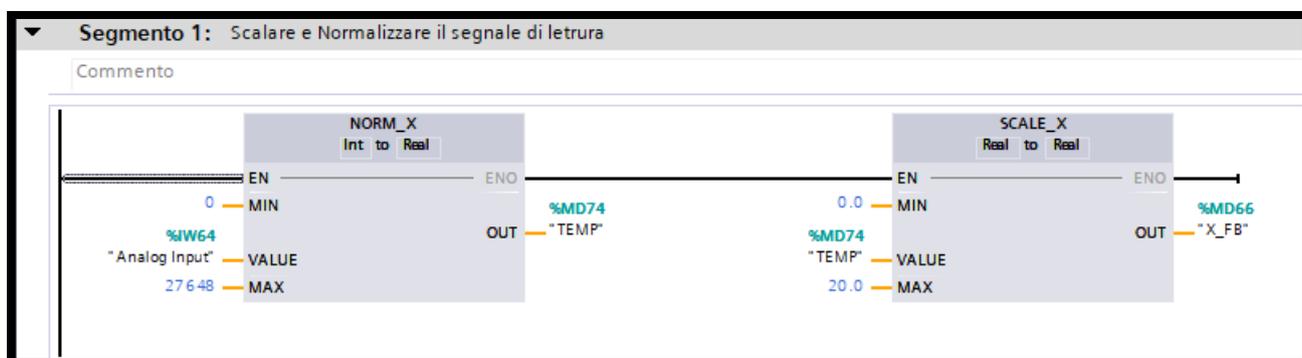


Figura 5.48 Segmento 1 prova con valvole LR

Il segmento 2 viene utilizzato per scegliere la tipologia di segnale di input. Come già trattato in precedenza, tramite un selettore, è possibile scegliere un segnale di riferimento del tipo sinusoidale o una funzione ad onda quadra.

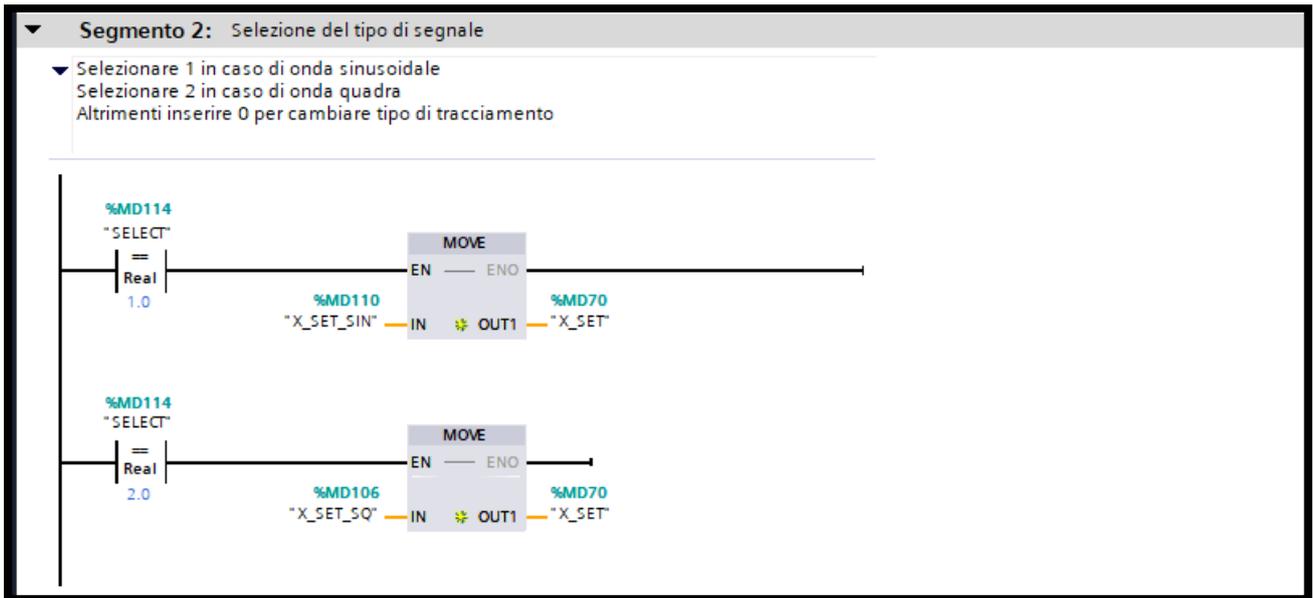


Figura 5.49 Segmento 2 prova con valvole LR

Anche il valore di setpoint deve essere inviato alla LRXD in un formato specifico. Infatti, nel segmento numero 3, il setpoint salvato nella variabile “MD70 (X_SET)”, viene normalizzato tra 0 e 20, rappresentante la corsa dell’attuatore, e successivamente scalato tra 0 e 4096 (valore massimo esprimibile con 12 bit, $2^{12} = 4096$). Poiché il PLC e la CPU CX06 utilizzano una codifica differente, precedentemente spiegata nel Paragrafo 3.2, abbiamo bisogno del blocco ROR per sistemare il tutto.

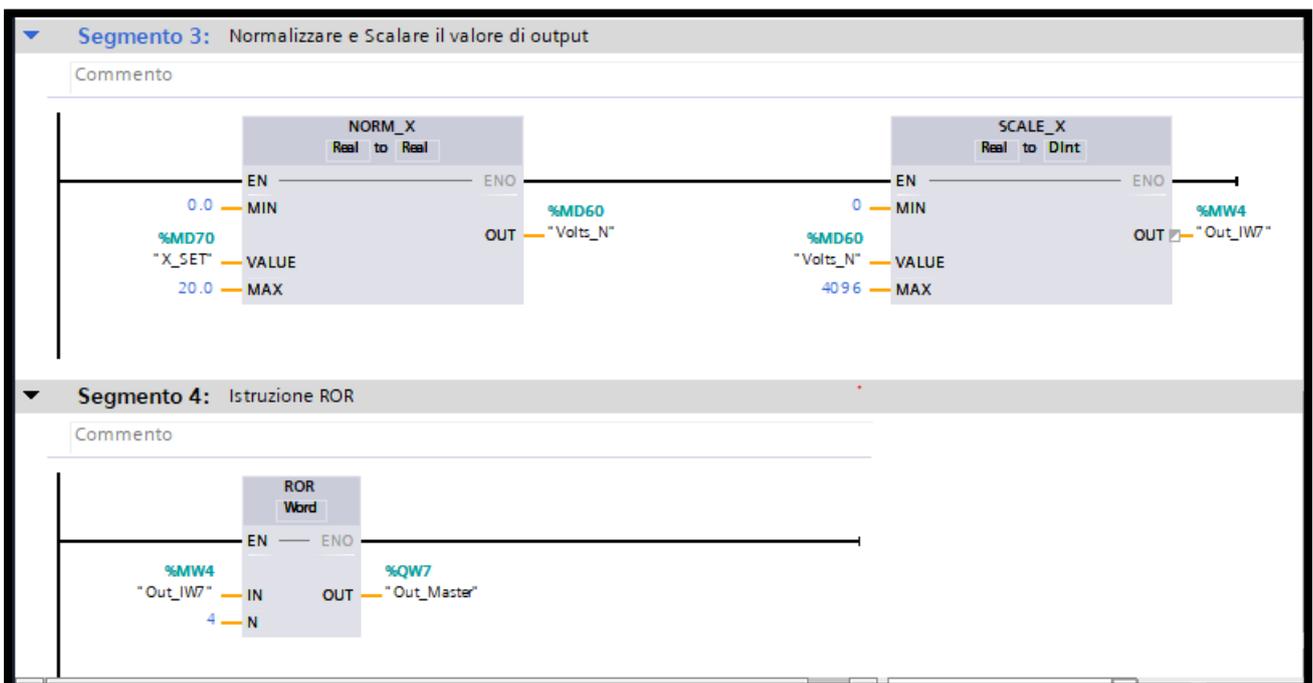


Figura 5.50 Segmenti 3 e 4 prova con valvole LR

5.4.1 Configurazione Master – Slave

La configurazione Master – Slave, Fig. 5.51, consiste nel collegare alla camera posteriore del cilindro la LRXD (Master) e alla camera anteriore la LRWD (Slave), riuscendo così a gestire indipendentemente i flussi d'aria delle due camere. Dallo schema elettrico (Fig. 5.52) è possibile come i segnali vengono elaborati solamente dalla Master, la Slave risponde conseguentemente ad un segnale di comando da parte della principale.

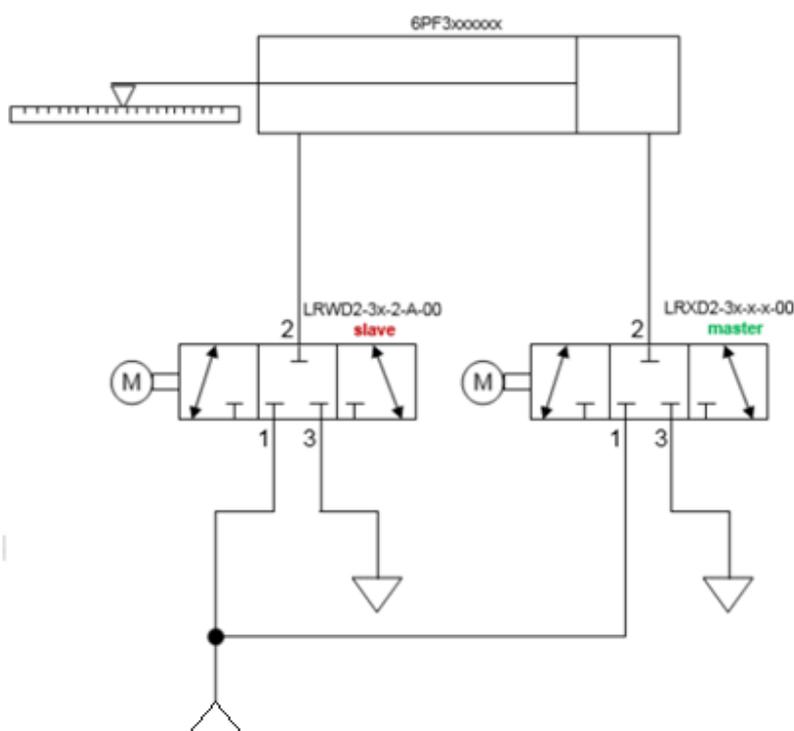


Figura 5.51 Schema sistema prova con valvole LR [22]

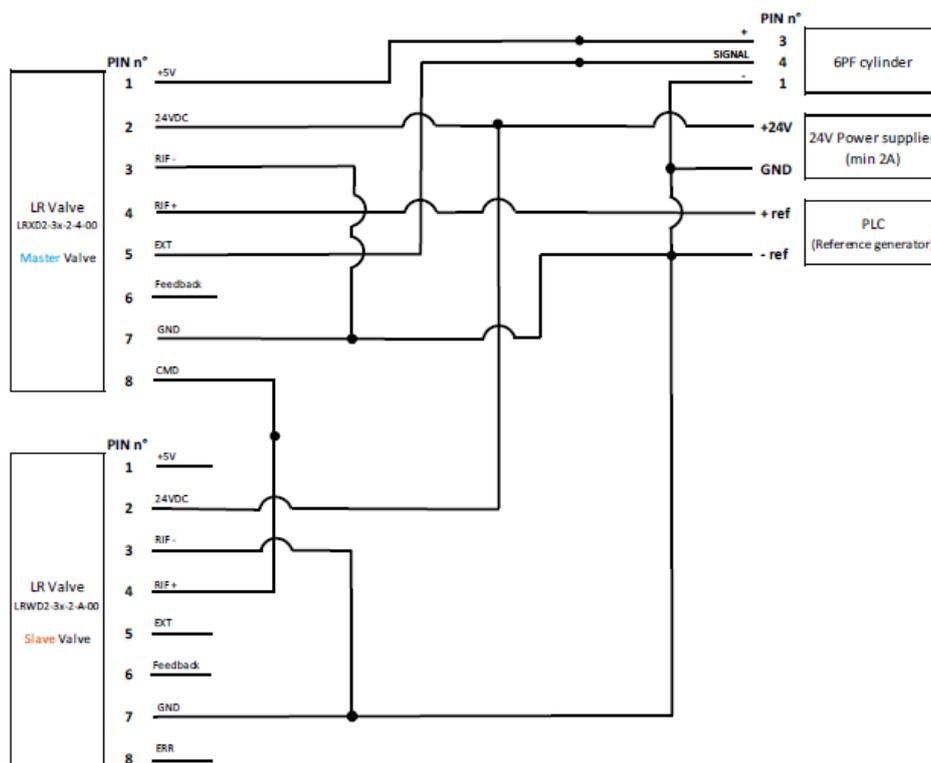


Figura 5.52 Schema elettrico prova con valvole LR [22]

Come spiegato nel Paragrafo 3.6, avviando il programma “*LrxdConfigurator*” è possibile scegliere nella casella “*AUTO SETTINGS OF THE FEEDBACK EFFECT*” tre diverse tipologie di controllo PID, aventi dei valori preimpostati, oppure scegliere l’opzione custom e scegliere i parametri, ma sempre mantenendosi dentro i limiti imposti. I parametri sono sei: (“LKP”, “LKA”, “LKV”, “LKC”, “LKY”, “LKI”), spiegati nel Paragrafo 3.6.

Scegliendo la modalità automatica si ottengono:

Parametri	PID Slow	PID Medium	PID Fast
LKP	1	3	8
LKA	0	0	0
LKV	0	0	0
LKC	20	20	20
LKY	0.3	0.5	0.6
LKI	0	0	0

Tabella 5.16 Tabella parametri PID S,M,F

Segue la risposta dinamica del sistema al variare dei tre PID

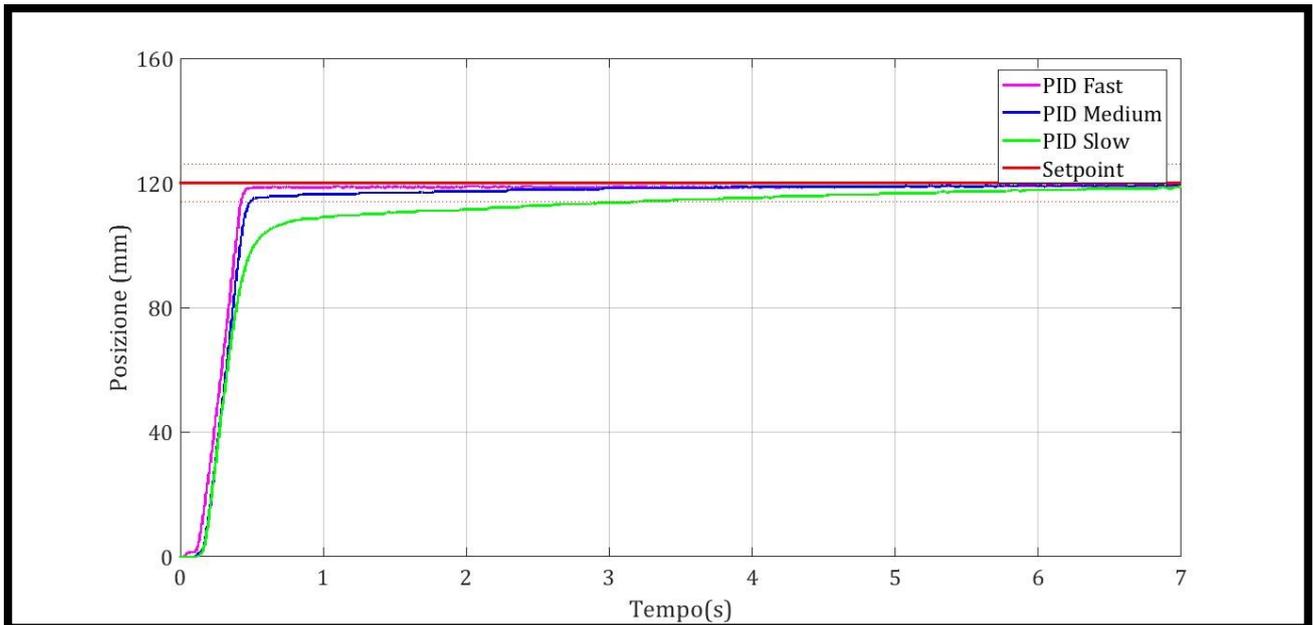


Figura 5.53 Grafico posizione prova con valvole LR e PID

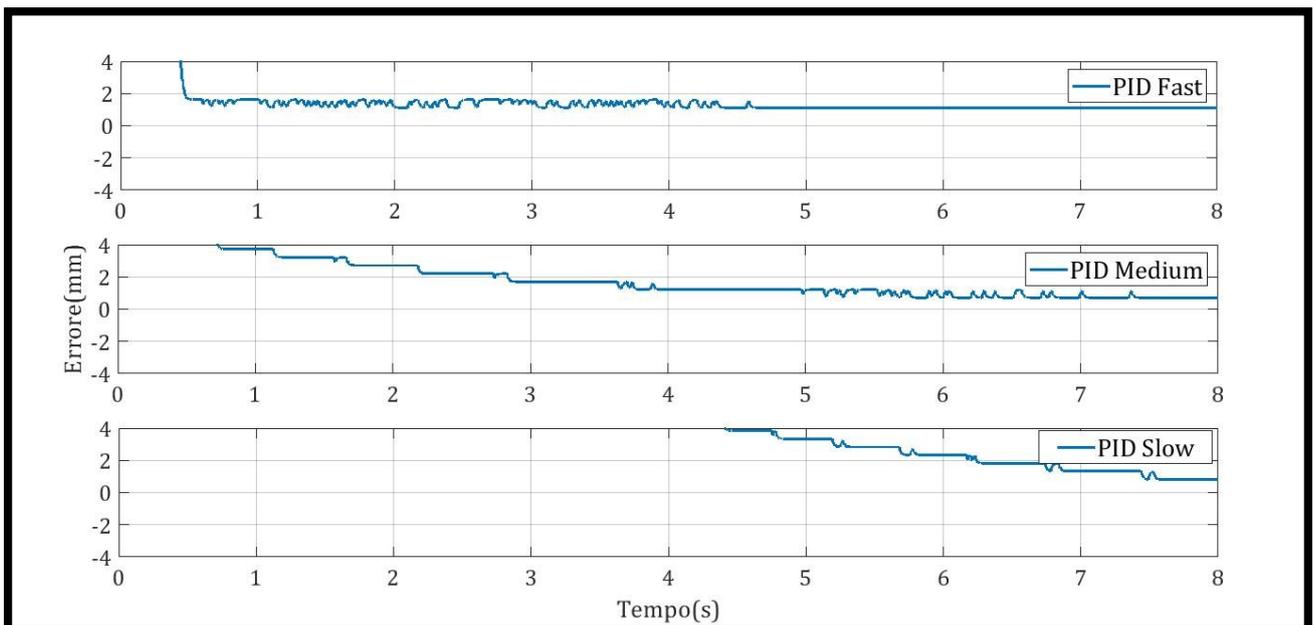


Figura 3.54 Grafico errore prova con valvole LR e PID

Tipo di controllo	Ta (s)	Errore massimo (mm)
PID Slow	3.36	0.92
PID Medium	0.51	0.82
PID Fast	0.42	0.87

Come è possibile notare all'aumentare del valore LKP, corrispondente al guadagno proporzionale, il sistema è più reattivo, ma da solo non basta per raggiungere con precisione il valore di setpoint, infatti, attraverso l'uso del guadagno LKY è possibile evitare overshoot, frenando con anticipo il sistema. Seguono le prove precedentemente citate, impostando la voce "PID fast" la risposta del sistema risulta essere molto precisa con periodi relativamente piccoli.

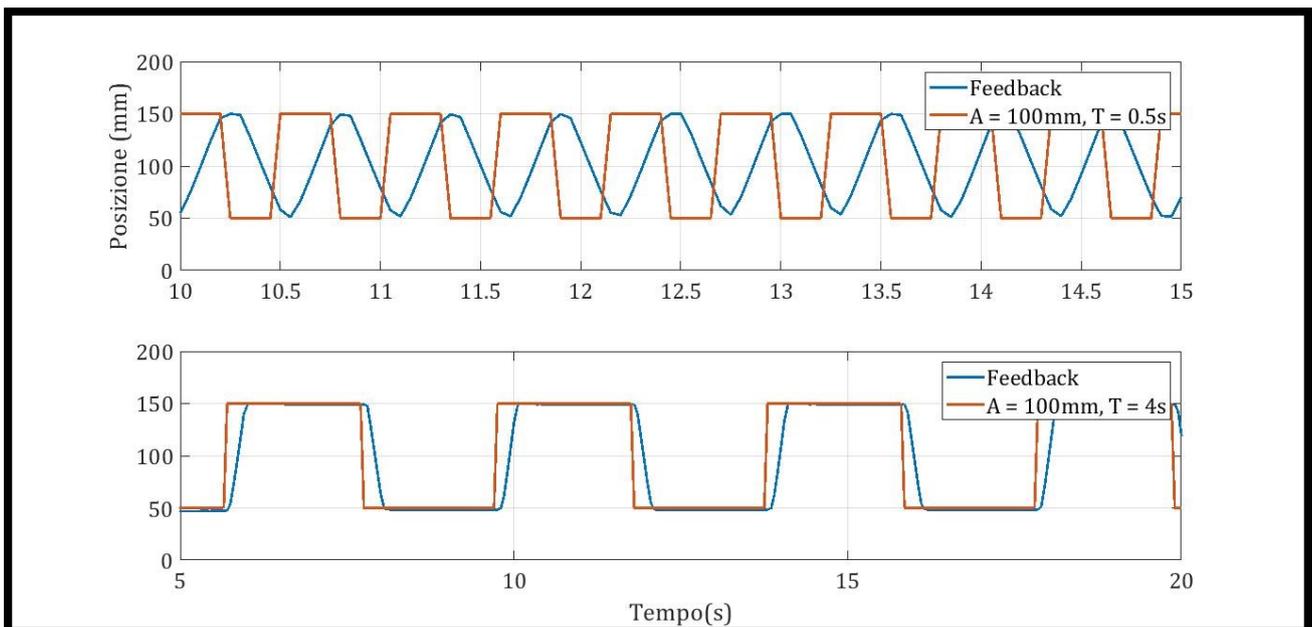


Figura 4.55 Grafico posizione prova con valvole LR e funzione onda quadra

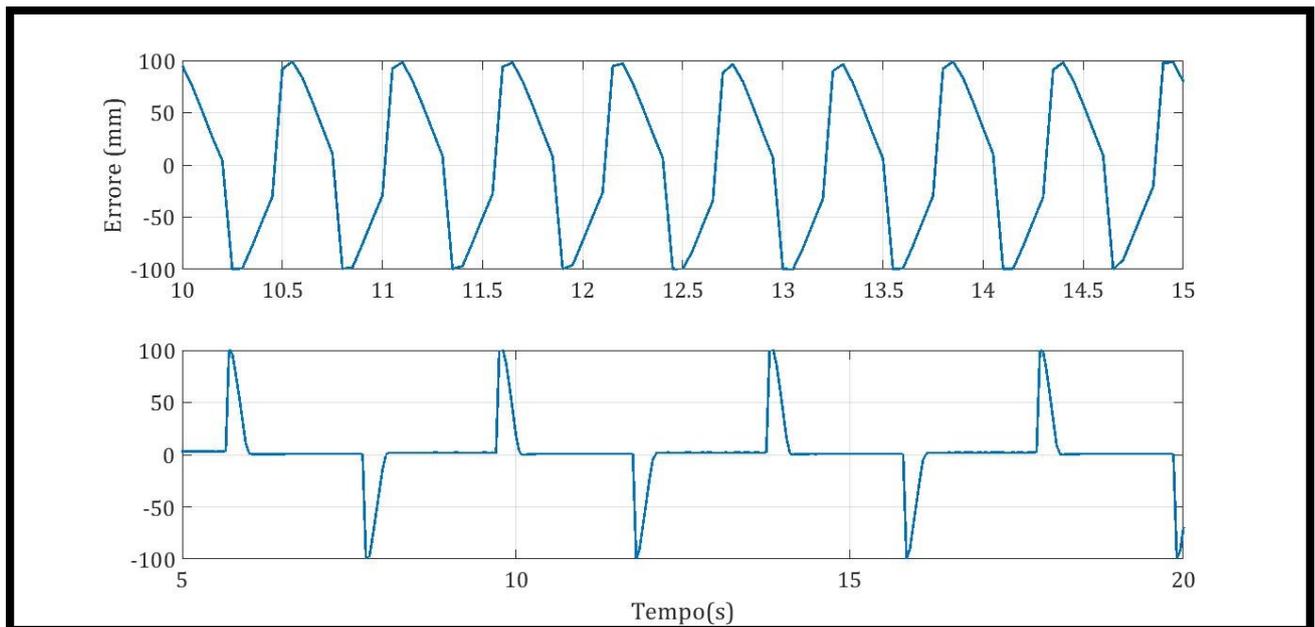


Figura 5.56 Grafico errore prova con valvole LR e funzione onda quadra

Impostando un segnale d'onda quadra di ampiezza 100mm, facendo variare il periodo da 0.5s a 4s, si nota come, nel primo caso, essendo il periodo molto piccolo il sistema a malapena riesce a raggiungere il valore di picco. Contrariamente, nel secondo caso, con periodo più ampio, il sistema rimane in posizione per un tempo accettabile, poiché il ritardo è minimo e l'errore è praticamente nullo. Analogamente con una funzione sinusoidale di ampiezza 140mm ed un periodo variabile tra 0.5s e 10s. Nel primo caso, come nella prova precedente, l'attuatore non riesce nemmeno a raggiungere il valore di picco, mostrando un ritardo di circa 30 gradi. Nel secondo caso, con un periodo decisamente più alto, il pistone segue perfettamente la funzione con un errore praticamente nullo.

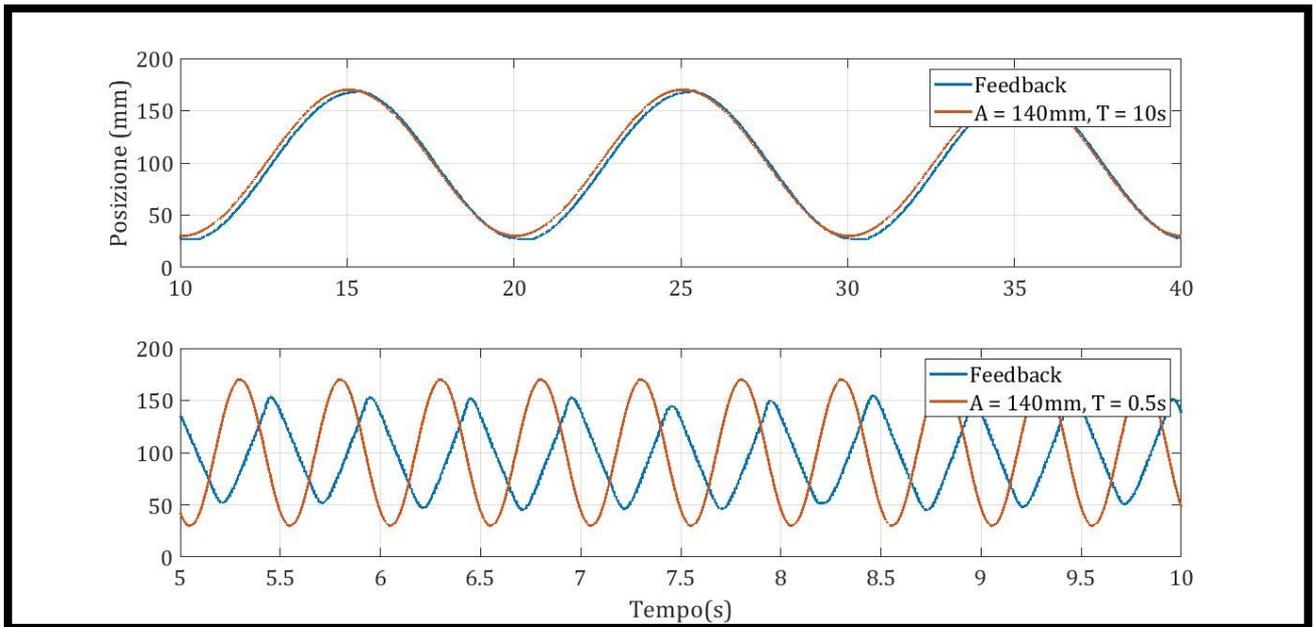


Figura 5.57 Grafico posizione prova con valvole LR e funzione sinusoidale

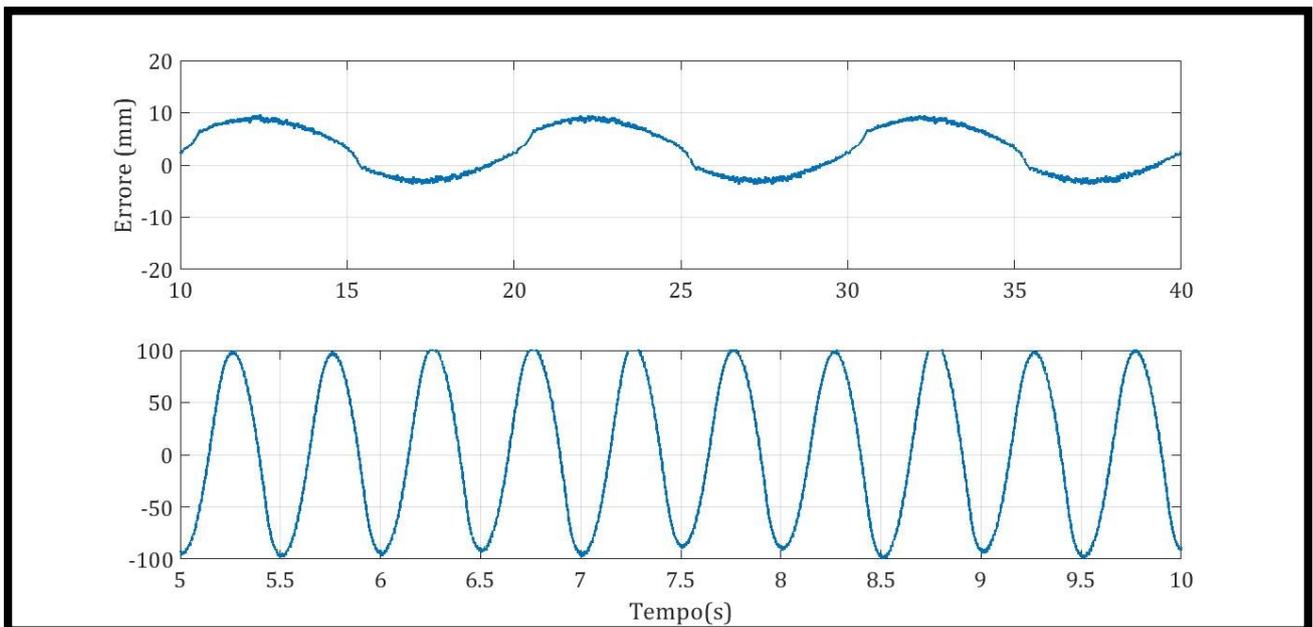


Figura 5.58 Grafico errore prova con valvole LR e funzione onda quadra

Capitolo 6

Comparazione e determinazione del miglior metodo di controllo

6.1 Elettrovalvola 5/3

Riassumendo graficamente i risultati ottenuti con tale valvola, Fig. 6.1 e 6.2, possiamo notare come questa tipologia di valvola presenta dei limiti, infatti quest'ultima, non avendo un regolatore di flusso, quando si trova in una delle sue posizioni di lavoro, la portata passante è sempre massima.

I migliori risultati sono stati ottenuti quando è stato effettuato un metodo di controllo PWM comandato da PID, in particolare, utilizzando soltanto il guadagno proporzionale, si ottiene un tempo di assestamento pari 3.71s con K_p pari a 6 ed un errore di 0.72mm.

Si registra un errore più basso con un K_p pari a 5, ma il tempo di assestamento risulta essere pari a 5.3s. Il metodo del PWM, risulta essere veloce nel raggiungere il valore di assestamento, ma è poco preciso, registrando errori molto evidenti.

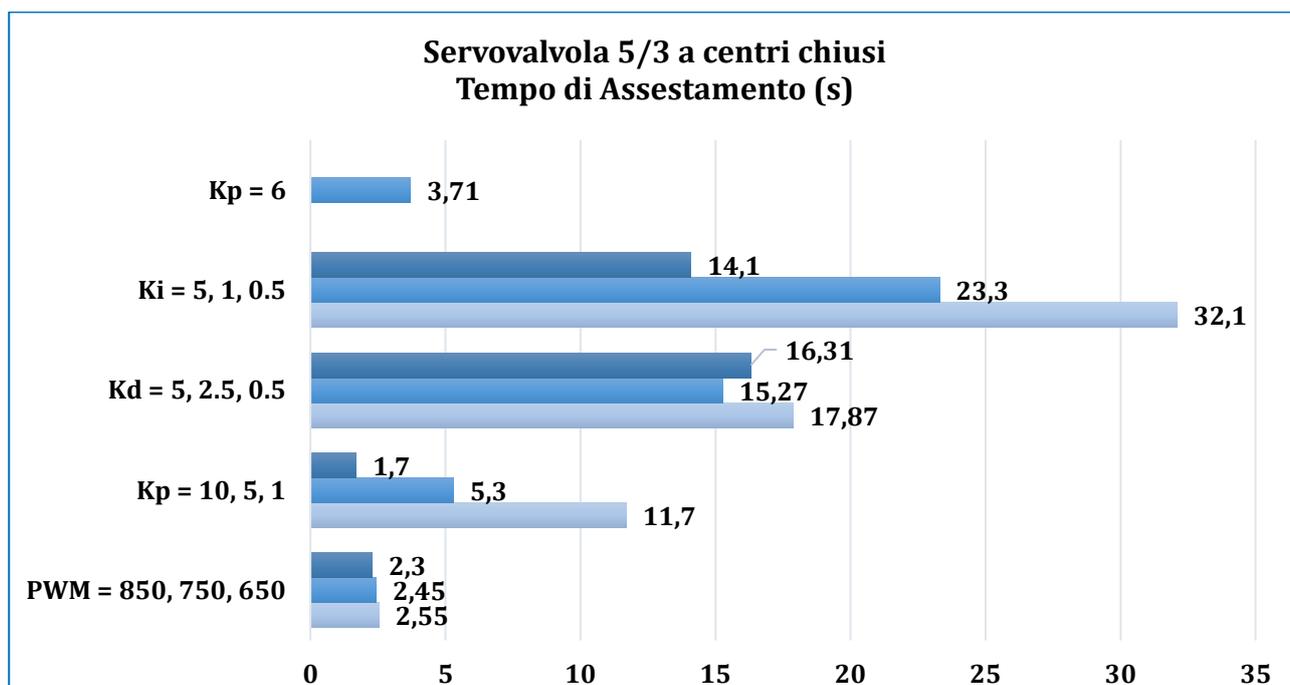


Figura 5.1 Tempi di assestamento valvola 5/3

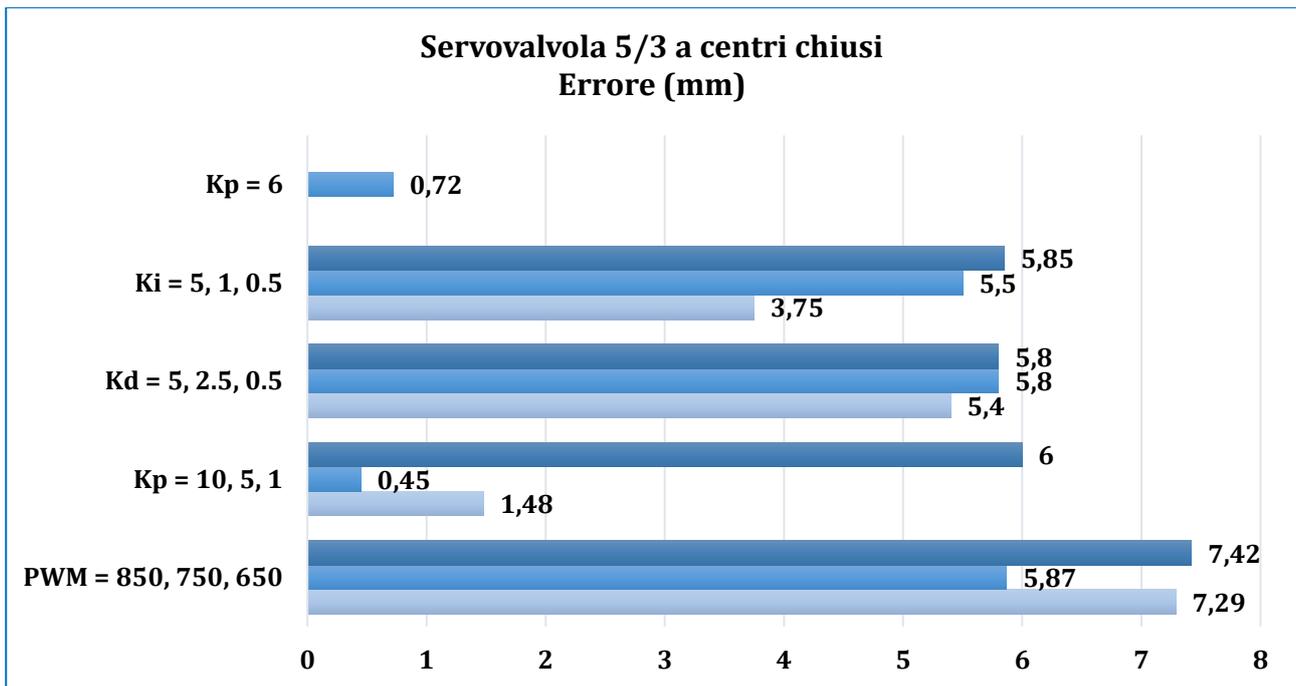


Figura 6.2 Errore valvola 5/3

6.2 Valvola proporzionale Serie AP

Riassumendo graficamente i risultati ottenuti con tale valvola, Fig. 6.3 e 6.4, possiamo notare, come la loro capacità di regolare l'uscita in base al segnale di ingresso, tipico delle valvole proporzionali, rende la prova molto precisa. I migliori risultati, anche in questo caso, si registrano quando si utilizza il metodo del PWM comandato da un controllore PID, in particolare, impostando un valore del K_p pari a 15, con un K_d pari a 1 ed un K_i di 0.1, si ottiene un errore pari a 0.1mm ed un tempo di assestamento pari a 1.2s.

Valori del K_p elevati, portano all'instabilità, lo si nota dal tempo di assestamento nel caso di K_p pari a 30. Inoltre, come citato in precedenza, un PWM con periodo basso porta all'arresto della valvola, poiché, essendo il duty cycle proporzionale all'errore, per valori bassi la valvola non risponde più.

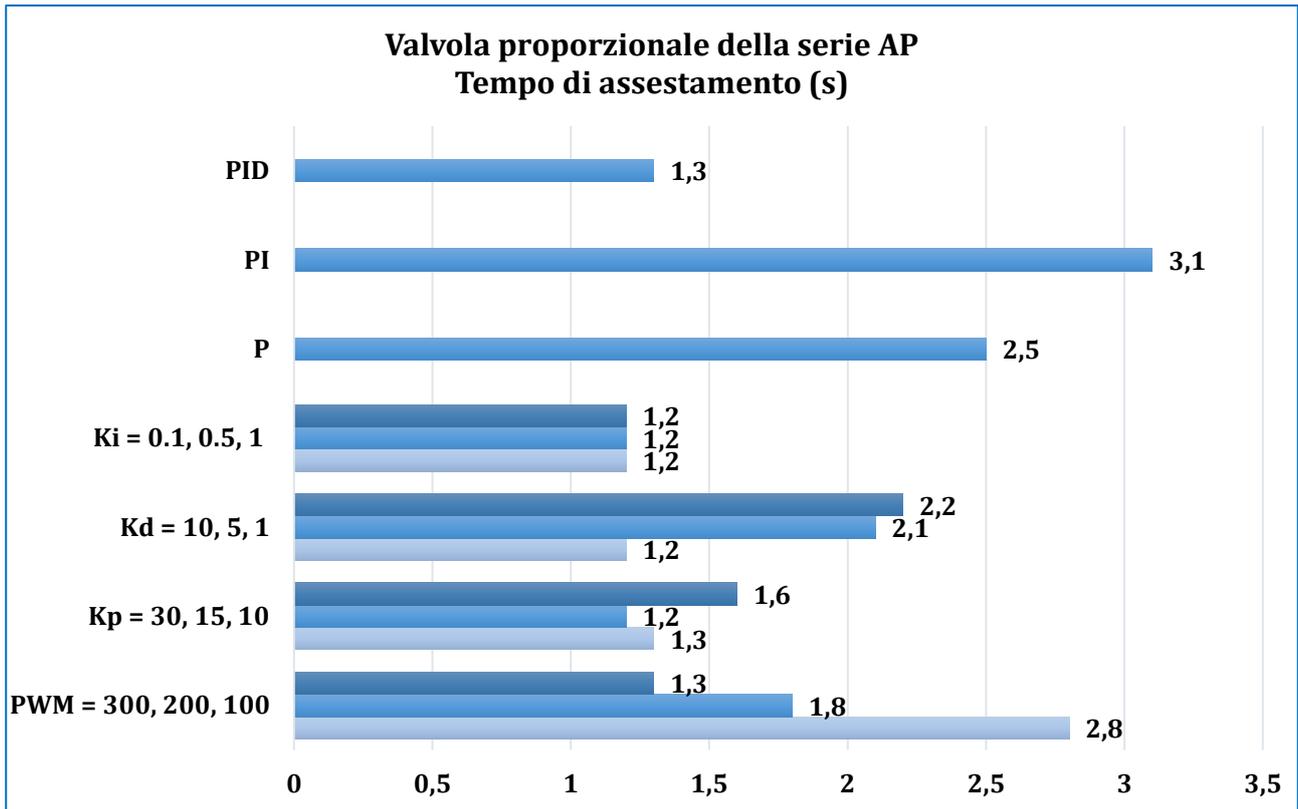


Figura 6.3 Tempi di assestamento valvola proporzionale AP

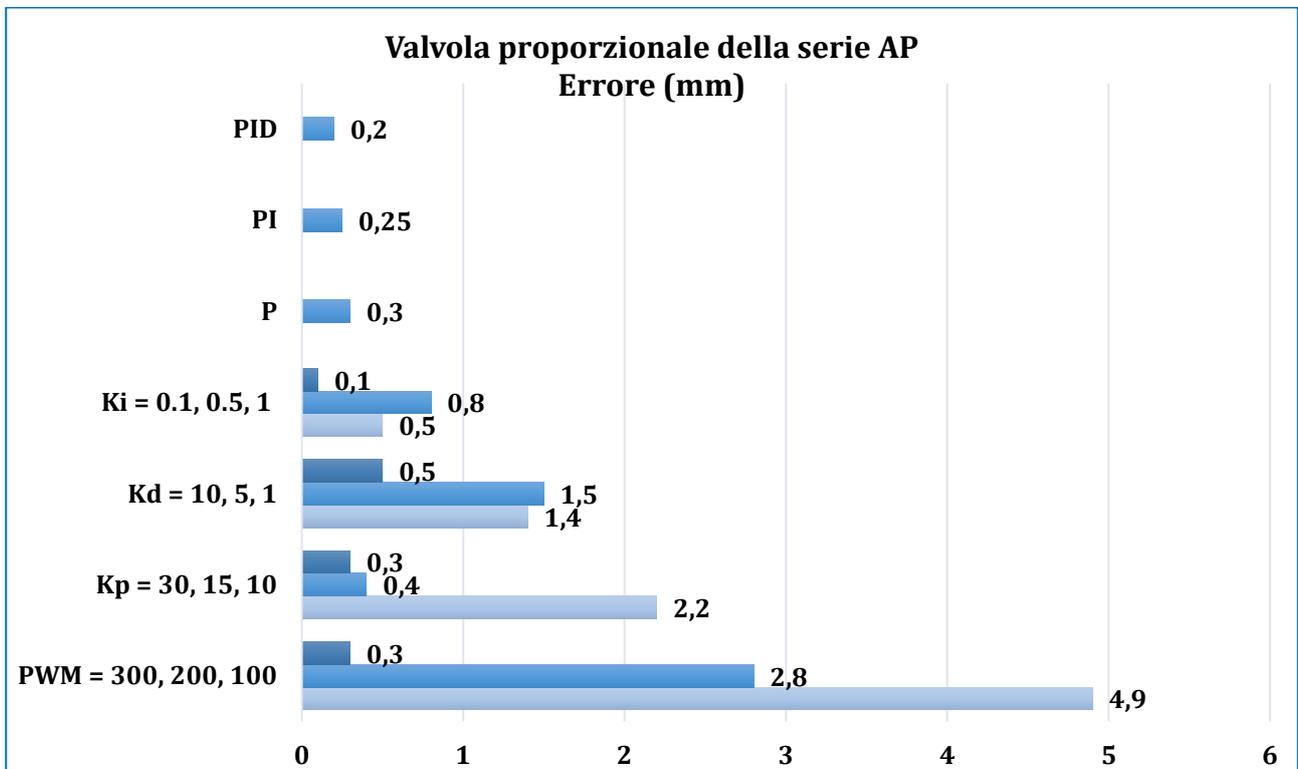


Figura 6.4 Errore valvola proporzionale AP

6.3 Valvola proporzionale Serie AP con controllo elettronico

Riassumendo graficamente i risultati ottenuti con tale valvola, Fig. 6.5 e 6.6, possiamo notare che quando le valvole proporzionali vengono collegate ad un dispositivo di controllo elettronico, il comportamento del sistema rimane molto simile al caso precedente. Il tempo di assestamento e l'errore sono rispettivamente 1.12s e 0.18mm nel caso di controllo PID con un K_p pari a 20. Buonissimi risultati si ottengono anche mantenendo fisso il K_p pari a 15 e facendo variare il K_d .

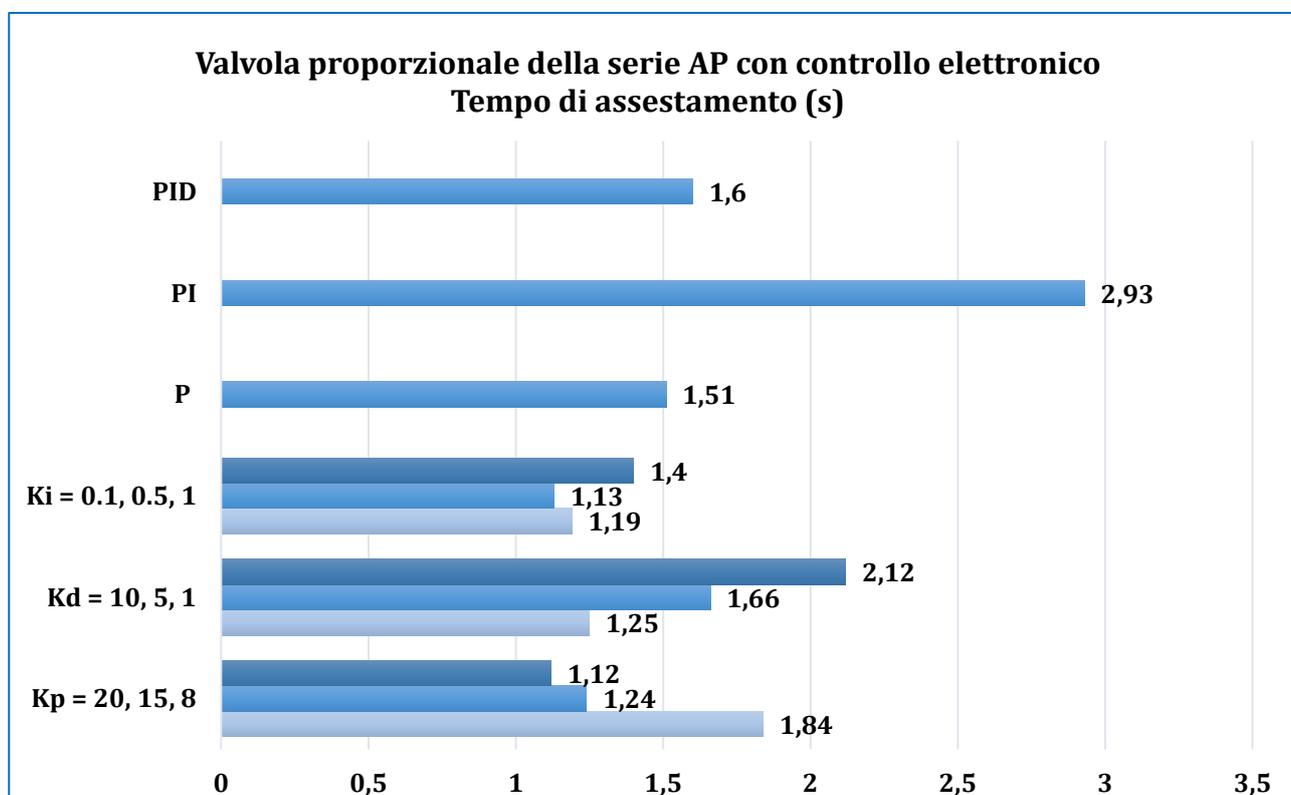


Figura 6.5 Tempi di assestamento valvola proporzionale AP con controllo elettronico

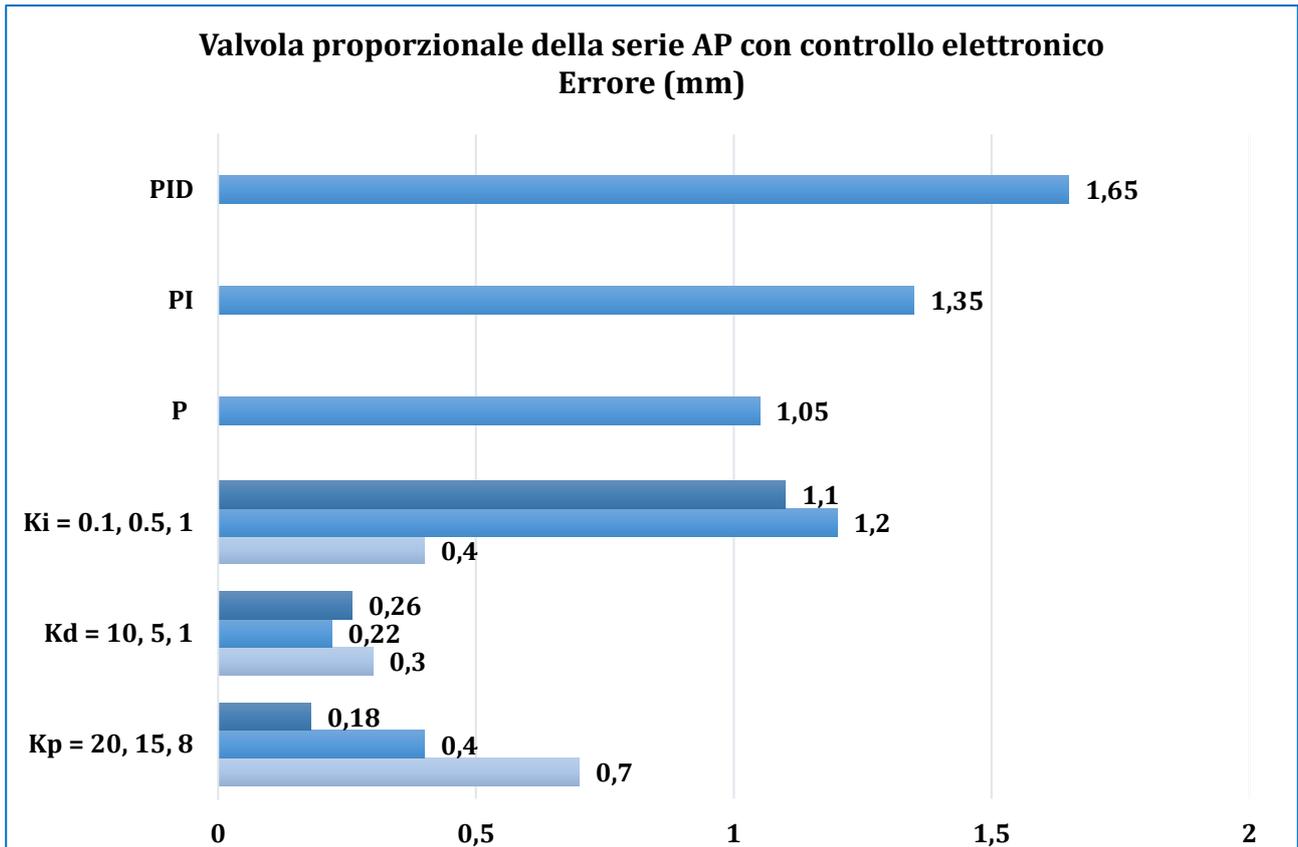


Figura 6.6 Errore valvola proporzionale AP con controllo elettronico

6.4 Valvole LRWD e LRXD

Riassumendo graficamente i risultati ottenuti con tale valvola, Fig. 6.7 e 6.8, possiamo notare che quando vengono utilizzate le valvole LR in modalità Master-Slave, lasciando le impostazioni invariate per le configurazioni PID, i tempi di assestamento sono molto bassi, diminuendo ovviamente quando si passa dal PIS Slow al Fast. Anche gli errori sono bassi al variare della tipologia di PID. Si registrano valori di 0.42s di tempo di assestamento col PID Fast, ma l'errore minimo lo otteniamo col PID Medium, pari a 0.82mm.

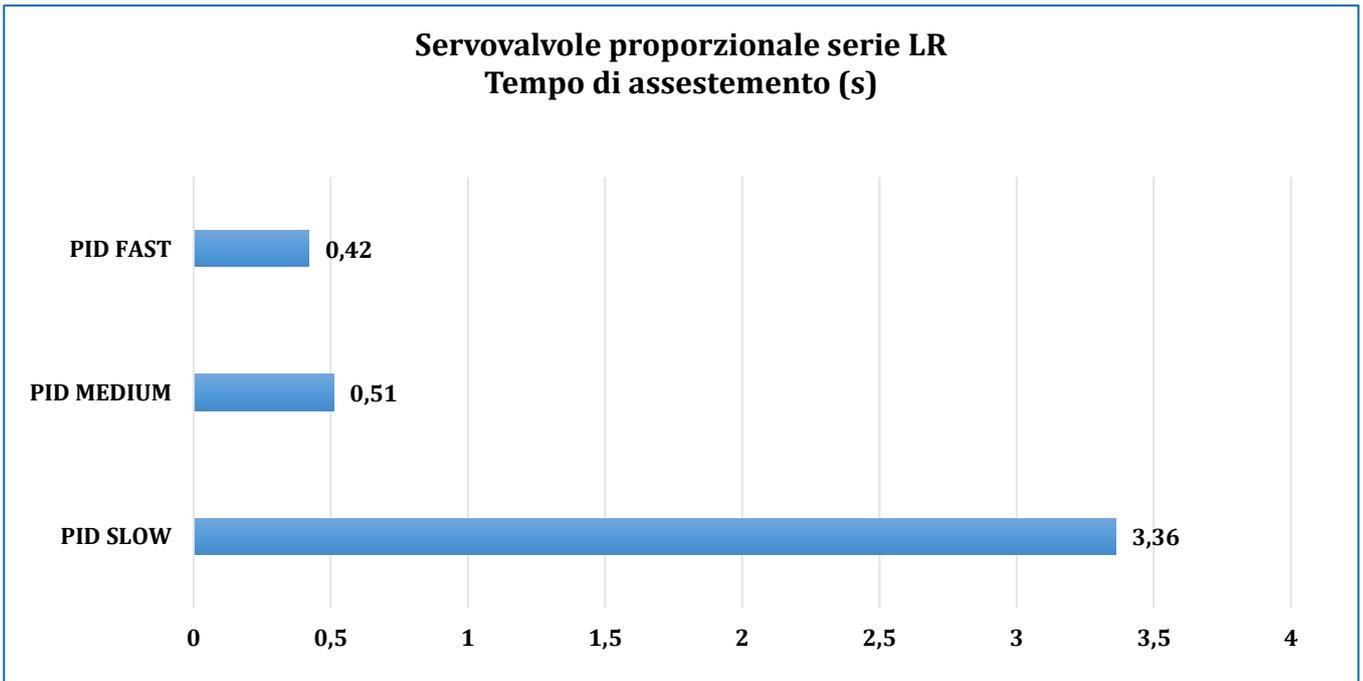


Figura 6.7 Tempi di assestamento valvole LR

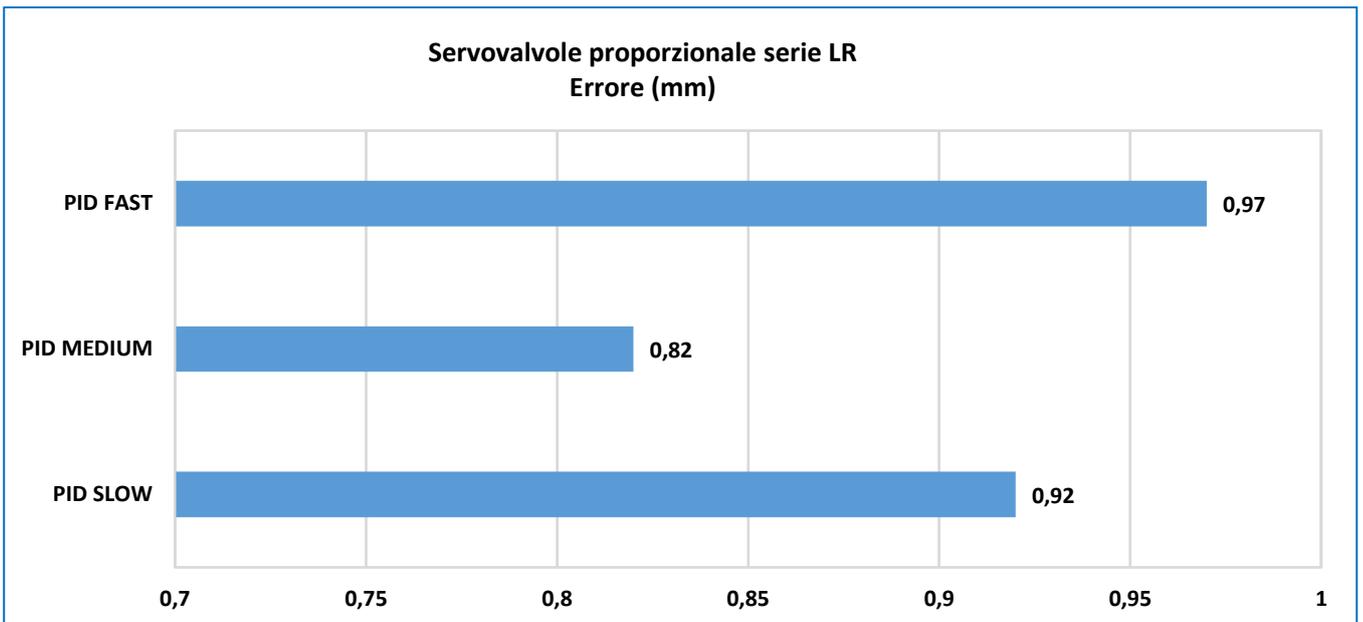


Figura 6.8 Errore valvole LR

Capitolo 7

Progettazione supporto HMI e configurazione dispositivo

In questo capitolo viene mostrata tutta la fase di progettazione del sostegno per Touch Panel HMI, con i relativi componenti ed una stima finale del costo. Successivamente si passa alla configurazione del pannello, la cui funzione principale è quella di avviare i programmi precedente menzionati in assenza di PC, e leggere tutte le informazioni necessarie utili per l'utente.

7.1 Supporto di montaggio della HMI

Per la realizzazione del sostegno si è pensati di realizzare un montante con struttura tubolare quadra in tre pezzi, supportata da due flange cieche, necessarie per il fissaggio al banco. Inoltre per proteggere il pannello stesso, è stata realizzata una cassettona su misura in alluminio. Seguono i dettagli dei vari componenti.

Prima di tutto illustriamo i componenti del montante, con i relativi disegni 2D e 3D.

Per la realizzazione di quest'ultimo sono stati necessari tre tubolari di ferro forati per consentire l'inserimento di viti e bulloni, quattro viti M4 x 25 ISO-4015 e due bulloni M6 x 15 ISO-4015 . I tubolari hanno dimensioni 20 x 20 x 1.5 mm, con lunghezza differente tra il componente verticale e quelli orizzontali, rispettivamente lunghi 240mm e 90mm

Vengono inseriti anche dei morsetti in acciaio zincato (fascette per tubo quadrato), vedi Fig. 7.1, necessari per la realizzazione di tale struttura, e dei tappi per coprire la parte forata visibile.

La struttura, in seguito, viene saldata a due flange cieche DN10 PN6, scelte rispettando la normativa EN1092-1, aventi un diametro esterno da 75 mm, spesse 12 mm e presentano quattro fori per viti M10.

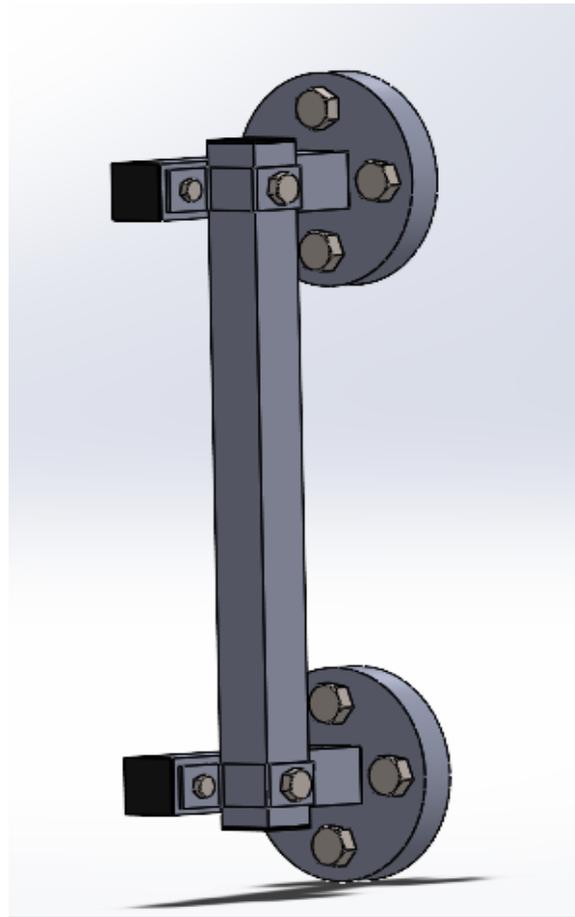


Figura 6.1 3D montante, vista Solidworks

Segue una Tabella coi singoli materiali e dei costi al pezzo e cadauno.

Denominazione	Quantità	Materiale	Costo [pz]	Costo Cad.
Flangia cieca	2	UNI 6092	€ 7.79	€ 7.79
Tubolare quadrato 20x20x1.5	1	UNI EN 10219	€ 3.05 [1 m]	-
Tappo quadrato nero	4	-	€ 12.63 [100 pz]	€ 0.12
Viti M10x20	8	-	€ 17.91 [25 pz]	€ 0.716
Viti M4x25	4	-	€ 9.81 [100 pz]	€ 0.098
Bulloni M6x15	2	-	€ 9.12 [100 pz]	€ 0.091
Morsetto	2	-	€ 5.15	€ 5.15

I prezzi soprastati sono stati facendo riferimento a dei cataloghi trovati online.

Infine, come precedentemente citato, viene mostrato un particolare raffigurante la cassetina su misura in alluminio, dimensionata opportunamente per contenere e sorreggere il pannello HMI.

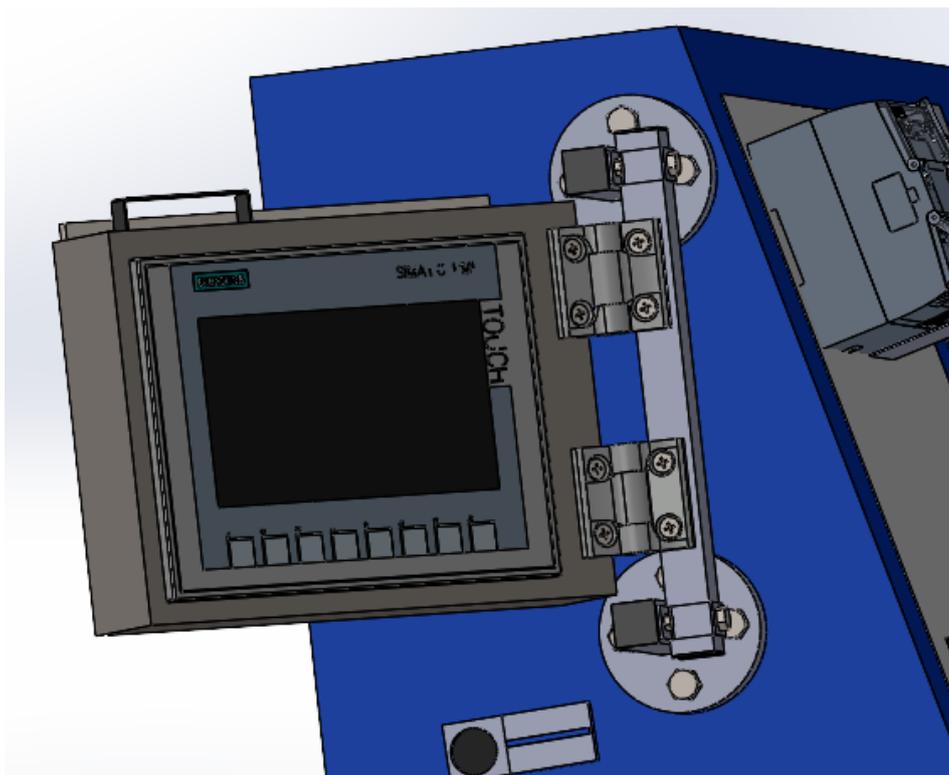


Figura 7.2 Pannello HMI fissato al montante

Quest'ultimo viene fissato, come da Fig. 7.2, mediante dei fissaggi opportuni. Il collegamento tra il blocco porta HMI e il montante, avviene mediante delle cerniere con frizione (Fig. 7.3), che consentono di muovere il pannello soltanto in alcune posizioni, permettendo così all'utente un suo utilizzo senza particolari problemi di spostamento durante la digitazione.

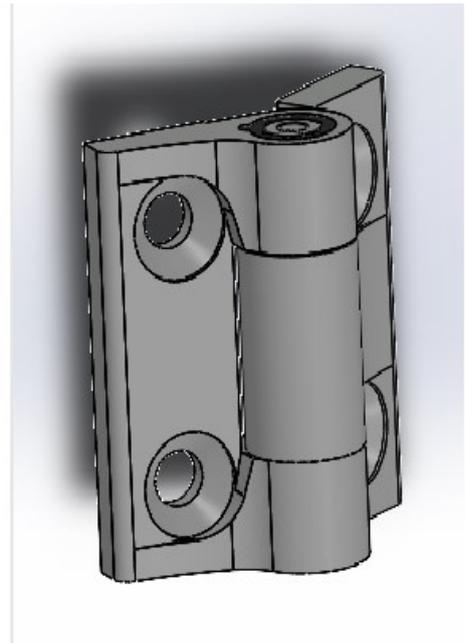
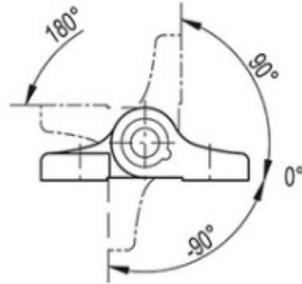
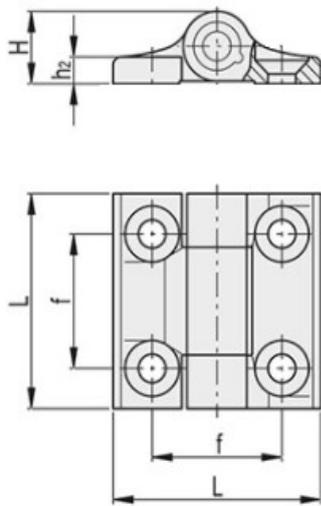


Figura 7.3 Cerniera con frizione 2D e 3D

La soprastante cerniera presenta le seguenti caratteristiche: materiale lega di zinco pressofusa, con elementi frizionanti conici in Tecnopolimero a base acetalica (POM). In seguito vengono riportate le principali dimensioni (mm).

L	f	H	h2
40	31	15	6

Infine, verrà descritto il sistema di supporto del Touch Panel HMI che, come precedentemente citato esso è composto da una cassetta in alluminio su misura, da alcuni elementi di fissaggio (Fig. 7.4) e da una maniglietta necessaria per consentire all'utente la movimentazione del blocco.

Strumenti e accessori necessari

	Cacciavite torsiometrico con inserto a intaglio, grandezza 2		
	Clip di montaggio	Per pannello operatore	Numero richiesto
		KTP400 Basic	4
		KTP700 Basic	7
		KTP700 Basic DP	7
		KTP900 Basic	10
		KTP1200 Basic	12
KTP1200 Basic DP	12		

Figura 7.4 Elementi di fissaggio HMI

Gli elementi di fissaggio vanno posizionati come segue:

Fissaggio del pannello operatore con le clip di montaggio

1. Se le clip di montaggio e le viti filettate in dotazione non sono già montate, ruotare un paio di volte la vite nel foro filettato della clip di montaggio.
2. Inserire la prima clip di montaggio nelle rispettive sedi.
3. Fissare la clip di montaggio con un cacciavite, grandezza 2. La coppia massima ammessa è di 0,2 Nm.
4. Ripetere le operazioni da 1 a 3 per tutte le clip di montaggio necessarie per il fissaggio del pannello operatore.

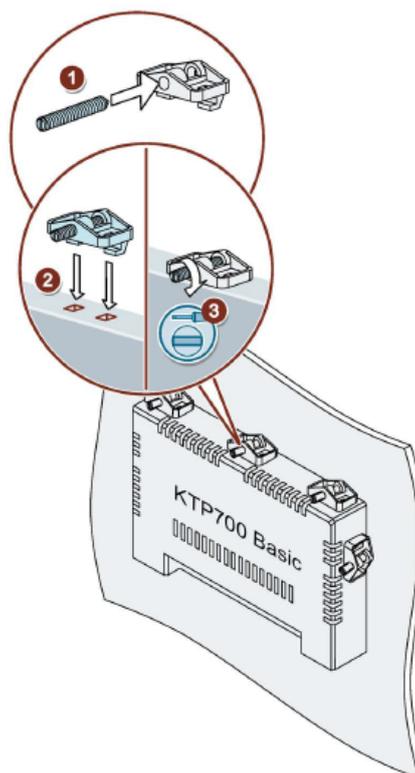


Figura 7.5 Fissaggio clip HMI [17]

Facendo riferimento alla Fig. 7.2, vengono riportate due viste ed una sezione della cassetta di derivazione.

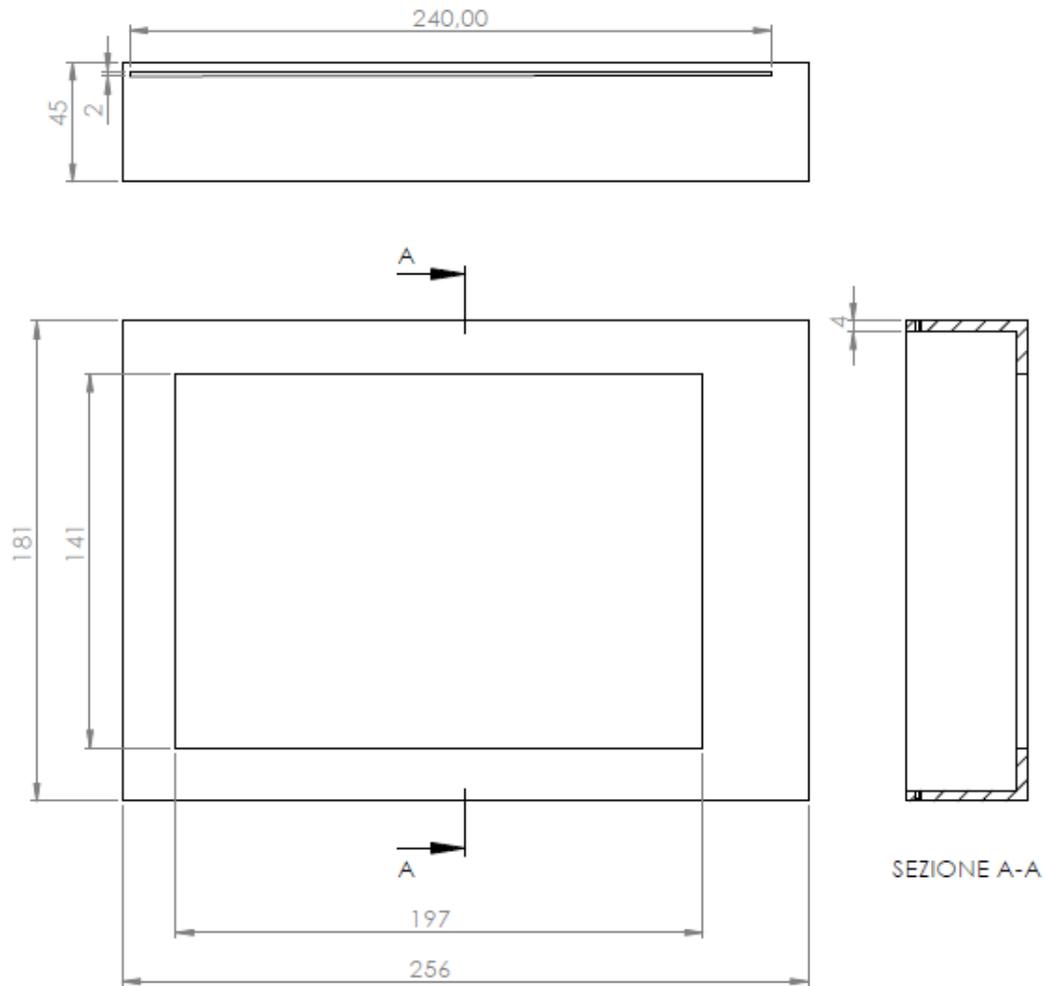


Figura 7.6 Viste cassetta di derivazione

Come fatto in precedenza, segue una tabella dei componenti coi relativi costi

Denominazione	Quantità	Materiale	Costo [pz]	Costo Cad.
Cassetta di derivazione	1	UNI EN 485-1	€ 35.00	€ 35.00
Maniglia in PVC	1	-	€ 1.60	€ 1.60
Cerniera con frizione	2	-	€ 38.88	€19.44
Viti M5x20	8	-	€ 5.70 [100 pz]	€ 0.057
Viti M3x10	2	-	€ 9.81 [100 pz]	€ 0.098

Vengono mostrate successivamente un paio di viste dell'assieme collegato al banco.

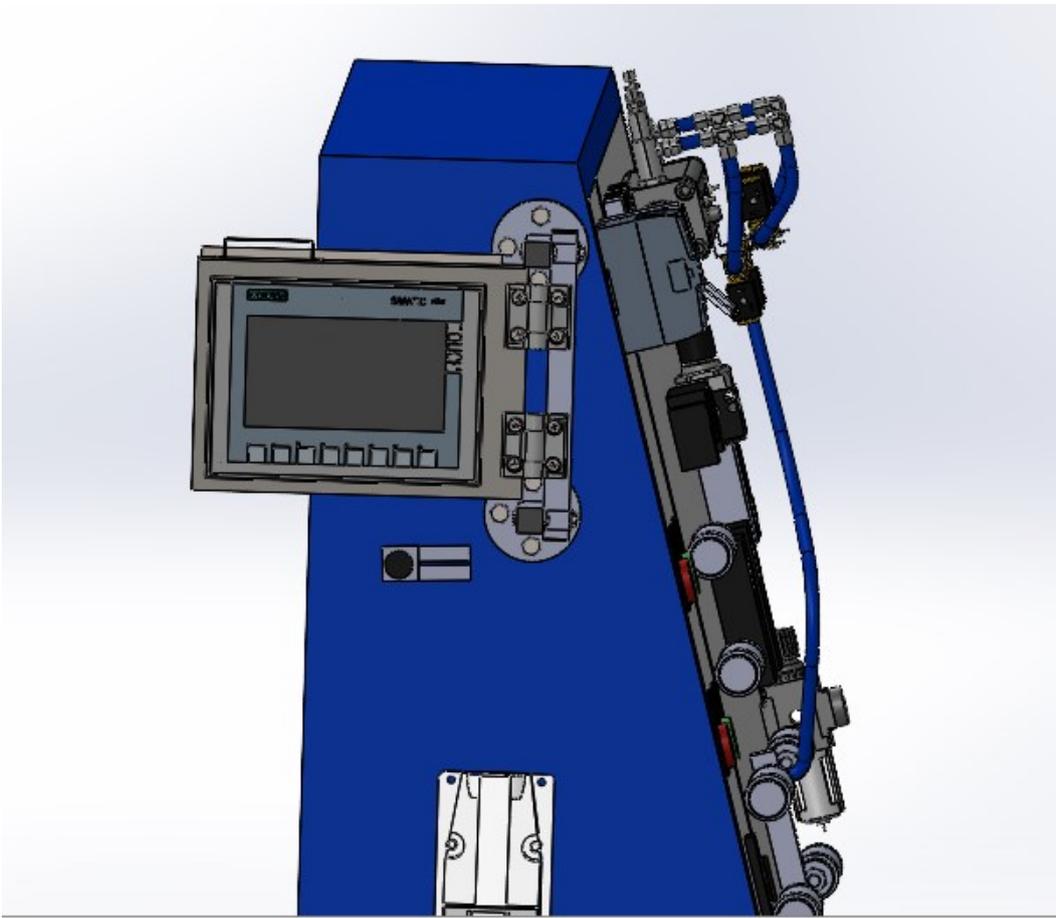


Figura 7.7 Vista pannello chiuso

La vista precedente rappresenta il pannello quando è inutilizzato, in posizione di chiusura.

La Fig. 7.8, invece, rappresenta il pannello frontalmente, posizionato per essere utilizzato dall'operatore.

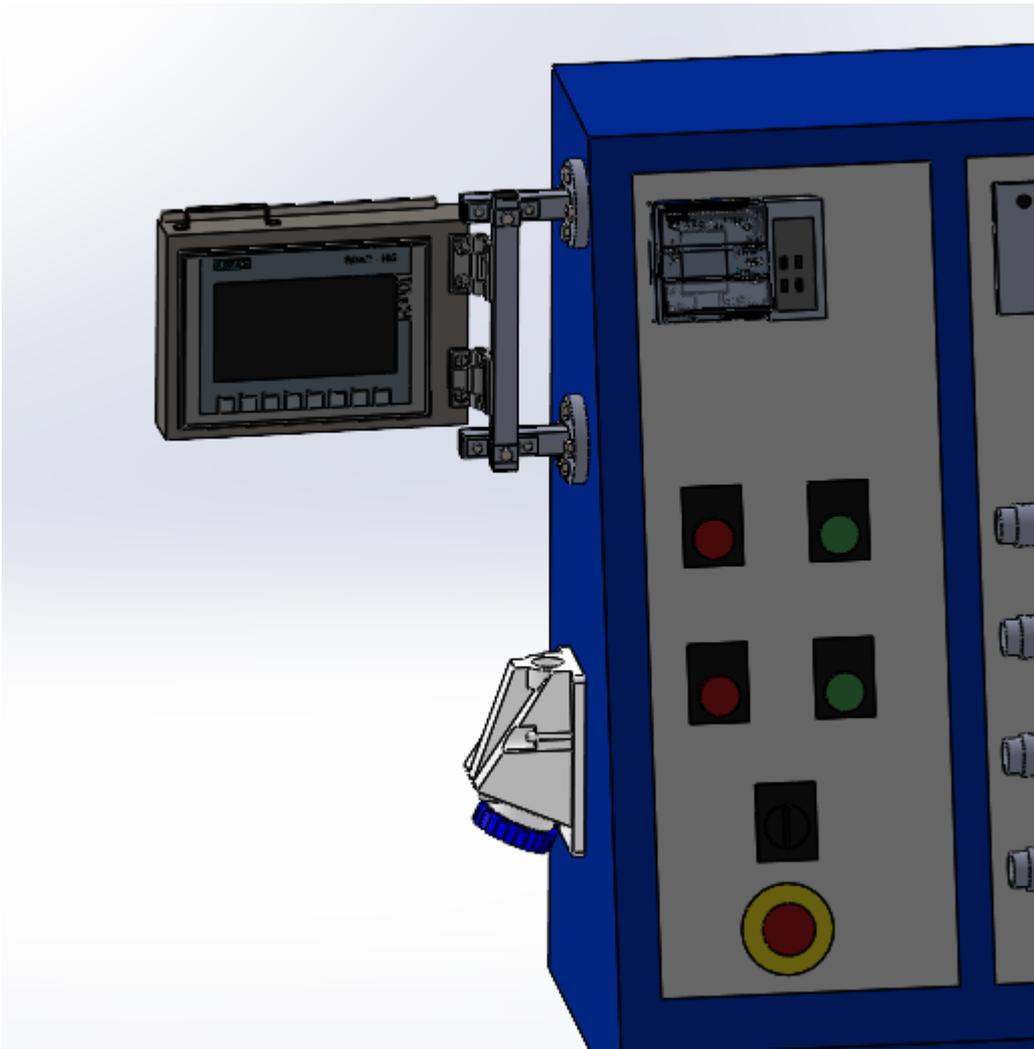


Figura 7.7 Vista pannello aperto

Per la realizzazione di tutto il blocco, si stima una spesa finale di circa €120.

7.2 Interfacce programmi HMI

Adesso dopo aver descritto nel Capitolo 3.8.1.3 come veniva inserito all'interno di TIA Portal il pannello HMI, si passa alla sua configurazione grafica, in particolare, selezionando nel menu di sinistra la voce HMI e cliccando su "Pagine" è possibile inserire tutte le pagine necessarie per la sua realizzazione (Fig. 7.9).

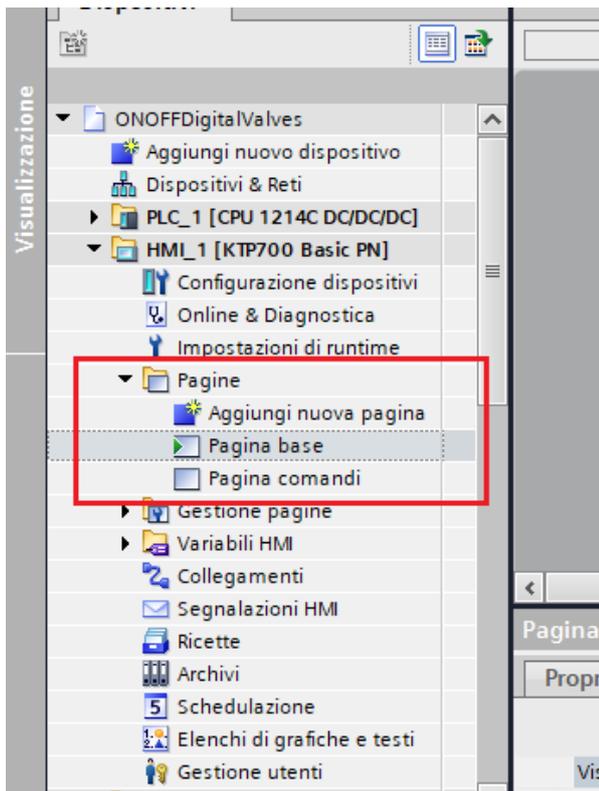


Figura 7.9 Inserimento pagine HMI

Inserite le pagine, si passa all’inserimento dagli oggetti necessari per il funzionamento. Dal menu di sinistra, vedi Fig. 7.10, nella casella degli strumenti, è possibile scegliere dagli oggetti semplici come rettangoli o ellissi, agli elementi, utilizzati maggiormente per la lettura e inserimento di variabili. Infine nell’ultima finestra “Control” è possibile inserire un tracciatore di variabili, visualizzando in tempo reale cosa sta accadendo, mentre la finestra “Grafiche” è stata utilizzata per inserire la figura del cilindro e lo stelo.

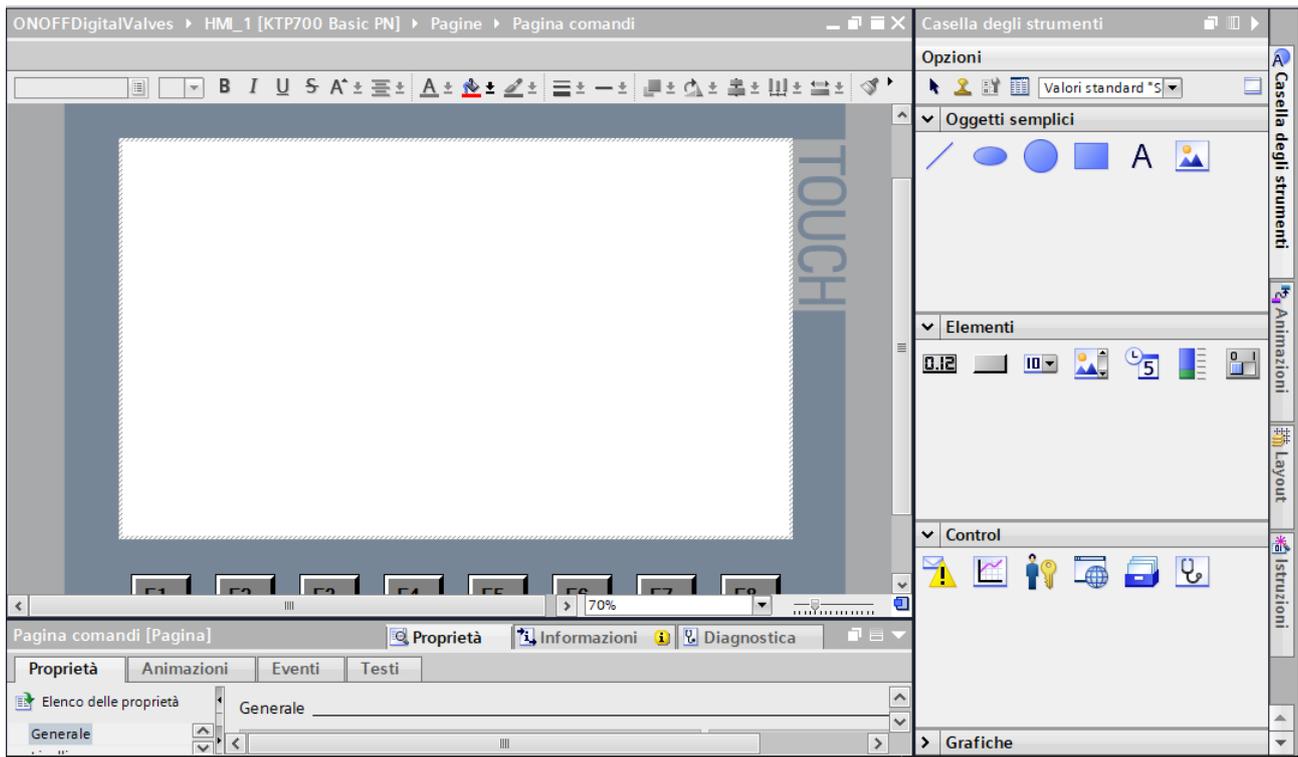


Figura 7.10 Casella degli strumenti a sinistra

Un esempio di schermata creata è la seguente Fig.7.11, rappresentante la pagina comandi realizzata per la servovavola 5/3 durante la prova di funzionamento ON-OFF. In seguito vengono mostrati i passaggi per l'inserimento e il settaggio di tali componenti.

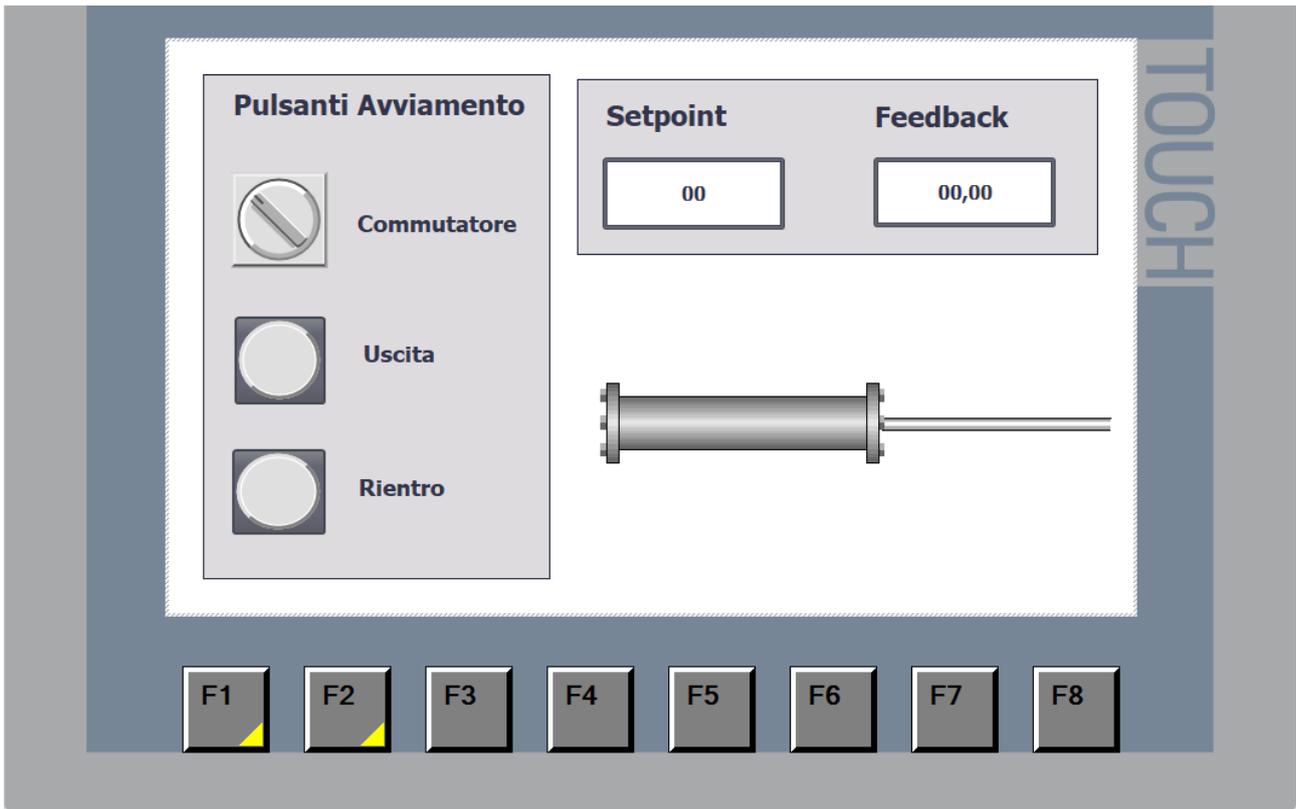


Figura 7.11 Esempio schermata HMI

Bisogna creare un blocco dati DB, per l’inserimento delle variabili da inserire all’interno degli oggetti. Inserire le variabili corrette, attenzionando soprattutto la loro natura (Bool, Real, Dint, ecc...)

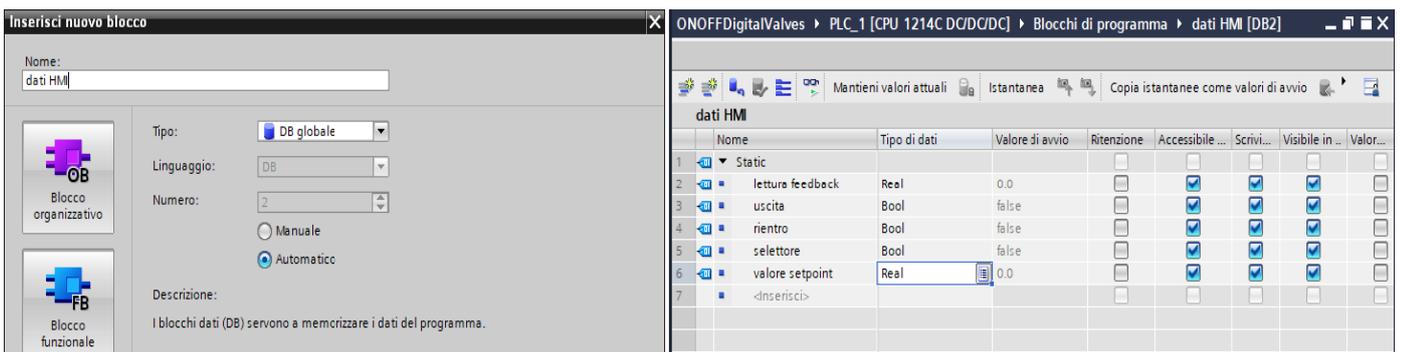


Figura 7.12 Inserimento blocco DB e variabili

Dopodiché, inserire i rettangoli e gli oggetti citati in precedenza ed infine dalla casella “Biblioteche”, selezionando la voce “Button and Switches”, vengono inseriti tutti i pulsanti necessari, sia monostabili che bistabili.

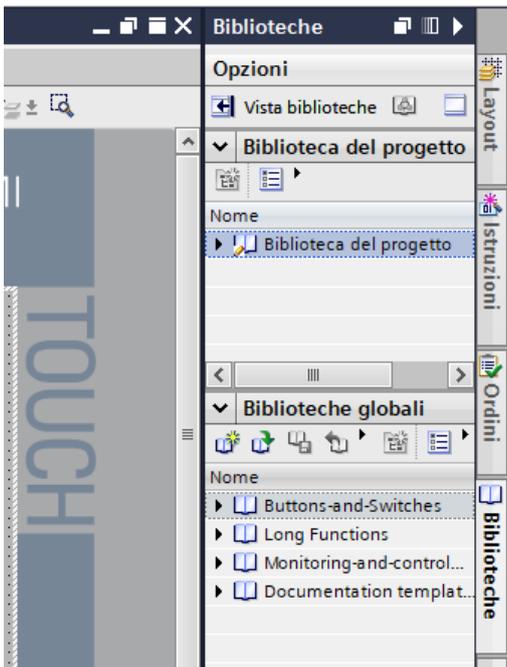


Figura 7.13 Inserimento pulsanti

Cliccando su un generico oggetto, è possibile dalle sue proprietà, assegnargli la variabile corrispondente. Questa procedura è stata utilizzata per il commutatore, per gli oggetti di inserimento e di lettura. Soltanto in caso di comandi monostabili, dalla voce “Eventi”, utilizzando la tendina e selezionando “Premi” e successivamente “Imposta Bit con Tasto attivato”, è possibile assegnargli una variabile. La figura sottostante mostra entrambi i casi sopra citati.

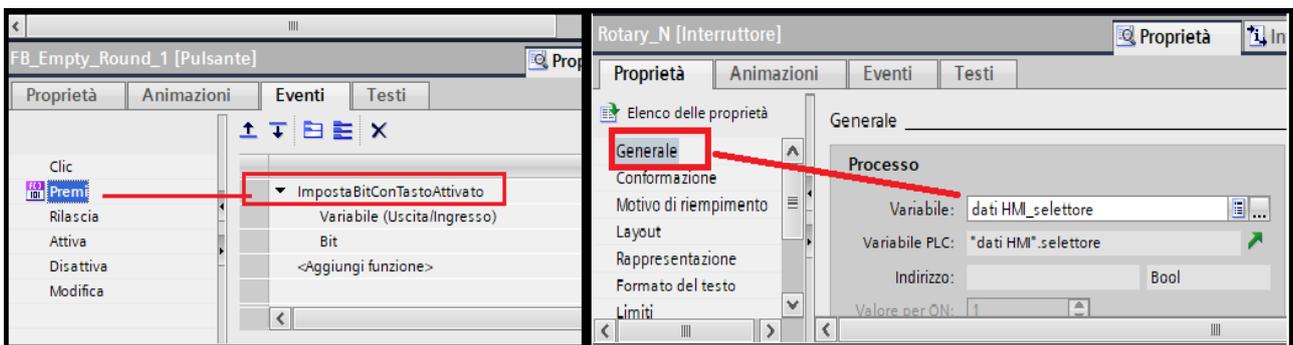


Figura 7.14 Settaggio pulsanti monostabili e bistabili

Infine, viene inserito un attuttore, in cui per effettuare la movimentazione, cilindro e stelo sono stati inseriti separatamente. Dalla casella degli strumenti, Grafiche ed infine "Heating", selezionando il cilindro e nella sezione pipe lo stelo. Vedi Fig. 7.15.

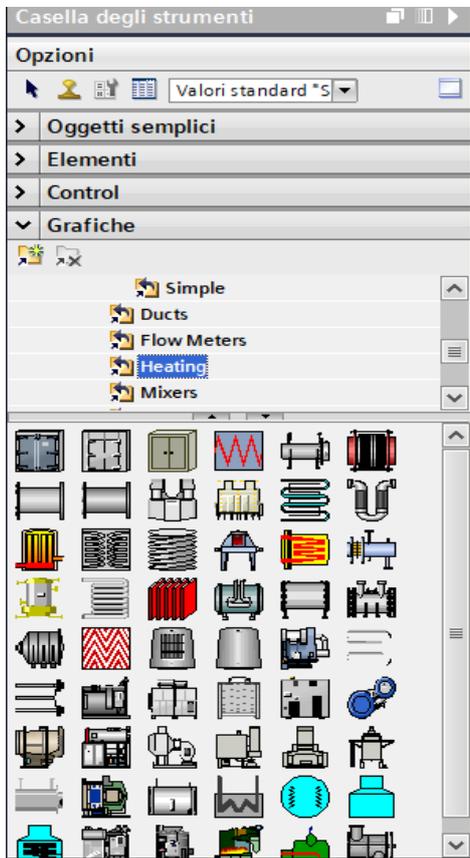


Figura 7.15 Inserimento oggetti fisici

Dopo averlo trascinato, cliccando col tasto destro tra la proprietà troviamo "Rappresentazione", in cui è possibile inserire posizione e dimensione di ciascun componente inserito. In seguito, nella casella "Animazioni". Nella finestra "Movimenti", usando l'opzione "Movimentazione Orizzontale" è possibile inserire le posizioni iniziali e finali, nonché la variabile a cui deve far riferimento per la movimentazione. Un esempio viene riportato nella figura sottostante.

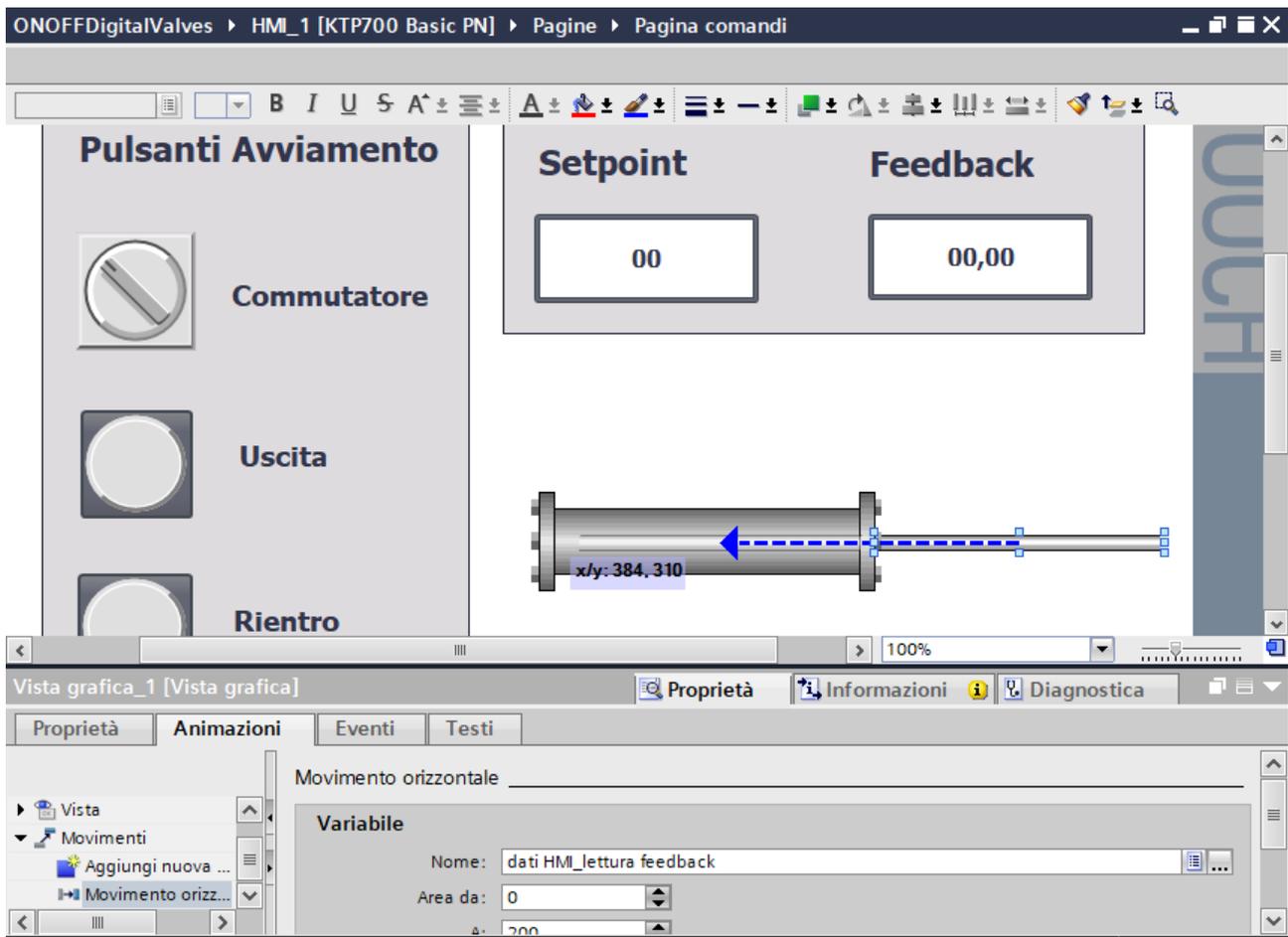


Figura 7.16 Movimentazione orizzontale

Seguono le principali schermate utilizzate per le varie valvole.

La Fig. 7.11 come anticipato è la schermata della prima prova effettuata sulla servovalvola 5/3 a centri chiusi. Segue la Fig. 7.17, rappresentante la schermata dell'HMI nel caso di controllo PWM. Bisogna ricordare che il settaggio del PID viene effettuato direttamente su TIA Portal, pertanto non vi sarà alcuna schermata riguardante i parametri di quest'ultimo.

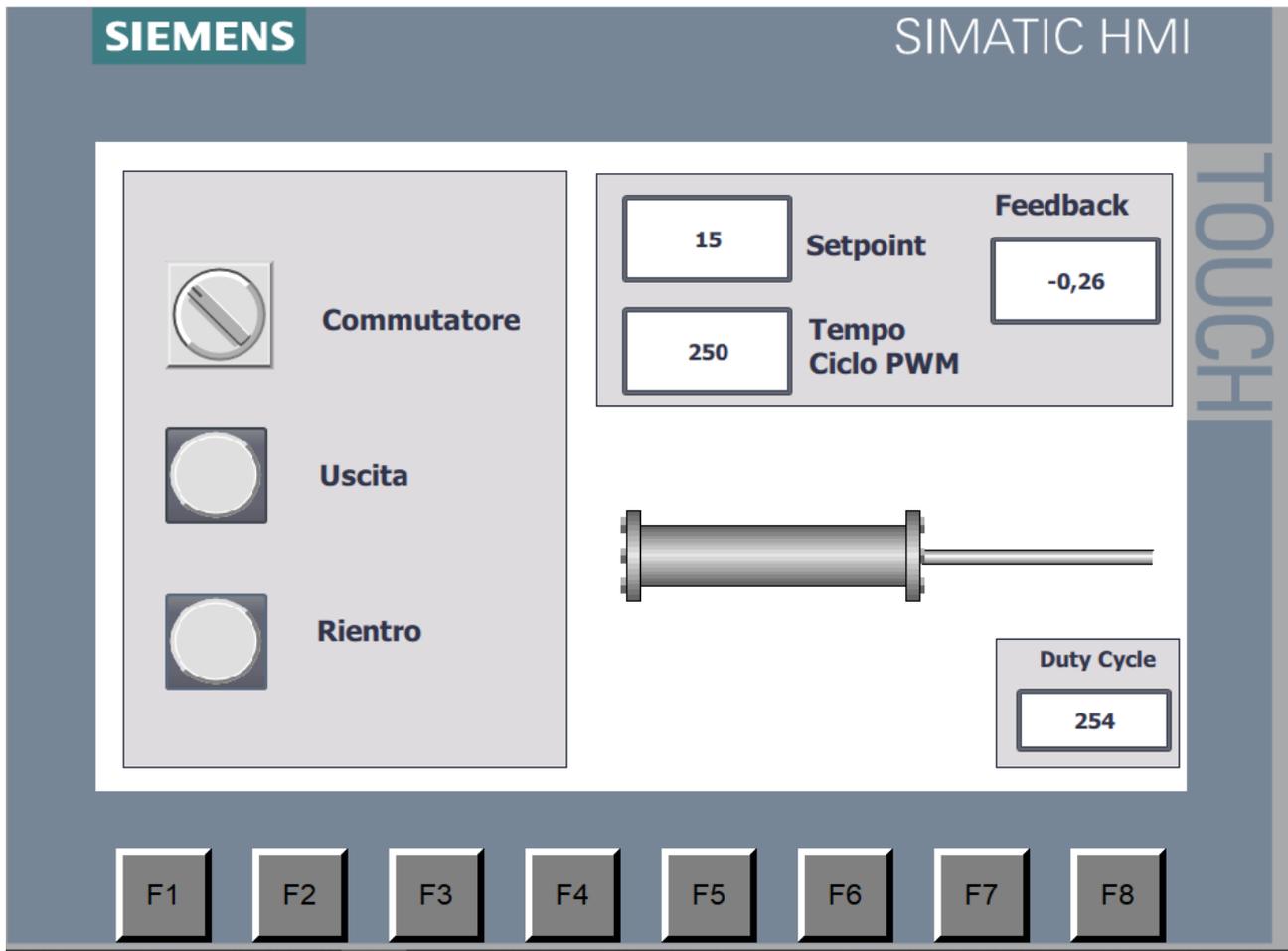


Figura 7.17 Schermata pannello prima prova PWM

Le schermate sottostanti rappresentano le pagine nel caso di utilizzo delle valvole proporzionali della serie AP, in particolare la Fig. 7.18 è la schermata nel caso di controllo PWM con l'utilizzo della funzione PTO interna al PLC, pertanto il periodo viene impostato direttamente dalle proprietà di quest'ultimo. La seconda, Fig. 7.19, viene utilizzata sia nel caso di valvole proporzionali serie AP con controllo elettronico, sia nell'ultima prova, cioè nel caso di utilizzo delle valvole della serie LR.

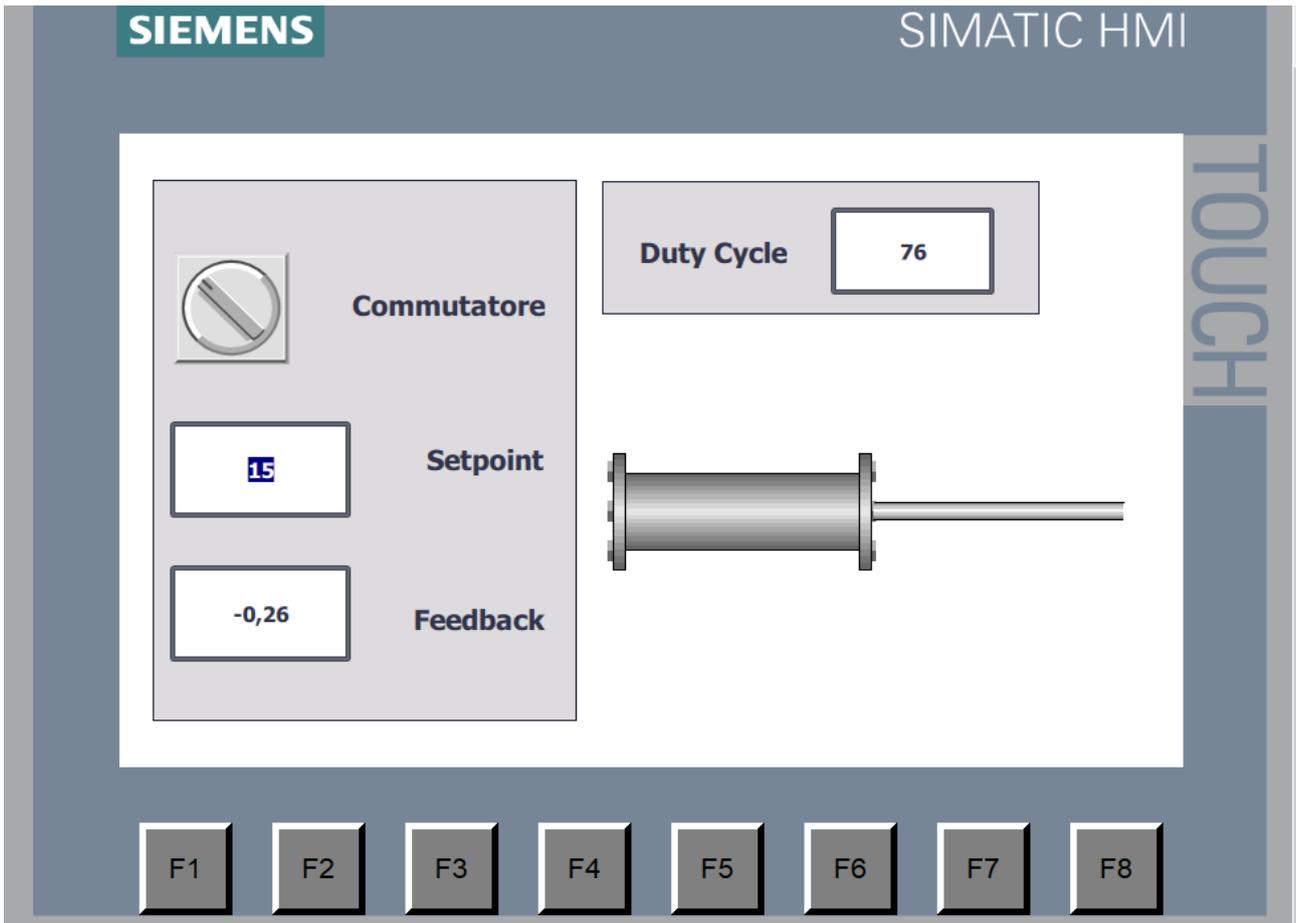


Figura 7.18 Schermata PWM seconda prova

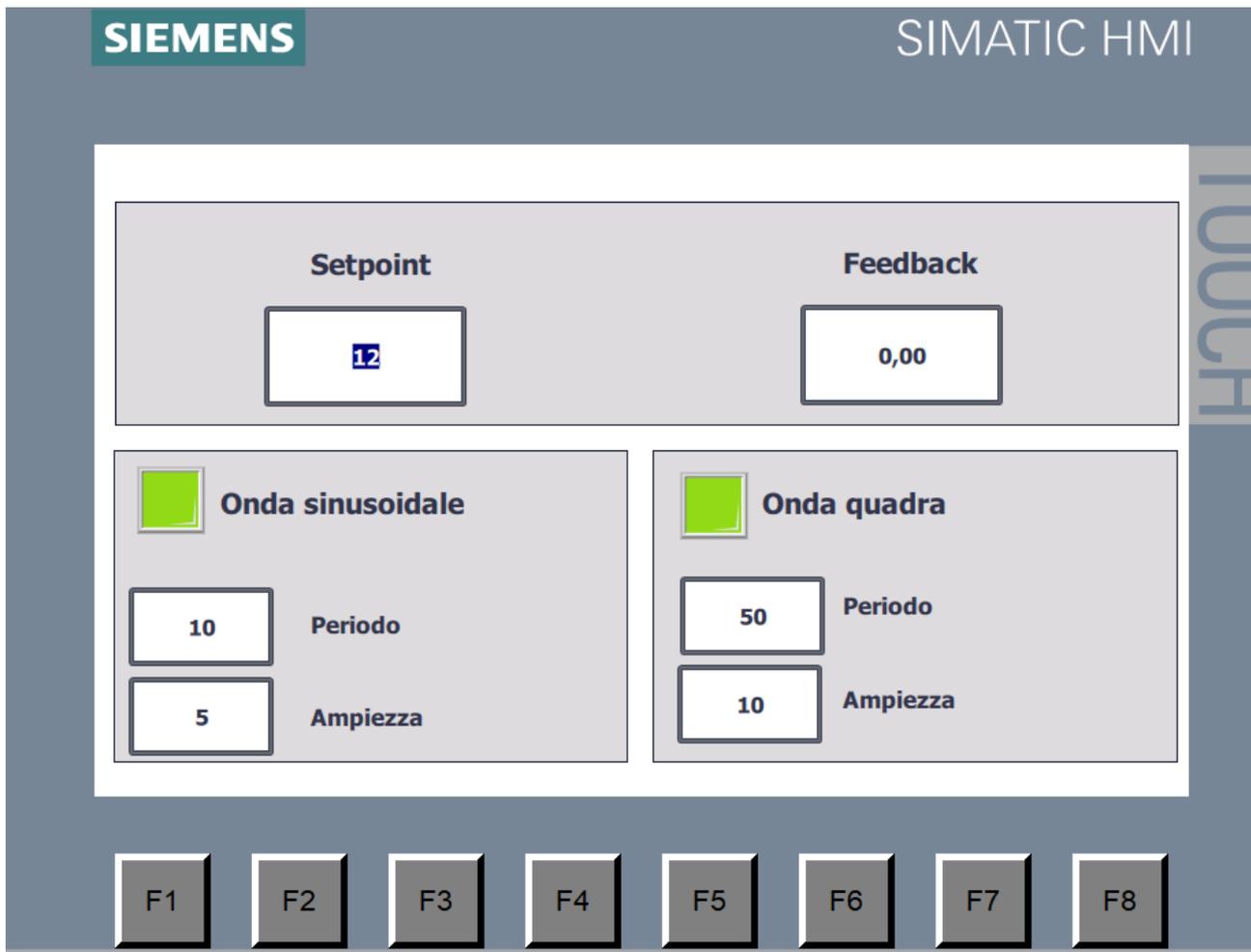


Figura 7.19 Schermata scelta segnale onda quadra o sinusoidale

I codici relativi alle prove sono stati leggermente modificati per consentire l'attivazione delle corrispettive variabili create inizialmente nel blocco DB.

Conclusioni e futuri sviluppi

Come accennato in precedenza, la documentazione svolta introduce il controllo di posizione del cilindro a doppio effetto, che si realizza collegandosi ad un PLC Siemens con l'ausilio del nodo seriale Camozzi, ed è principalmente utilizzato per la gestione di ingressi e uscite. Dopo una breve introduzione al sistema pneumatico e al controllo di posizione, vengono descritti tutti i componenti del banco di lavoro forniti dal Politecnico di Torino e situato nel laboratorio di automazione a fluidi del DIMEAS. In seguito, le prove svolte e mostrate nel Capitolo 5, mostrano:

Nella prima prova, quando è stata utilizzata la servovalvola 5/3 a centri chiusi, tra i metodi utilizzati sono stati ottenuti i migliori risultati con il metodo di controllo PWM pilotato da controllore PID. I parametri che sono stati presi in considerazione sono il tempo di assestamento " T_a " e l'errore, inteso come differenza in valore assoluto tra Setpoint e Feedback. Per la prova precedentemente citata, i migliori risultati sono rispettivamente, 3.71s e 0.72mm.

La seconda prova, effettuata con quattro valvole 3/2 proporzionali della serie AP, mostra i migliori risultati utilizzando il metodo PWM, utilizzando un'apposita uscita del PLC, sempre pilotato da controllore PID, ottenendo un tempo di assestamento pari 1.2s ed un errore di 0.1mm.

Risultati simili otteniamo quando le valvole utilizzate in precedenza vengono pilotate da un controllore elettronico (driver), con 0.18mm di errore ed un tempo di assestamento di 1.12s.

Infine utilizzando le valvole LRWD e LRXD, nella configurazione master-slave, si ottengono coi PID preimpostati all'interno delle valvole, un tempo di assestamento ed un errore rispettivamente pari a 0.51s 0.82mm.

È possibile pertanto concludere, che le migliori prestazioni sono state ottenute utilizzando la seconda configurazione con quattro valvole proporzionali della serie AP, con un controllo PWM pilotato da un controllore PID, inoltre è possibile affermare che, in base ai risultati ottenuti dalle varie prove, per questa tipologia di sistema, si ottiene una buona precisione utilizzando soltanto il guadagno proporzionale.

Tuttavia, quando si pensa a modifiche future, sarebbe interessante analizzare il comportamento del sistema, quando le valvole LRXD e LRWD funzionino entrambe in modalità Slave-Slave, oppure, come reagisce il sistema se sollecitato da un carico esterno dinamico, ad esempio una molla, o con carico permanente ad esempio una piccola massa.

Bibliografia

- [1] «Pneumatica (scienza)», *Wikipedia*. dic. 13, 2019. Consultato: giu. 11, 2021. [Online]. Disponibile su: [https://it.wikipedia.org/w/index.php?title=Pneumatica_\(scienza\)&oldid=109402010](https://it.wikipedia.org/w/index.php?title=Pneumatica_(scienza)&oldid=109402010)
- [2] «Pneumatic Actuating Systems For Automatic Equipment - Krivts Igor Lazar; Krejnin German Vladimir | Libro Crc Press 02/2006 - HOEPLI.it», *www.hoepli.it*. <https://www.hoepli.it/libro/pneumatic-actuating-systems-for-automatic-equipment/9780849329647.html> (consultato giu. 11, 2021).
- [3] H.-P. Ren, X. Wang, J.-T. Fan, e O. Kaynak, «Fractional order sliding mode control of a pneumatic position servo system», *J. Frankl. Inst.*, vol. 356, n. 12, pagg. 6160–6174, ago. 2019, doi: 10.1016/j.jfranklin.2019.05.024.
- [4] C. A. Monje, Y. Chen, B. M. Vinagre, D. Xue, e V. Feliu-Batlle, *Fractional-order Systems and Controls: Fundamentals and Applications*. London: Springer-Verlag, 2010. doi: 10.1007/978-1-84996-335-0.
- [5] «Controllo sliding mode», *Wikipedia*. gen. 19, 2020. Consultato: giu. 11, 2021. [Online]. Disponibile su: https://it.wikipedia.org/w/index.php?title=Controllo_sliding_mode&oldid=110232250
- [6] G. Belforte, T. Raparelli, e M. Velardocchia, «Pneumatic Positioner with Fuzzy Control», *IFAC Proc. Vol.*, vol. 25, n. 29, pagg. 229–234, ott. 1992, doi: 10.1016/S1474-6670(17)50571-6.
- [7] R. B. van Varseveld e G. M. Bone, «Accurate Position Control of a Pneumatic Actuator Using On/Off Solenoid Valves», vol. 2, n. 3, pag. 10, 1997.
- [8] Prof. Luigi Mazza, «Dispensa banco con materiale Camozzi». Politecnico di Torino.
- [9] P. Chiacchio, *PLC e automazione industriale*. Milano: McGraw-Hill, 1996.
- [10] «Sistemi di automazione industriale - Claudio Bonivento - Luca Gentili - - Libro - McGraw-Hill Education - Collana di istruzione scientifica | IBS».
- [11] «Automazione dei sistemi meccanici. Corso di base - Vladimir Viktorov - Federico Colombo - - Libro - CLUT - | IBS».
- [12] Siemens, «Sistema di automazione S7-1200». Manuale di sistema, 2016.
- [13] Siemens, «6ES72324HB300XB0». Datasheet.
- [14] Prof. Luigi Mazza, «Practice 4c CamozziProfinet Siemens S7-1200 TIA Portal». Politecnico di Torino.
- [15] Camozzi, «Isole di valvole Serie F». Catalogo.
- [16] Camozzi, «Cilindri Positioning Feedback Serie 6PF». Catalogo.
- [17] Siemens, «SIMATIC HMI - Pannelli operatore Basic Panel 2nd Generation».
- [18] Camozzi, «Valvole ed Elettrovalvole Serie 3». Catalogo.
- [19] Camozzi, «Valvole proporzionali ad azionamento diretto Serie AP». Catalogo.
- [20] Camozzi, «Dispositivo di controllo elettronico Serie 130 per valvole proporzionali». Catalogo.
- [21] Camozzi, «Servo valvole digitali proporzionali Serie LR». Catalogo.
- [22] Camozzi, «Istruzioni d'uso e manutenzione Servovalvola serie LRXD». Manuale.

[23] Camozzi, «Istruzioni d'uso e manutenzione Servovalvola serie LRWD». Manuale.

[24] Siemens, «SIMATIC/SINAMICS Uso delle funzioni Trace e Analizzatore logico». Manuale di guida alle funzioni.