

---

# AUTOMAZIONE DEI SISTEMI MECCANICI

---

RELAZIONI DI LABORATORIO

Politecnico di Torino



A.A. 2019/2020

Docente:  
*Prof. Vladimir Viktorov*

Autori:  
*Luca Pirini Casadei*  
*Gianmarco Santoro*  
*Alessandro Peripoli*

## Sommario

<b>1. Controllore Fuzzy .....</b>	<b>2</b>
1.1. Introduzione .....	2
1.2. Descrizione banco prova .....	2
1.3. Esecuzione delle prove .....	3
1.4. Prova 1 .....	4
1.5. Prova 2 .....	5
1.6. Prova 3 .....	7
1.7. Prova 4 .....	8
1.8. Prova 5 .....	9
<b>2. Regolazione della pressione in un serbatoio con controllo PID .....</b>	<b>11</b>
2.1. Obiettivi .....	11
2.2. Banco prova.....	11
2.3. Modulazione PWM .....	12
2.4. Sistemi di controllo continuo .....	12
2.5. Caratterizzazione del sistema .....	13
2.6. Metodi di taratura empirici di Ziegler-Nichols .....	14
2.7. Raccolta ed elaborazione dei dati .....	16
<b>3. Cicli automatici con PLC .....</b>	<b>18</b>
3.1. Introduzione .....	18
3.2. Funzione OR (funzione combinatoria) .....	19
3.3. Funzione MEMORIA (funzione sequenziale) .....	21
3.4. Traduzione del SFC in linguaggio Ladder .....	22
3.5. Ciclo con contatore e temporizzatore .....	25
<b>4. Appendice .....</b>	<b>27</b>
4.1. Schemi Ladder con temporizzatore e contatore .....	27

# 1. Controllore Fuzzy

## 1.1. Introduzione

Lo scopo dell'esercitazione è il mantenimento dell'equilibrio verticale di un pendolo rigido inverso vincolato a una piattaforma mobile dotata di quattro ruote. Il mantenimento dell'equilibrio è stato realizzato agendo opportunamente sul motore elettrico della piattaforma mobile. Il controllo viene eseguito tramite un controllore fuzzy programmabile dall'utente.

## 1.2. Descrizione banco prova

Il banco prova è costituito da un pc dotato di software per gestire il controllo fuzzy e da una piattaforma mobile di supporto al pendolo rigido, opportunamente collegata tramite un bus dati. In particolare, la piattaforma è composta dai seguenti accessori:

- Due assali, uno posteriore ed uno anteriore, sui quali sono montate le quattro ruote.
- Un motore elettrico collegato ad uno dei due assali.
- Un trasduttore potenziometrico rotativo di posizione angolare, per rilevare la posizione del pendolo (0-5 V cc).
- Una cerniera che funge da vincolo al pendolo lasciando libero il grado di libertà rotazionale intorno ad un asse parallelo agli assali delle ruote.
- Un trasduttore rotativo multi-giro LVDT di posizione, che misura lo spostamento traslatorio della piattaforma (0-5 V cc).
- Due cilindri di gomma che svolgono la funzione di fine-corsa del pendolo.
- Un pc che esegue il controllo Fuzzy.

Si riporta di seguito uno schema del meccanismo da controllare:

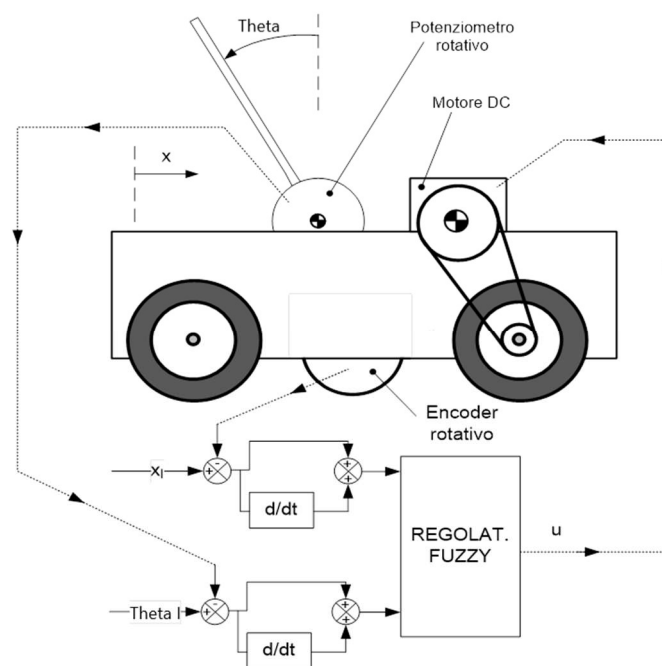


Figura 1.1 Schema meccanismo

L'interfaccia di programmazione sulla quale l'utente agisce permette, inizialmente, di scegliere il numero di variabili da controllare.

Si potrebbe agire sulla posizione angolare dell'asta  $\theta$  applicando un controllo solo proporzionale, ma tale soluzione renderebbe il sistema instabile poiché il pendolo oscillerebbe eccessivamente. Controllando anche la velocità angolare dell'asta  $\dot{\theta}$ , si avrebbe un controllo proporzionale derivativo che permette di anticipare le possibili oscillazioni del pendolo. Successivamente si è anche deciso di controllare la posizione  $X$  e la velocità  $\dot{X}$  della piattaforma. Entrambe sono opportunamente combinate in un'unica variabile in ingresso al controllo Fuzzy.

La posizione angolare  $\theta$  è rilevata tramite un trasduttore di posizione angolare di tipo resistivo, il quale emette un segnale in tensione compreso tra 0 V e 5 V. Il software invece, provvede al calcolo della velocità angolare del pendolo  $\dot{\theta}$ .

Il trasduttore di posizione della piattaforma indica la misura dello spostamento della piattaforma  $X$ , rispetto ad un riferimento stabilito, in base alla rotazione dell'assale della ruota.

Come vedremo nel paragrafo successivo, per ogni variabile in ingresso assegneremo 3 classi di appartenenza, quindi avremo delle matrici delle regole composte da  $3^3 = 27$  elementi. Per quanto riguarda la variabile di output in uscita dal controllo Fuzzy, sono state definite 5 classi di appartenenza.

Le classi di appartenenza scelte sono:

- $\theta$ : Left, Centre, Right;
- $\dot{\theta}$ : M\_Left, Zero, M\_Right;
- **Distance**: Left, MID, Right;
- **U**: FL, SL, Stop, SR, FR.

### 1.3. Esecuzione delle prove

Nella fase preliminare si è proceduto a eseguire la taratura dei trasduttori visualizzando sull'interfaccia registrandone lo zero:

- trasduttore angolare dell'asta  $\rightarrow \theta = 0^\circ \rightarrow 2,43$  [V]
- trasduttore di velocità angolare dell'asta  $\rightarrow \dot{\theta} = 0^\circ/s \rightarrow 2,50$  [V]
- trasduttore posizione carrello  $\rightarrow 2,44$  [V]

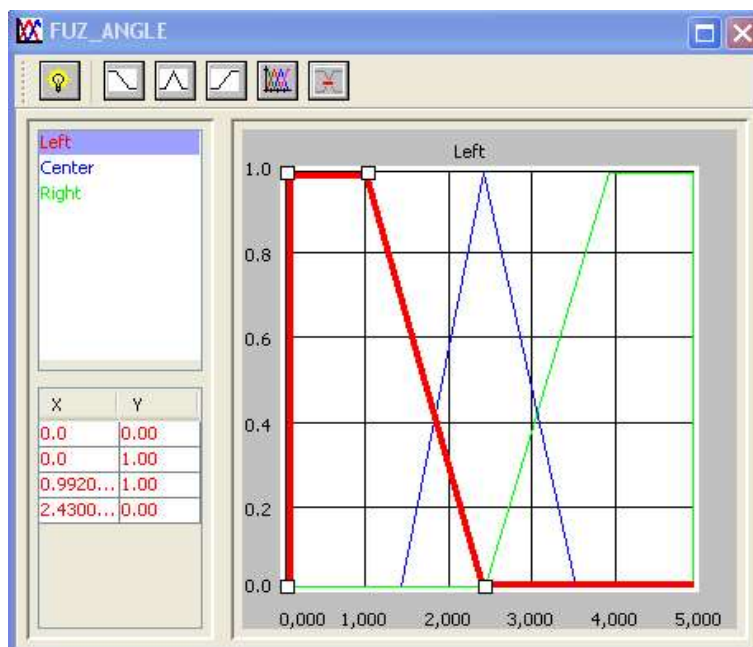
Dovendo mantenere l'equilibrio verticale del pendolo, si è fatto uno studio qualitativo degli effetti sulla rotazione dell'asta causati dal movimento della piattaforma, potendo così costruire la matrice delle regole da implementare nel controllore fuzzy.

### 1.4. Prova 1

La prima prova è stata eseguita controllando in ingresso la sola posizione angolare del pendolo. Occorre centrare le funzioni di appartenenza dell'ingresso  $\theta$  in corrispondenza del valore del segnale che fornisce il potenziometro quando il pendolo è verticale ( $\theta = 0 \rightarrow 2,43$  [V]). Una volta assegnate le condizioni è possibile le regole che in questo caso sono solo 3:

$\theta$	
L	SL
C	Stop
R	SR

Si riporta di seguito il grafico che riporta i gradi e le classi di appartenenza per la *fuzzificazione* della variabile in ingresso  $\theta$ :



Dalla prova effettuata si evince che un controllo di questo tipo è poco stabile in quanto si riesce difficilmente a mantenere il pendolo nella posizione verticale poiché tre sole condizioni non sono sufficienti. Si è notato che la piattaforma diventa immediatamente instabile non riuscendo a recuperare l'errore di posizione e se non venisse fermata continuerebbe la sua corsa all'infinito. Per tale motivo, è stata introdotta come variabile in ingresso al controllore Fuzzy anche la velocità angolare  $\dot{\theta}$ .

### 1.5. Prova 2

Nella seconda prova si è scelto di introdurre un secondo parametro da controllare, ovvero la velocità angolare del pendolo  $\dot{\theta}$ . Come fatto precedentemente sull'angolo  $\theta$  occorre centrare anche la funzione di appartenenza dell'ingresso  $\dot{\theta}$  al valore che assume la variabile FUZ-ANGLE-VELO quando il pendolo è fermo ( $\dot{\theta} = 0 \rightarrow 2,50$  [V]).

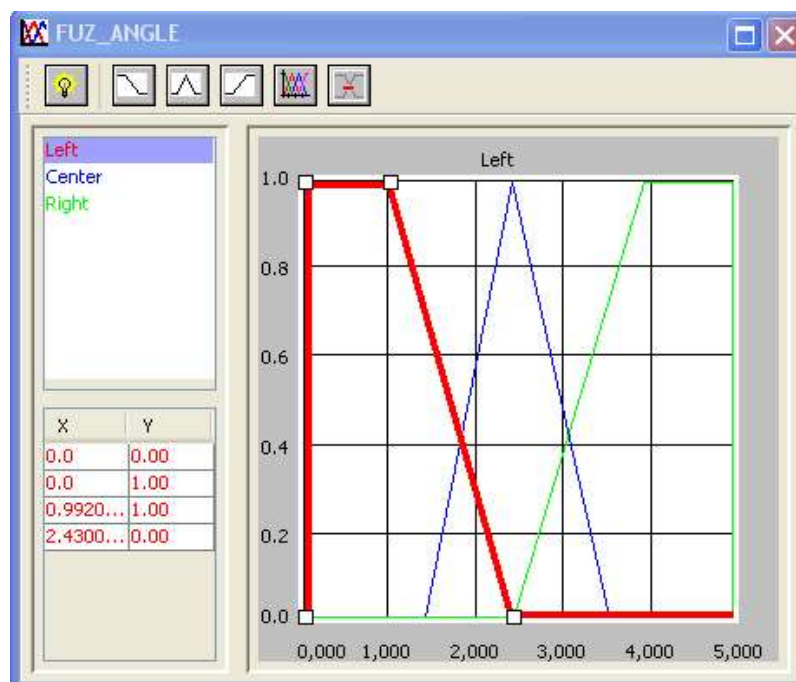
Aggiungendo una seconda variabile e tre classi di appartenenza, si hanno  $3^2 = 9$  condizioni, scegliendo di avere cinque classi di appartenenza per il comando di output della piattaforma: procedere velocemente a sinistra (FL), procedere a sinistra (SL), stop, procedere a destra (SR), procedere velocemente a destra (FR).

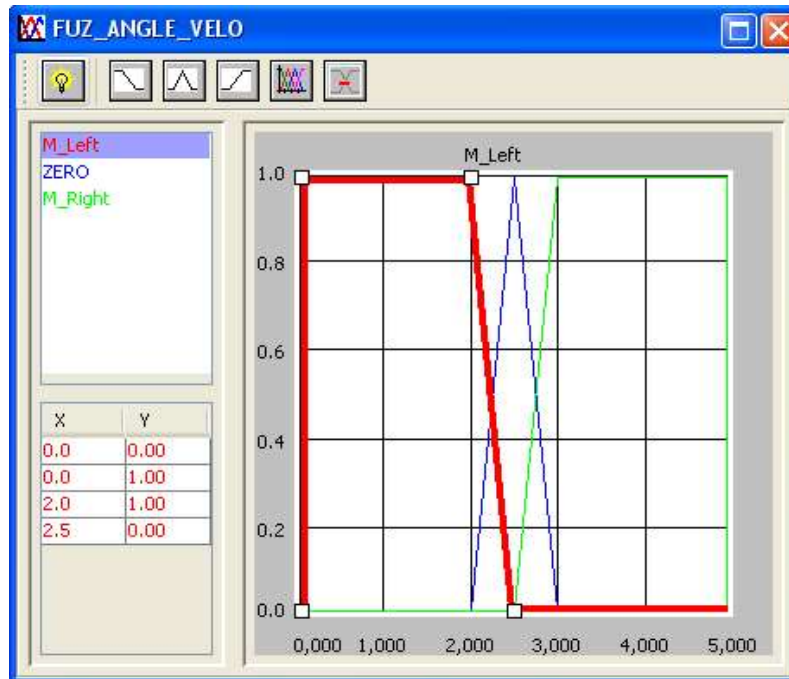
Si riporta di seguito la matrice delle regole:

$\theta \backslash \dot{\theta}$	L	Z	R
L	FL	SL	Stop
C	SL	Stop	SR
R	Stop	SR	FR

L'assegnazione delle suddette regole è dovuta al comportamento fisico del pendolo, ovvero prendendo in esame la prima regola, se il pendolo si trova a sinistra e sta procedendo a sinistra per recuperare l'errore e portarlo in posizione verticale occorre far procedere la piattaforma il più velocemente possibile nella stessa direzione. Così facendo si genera una forza di inerzia sul pendolo che tende a riportarlo in posizione verticale. Stesso ragionamento è stato fatto per tutte le altre condizioni.

Dopo aver costruito la matrice delle regole sono state assegnate le fuzzy-set, riportate in figura:

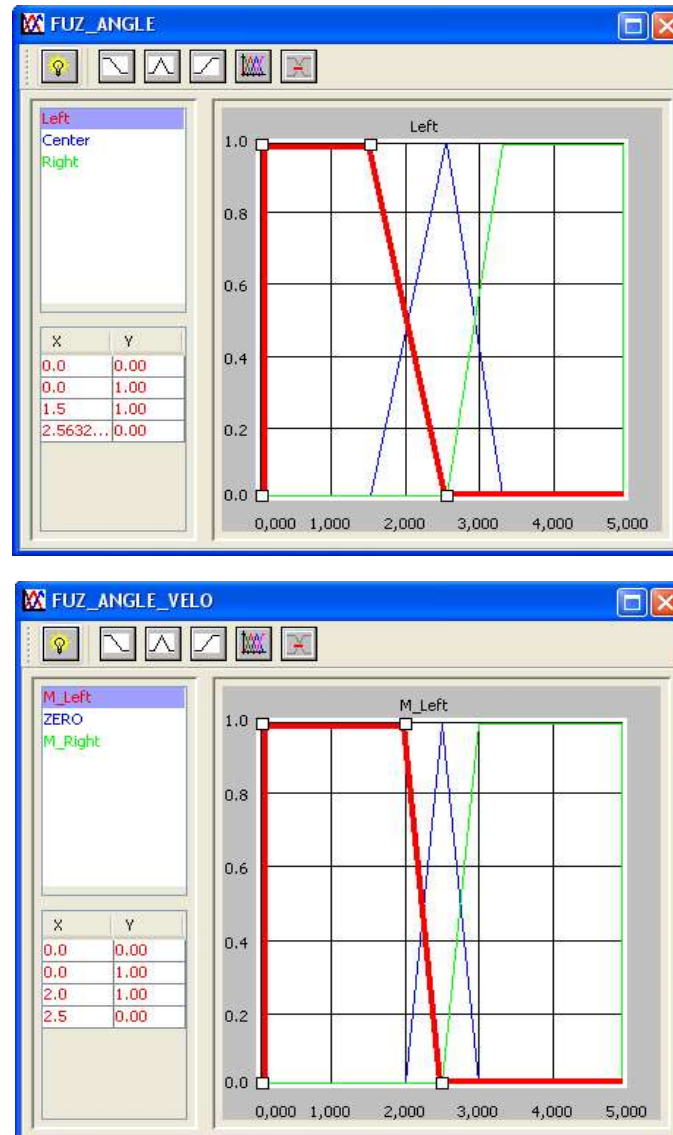




Aggiungendo in input la velocità angolare  $\dot{\theta}$ , si è visto come il controllo realizzato risulti essere migliorato. Il sistema riesce, anche se per poco tempo, a mantenere un discreto equilibrio del pendolo. Se però l'errore rispetto alla posizione centrale, in un determinato istante di tempo, risulta troppo elevato, il sistema non reagisce abbastanza prontamente per recuperarlo diventando instabile.

### 1.6. Prova 3

Nella terza prova si è scelto di modificare le classi di appartenenza dell'angolo  $\theta$ , in particolare sono state aumentate le pendenze delle *membership function* trapezoidali delle classi di appartenenza *Left* e *Right*. Inoltre, è stata ricentrata la funzione di appartenenza dell'ingresso  $\theta$  in corrispondenza del valore del segnale che fornisce il potenziometro quando il pendolo è verticale ( $\theta = 0 \rightarrow 2,56$  [V]). La matrice delle regole è rimasta invariata, quindi le nuove fuzzy-set sono riportate in figura:

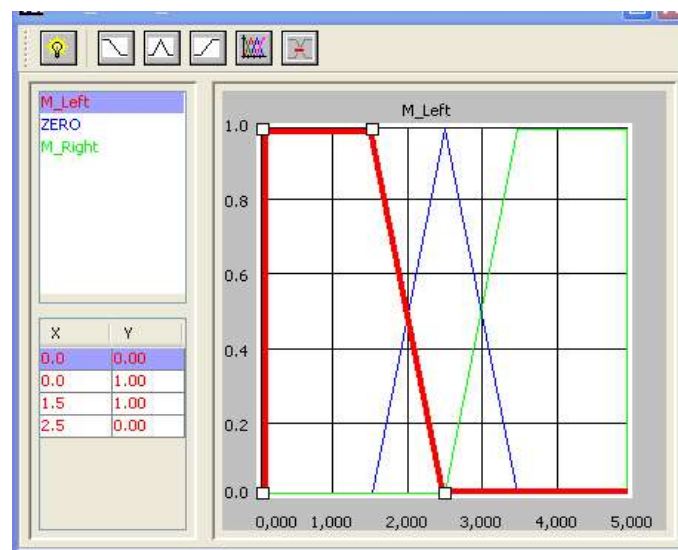
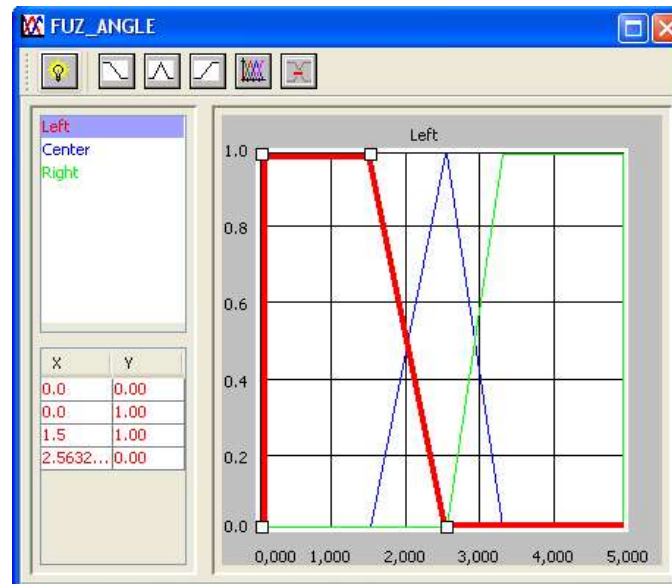


Avendo aumentato la pendenza di tali funzioni di appartenenza, si è reso più reattivo il sistema di controllo, poichè rispetto alla prova precedente, a parità angolo di inclinazione dell'asta (ad esempio 2 V), i gradi di appartenenza relativi alle classi trapezoidali risultano maggiori, quindi il sistema risulta più sensibile.



### 1.7. Prova 4

Nella quarta prova si è scelto di modificare le classi di appartenenza della velocità angolare  $\dot{\theta}$ , in particolare sono state diminuite le pendenze delle *membership function* sia trapezoidali che quella triangolare. La matrice delle regole anche in questo caso è rimasta invariata, quindi le nuove fuzzy-set sono riportate in figura:



Avendo diminuito la pendenza di tali funzioni di appartenenza, si è reso meno reattivo il sistema di controllo, poiché rispetto alla prova precedente, quindi a parità velocità angolare dell'asta (ad esempio 2 V), i gradi di appartenenza relativi alle classi trapezoidali risultano minori, quindi il sistema risulta meno sensibile, pertanto fino a quando l'asta rimane circa al centro si riesce a mantenere un certo equilibrio, mentre quando ci si allontana da tale condizione l'asta il controllo diventa instabile.

### 1.8. Prova 5

Dopo aver assegnato due variabili controllate sul pendolo si è scelto di controllare la posizione della piattaforma, imponendo che essa possa muoversi all'interno di uno spazio limitato, in modo tale da evitare che il bus che collega controllore e piattaforma mobile, possa tranciarsi. Per controllare la posizione della piattaforma si utilizza un contatore di impulsi, che, ad ogni giro dell'assale di trasmissione del moto, restituisce un impulso permettendo di conoscere quanto vale il suo spostamento. In questo modo si garantisce che il sistema cerchi di mantenere l'asta in equilibrio nella zona centrale dello spazio limitato definito. Aggiungendo una terza variabile in ingresso e tre classi di appartenenza, si hanno  $3^3 = 27$  regole da assegnare. Manteniamo le stesse *membership function* per la fuzzificazione degli ingressi  $\theta$  e  $\dot{\theta}$ , mentre per l'ingresso *Distance* azzeriamo lo spostamento premendo un apposito pulsante presente sul box elettronico. In questo modo la variabile *Distance* assume valore 2,44 V e questo rappresenta il valore centrale per la membership function *MID*.

Nell'assegnazione delle regole si intende mantenere il pendolo in equilibrio verticale, assegnando le regole viste in precedenza se il carrello è nella posizione centrale; se il carrello è in posizione spostata verso un lato, in contraddizione alla logica, bisogna muovere il carrello nella stessa direzione, in modo da sbilanciare il pendolo dal lato opposto. In questo modo la macchinina per correggere la posizione del pendolo sbilanciato si riporterà verso il centro dello spazio definito. Dovendo rappresentare 27 regole, per semplicità di riportano 3 matrici 3x3:

- $x < 0$ , Distance = *Left*

$\theta \backslash \dot{\theta}$	L	Z	R
L	FL	FL	SL
C	FL	SL	Stop
R	SL	Stop	SR

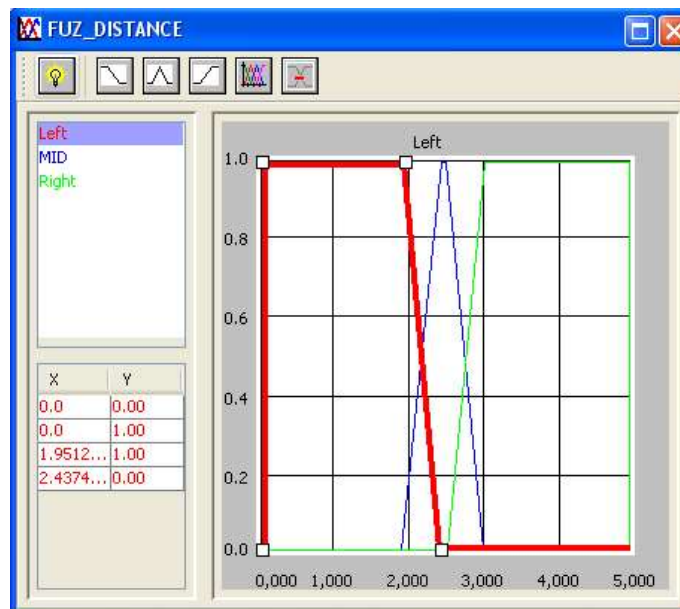
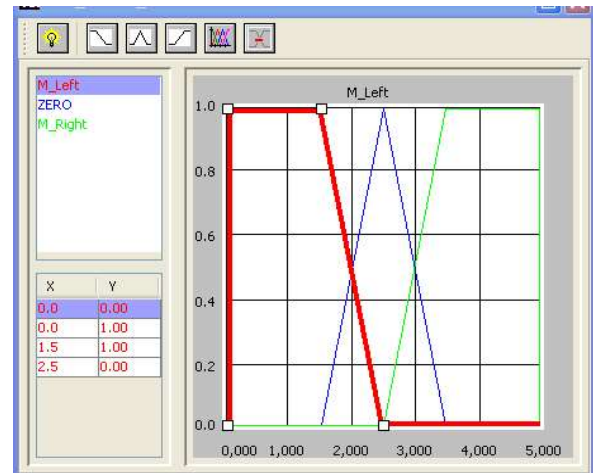
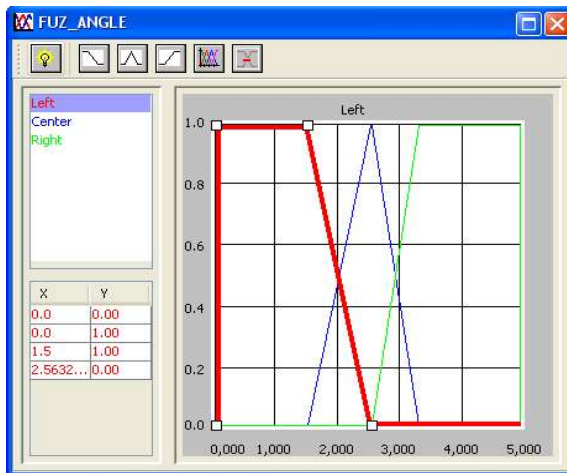
- $x = 0$ , Distance = *MID*

$\theta \backslash \dot{\theta}$	L	Z	R
L	FL	SL	Stop
C	SL	Stop	SR
R	Stop	SR	FR

- $x > 0$ , Distance = *Right*

$\theta \backslash \dot{\theta}$	L	Z	R
L	SL	Stop	SR
C	Stop	SR	FR
R	SR	FR	FR

Le *membership function* per la fuzzificazione usate sono le seguenti:



Questo ulteriore parametro di ingresso, ha permesso di rendere il controllo del sistema più stabile rispetto alle configurazioni precedenti solo nella zona centrale dello spazio definito. Nel momento in cui però, la piattaforma mobile si è spostata verso un lato (destra o sinistra), non è stata più in grado di riportarsi in condizioni di equilibrio nella zona centrale, quindi si può concludere che nell'esperienza di laboratorio, il controllore Fuzzy non è stato regolato in modo adeguato.

## 2. Regolazione della pressione in un serbatoio con controllo PID

### 2.1. Obiettivi

Scopo dell'esperienza è la taratura dei parametri di un controllore PID, sia in anello aperto che in anello chiuso, tramite il metodo di Ziegler-Nichols.

Il controllore in questione regola la pressione all'interno di un serbatoio con la tecnica PWM.

### 2.2. Banco prova

Il banco prova per eseguire i test è composto dai seguenti componenti:

- PLC Allen-Bradley:
  - Alimentazione: 24 V dc.
  - Ingresso: 0-5 V analogico, convertito poi in A/D nel modulo I/O.
  - Uscita da il segnale PWM di comando.
- Oscilloscopio per la visualizzazione dei dati.
- PC per l'acquisizione.
- Elettrovalvole digitali 2/2 monostabili normalmente chiuse:
  - $V_1$ : valvola per l'alimentazione del serbatoio.
  - $V_2$ : valvola per lo scarico del serbatoio.
  - Alimentazione: 24 V DC.
  - Ingresso: segnale PWM.
  - $t_{apertura} = 0,001\text{ s}$
  - $p_{max} = 6\text{ bar}$
- $T_p$ : trasduttore di pressione
  - Alimentazione: 5 V
  - Ingresso: 0-7 bar
  - Uscita: 0,5-4,5 V

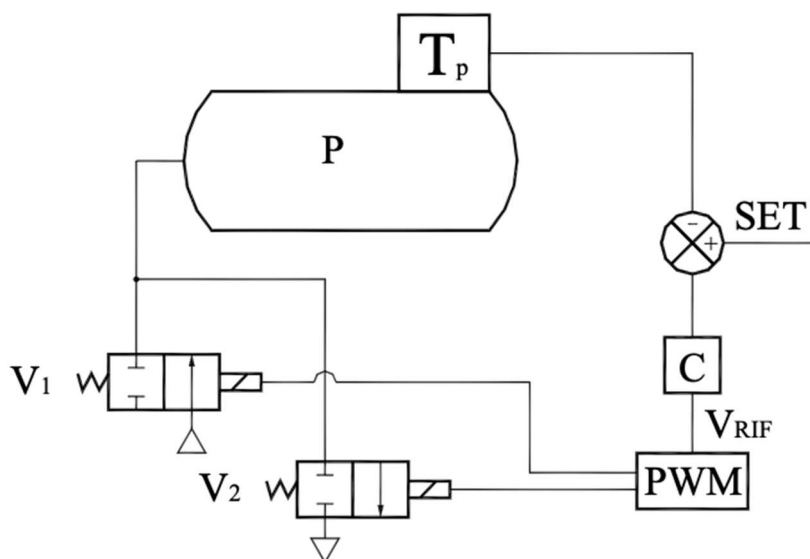


Figura 2.1 – Schema del banco prova

### 2.3. Modulazione PWM

In particolari applicazioni si necessita di una maggiore sicurezza rispetto a quella garantita dalle valvole proporzionali, in questi casi è possibile creare un controllo continuo e proporzionale con delle valvole digitali, più robuste ed economiche, ricorrendo alla tecnica *PWM* (*Pulse Width Modulation*).

Attraverso questo metodo si trasforma un segnale di controllo in ingresso di tipo digitale in un output in portata che è proporzionale al valor medio del segnale in ingresso.

Questo avviene generando un segnale di comando della valvola a onda quadra di periodo  $T$  costante e modulando il tempo di apertura della valvola rispetto a quello di chiusura all'interno del periodo stesso. Le grandezze caratteristiche della tecnica sono:

- $T$  periodo della portante
- $t_1$  durata dell'impulso
- $t_0 = T - t_1$  durata della pausa
- $DC$  (*duty cycle*) =  $\frac{t_1}{T} \cdot 100$

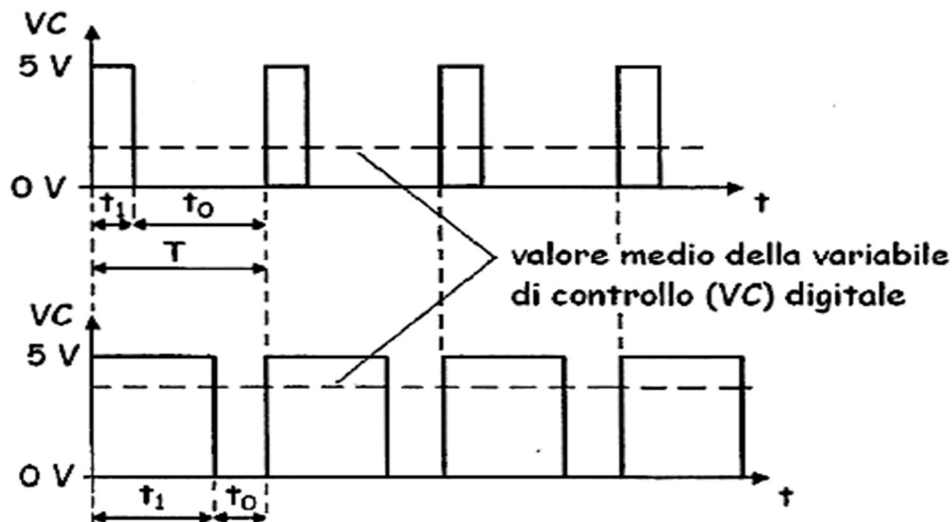


Figura 2.2 – Andamento variabile di controllo con tecnica PWM

La pressione all'interno del serbatoio è rilevata con un trasduttore, il cui segnale viene elaborato dal PLC che lo converte in bar. La differenza tra il valore desiderato e quello misurato (Set-Feedback) definisce un errore che viene compensato da un controllore PID definendo un segnale di riferimento  $V_{RIF}$  per il driver PWM. Il driver produce dei segnali modulati di pilotaggio delle valvole, connesse una all'alimentazione e l'altra allo scarico del serbatoio, permettendo di incrementare o di decrementare il livello di pressione nel serbatoio a seconda che l'errore sia rispettivamente positivo o negativo, raggiungendo dunque il valore di pressione desiderato.

### 2.4. Sistemi di controllo continuo

Il controllo di tipo PID, proporzionale, integrale e derivativo, è il metodo di controllo più utilizzato nelle applicazioni industriali, e la sua diffusione è dovuta alla semplicità della legge di controllo, che

si avvale di pochi parametri di taratura. Inoltre, esistono di metodi di taratura empirici che permettono di identificare il processo da controllare e di calcolare i parametri di controllo ottimale.

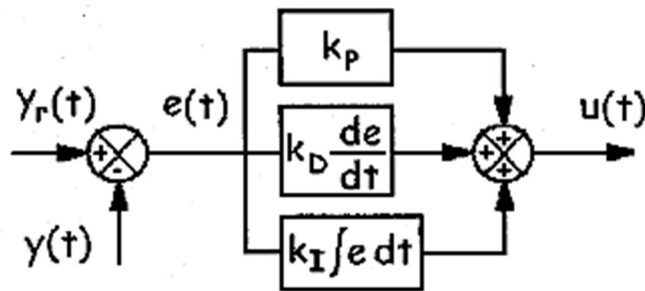


Figura 2.3 – Schema di controllore PID

La funzione di trasferimento del controllo di tipo PID nel dominio del tempo è data dalla seguente espressione:

$$u(t) = k_p \left[ e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right]$$

Dove:

- $T_d = \frac{k_d}{k_p}$  è la costante di tempo derivativa
- $T_i = \frac{k_p}{k_i}$  è la costante di tempo integrativa

I contributi delle tre diverse azioni possono essere riassunti come segue:

- Il guadagno proporzionale  $k_p$  si introduce principalmente per diminuire il tempo di salita aumentando la prontezza del sistema, ma ha lo svantaggio di ridurre la stabilità.
- Il guadagno integrativa  $k_i$  permette di eliminare l'errore statico, cioè quello a regime, tanto più velocemente quanto è più grande il valore di guadagno, ma anch'esso riduce il margine di stabilità.
- Il guadagno derivativo  $k_d$  diminuisce la sovraelongazione e aumenta il margine di stabilità, ma amplifica i disturbi ad alte frequenze.

## 2.5. Caratterizzazione del sistema

Prima di eseguire la taratura del controllore si è dovuto caratterizzare il sistema, in modo da conoscere la corrispondenza biunivoca tra ingresso e uscita. Questo permetterà di prevedere il valore di pressione relativo ad un certo DC impostato.

Per prima cosa si è regolata opportunamente la resistenza: si è fatto in modo che con un DC = 50% si avesse un buon livello di pressione (4-5 bar); l'apertura della resistenza non verrà modificata per tutto il corso dell'esperienza.

A questo punto si è variato gradualmente il DC per step di 5% andando a leggere il relativo livello di pressione raggiunto quando il sistema si stabilizza. Si noti che il trasduttore di pressione restituisce

un valore in volt, valore direttamente convertito in bar dal PLC, sulla base della caratteristica del trasduttore che è nota.

Per evidenziare eventuali isteresi lo stesso procedimento è stato ripetuto sia in salita che in discesa, constatando delle lievi differenze.

I risultati ottenuti sono riportati nel grafico sottostante, dove appaiono evidenti anche delle bande morte. Si è infatti riscontrato che, impostando DC inferiori al 15% o superiori al 90%, non vi è variazione di pressione all'interno del serbatoio, dando quindi luogo a delle bande morte.

Infatti, nonostante venga rispettata la buona norma di scegliere delle valvole con una frequenza di taglio molto più alta della frequenza del segnale PWM, se le frequenze di commutazione sono troppo alte la dinamica della valvola non ne permette la commutazione lasciando lo stato di apertura o chiusura invariato.

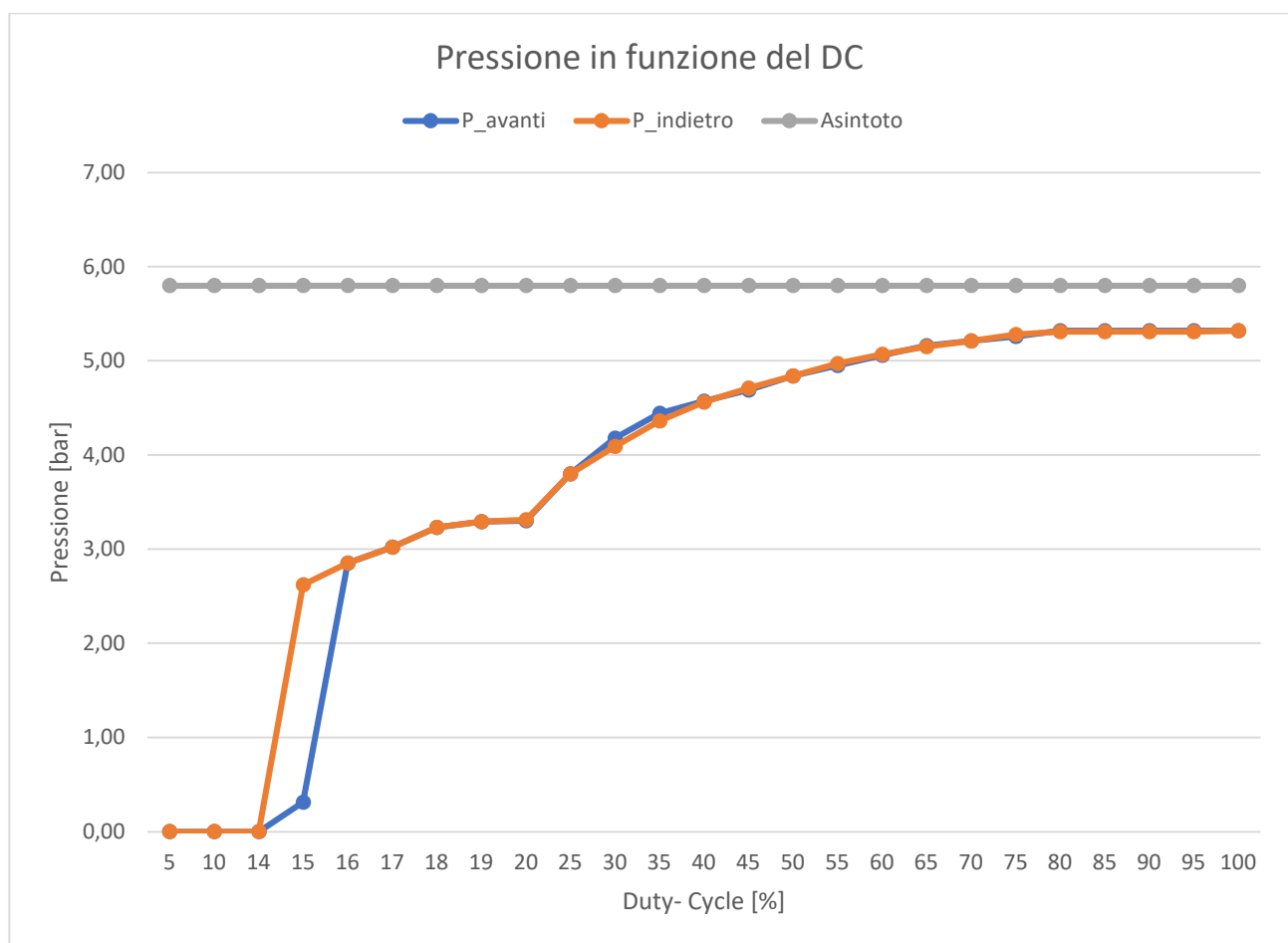


Figura 2.4 – Diagramma di riempimento e svuotamento del serbatoio in base al duty-cycle imposto

## 2.6. Metodi di taratura empirici di Ziegler-Nichols

Per la taratura si è sfruttato il metodo di Ziegler-Nichols nelle sue due configurazioni: in anello aperto e in anello chiuso.

Il metodo si basa sul modello FOLPD (First Order Lag Plus Delay), nell'ipotesi che la risposta dinamica del sistema possa essere approssimata da una funzione di trasferimento del primo ordine con un termine di ritardo. Il procedimento porta a ricavare il guadagno proporzionale e le costanti di tempo integrativa e derivativa ottimali attraverso un procedimento empirico.

- Metodo in anello aperto

1. Si è applicato all'ingresso del sistema in anello aperto una variazione di duty cycle, e si è registrato tutto il transitorio temporale della pressione fino al raggiungimento del suo valore di regime.
2. Si è disegnata la tangente al transitorio nel punto di flesso e si è determinata graficamente la costante di tempo  $T$ , il guadagno statico  $K = \Delta y / \Delta u$  e il tempo di ritardo  $\tau$ .

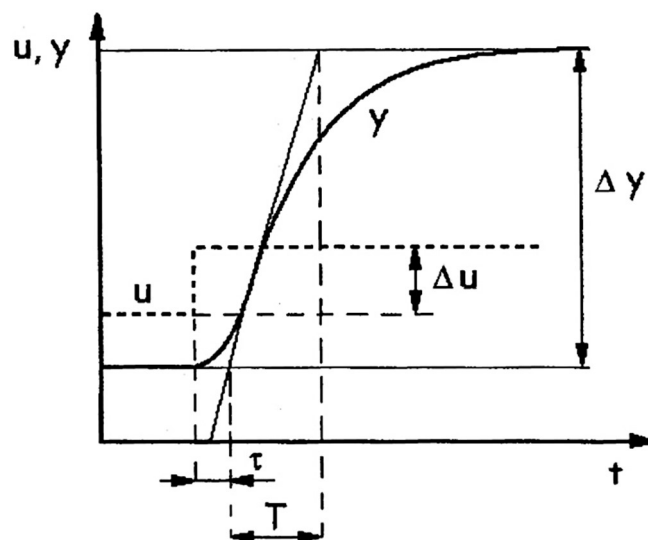


Figura 2.5 – Determinazione grafica dei 3 parametri

3. Una volta ottenuti tali parametri, applicando le formule empiriche di taratura si ottengono i valori del guadagno proporzionale e delle costanti di tempo per un controllo ottimale nel caso di controllori PID.

	$k_p$	$T_i$	$T_d$
P	$1 / \tau R$	-	-
PI	$0.9 / \tau R$	$3\tau$	-
PID	$1.2 / \tau R$	$2\tau$	$0.5\tau$

Figura 2.6 – Tabella parametri Z-N anello aperto

Le tre formule per il calcolo dei parametri di controllo PID nel caso di sistema aperto utilizzate seguendo il metodo di Ziegler-Nichols sono allora:



$$k_p = \frac{1.2 T}{\tau K} \quad T_i = 2 \tau \quad T_d = 0.5 \tau$$

- Metodo in anello chiuso

1. Nel sistema di controllo ad anello chiuso si sono portati a zero i coefficienti  $k_p$ ,  $k_i$  e  $k_d$ .
2. Si è aumentato gradualmente il valore del coefficiente proporzionale  $k_p$  finché la risposta ad una minima perturbazione dell'ingresso non ha comportato un'oscillazione permanente dell'uscita. Si è così definito il guadagno proporzionale critico  $k_{p0}$ .
3. In tali condizioni, al limite dell'instabilità, si è registrato il periodo delle oscillazioni  $T_0$ , valutato appunto sull'onda instauratasi.

A questo punto i parametri dei controllori proposti da Ziegler e Nichols si ricavano mediante le seguenti formule:

$$k_p = 0.6 k_{p0} \quad T_i = 0.5 T_0 \quad T_d = 0.125 T_0$$

## 2.7. Raccolta ed elaborazione dei dati

Nel metodo in anello aperto i dati sono stati raccolti dall'oscilloscopio su intervallo di tempo di circa 20 secondi. Questi rappresentano l'andamento della pressione sulla base di una variazione di DC (gradino). Elaborando questi dati con un codice Matlab il risultato è il seguente:

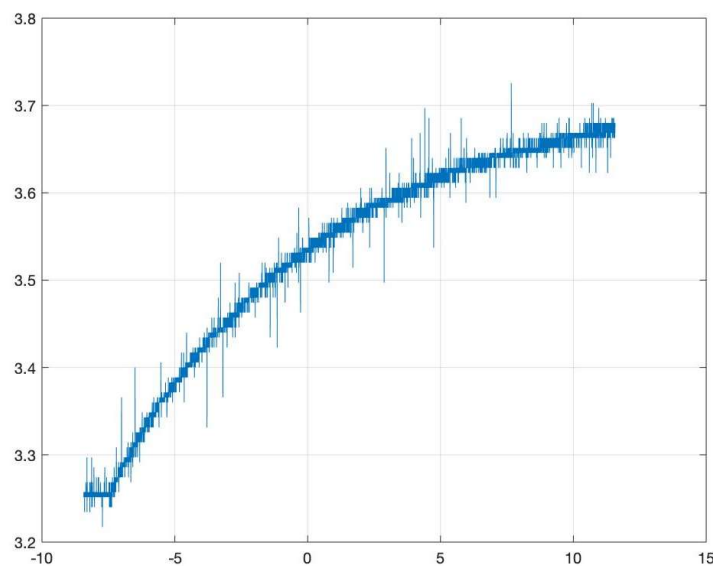


Figura 2.7 – Curva acquisita per l'applicazione di Z-N

Dopo un opportuno filtraggio è stata ricavato un andamento più nitido, sulla base del quale è stato possibile applicare la procedura grafica descritta per valutare i parametri richiesti dal metodo di Z-N in anello aperto.

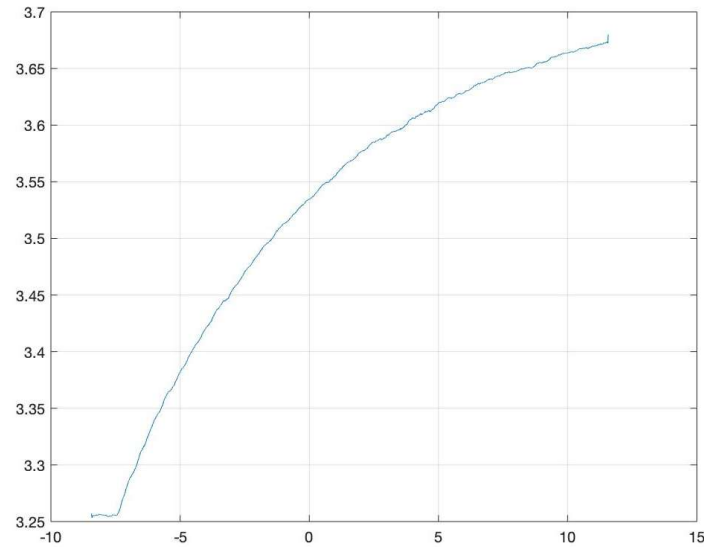


Figura 2.8 – Curva dopo il filtraggio

I valori di  $K$ ,  $\tau$  e  $\theta$  ottenuti sono:

$$K = 0,55$$

$$\tau = 6,37$$

$$\theta = 0,14$$

Per quanto riguarda la taratura in anello chiuso non è richiesto alcun grafico, ma è sufficiente valutare il  $kp_0$  e il  $T_0$ . Il valore critico di guadagno proporzionale per il quale si instaura un'oscillazione permanente è pari a 191. Il periodo corrispondente vale invece 2,78 s.

Infine, si raggruppano i risultati sperimentali ottenuti eseguendo il metodo di taratura di Z-N nelle due modalità.

ANELLO APERTO				ANELLO CHIUSO			
K	0,55			kp0	191		
$\tau$	6,37			T0	2,78		
$\theta$	0,14						
	Kp	Ti	Td		Kp	Ti	Td
PID	98,65	0,28	0,07	PID	114,6	1,39	0,35

Tabella 2.1 – Risultati sperimentali

Ovviamente, essendo lo stesso controllore, mi aspetterei che i valori delle costanti ottenute coi due diversi metodi coincidano. Dal momento che questo non si verifica è possibile affermare che la procedura non è stata eseguita in modo accurato. È probabile che questo sia dovuto ad una lettura grafica poco precisa nel metodo in anello aperto.

## 3. Cicli automatici con PLC

### 3.1. Introduzione

Scopo dell'esperienza è la realizzazione di circuiti automatici attraverso l'uso di un PLC, al fine di comprenderne il funzionamento. Dopo aver analizzato le funzioni di base (OR e MEMORIA) si procede all'implementazione di un circuito più complesso a partire da un Grafcet, convertito poi in linguaggio Ladder. È stato infine aggiunto un contatore e un temporizzatore.

Il materiale utilizzato comprende:

- PLC con linguaggio di programmazione Ladder;
- Calcolatore;
- Pannello con attuatori, finecorsa, elettrovalvole e pulsanti.

### 3.2. Funzione OR (funzione combinatoria)

La funzione OR attiva l'uscita ogni volta che anche uno solo degli ingressi è posto a 1. L'uscita viene attivata anche nel caso di più ingressi presenti contemporaneamente. La funzione viene realizzata ponendo in parallelo i contatti normalmente aperti: la chiusura di uno di questi eccita la bobina.

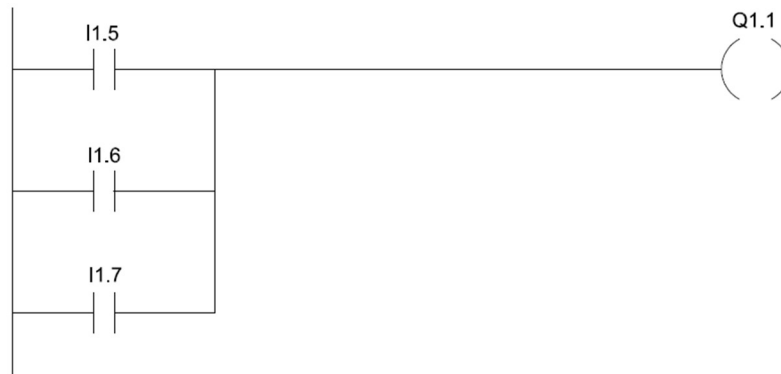


Figura 3.1 - Ladder corretto della funzione OR

La funzione logica booleana corrispondente è la somma:

$$Q1.1 = I1.5 + I1.6 + I1.7$$

Essa è descritta dalla tabella di verità:

I1.5	I1.6	I1.7	Q1.1
0	0	0	0
1	0	0	1
0	1	0	1
1	1	0	1
0	0	1	1
1	0	1	1
0	1	1	1
1	1	1	1

Tabella 3.1 - Tabella di verità della funzione OR

È stato realizzato un altro ladder in cui i contatti normalmente aperti vengono posti in rung differenti e comandano tutti la stessa uscita.

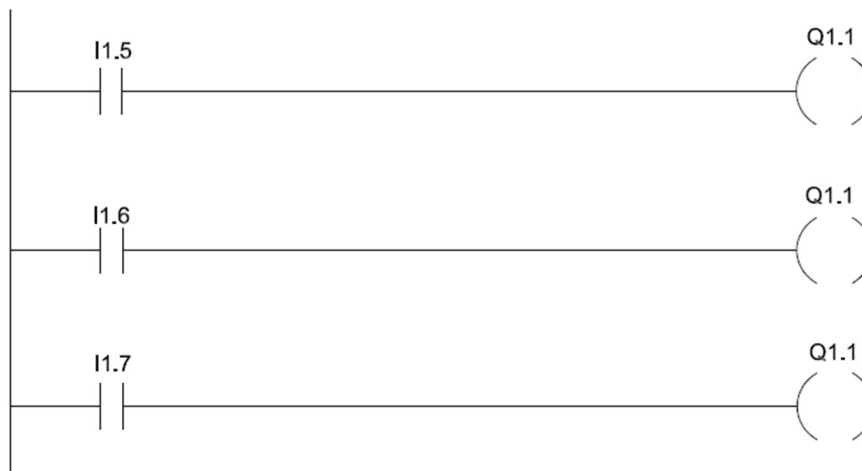


Figura 3.2 - Ladder NON corretto della funzione OR

Questo ladder non realizza la funzione OR a causa della scansione sincrona del programma: di volta in volta viene letta ed eseguita solo l'ultima istruzione, per cui la funzione logica realizzata si esprime come:

$$Q1.1 = I1.7$$

I1.5	I1.6	I1.7	Q1.1
0	0	0	0
1	0	0	0
0	1	0	0
1	1	0	0
0	0	1	1
1	0	1	1
0	1	1	1
1	1	1	1

Tabella 3.2 - Tabella di verità della funzione OR errata

### 3.3. Funzione MEMORIA (funzione sequenziale)

La funzione di memoria sfrutta comandi SET e RESET per la realizzazione di circuiti che mantengono attiva l'uscita anche quando viene meno il comando di attivazione. Sono possibili più varianti.

Nella prima variante proposta si nota come l'uscita Q1.1 può essere attivata attraverso il settaggio con i comandi I1.5 e I1.6. I comandi I1.7 e I2.0 invece disattivano l'uscita attraverso il resettaggio.

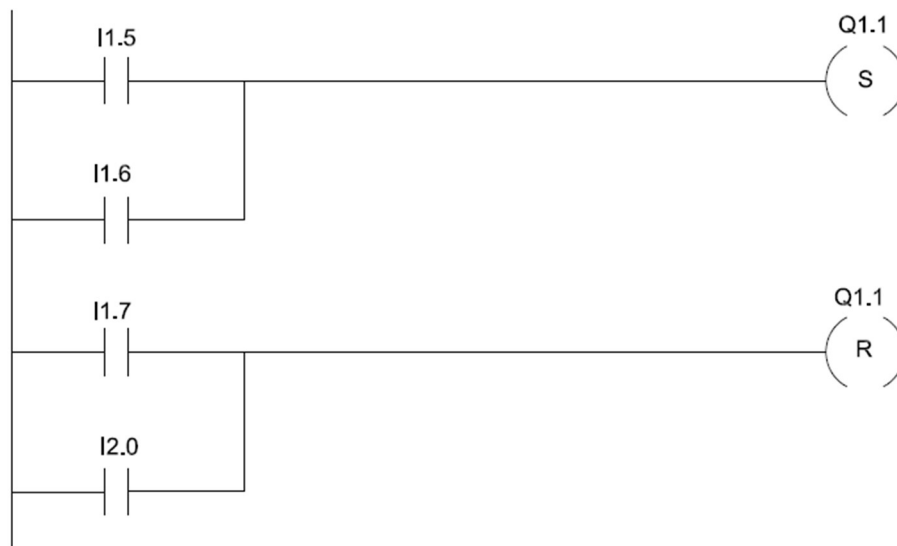


Figura 3.3 - Ladder della funzione memoria (variante 1)

Un'altra variante di Ladder per realizzare una memoria consiste nell'utilizzare un'istruzione di SET e una di RESET per ogni ingresso. In questa configurazione la scansione sincrona del PLC non influenza l'efficacia della memoria.

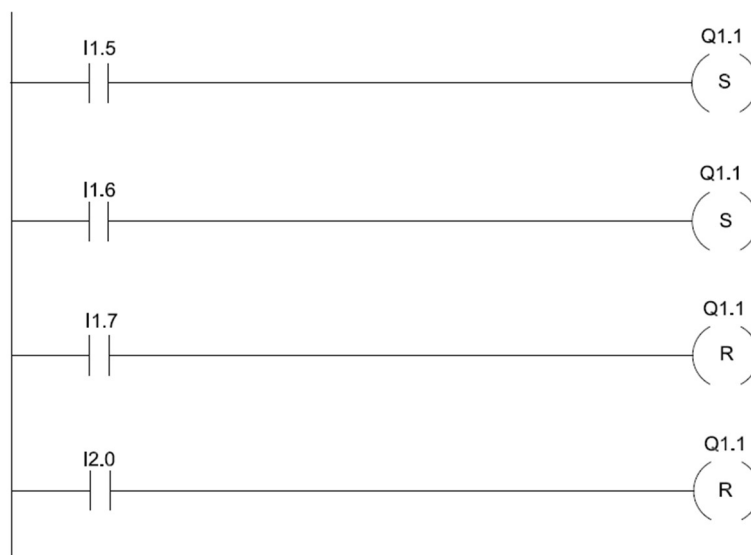


Figura 3.4 - Ladder della funzione memoria (variante 2)

### 3.4. Traduzione del SFC in linguaggio Ladder

Lo scopo di questo esercizio è la traduzione di un ciclo automatico in linguaggio SFC. Il PLC utilizzato in laboratorio non supporta la programmazione SFC (Sequential Functional Chart), per cui è stato creato il grafet del ciclo automatotico e tradotto in seguito con il linguaggio Ladder. Per effettuare questa traduzione vi è una procedura specifica:

- Si associa ad ogni fase un bit di memoria (marker della fase) che ne indichi lo stato di attivazione o di disattivazione.
- Si associa ad ogni transizione un bit di memoria (marker di transizione) che indica se la transizione è superabile o meno.

Il ciclo automatico in questione è il seguente:

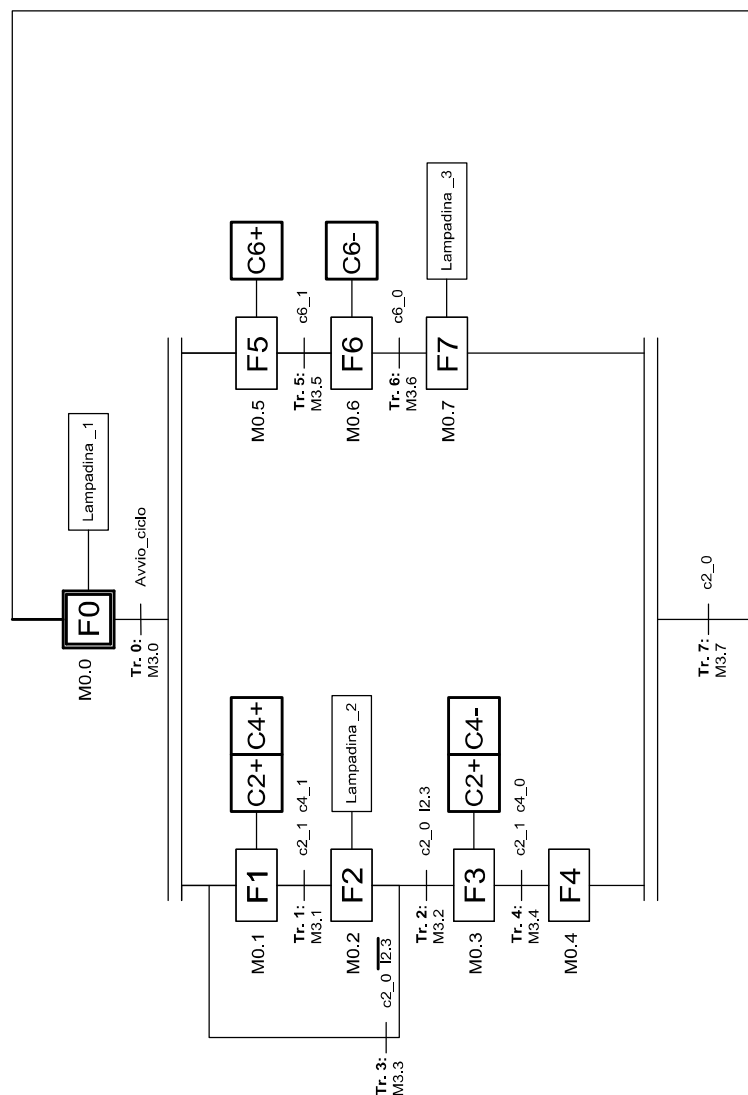


Figura 3.5 - Grafet relativo al ciclo automatico di studio

In cui vi sono sette azioni:

- Fase 0: Accensione Lampadina 1;
- Fase 1: Uscita Cilindro 2 e Cilindro 4;
- Fase 2: Rientro Cilindro 2 – accensione lampadina 2;
- Fase 3: Rientro Cilindro 4 – uscita Cilindro 2;
- Fase 4: Rientro Cilindro 2;
- Fase 5: Uscita Cilindro 6;
- Fase 6: Rientro Cilindro 6;
- Fase 7: Accensione lampadina 3.

Si nota che al rientro del cilindro 2 non è associata nessuna azione, questo è dovuto al fatto che è comandato da una valvola monostabile e quindi quando viene eliminato il comando di uscita il cilindro rientra in automatico. In altre parole, non ha bisogno di un comando per il rientro.

Visto che per la programmazione del PLC vengono utilizzate le etichette che il PLC associa a ciascuna uscita e ingresso, vengono di seguito riportate le corrispondenze tra i vari comandi e le rispettive etichette:

INGRESSI		USCITE	
Etichetta	Descrizione	Etichetta	Descrizione
I0.2	Finecorsa C2_0	Q0.1	Fuoriuscita Cilindro 2, Valvola monostabile (C2+)
I0.3	Finecorsa C2_1	Q0.3	Fuoriuscita Cilindro 4, Valvola bistabile (C4+)
I0.6	Finecorsa C4_0	Q0.4	Rientro Cilindro 4, valvola bistabile (C4-)
I0.7	Finecorsa C4_1	Q0.7	Fuoriuscita Cilindro 6, Valvola bistabile (C6+)
I1.2	Finecorsa C6_0	Q1.0	Rientro Cilindro 6, valvola bistabile (C6-)
I1.3	Finecorsa C6_1	Q1.1	Lampadina 1
I1.5	Pulsante di inizializzazione	Q1.2	Lampadina 2
I2.3	Interruttore 1	Q1.3	Lampadina 3
I2.5	Pulsante di START		

Figura 3.6 - Associazione etichette PLC ai rispettivi ingressi o uscite

Nella traduzione di un programma SFC in linguaggio Ladder vengono usualmente realizzate quattro sezioni:

1. Sezione di inizializzazione: Nella quale viene posto a “1” il marker della fase iniziale. Il settaggio avviene mediante il pulsante di inizializzazione ('I1.5').
2. Sezione di valutazione delle transizioni: nella quale si verifica la superabilità di una transizione, in caso positivo viene attivato il relativo marker.
3. Sezione di aggiornamento delle condizioni: nella quale vengono attivate le fasi immediatamente a valle e disattivate quelle immediatamente a monte.



4. Sezione di esecuzione delle azioni: nella quale si compiono le azioni delle fasi attive, attivando o disattivando le corrispondenti uscite del PLC.

Si nota che si hanno due sequenze in parallelo, tra le due doppie linee orizzontali: la prima in alto è detta di parallelismo, la seconda in basso è detta di sincronizzazione (non può essere superata finché non vengono raggiunti entrambe le fasi).

In seguito, si riportano gli schemi Ladder eseguiti:

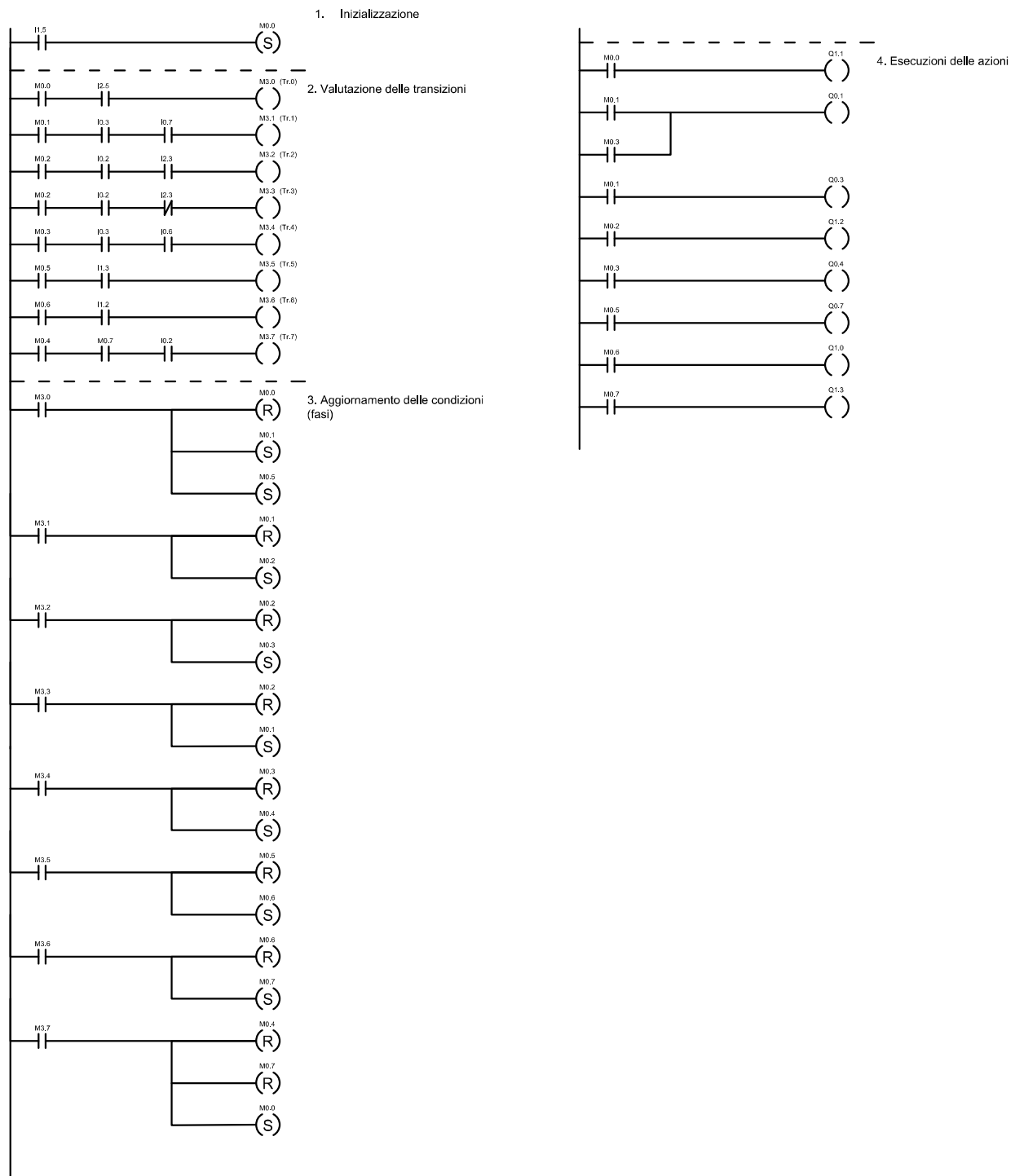


Figura 3.7 - Schema Ladder della programmazione SFC

### 3.5. Ciclo con contatore e temporizzatore

A questo punto è stato aggiunto un contatore e un temporizzatore all'interno del ciclo.

Il contatore è stato inserito con lo scopo di eseguire un determinato numero di volte la sequenza F1-F2 prima di passare alla fase F3.

Il temporizzatore è stato inserito per ritardare di un determinato intervallo di tempo la fase F6.

Il ladder che ne deriva è il seguente:

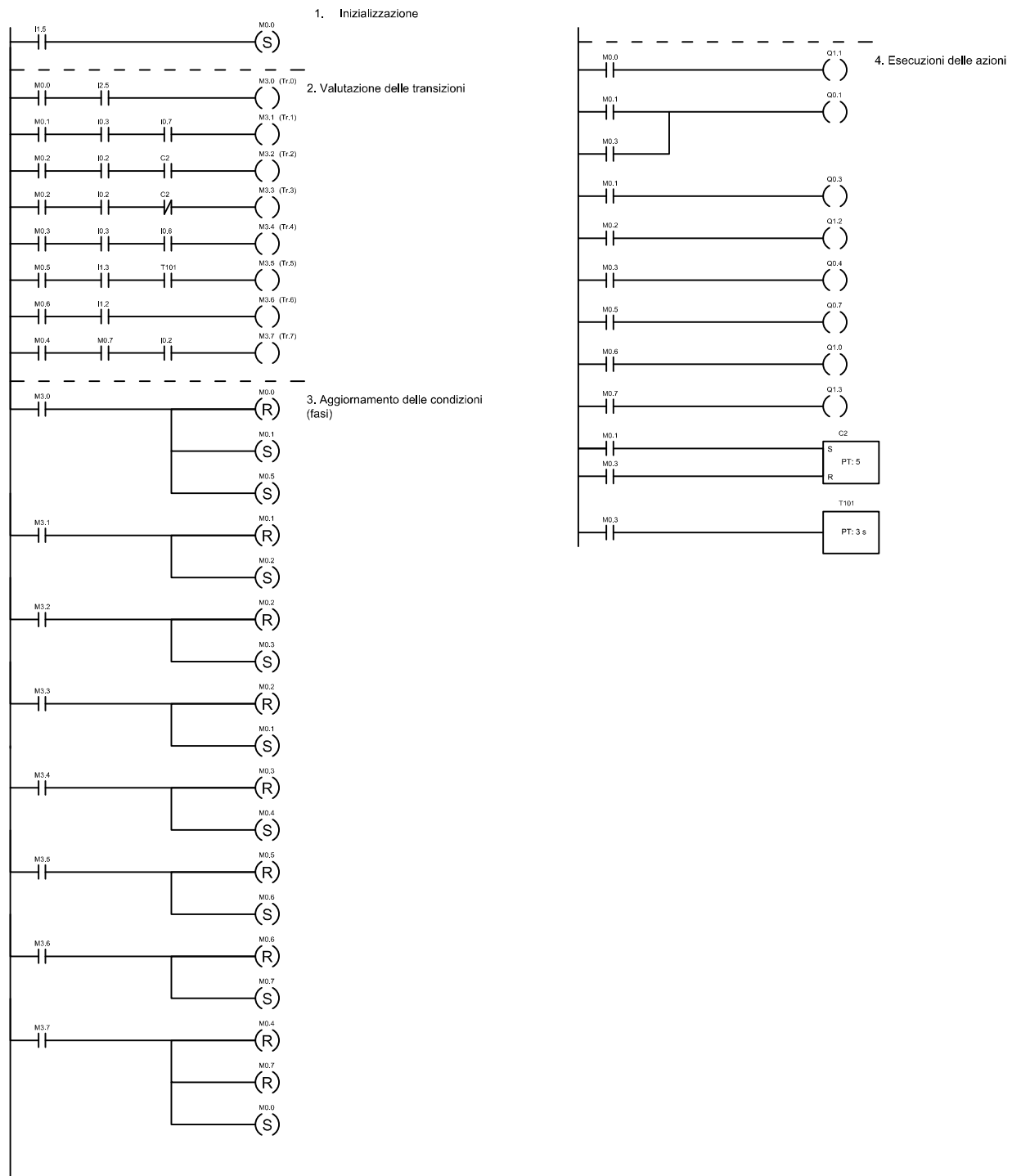


Figura 3.8 - Schema Ladder della programmazione SFC – con Temporizzatore e Contatore

Si nota che il contatore è settato dalla fase F1 e resettato dalla fase F3. In questo modo quando viene eseguita la fase 1 il contatore si setta e fornisce un segnale C2 pari a "1". In seguito, viene eseguita la fase 2 (quando la transizione 1 diventa positiva) e, una volta finita anche questa fase, si hanno due possibilità: o si torna alla fase 1 oppure si passa alla fase 3 e si continua il ciclo. Finché il contatore rimane settato su "1" si ripetono le fasi F1 e F2 perché è stato sostituito l'interruttore I2.3 con il segnale C2. Ad ogni passaggio dalla fase F1 viene incrementato di un'unità il conteggio del contatore. Quando quest'ultimo arriva al valore impostato, cioè cinque, il segnale di C2 diventa "0" e, una volta superata la fase 2, si passa alla fase 3: la transizione 2 è attivata dal comando negato del contatore. Quando si attiva la memoria relativa alla fase 3 (M0.3) il contatore viene resettato per poter ricontare il ciclo successivo.

Per quanto riguarda il temporizzatore esso è attivato dalla fase 5 (memoria M0.5): dopo l'attivazione inizia a contare i secondi impostati, in questo caso 3. Per ritardare la fase 6, ovvero il rientro del cilindro 6, si aggiunge nel rung relativo all'attivazione della transizione 5 il contatto del temporizzatore (T101). In questo modo tale transizione viene attivata solamente quando T101 diventa "1", ovvero dopo il tempo desiderato.

## 4. Appendice

### 4.1. Schemi Ladder con temporizzatore e contatore

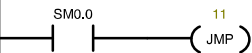
2019\_Squadra\_11 / MAIN (OB1)

Block: MAIN  
Author:  
Created: 11/17/2015 11:03:04 am  
Last Modified: 01/01/2006 02:07:23 am

Symbol	Var Type	Data Type	Comment
	TEMP		
	TEMP		
	TEMP		
	TEMP		

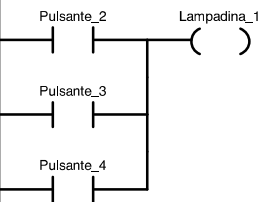
COMMENTI SUL PROGRAMMA

Network 1



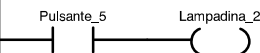
Network 2

Titolo del segmento



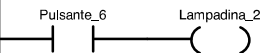
Symbol	Address	Comment
Lampadina_1	Q1.1	
Pulsante_2	I1.6	
Pulsante_3	I1.7	
Pulsante_4	I2.0	

Network 3

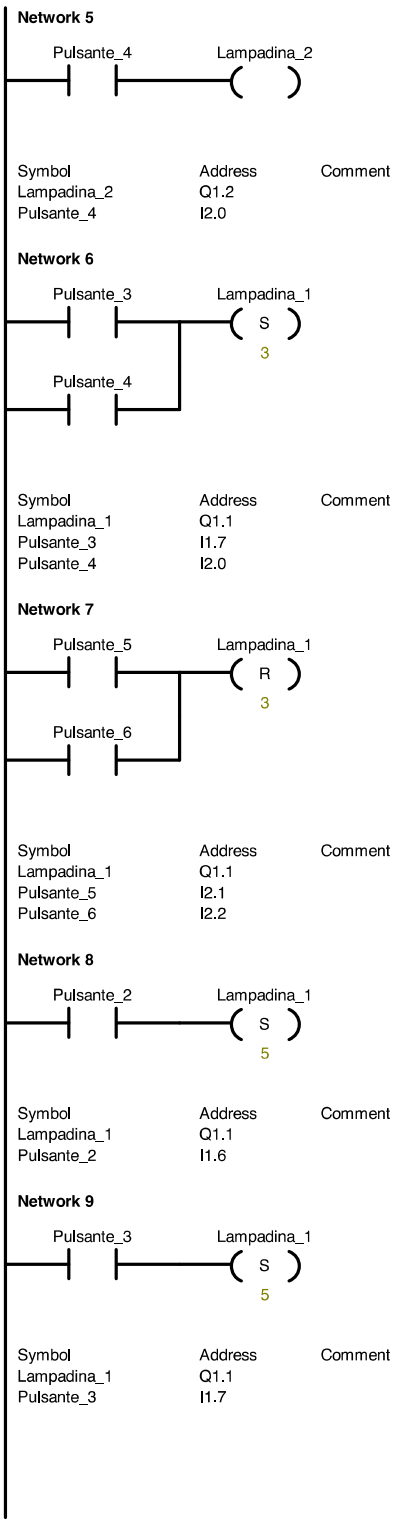


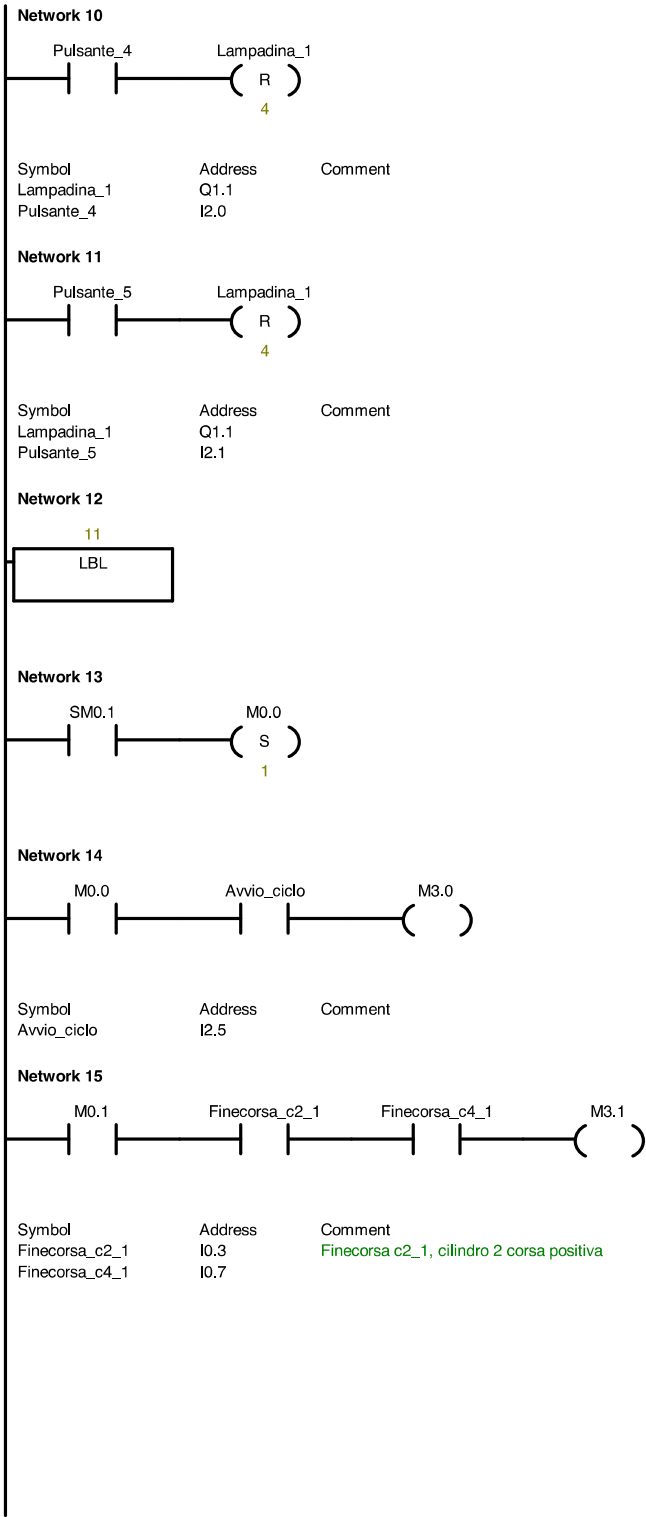
Symbol	Address	Comment
Lampadina_2	Q1.2	
Pulsante_5	I2.1	

Network 4

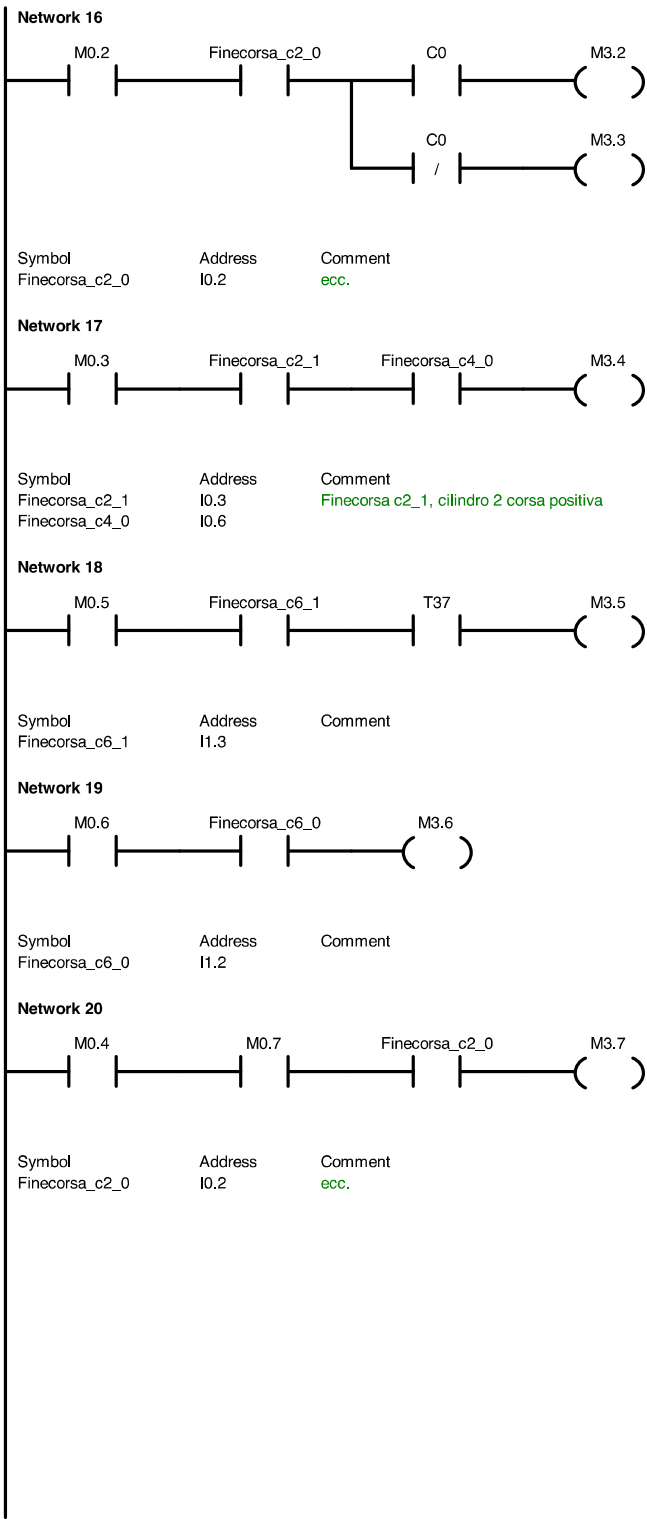


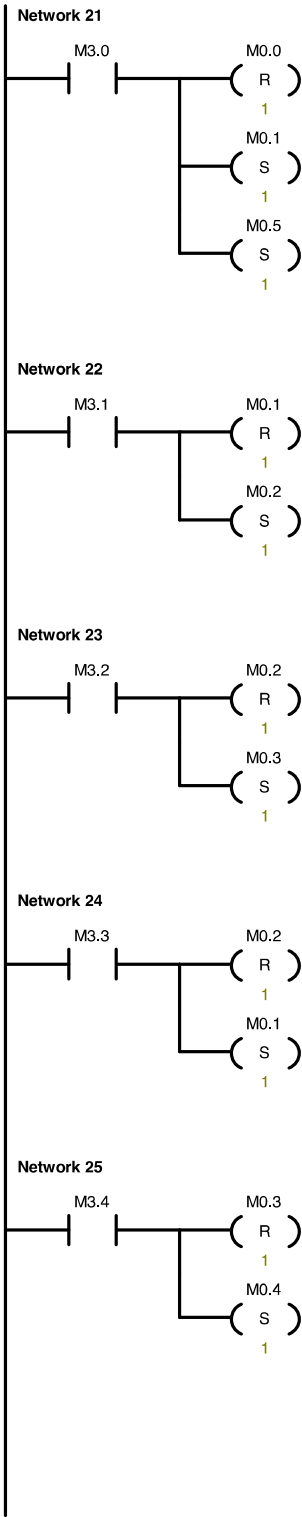
Symbol	Address	Comment
Lampadina_2	Q1.2	
Pulsante_6	I2.2	



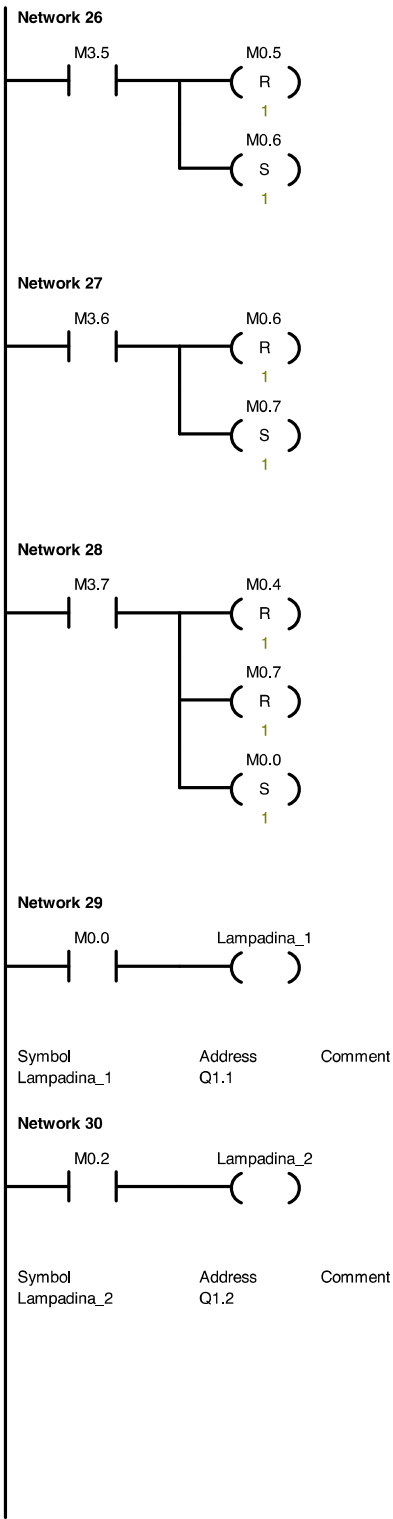


2019\_Squadra\_11 / MAIN (OB1)

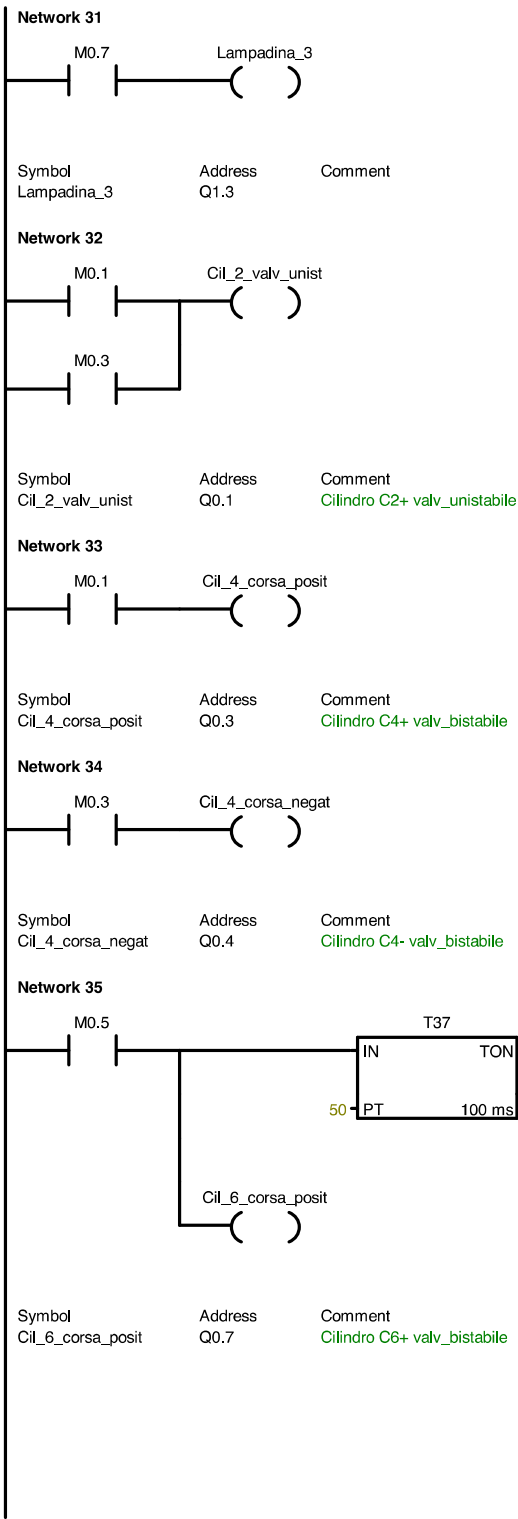








2019\_Squadra\_11 / MAIN (OB1)



2019\_Squadra\_11 / MAIN (OB1)

