



UNIVERSITÀ  
POLITECNICA  
DELLE MARCHE

FACOLTÀ DI INGEGNERIA  
CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA MECCANICA

---

# **Studio di dati di anomaly detection per macchine ed impianti**

**Study of anomaly detection data for machines and system**

Candidato:  
**Paolo Ambrosi**

Relatore:  
**Prof. Filippo Emanuele Ciarapica**

Correlatore:  
**Ing. Giovanni Mazzuto**

Anno Accademico 2020-2021





UNIVERSITÀ  
POLITECNICA  
DELLE MARCHE

FACOLTÀ DI INGEGNERIA  
CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA MECCANICA

---

# **Studio di dati di anomaly detection per macchine ed impianti**

**Study of anomaly detection data for machines and system**

Candidato:  
**Paolo Ambrosi**

Relatore:  
**Prof. Filippo Emanuele Ciarapica**

Correlatore:  
**Ing. Giovanni Mazzuto**

Anno Accademico 2020-2021

---

UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE  
FACOLTÀ DI INGEGNERIA  
CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA MECCANICA  
Via Brezze Bianche – 60131 Ancona (AN), Italy

*Alla mia famiglia.*



# Indice

<b>1</b>	<b>Introduzione</b>	<b>1</b>
1.0.1	Cos'è l'anomaly detection	1
1.0.2	Caso di studio	1
1.1	Schema Tesi	1
<b>2</b>	<b>Descrizione Impianto</b>	<b>3</b>
2.1	Presentazione generale	3
2.2	Componentistica	3
2.2.1	Eiettore	3
2.2.2	Pompa	4
2.2.3	Serbatoio	4
2.2.4	Valvole Intercettazione	5
2.2.5	Valvole di Regolazione	6
2.2.6	Sensori	6
2.3	Elettronica	6
2.3.1	Arduino	6
2.3.2	Interfaccia Acquisizione	7
<b>3</b>	<b>Taratura Sensori</b>	<b>9</b>
3.0.1	Teoria	9
3.0.2	Conversione Valori	10
3.0.3	Sensore Pressione LN12	10
3.0.4	Sensore Pressione Acqua LN7	11
3.0.5	Sensore portata aria uscita serbatoio LN3	13
3.0.6	Sensore Livello Acqua LN20	14
3.0.7	Sensore Pressione Aria LN19	15
3.0.8	Sensore Portata Aria LN10	16
3.0.9	Sensore Portata Aria LN8	17
3.0.10	Sensore Pressione LN11	18
<b>4</b>	<b>Generazione ed Analisi delle Anomalie</b>	<b>21</b>
4.1	Introduzione	21
4.2	Prova 1	21
4.2.1	Conclusioni	23

## Indice

<b>4.3 Prova 2</b> . . . . .	23
<b>4.3.1 Grafici Prova 2: Pressione valle pompa 5.5 bar, Livello acqua</b> <b>250mm, Pressione serbatoio 1.2 bar</b> . . . . .	24
<b>4.3.2 Grafici Prova 2: Pressione valle pompa 5.5 bar, Livello acqua</b> <b>250mm, Pressione serbatoio 1.5 bar</b> . . . . .	27
<b>4.3.3 Conclusioni</b> . . . . .	31
<b>4.4 Prova 3: Generazioni Anomalie</b> . . . . .	32
<b>4.4.1 Valvole intercettazione</b> . . . . .	32
<b>4.4.2 Campagna prove</b> . . . . .	32
<b>4.5 Anomalia 1</b> . . . . .	34
<b>4.5.1 Pressione Valle Pompa 5.5 bar, Livello acqua 250mm, Pressione</b> <b>serbatoio 1.2 bar</b> . . . . .	34
<b>4.5.2 Pressione Valle Pompa 5.5 bar, Livello acqua 250mm, Pressione</b> <b>serbatoio 1.5 bar</b> . . . . .	35
<b>4.6 Anomalia 2</b> . . . . .	36
<b>4.6.1 Pressione Valle Pompa 5.5 bar, Livello acqua 250mm, Pressione</b> <b>serbatoio 1.2 bar</b> . . . . .	36
<b>4.6.2 Pressione Valle Pompa 5.5 bar, Livello acqua 250mm, Pressione</b> <b>serbatoio 1.5 bar</b> . . . . .	37
<b>4.7 Anomalia 3</b> . . . . .	37
<b>4.7.1 Pressione Valle Pompa 5.5 bar, Livello acqua 250mm, Pressione</b> <b>serbatoio 1.2 bar</b> . . . . .	37
<b>4.7.2 Pressione Valle Pompa 5.5 bar, Livello acqua 250mm, Pressione</b> <b>serbatoio 1.5 bar</b> . . . . .	40
<b>4.8 Anomalia 4</b> . . . . .	41
<b>4.8.1 Pressione Valle Pompa 5.5 bar, Livello acqua 250mm, Pressione</b> <b>serbatoio 1.2 bar</b> . . . . .	41
<b>4.8.2 Pressione Valle Pompa 5.5 bar, Livello acqua 250mm, Pressione</b> <b>serbatoio 1.5 bar</b> . . . . .	42
<b>4.9 Anomalia 5</b> . . . . .	45
<b>4.9.1 Pressione Valle Pompa 5.5 bar, Livello acqua 250mm, Pressione</b> <b>serbatoio 1.2 bar</b> . . . . .	45
<b>4.9.2 Pressione Valle Pompa 5.5 bar, Livello acqua 250mm, Pressione</b> <b>serbatoio 1.5bar</b> . . . . .	47
<b>5 CONCLUSIONI</b>	<b>49</b>

## Elenco delle figure

2.1 schema estrazione	3
2.2 eiettore	4
2.3 schema eiettore	4
2.4 Serbatoio	5
2.5 Valvole Intercettazione	5
2.6 Valvole Regolazione	6
2.7 Interfaccia Acquisizione	7
3.1 Sensore Pressione LN12	10
3.2 Curve Taratura Sensore LN12	11
3.3 Sensore Pressione LN7	12
3.4 curve taratura LN7	12
3.5 Sensore Portata LN3	13
3.6 Curva taratura LN3	13
3.7 Sensore Livello LN20	14
3.8 Curva taratura LN20	15
3.9 Sensore Pressione LN19	15
3.10 Sensore Portata LN10	16
3.11 curva taratura LN10	17
3.12 Sensore Portata LN8	18
3.13 Sensore Pressione LN11	19
3.14 Curve Taratura LN11	19
4.1 Valori pressione monte eiettore	22
4.2 Correlazione Chiusura Valvola - Pressione	23
4.3 Grafici prova 5.5 Bar, 250mm, 1.2 Bar	25
4.4 Grafici prova 5.5 bar 250mm 1.2 bar	26
4.5 Grafici Prova 5.5 bar 250mm 1.2 bar	27
4.6 Grafici Prova 2: 5.5 Bar, 250mm, 1.5 Bar	30
4.7 Portata Aria IN - Pressione tubo miscelatore	34
4.8 portata aria IN-Pressione tubo miscelatore	35
4.9 Livello acqua serbatoio 40-50% chiusura valvola 6	36
4.10 Andamento pressione Aria Ingresso 60-80-circa90% chiusura valvola 7	38
4.11 Pressione serbatoio-Portata aria ingresso	41
4.12 Pressione serbatoio-portata aria in	43
4.13 Andamento pressione serbatoio; 70-80% chiusura valvola 9	45

*Elenco delle figure*

4.14 pressione serbatoio 90% chiusura valvola 9 . . . . .	46
---	----

## Elenco delle tabelle

2.1	caratteristiche pompa	4
2.2	caratteristiche serbatoio	5
2.3	Valvole intercettazione	5
2.4	Valvole intercettazione	6
3.1	Valori taratura LN12	11
3.2	Valori taratura LN7	12
3.3	Valori taratura LN12	14
3.4	Valori taratura LN20	15
3.5	Valori taratura LN19	16
3.6	Valori taratura LN10	17
3.7	Valori taratura LN8	17
3.8	Valori taratura LN11	18
4.1	Valori Proval	22
4.2	Campagna Prove Regime 5.5 Bar	23
4.3	Campagna Prove Regime 4.5 Bar	23
4.4	Campagna Prove Regime 3.5 bar	24
4.5	Valori statistici prova regime 5.5 bar, 250mm, 1.2 bar	31
4.6	Valori statistici prova regime 5.5 bar, 250mm, 1.5 bar	31
4.7	Campagna prove relativa a condizioni quali: 5.5 Bar Valle pompa, 250mm acqua serbatoio, 1.2 bar serbatoio	32
4.8	Campagna prove relativa a condizioni quali: 5.5 Bar Valle pompa, 250mm acqua serbatoio, 1.5 bar serbatoio	33
4.9	Valori statistici anomalia valvola 5 40% chiusura 1.2 bar pressione serbatoio	35
4.10	Valori statistici anomalia 2 valvola 6 50% chiusura	37
4.11	Valori statistici anomalia 3 valvola 6 circa 90% di chiusura	39
4.12	Valori statistici anomalia 3 valvola 7 circa 90° chiusura	40
4.13	Valori statistici anomalia 4 valvola 8 20% apertura	42
4.14	Valori statistici anomalia 4 valvola 8 20 Gradi apertura 1.5 bar pressione serbatoio	44
4.15	Valori statistici anomalia 5 valvola 9 circa 90 Percento chiusura 1.2 bar pressione serbatoio	46

*Elenco delle tabelle*

4.16 Valori statistici anomalia 5 valvola 9 80° chiusura; 1.5 bar pressione	
serbatoio . . . . .	47

# Capitolo 1

## Introduzione

L'obiettivo di questa tesi è quello di introdurre un argomento quanto complesso quanto innovativo quale è l'Anomaly Detection.

### 1.0.1 Cos'è l'anomaly detection

L'Anomaly Detection è un termine anglosassone traducibile come "rivelazione delle anomalie" dove per anomalie intendiamo una irregolarità, una difformità dalla regola generale. L'anomaly detection è quindi il processo di identificazione di dati inattesi che differiscono dalla norma. Un'importante distinzione all'interno dell'anomaly detection è fra:

- **Approccio supervisionato:** utilizzato soprattutto quando è nota l'anomalia che verrà a generarsi; si addestra l'algoritmo fino a quando non riesce ad individuare l'anomalia da se.
- **Approccio non supervisionato:** Utilizzato quando le anomalie generate non possono essere previste anticipatamente. si utilizzano approcci di machine learning quali: clustering, PCA e Isolation Forest.

### 1.0.2 Caso di studio

Per generare ed osservare delle anomalie si è utilizzato un impianto sperimentale situato all'interno dell'Università Politecnica delle Marche. Questo impianto è stato inizialmente utilizzato per lo studio di pompaggio di miscele bifasiche, in special modo per l'industria petrolifera. Ad oggi invece è utilizzato per lo studio dell'anomaly detection.

## 1.1 Schema Tesi

La tesi verrà suddivisa nelle seguenti parti:

- **Descrizione Impianto:** in questa sezione verrà descritto l'impianto con i vari sensori e componentistiche presenti
- **Taratura Sensori:** in questa sezione vengono riportati i dati di taratura statica per un controllo puntuale dell'impianto

## *Capitolo 1 Introduzione*

- **Analisi Dati** : in questa sezione vengono descritte le prove effettuate ed analizzati i dati raccolti.

## Capitolo 2

### Descrizione Impianto

#### 2.1 Presentazione generale

L'impianto è situato all'interno dell'università Politecnica delle Marche, nel dipartimento di Energetica. Il principio fisico su cui si basa questo impianto è l'effetto venturi all'interno di un componente chiamato eiettore. L'impianto nasce per simulare una situazione di estrazione petrolifera dove sfruttiamo la pressione di un giacimento a pressione maggiore di quella di veicolazione per aspirare da un pozzo a pressione più bassa di quella di trasporto. Come sopra accennato l'effetto sfruttato è quello venturi all'interno dell'eiettore dove si trasforma l'energia di pressione del liquido in energia cinetica. La depressione causata richiama dell'aria dall'esterno a pressione atmosferica che possiamo far coincidere con un pozzo a bassa pressione.

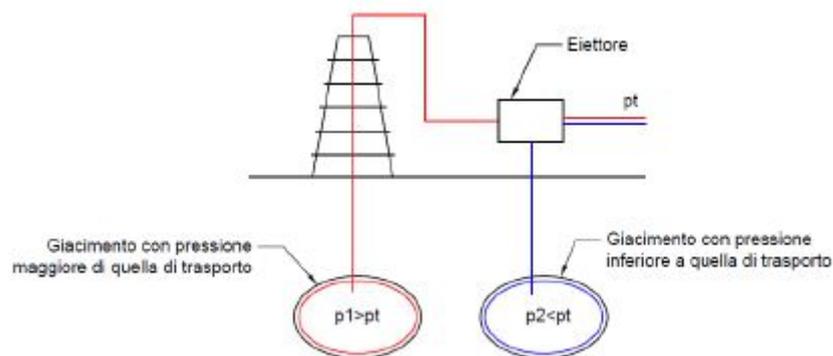


Figura 2.1: schema estrazione

#### 2.2 Componentistica

##### 2.2.1 Eiettore

L'eiettore è un organo meccanico senza parti in movimento capace di creare una depressione sfruttando l'effetto venturi dove la pressione di una corrente fluida aumenta con il diminuire della velocità. l'acqua muovendosi nell'ugello aumenta la sua velocità e per il teorema di bernoulli diminuisce la sua pressione. All'uscita



Figura 2.2: eiettore

dall'eiettore il fluido possiederà una grande energia cinetica con una conseguente depressione nella camera di miscelazione che richiamerà l'aria dal pozzo a pressione minore.

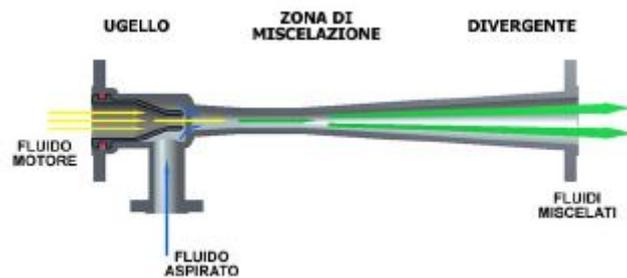


Figura 2.3: schema eiettore

### 2.2.2 Pompa

La pompa è Una centrifuga monoblocco flangiata direttamente al motore.

<b>Modello</b>	Vergani 32-202
<b>Giri al Minuto</b>	2900 rpm
<b>Capacità</b>	233 l/min
<b>Portata</b>	14 m <sup>3</sup> /h
<b>Prevalenza</b>	54,25 m
<b>Potenza</b>	7,5 Kw

Tabella 2.1: caratteristiche pompa

### 2.2.3 Serbatoio

Il serbatoio modello Elbi 202 svolge una duplice funzione: sia di accumulo acqua in pressione sia di separatore verticale.



Figura 2.4: Serbatoio

<b>Modello</b>	Elbi 780-I
<b>Capacità</b>	780 l
<b>Pressione Massima</b>	9,8 bar
<b>Temperatura Esercizio</b>	-10/+50 °C
<b>Materiale</b>	Acciaio Zincato

Tabella 2.2: caratteristiche serbatoio

### 2.2.4 Valvole Intercettazione

L'impianto è dotato di 9 valvole di intercettazione posizionate nelle parti più significative dell'impianto. Sono designate con l'acronimo VM. Sono valvole a sfera con intervallo di funzionamento tra 0° e 90°.

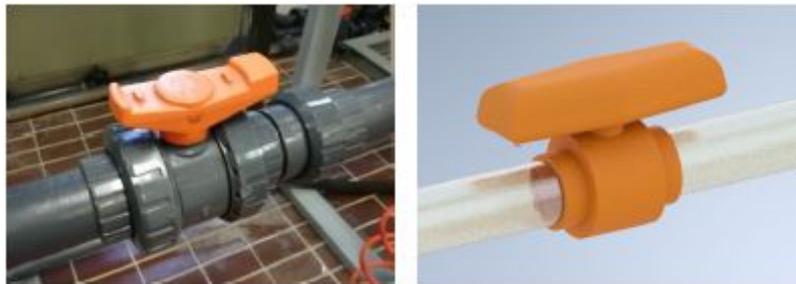


Figura 2.5: Valvole Intercettazione

<b>Modello</b>	FIP DN 50 PN 16
<b>Temperatura d'esercizio</b>	0/+60 °C
<b>Pressione Massima</b>	16 bar
<b>Materiale</b>	PVC-U

Tabella 2.3: Valvole intercettazione

### 2.2.5 Valvole di Regolazione

L'impianto presenta 3 valvole di regolazione per controllare l'evacuazione di acqua e aria dal serbatoio e per controllare la pressione dell'acqua in uscita dalla pompa.



Figura 2.6: Valvole Regolazione

<b>Modello</b>	ECKARDT MB6713
<b>Attuatore</b>	ECKARDT MB6986
<b>Controllo</b>	corrente
<b>Input</b>	4-20 mA

Tabella 2.4: Valvole intercettazione

### 2.2.6 Sensori

L'impianto è provvisto di 8 sensori, identificato con l'acronimo LN che definisce la linea alla quale sono collegati alla scheda di acquisizione:

- 4 di portata: -LN3 -LN 8 -LN10 -LN19
- 3 di pressione: -LN7 -LN11 -LN12
- 1 di livello: LN 20

## 2.3 Elettronica

### 2.3.1 Arduino

Arduino è una piattaforma Hardware attraverso la quale si può programmare software di intelligenza artificiale. Un Aspetto peculiare è la possibilità di integrare Shield di terze parti come ad esempio Ethernet Shield W5100 con il quale è stato possibile controllare l'interfaccia tramite connessione locale.

### 2.3.2 Interfaccia Acquisizione

L'interfaccia è stata programmata ad hoc per il controllo dell'impianto. Al centro troviamo i valori istantanei dei vari sensori con le relative conversioni tra unità di misura. In alto a destra abbiamo il controllo delle elettrovalvole tramite l'utilizzo del PID per mantenere all'interno del serbatoio pressioni e livello dell'acqua desiderati. sotto abbiamo il controllo manuale delle elettrovalvole. continuando troviamo la sezione dedicata all'avvio della registrazione dei dati con la possibilità di nominare il file che a registrazione terminata verrà salvato nel PC. In ultimo in fondo sulla destra ci sono i flag per segnare quale valvole manuali sono state azionate per generare l'anomalia.

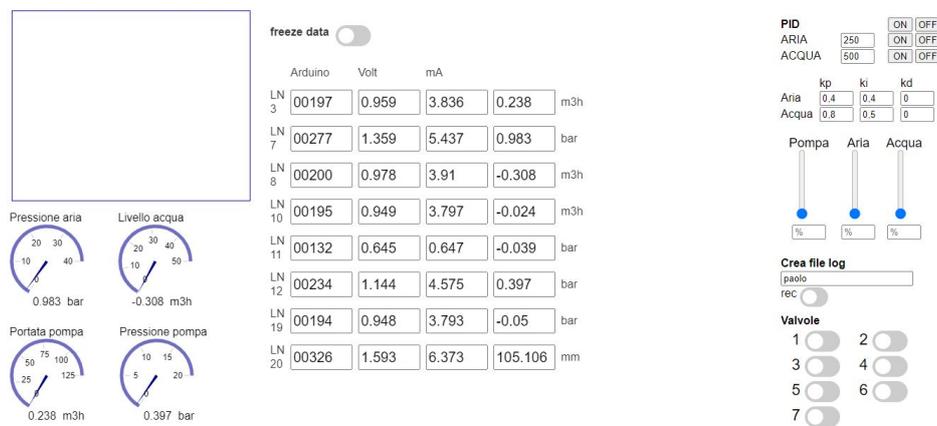


Figura 2.7: Interfaccia Acquisizione



# Capitolo 3

## Taratura Sensori

### 3.0.1 Teoria

La taratura è un processo attraverso il quale andiamo a caratterizzare un sistema di misura o un sensore.

#### Taratura Statica

Nella taratura statica si caratterizza il comportamento del sensore con grandezze non variabili nel tempo. Dalla taratura statica si ricava:

- Curva Taratura
- Equazione che lega input ed output del sensore

Principalmente i sensori si caratterizzano per un comportamento lineare con equazioni del tipo

$$y = mx + b$$

dove:

1.  $y$  = Grandezza in uscita
2.  $x$  = Grandezza in ingresso
3.  $m$  = Coefficiente angolare
4.  $b$  = Intersezione tra retta e asse  $y$

l'equazione 3.0.1 può essere ricavata a seguito di svariate prove andando poi ad analizzare i dati tramite il metodo dei minimi quadrati: si va a cercare la curva interpolante la nuvola di punti che meglio approssima la loro distribuzione. Per poi valutare la qualità di tale interpolazione in caso di distribuzione lineare si utilizza il coefficiente di correlazione lineare. Esso può assumere valori tra 0 e 1 dove:

- 0: punti distribuiti casualmente
- 1: punti distribuiti lungo una retta

La taratura dei sensori è stata un aspetto rilevante nello svolgimento del lavoro dato che è alla base per l'acquisizione istantanea dei relativi valori dei sensori. La maggior parte dei sensori è stato tarato confrontando i valori in output di arduino con i valori segnalati dai display dei sensori. Tre sensori erano stati precedentemente tarati e si sono utilizzate le curve di taratura precedenti.

### 3.0.2 Conversione Valori

Per arrivare ad avere una lettura sensoristica istantanea dei valori si è dovuto prima trovare la legge che collegasse i valori di Pressione, Portata, Livello alla loro relativa uscita in Volt. In seguito si è passati dai valori in Volt ai corrispettivi valori di arduino laddove 1 volt corrisponde ad un valore di 1023 di arduino. Componendo queste due funzioni e invertendo quella trovata si è trovata la legge che ci permette di passare dai valori di Arduino ai valori di Pressione, ecc.

### 3.0.3 Sensore Pressione LN12



Figura 3.1: Sensore Pressione LN12

Sensore di pressione relativo che ci segnala la pressione all'uscita dall'eiettore. è stato tarato utilizzando un dispositivo idraulico ad azionamento manuale presente all'interno del laboratorio. Variando la pressione del dispositivo variava il voltaggio del nostro sensore e questo ci ha permesso di costruire la curva di taratura in fig. [3.2](#)

□□

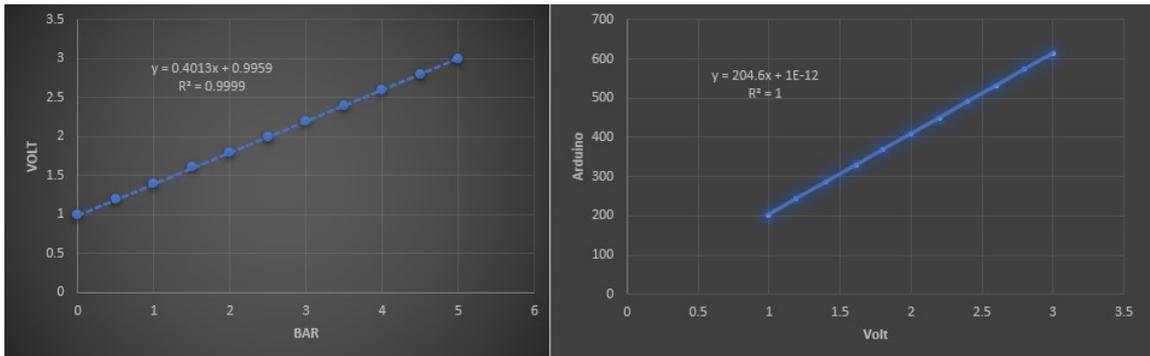


Figura 3.2: Curve Taratura Sensore LN12

Bar	Volt	Arduino
0	1	202.554
0.5	1.2	243.474
1	1.4	286.44
1.5	1.6	329.406
2	1.8	368.28
2.5	2	409.2
3	2.2	450.12
3.5	2.4	491.04
4	2.6	531.96
4.5	2.8	572.88
5	3	613.8

Tabella 3.1: Valori taratura LN12

### 3.0.4 Sensore Pressione Acqua LN7

Questo sensore è posto all'ingresso dell'eiettore e ci va a misurare la pressione dell'acqua in uscita dalla pompa. Per tararlo si è confrontata l'uscita visiva sul display dello stesso con i valori ricevuti sulla scheda di acquisizione dati. Questo sensore è stato fondamentale nell'andare a correlare la percentuale di chiusura della valvola subito dopo la pompa con la relativa caduta di pressione. Anomalia che sarà in seguito accuratamente descritta.



Figura 3.3: Sensore Pressione LN7

Bar	Volt	Arduino
0.99	1.35	277
4.832	2.89	590
5.526	3.16	644
5.795	3.27	667
5.919	3.32	678
5.982	3.33	680
6.015	3.35	684
6.044	3.35	683
6.099	3.37	687
6.105	3.38	689
6.11	3.38	690

Tabella 3.2: Valori taratura LN7

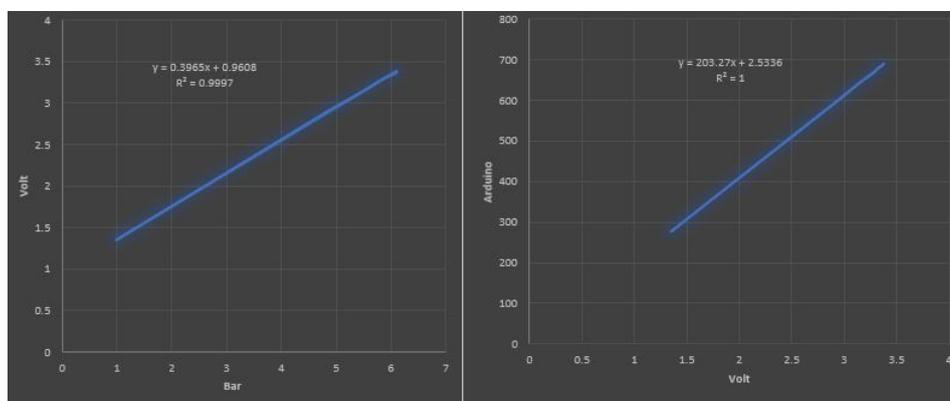


Figura 3.4: curve taratura LN7

### 3.0.5 Sensore portata aria uscita serbatoio LN3



Figura 3.5: Sensore Portata LN3

Questo sensore è posto sul tubo di scarico del serbatoio in pressione. è stato tarato confrontando il valore sul display con i valori in output di arduino.

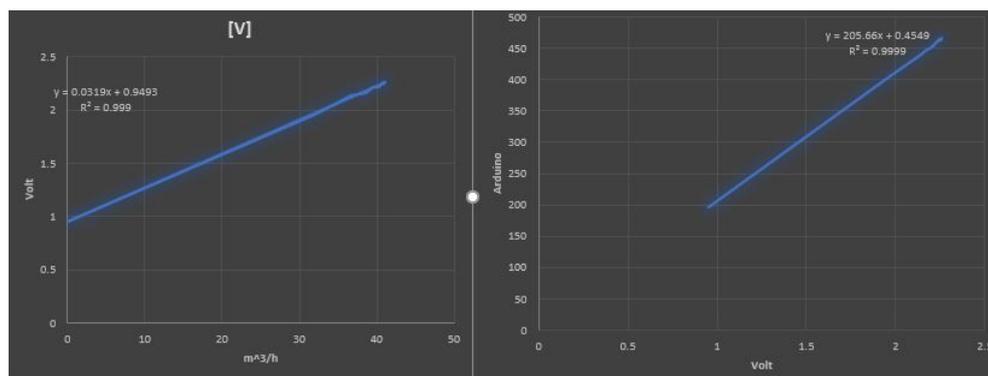


Figura 3.6: Curva taratura LN3

□

Bar	Volt	Arduino
0	0.95	196
32.35	1.97	405
36.51	2.14	440
38.56	2.16	445
39.47	2.21	454
40.3	2.22	457
40.4	2.24	462
40.78	2.249	462
40.75	2.26	465
40.86	2.25	464
40.93	2.26	466
40.58	2.24	462
41.03	2.26	465
41.06	2.26	465

Tabella 3.3: Valori taratura LN12

### 3.0.6 Sensore Livello Acqua LN20

Questo sensore è di tipo differenziale utilizzato per monitorare il livello dell'acqua all'interno del serbatoio. Il principio di funzionamento si basa sulla misura della differenza di pressione tra i punti 1 e 2 di figura [3.7](#) [] []



Figura 3.7: Sensore Livello LN20

mm	Volt	Arduino
0	1	204.6
275	2.55	521.73
211	2.18	446.028
166	1.937	396.31
131	1.737	355.39
101	1.579	323.063

Tabella 3.4: Valori taratura LN20

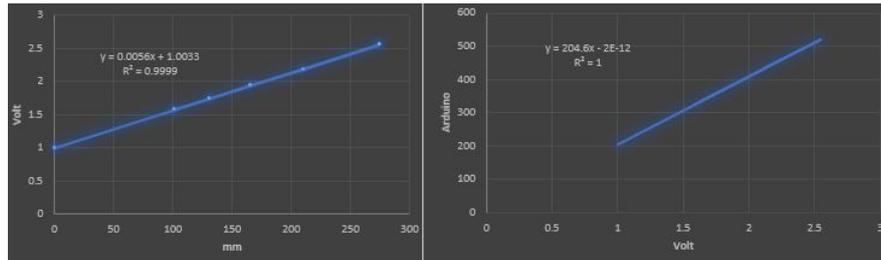


Figura 3.8: Curva taratura LN20

### 3.0.7 Sensore Pressione Aria LN19

Questo sensore è posto a monte del serbatoio e ci misura la pressione dell'aria. In questo caso è stata presa una curva di taratura precedente effettuata.



Figura 3.9: Sensore Pressione LN19

□

Bar	Volt	Arduino
0	0.99	187
0.5	1.19	230
1	1.39	269
1.5	1.59	310
2	1.79	250
2.5	1.99	394
3	2.2	432
3.5	2.4	471
4	2.6	517
4.5	2.8	556
5	3	595
6	3.4	675
7	3.8	753
8	4.19	829
9	4.59	895
10	4.99	945

Tabella 3.5: Valori taratura LN19

### 3.0.8 Sensore Portata Aria LN10

Sensore posto a valle della pompa e a monte dell'iniettore. Misura la portata di aria transitante. □



Figura 3.10: Sensore Porata LN10

□

m3/h	Volt	Arduino
0	0.954	196
9.24	1.961	403
10	2.049	421
10.29	2.093	430
10.42	2.103	432
10.49	2.112	436
10.53	2.098	432
10.61	2.112	436
10.62	2.132	438
10.63	2.122	436

Tabella 3.6: Valori taratura LN10

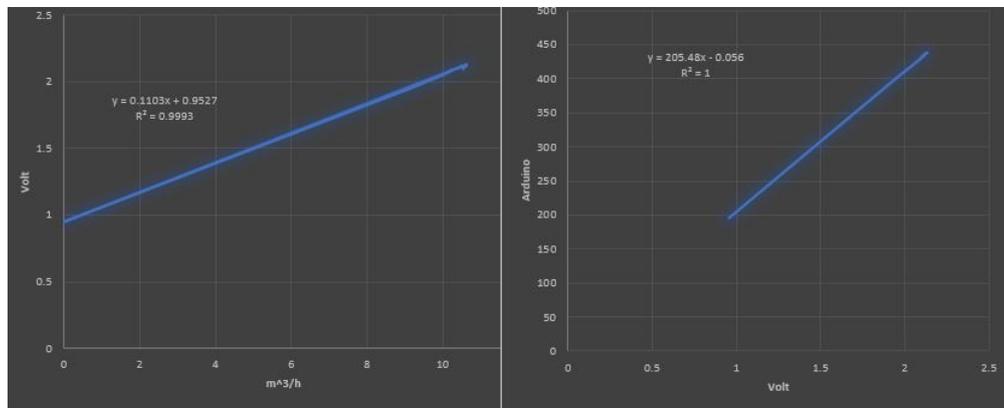


Figura 3.11: curva taratura LN10

### 3.0.9 Sensore Portata Aria LN8

Sensore posto all'ingresso del tubo di aspirazione dell'impianto. Va a misurare la portata aria aspirata dall'eiettore per la depressione causata dall'effetto Venturi. Per questo sensore ci si è basati su curve di taratura precedentemente stilate. []

[m3/h]	[Volt]	[Arduino]
0	1.00	205
10.17	1.81	370
15.71	2.25	461
21.01	2.68	548
24.30	3.03	621
45.12	4.63	949
50.00	5.00	1024

Tabella 3.7: Valori taratura LN8

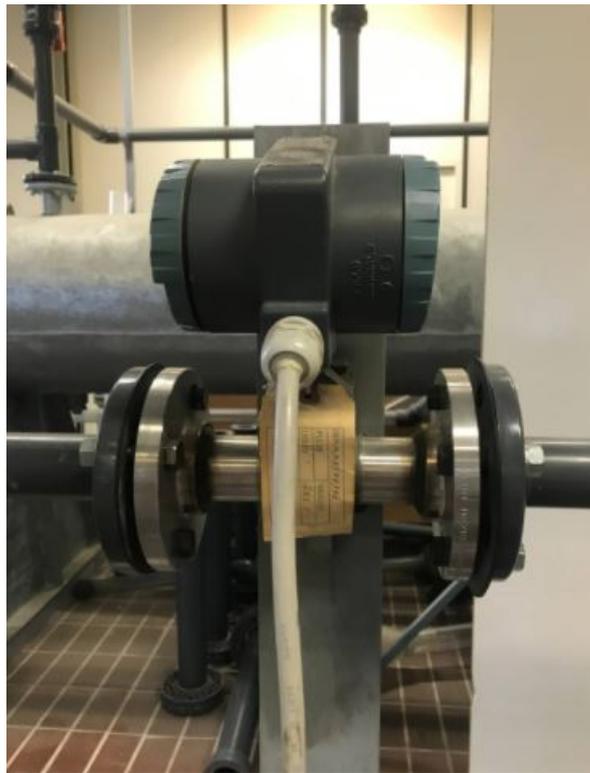


Figura 3.12: Sensore Portata LN8

### 3.0.10 Sensore Pressione LN11

Questo sensore ci va a misurare la pressione all'interno dell'eiettore. Per questo sensore si sono prese curve di taratura precedentemente stilate.

Bar	Volt	Arduino
0	0.73	135
0.5	1.11	207
1	1.47	276
1.5	1.82	353
2	2.2	430
2.5	2.54	501
3	2.91	576
3.5	3.25	647
4	3.63	725
4.5	3.97	792
5	4.3	858
5.5	4.58	913

Tabella 3.8: Valori taratura LN11

□



Figura 3.13: Sensore Pressione LN11

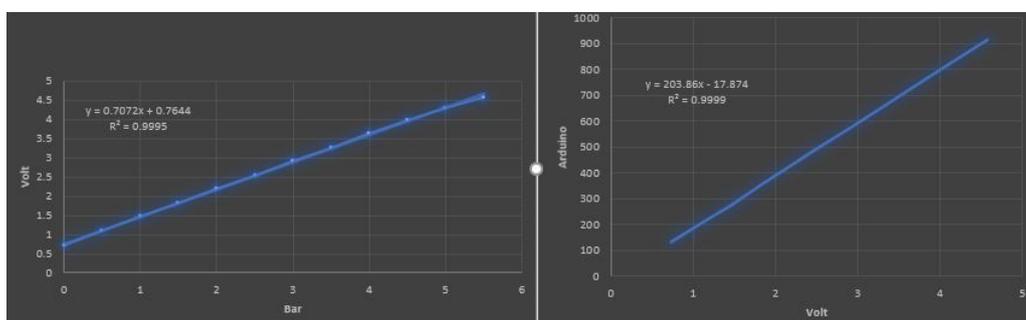


Figura 3.14: Curve Taratura LN11



# Capitolo 4

## Generazione ed Analisi delle Anomalie

### 4.1 Introduzione

In questo capitolo verrà descritta la campagna prove effettuata nel laboratorio e successivamente un'analisi delle suddette. Le prove effettuate possono essere così schematizzate:

1. Prova 1: Correlazione tra la percentuale di chiusura della pompa e variazione di pressione rilevata dal sensore LN10.
2. Prova 2: Raccolta di dati in guisa di determinare delle condizioni di regime posti costanti la pressione a monte dell'iniettore (vedi [1](#)), il livello dell'acqua nel serbatoio e la pressione all'interno dello stesso.
3. Prova 3: raccolta dati con gli stessi valori di pressione e livello d'acqua delle prove a regime ma con generazione di anomalie tramite l'utilizzo di valvole di intercettazione (vedi figura [2.5](#))

Per un'analisi più accurata e puntale delle varie prove effettuate si sono riportati i valori ottenuti dalle registrazioni su Matlab. Tramite dei comandi peculiari di questo linguaggio di programmazione si sono estrapolati i vari grafici.

### 4.2 Prova 1

Questa prova ha lo scopo di andare a collegare la percentuale di chiusura della valvola a valle della pompa con la pressione rilevata a monte dell'eiettore dal sensore LN10. La valvola è stata comandata tramite l'elettronica ed è stato possibile un controllo puntuale variando la percentuale di chiusura tra lo 0 per cento e il 100 per cento.

Bar	Percentuale Chiusura Valvola
6.156	0
6.132	10
6.169	20
6.144	30
6.119	40
6.107	50
6.07	60
5.983	70
5.921	75
5.821	80
5.549	85
4.77	90
4.271	91
3.589	92
2.621	93
2.336	95

Tabella 4.1: Valori Prova1

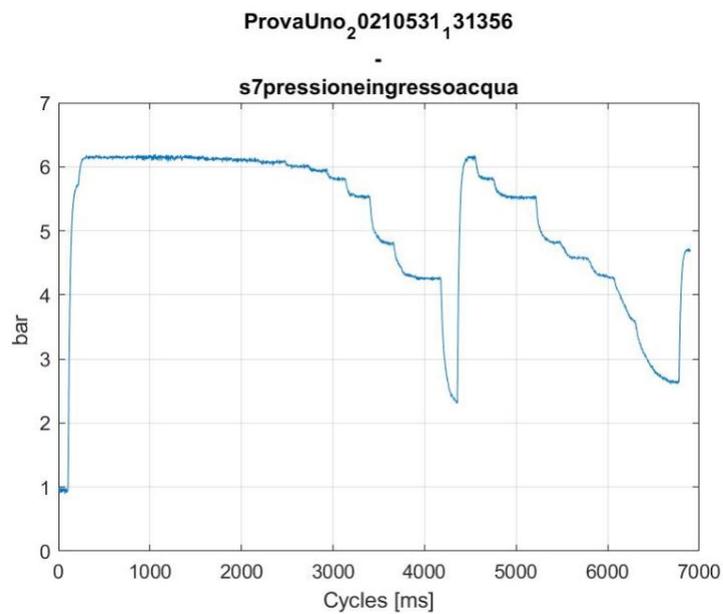


Figura 4.1: Valori pressione monte eiettore

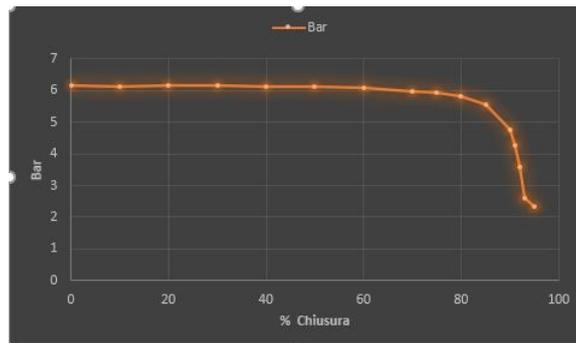


Figura 4.2: Correlazione Chiusura Valvola - Pressione

### 4.2.1 Conclusioni

In assenza di anomalie abbiamo un valore di pressione a monte dell'eiettore che si attesta sui 6 bar. Man man che variamo la percentuale di chiusura della valvola a valle della pompa notiamo un calo di pressione lieve a percentuali basse ma che aumenta vertiginosamente al di sopra del 90 per cento di chiusura fino ad arrivare nell'intorno dei 2 bar.

## 4.3 Prova 2

La prova 2 è una campagna di prove atta a acquisire dati in determinate condizioni di regime. Questa campagna prove è stata strutturata in modo da acquisire dati per tre livelli di pressione a valle della pompa 3 livelli di acqua nel serbatoio e 3 livelli di pressione all'interno del serbatoio.

Pressione valle pompa [Bar]	Livello Acqua Serbatoio [mm]	Pressione Serbatoio [Bar]
5.5	250	1.2
5.5	250	1.5
5.5	300	1.2
5.5	300	1.5

Tabella 4.2: Campagna Prove Regime 5.5 Bar

Pressione valle pompa [Bar]	Livello Acqua Serbatoio [mm]	Pressione Serbatoio [Bar]
4.5	250	1.2
4.5	250	1.5
4.5	300	1.2
4.5	300	1.5

Tabella 4.3: Campagna Prove Regime 4.5 Bar

Pressione valle pompa [Bar]	Livello Acqua Serbatoio [mm]	Pressione Serbatoio [Bar]
4.5	250	1.2
4.5	250	1.5
4.5	300	1.2
4.5	300	1.5

Tabella 4.4: Campagna Prove Regime 3.5 bar

Per eseguire queste prove si è utilizzata la curva in figura [4.2](#) per stabilire la percentuale di chiusura della valvola al fine di ottenere la pressione desiderata. Per quanto riguarda il controllo del livello dell'acqua e della pressione del serbatoio si sono utilizzate 2 elettrovalvole comandate attraverso un sistema di retroazione denominato PID acronimo che sta per Progressivo-Integrativo-Derivativo. Una prova era così strutturata:

- Impostare percentuale chiusura pompa e livelli pressione e acqua nel serbatoio
- avviare la registrazione
- Accendere l'impianto
- Attendere che tutti i grafici dei sensori raggiungano una situazione stazionaria
- attendere un tempo pari a 5 minuti
- interrompere registrazione prova

Al fine di rendere più chiara e intuitiva la trattazione riporterò di seguito i grafici dei sensori delle prove che sono state poi ripetute con generazione di anomalie. vedi tab 4.2 prime 2 righe

#### **4.3.1 Grafici Prova 2: Pressione valle pompa 5.5 bar, Livello acqua 250mm, Pressione serbatoio 1.2 bar**

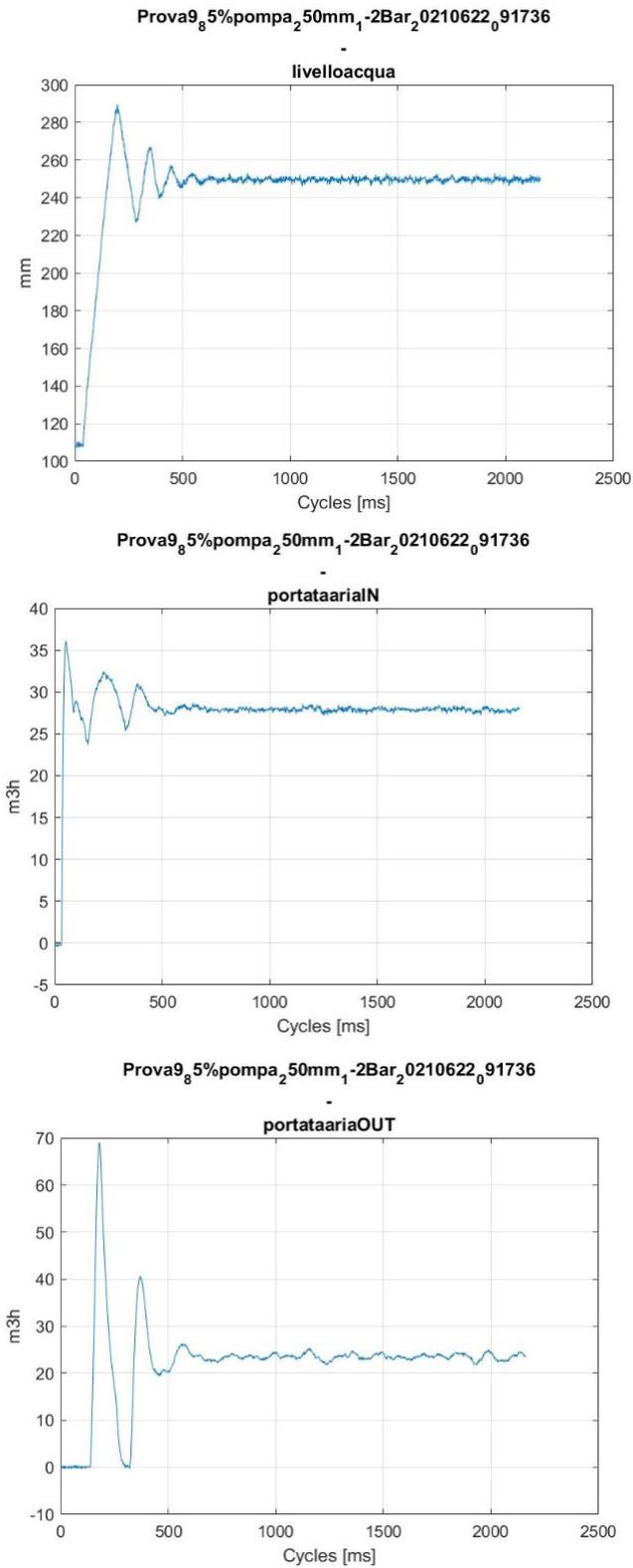
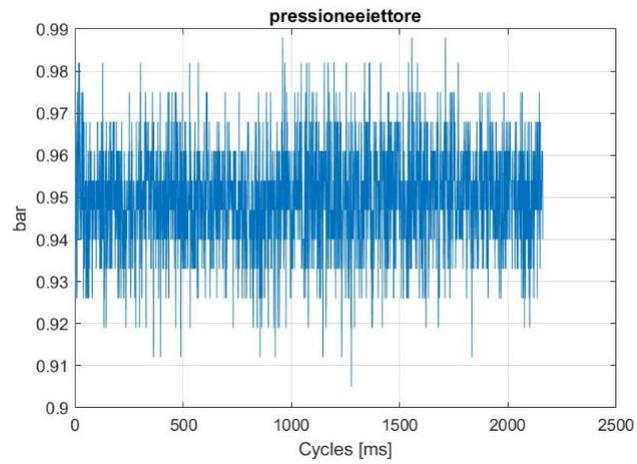


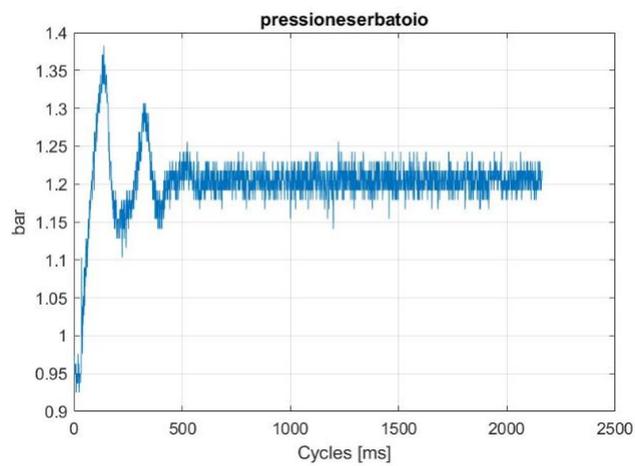
Figura 4.3: Grafici prova 5.5 Bar, 250mm, 1.2 Bar

Figura 4.4: Grafici prova 5.5 bar 250mm 1.2 bar

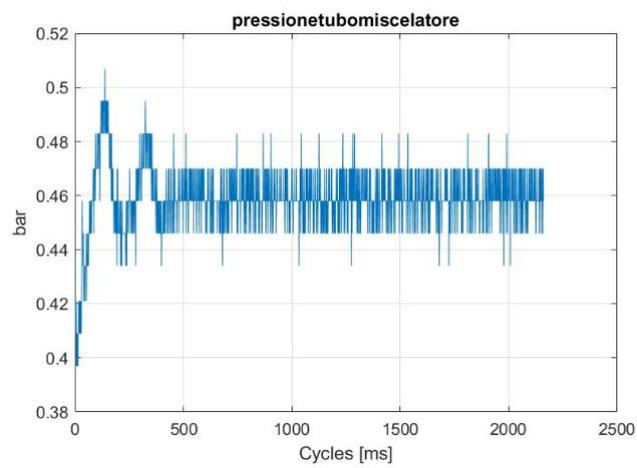
Prova<sub>9</sub>5%pompa<sub>2</sub>50mm<sub>1</sub>-2Bar<sub>2</sub>0210622<sub>0</sub>91736



Prova<sub>9</sub>5%pompa<sub>2</sub>50mm<sub>1</sub>-2Bar<sub>2</sub>0210622<sub>0</sub>91736



Prova<sub>9</sub>5%pompa<sub>2</sub>50mm<sub>1</sub>-2Bar<sub>2</sub>0210622<sub>0</sub>91736



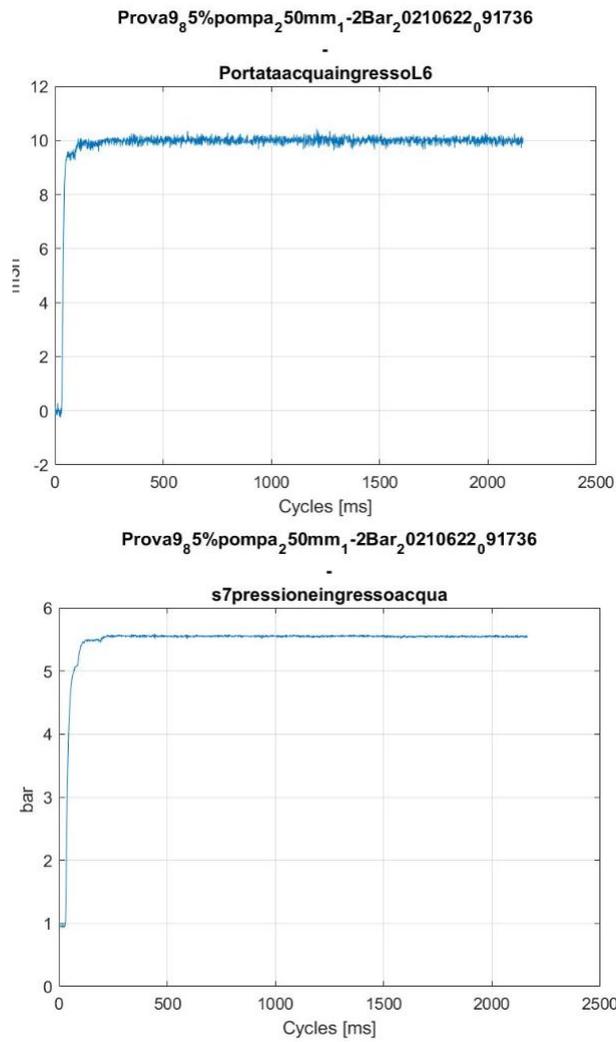
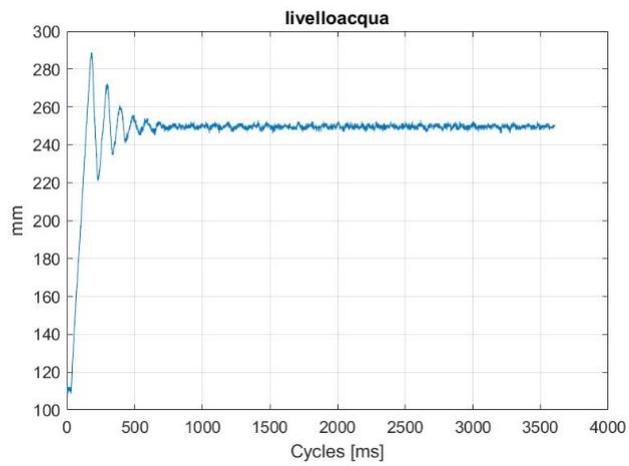


Figura 4.5: Grafici Prova 5.5 bar 250mm 1.2 bar

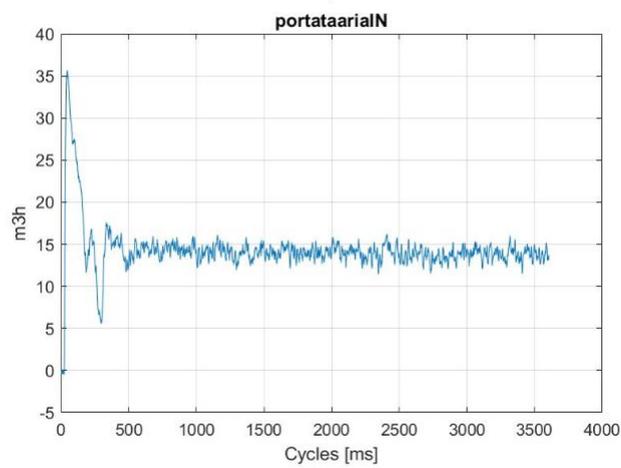
**4.3.2 Grafici Prova 2: Pressione valle pompa 5.5 bar, Livello acqua 250mm, Pressione serbatoio 1.5 bar**

Capitolo 4 Generazione ed Analisi delle Anomalie

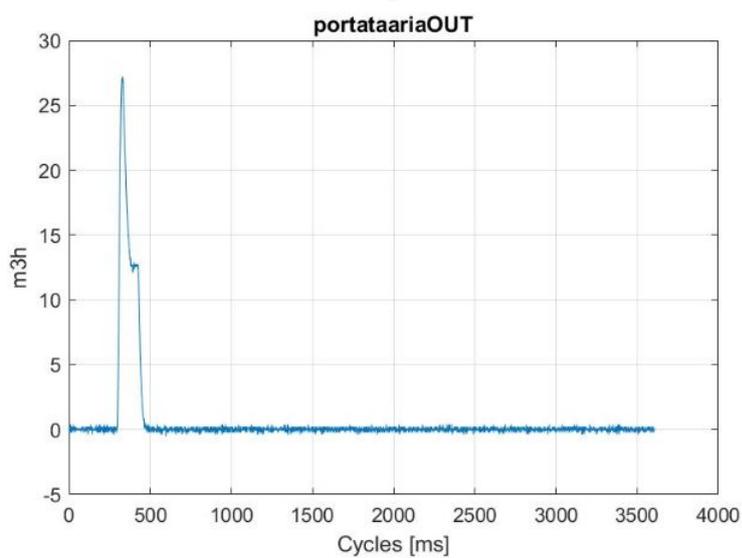
Prova9\_5%pompa\_2\_50mm\_1-5Bar\_2\_0210622\_0\_93147



Prova9\_5%pompa\_2\_50mm\_1-5Bar\_2\_0210622\_0\_93147

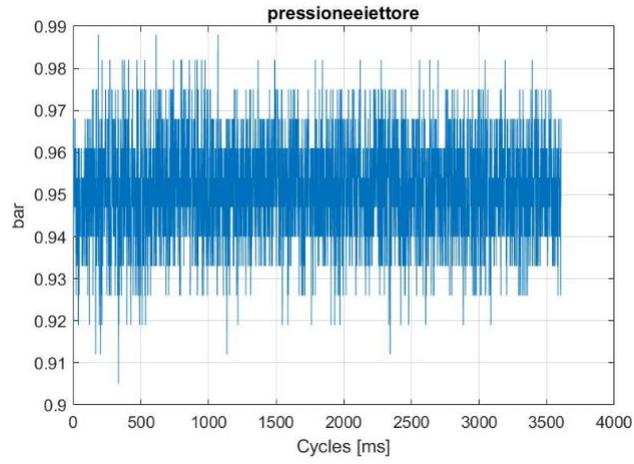


Prova9\_5%pompa\_2\_50mm\_1-5Bar\_2\_0210622\_0\_93147

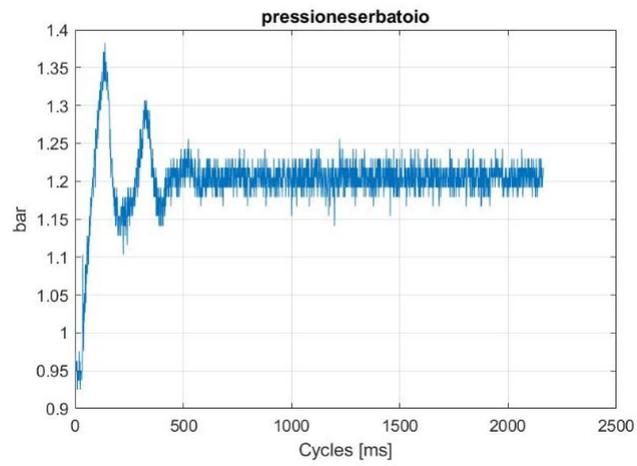


4.3 Prova 2

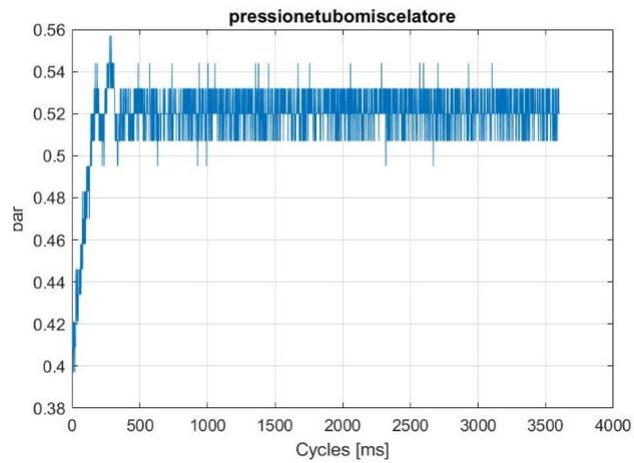
Prova9<sub>8</sub>5%pompa<sub>2</sub>50mm<sub>1</sub>-5Bar<sub>2</sub>0210622<sub>0</sub>93147



Prova9<sub>8</sub>5%pompa<sub>2</sub>50mm<sub>1</sub>-2Bar<sub>2</sub>0210622<sub>0</sub>91736



Prova9<sub>8</sub>5%pompa<sub>2</sub>50mm<sub>1</sub>-5Bar<sub>2</sub>0210622<sub>0</sub>93147



Capitolo 4 Generazione ed Analisi delle Anomalie

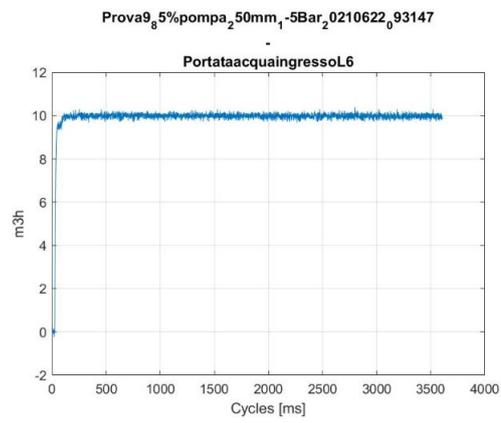
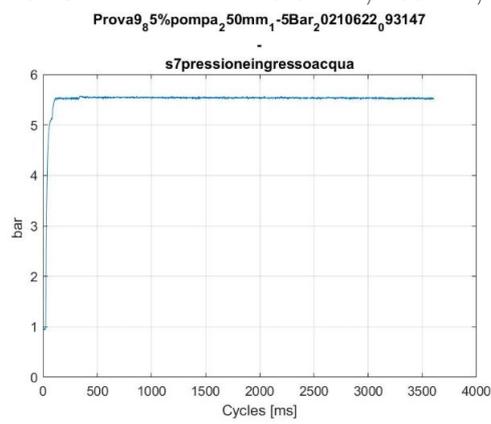


Figura 4.6: Grafici Prova 2: 5.5 Bar, 250mm, 1.5 Bar



### 4.3.3 Conclusioni

Di seguito sono riportati i valori statistici principali delle prove a regime a 1.2 e 1.5 bar di pressione del serbatoio che saranno confrontati poi con le prove con generazione di anomalie. Per ottenere questi valori si è utilizzati i soli dati a regime escludendo la parte di transitorio

	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Media</b>	<b>Dev. Standard</b>
<i>Portata Aria Out LN3</i>	21.714	25.21	23.47	0.6
<i>Pressione Ingresso Acqua LN7</i>	5.51	5.57	5.54	0.01
<i>Portata Aria In LN8</i>	27.23	28.69	27.90	0.21
<i>Portata Acqua IN LN10</i>	9.63	10.42	9.99	0.1
<i>Pressione Eiettore LN11</i>	0.905	0.988	0.95	0.01
<i>Pressione tubo miscelatore LN19</i>	0.434	0.483	0.45	0.007
<i>Pressione serbatoio LN19</i>	1.14	1.256	1.2	0.01
<i>livello acqua LN20</i>	246.12	253.09	249.62	1.09

Tabella 4.5: Valori statistici prova regime 5.5 bar, 250mm, 1.2 bar

	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Media</b>	<b>Dev. Standard</b>
<i>Portata Aria Out LN3</i>	0	0.39	0.02	0.14
<i>Pressione Ingresso Acqua LN7</i>	5.499	5.573	5.53	0.01
<i>Portata Aria In LN8</i>	11.452	16.204	13.90	0.76
<i>Portata Acqua IN LN10</i>	9.67	10.38	9.978	0.1
<i>Pressione Eiettore LN11</i>	0.912	0.982	0.95	0.01
<i>Pressione tubo miscelatore LN19</i>	0.495	0.544	0.52	0.007
<i>Pressione serbatoio LN19</i>	1.434	1.536	1.49	0.01
<i>livello acqua LN20</i>	246.12	253.09	249.60	1.04

Tabella 4.6: Valori statistici prova regime 5.5 bar, 250mm, 1.5 bar

## 4.4 Prova 3: Generazioni Anomalie

Questa campagna di prove è stata stilata guardando alle prove svolte a regime (si veda tabelle 4.5 4.6) con l'introduzione di anomalie generate attraverso l'ausilio di valvole di intercettazione manuali (si veda ??)

### 4.4.1 Valvole intercettazione

Per quanto concerne la descrizione delle valvole si veda figura ?? di seguito verrà introdotta la enumerazione e posizione delle suddette all'interno dell'impianto:

- Valvola Intercettazione 5: Valvola posta a valle dell'eiettore
- Valvola Intercettazione 6: Valvola posta allo scarico del serbatoio
- Valvola intercettazione 7: Valvola posta sul tubo di aspirazione dell'aria.
- Valvola intercettazione 8: Valvola designata alla simulazione di una perdita del serbatoio.
- Valvola intercettazione 9: Valvola posta sul tubo di uscita dell'aria dal serbatoio.

### 4.4.2 Campagna prove

Anomalia	Valvola	Percentuale Chiusura
1	5	10%
1	5	30%
1	5	40%
2	6	30%
2	6	40%
2	6	50%
3	7	60%
3	7	80%
3	7	90%
4	8	10%
4	8	15%
4	8	20%
5	9	70%
5	9	80%
5	9	90%

Tabella 4.7: Campagna prove relativa a condizioni quali: 5.5 Bar Valle pompa, 250mm acqua serbatoio, 1.2 bar serbatoio

Anomalia	Valvola	Grado Chiusura
1	5	10°
1	5	30°
1	5	40°
2	6	30°
2	6	40°
2	6	50°
3	7	60°
3	7	80°
3	7	90°
4	8	10°
4	8	15°
4	8	20°
5	9	70°
5	9	80°
5	9	90°

Tabella 4.8: Campagna prove relativa a condizioni quali: 5.5 Bar Valle pompa, 250mm acqua serbatoio, 1.5 bar serbatoio

Per la generazione e acquisizione delle prove si è seguito uno specifico iter qui di seguito riportato:

- Accensione impianto
- Attendere che tutti i sensori vadano a regime con livelli di pressione a valle della pompa, livello acqua e pressione nel serbatoio fissati
- Avviare la registrazione
- attendere 30 secondi
- Generare Anomalia e segnare il flag relativo alla valvola utilizzata sull'interfaccia di acquisizione
- attendere che la situazione si stabilizzi
- Annullare l'anomalia e disattivare il flag relativo
- Attendere che il sistema torni a regime
- Spegnerne registrazione

## 4.5 Anomalia 1

L'anomalia 1 prevede l'ostruzione del tubo in uscita dall'eiettore attraverso l'utilizzo della valvola di intercettazione n°5.

### 4.5.1 Pressione Valle Pompa 5.5 bar, Livello acqua 250mm, Pressione serbatoio 1.2 bar

si riportano di seguito le curve dei sensori di pressione nel tubo di miscelazione e di portata di aria aspirata dall'impianto a pressione del serbatoio pari a 1.2 e con % chiusura valvola del 40%. Si nota una sovra-pressione a valle dell'eiettore e un conseguente crollo della portata aria in ingresso. Per un'analisi più accurata dal

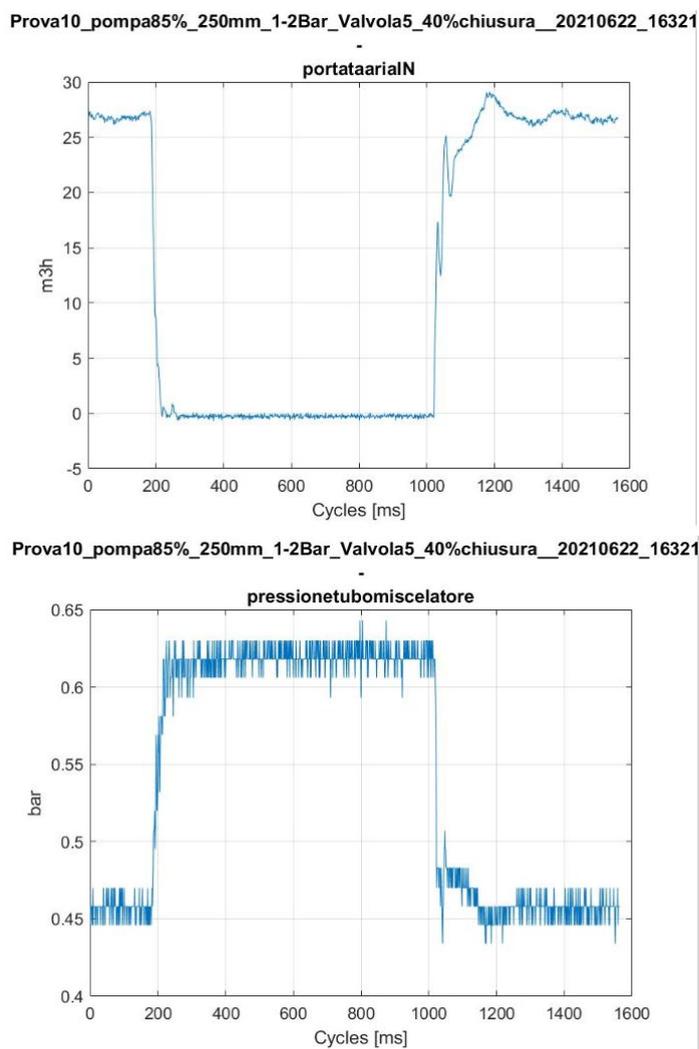


Figura 4.7: Portata Aria IN - Pressione tubo miscelatore

punto di vista statistico si riportano di seguito i valori minimi, massimi, di media e deviazione standard dei sensori da confrontare con quelli a regime. (si veda tabella [4.5](#))

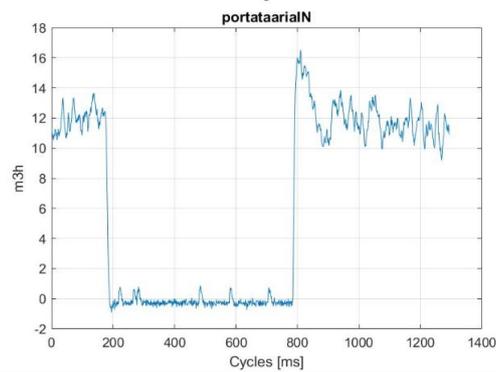
	Min	Max	Media	Dev. Standard
<i>Portata Aria Out LN3</i>	<b>0</b>	<b>38.61</b>	<b>10.43</b>	<b>11.96</b>
<i>Pressione Ingresso Acqua LN7</i>	5.499	5.549	5.50	0.01
<i>Portata Aria In LN8</i>	<b>0</b>	<b>29.12</b>	<b>12.17</b>	<b>13.19</b>
<i>Portata Acqua IN LN10</i>	9.633	10.47	10.01	0.11
<i>Pressione Eiettore LN11</i>	0.843	0.988	0.94	0.01
<i>Pressione tubo miscelatore LN12</i>	<b>0.434</b>	<b>0.643</b>	<b>0.54</b>	<b>0.007</b>
<i>Pressione serbatoio LN19</i>	1.116	1.307	1.2	0.02
<i>livello acqua LN20</i>	235.68	262.66	249.6	3.12

Tabella 4.9: Valori statistici anomalia valvola 5 40% chiusura 1.2 bar pressione serbatoio

#### 4.5.2 Pressione Valle Pompa 5.5 bar, Livello acqua 250mm, Pressione serbatoio 1.5 bar

Si riportano di seguito a titolo di esempio le curve dei sensori di pressione nel tubo di miscelazione e di portata di aria aspirata dall'impianto a pressione del serbatoio pari a 1.5 e con percentuale di chiusura valvola del 40% .

10\_p\_ompa85%\_l\_ivello250mm\_p\_ressione1-5Bar\_v\_alvola5\_c\_hiusura40Gradi\_2\_0210628.



10\_p\_ompa85%\_l\_ivello250mm\_p\_ressione1-5Bar\_v\_alvola5\_c\_hiusura40Gradi\_2\_0210628

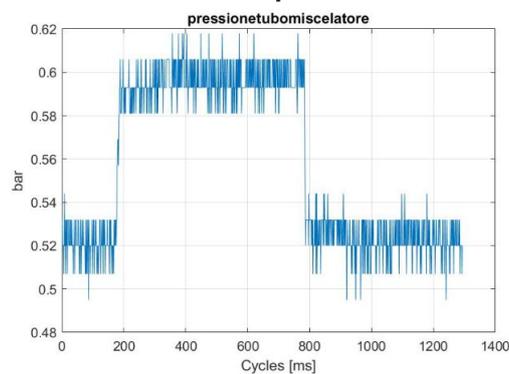


Figura 4.8: portata aria IN-Pressione tubo miscelatore

## 4.6 Anomalia 2

L'anomalia numero 2 è stata generata con l'ausilio della valvola di intercettazione n°6 che va a simulare l'ostruzione del condotto di scarico dell'acqua del serbatoio.

### 4.6.1 Pressione Valle Pompa 5.5 bar, Livello acqua 250mm, Pressione serbatoio 1.2 bar

Si riportano di seguito i grafici relativi al livello d'acqua nel serbatoio a 40% e 50% di chiusura della valvola con pressione del serbatoio a 1.2 bar. Notiamo come al 40% di chiusura la valvola elettronica controllata dal PID riesca a mantenere il livello fissato a 250mm mentre al 50% di chiusura il livello cresce linearmente.

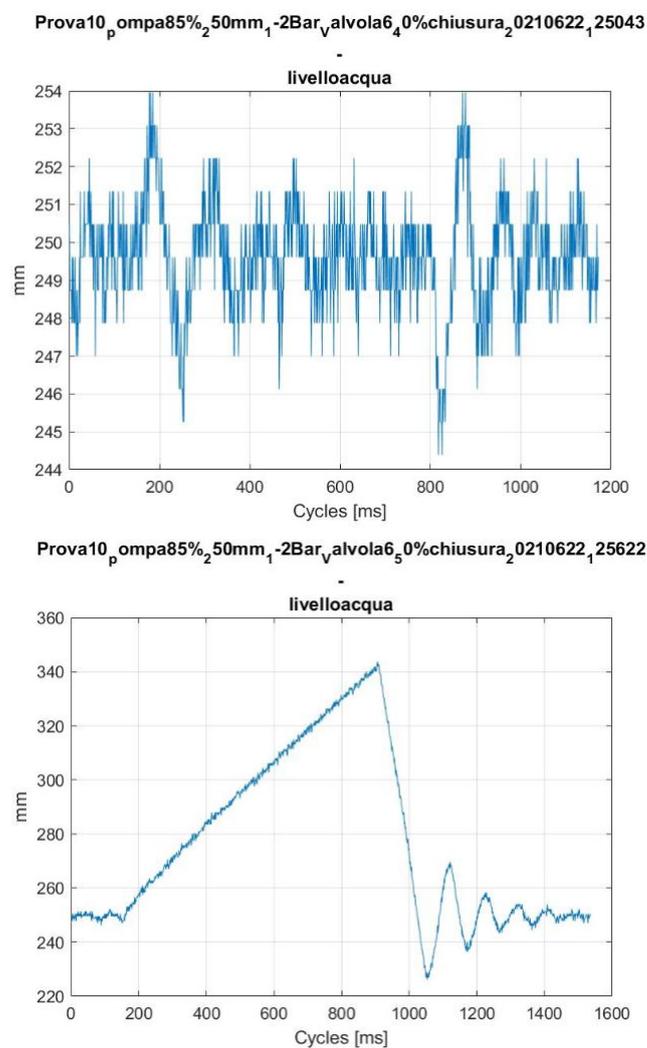


Figura 4.9: Livello acqua serbatoio 40-50% chiusura valvola 6

Di seguito sono riportati i più significativi valori statistici dei sensori da confrontare con i corrispettivi a regime riportati nella tabella [4.5](#)

	Min	Max	Media	Dev. Standard
<i>Portata Aria Out LN3</i>	0	38.92	22.7	6.43
<i>Pressione Ingresso Acqua LN7</i>	5.487	5.573	5.53	0.01
<i>Portata Aria In LN8</i>	23.82	29.792	27.12	0.69
<i>Portata Acqua IN LN10</i>	9.58	10.33	10.01	0.11
<i>Pressione Eiettore LN11</i>	0.898	0.995	0.95	0.01
<i>Pressione tubo miscelatore LN12</i>	0.434	0.483	0.45	0.007
<i>Pressione serbatoio LN19</i>	1.128	1.281	1.2	0.01
<i>livello acqua LN20</i>	226.16	343.62	276.79	31.64

Tabella 4.10: Valori statistici anomalia 2 valvola 6 50% chiusura

#### 4.6.2 Pressione Valle Pompa 5.5 bar, Livello acqua 250mm, Pressione serbatoio 1.5 bar

A valori di pressione nel serbatoio a 1.5 bar la situazione risulta simile a valori di 1.2 bar. Si necessitano 60° di chiusura della valvola numero 6 per far sì che la valvola elettronica a valle del serbatoio non riesca a mantenere un livello d'acqua costante all'interno del serbatoio.

### 4.7 Anomalia 3

L'anomalia 3 va a simulare l'ostruzione del tubo di aspirazione dell'aria tramite la valvola n°7.

#### 4.7.1 Pressione Valle Pompa 5.5 bar, Livello acqua 250mm, Pressione serbatoio 1.2 bar

Si riporta di seguito i grafici del sensore di portata di aria in ingresso durante prova con pressione serbatoio fissata a 1.2 bar. Si nota come per generare un'anomalia apprezzabile sia richiesta una quasi totale ostruzione del tubo di aspirazione dell'aria.

□

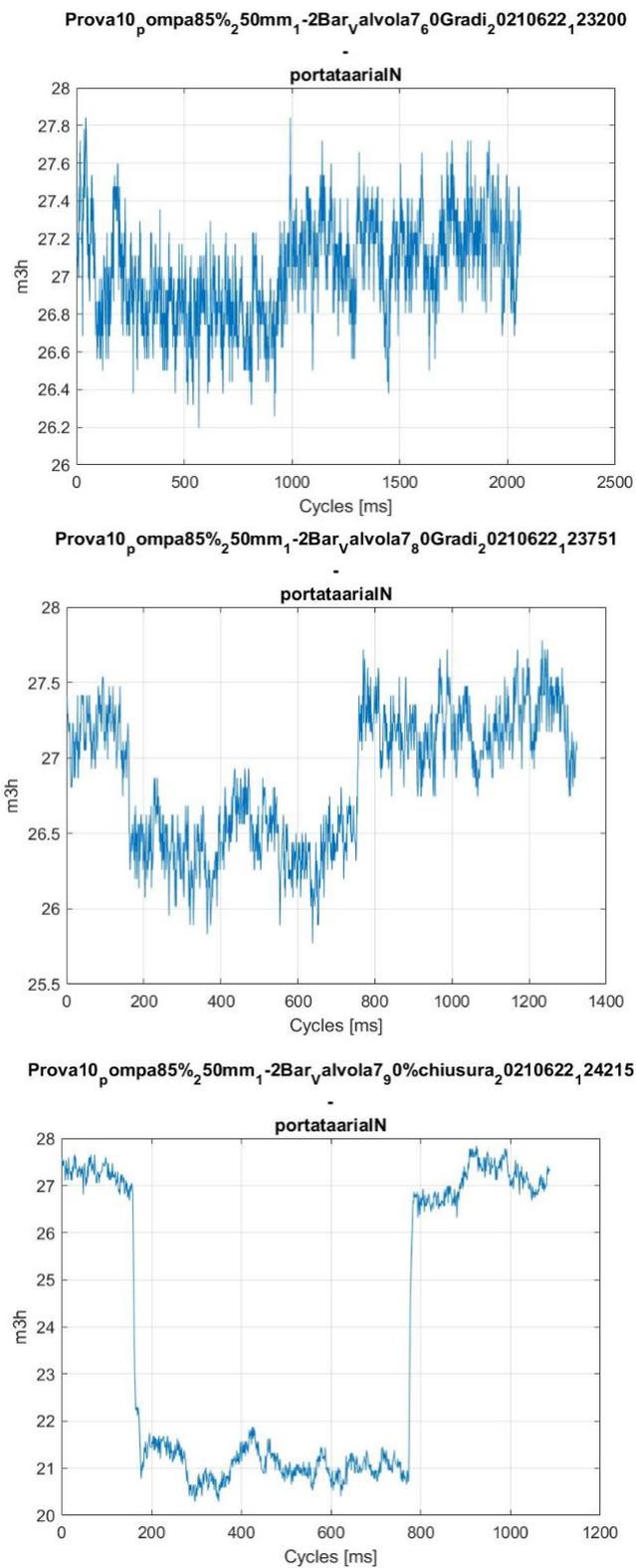


Figura 4.10: Andamento pressione Aria Ingresso 60-80-circa90% chiusura valvola 7

Di seguito si riportano i principali valori statistici dei sensori da confrontare con i valori a regime di tabella [4.5](#)

	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Media</b>	<b>Dev. Standard</b>
<i>Portata Aria Out LN3</i>	<b>14.55</b>	<b>26.588</b>	<b>20.57</b>	<b>2.79</b>
<i>Pressione Ingresso Acqua LN7</i>	5.48	5.57	5.53	0.01
<i>Portata Aria In LN8</i>	<b>20.28</b>	<b>27.84</b>	<b>23.70</b>	<b>3</b>
<i>Portata Acqua IN LN10</i>	9.765	10.42	10.04	0.09
<i>Pressione Eiettore LN11</i>	0.85	0.982	0.91	0.03
<i>Pressione tubo miscelatore LN12</i>	0.434	0.483	0.46	0.007
<i>Pressione serbatoio LN19</i>	1.14	1.256	1.2	0.01
<i>livello acqua LN20</i>	246.12	253.09	249.61	1.1

Tabella 4.11: Valori statistici anomalia 3 valvola 6 circa 90% di chiusura

#### 4.7.2 Pressione Valle Pompa 5.5 bar, Livello acqua 250mm, Pressione serbatoio 1.5 bar

Con valori di pressione del serbatoio pari a 1.5 bar per apprezzare graficamente un'anomalia nel sensore di pressione dell'aria in ingresso si necessita, come nel caso precedente, di una quasi-completa otturazione della valvola numero 7. Si riportano poi i principali valori statistici dei vari sensori da confrontare con [4.6](#)

	Min	Max	Media	Dev. Standard
<i>Portata Aria Out LN3</i>	0	25.21	1.41	4.86
<i>Pressione Ingresso Acqua LN7</i>	5.38	5.53	5.46	0.04
<i>Portata Aria In LN8</i>	0	26.07	5.70	5.82
<i>Portata Acqua IN LN10</i>	9.58	10.69	10.15	0.23
<i>Pressione Eiettore LN11</i>	0.46	0.988	0.75	0.21
<i>Pressione tubo miscelatore LN12</i>	0.49	0.56	0.52	0.01
<i>Pressione serbatoio LN19</i>	1.42	1.57	1.49	0.02
<i>livello acqua LN20</i>	240.03	257.444	249.58	2

Tabella 4.12: Valori statistici anomalia 3 valvola 7 circa 90° chiusura

## 4.8 Anomalia 4

l'anomalia numero 4 va a simulare una perdita di aria dal serbatoio tramite la valvola numero 7.

### 4.8.1 Pressione Valle Pompa 5.5 bar, Livello acqua 250mm, Pressione serbatoio 1.2 bar

si riportano:

- il grafico del sensore di pressione del serbatoio e si nota come questa perdita non può essere compensata dall'elettrovalvola che controlla l'uscita dell'aria dal serbatoio.
- Il grafico della portata d'aria in ingresso e si evidenzia come ci sia un surplus di portata per compensare l'uscita d'aria dal serbatoio

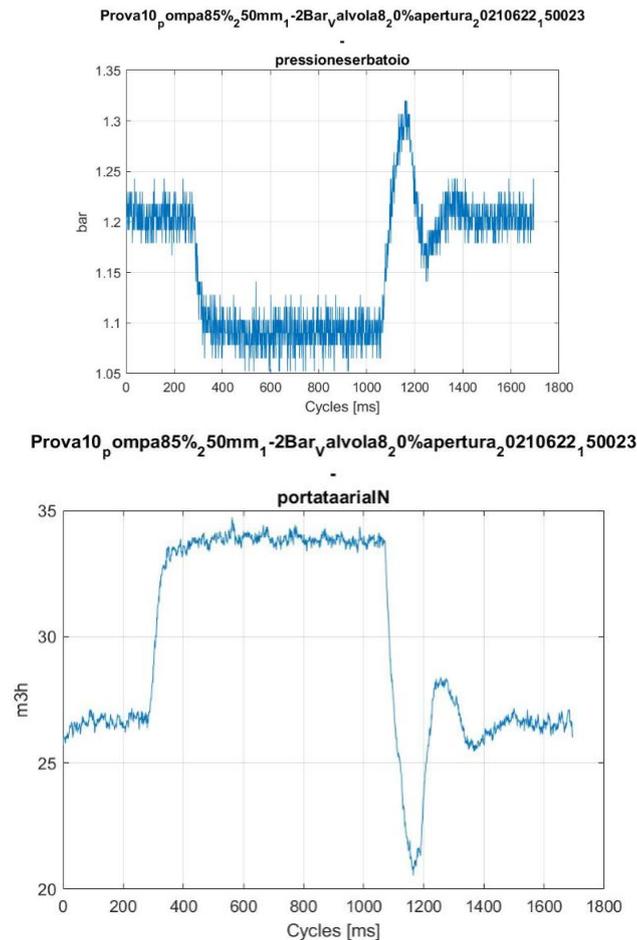


Figura 4.11: Pressione serbatoio-Portata aria ingresso

Si riportano di seguito i principali valori statistici dei sensori da confrontarsi con i valori a regime (vedi tabella [4.5](#))

	Min	Max	Media	Dev. Standard
<i>Portata Aria Out LN3</i>	0	39.23	11.68	12.13
<i>Pressione Ingresso Acqua LN7</i>	5.46	5.54	5.51	0.01
<i>Portata Aria In LN8</i>	20.53	34.72	29.67	3.8
<i>Portata Acqua IN LN10</i>	9.67	10.38	9.98	0.09
<i>Pressione Eiettore LN11</i>	0.912	0.988	0.94	0.01
<i>Pressione tubo miscelatore LN12</i>	0.421	0.495	0.44	0.01
<i>Pressione serbatoio LN19</i>	1.052	1.32	1.15	0.06
<i>livello acqua LN20</i>	246.99	252.221	249.64	0.93

Tabella 4.13: Valori statistici anomalia 4 valvola 8 20% apertura

#### **4.8.2 Pressione Valle Pompa 5.5 bar, Livello acqua 250mm, Pressione serbatoio 1.5 bar**

L'andamento a 1.5 bar è simile a quello a 1.2 bar ma più perentorio:

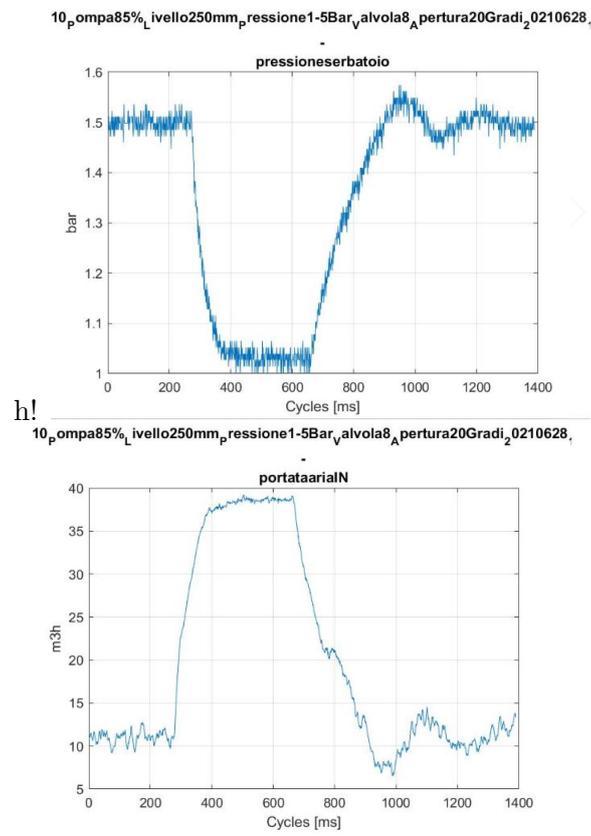


Figura 4.12: Pressione serbatoio-portata aria in

#### Capitolo 4 Generazione ed Analisi delle Anomalie

Si riportano i valori statistici dei vari sensori da confrontare con quelli a regime (vedi tabella [4.6](#))

	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Media</b>	<b>Dev. Standard</b>
<i>Portata Aria Out LN3</i>	0	20.19	1.05	4.04
<i>Pressione Ingresso Acqua LN7</i>	5.47	5.54	5.51	0.01
<i>Portata Aria In LN8</i>	6.51	39.23	19.65	11.55
<i>Portata Acqua IN LN10</i>	9.58	10.33	9.94	0.09
<i>Pressione Eiettore LN11</i>	0.89	0.98	0.94	0.01
<i>Pressione tubo miscelatore LN12</i>	0.4	0.544	0.49	0.04
<i>Pressione serbatoio LN19</i>	1.01	1.57	1.34	0.2
<i>livello acqua LN20</i>	243.51	261.79	249.61	2.23

Tabella 4.14: Valori statistici anomalia 4 valvola 8 20 Gradi apertura 1.5 bar pressione serbatoio

## 4.9 Anomalia 5

L'anomalia 5 tramite l'utilizzo della valvola di intercettazione numero 9 va a simulare l'ostruzione del condotto di scarico dell'aria dal serbatoio.

### 4.9.1 Pressione Valle Pompa 5.5 bar, Livello acqua 250mm, Pressione serbatoio 1.2 bar

Si riportano i grafici relativi all'andamento della pressione nel serbatoio e notiamo come per innalzare il livello di pressione nel serbatoio sia necessaria una quasi totale ostruzione del condotto di scarico dell'aria. □

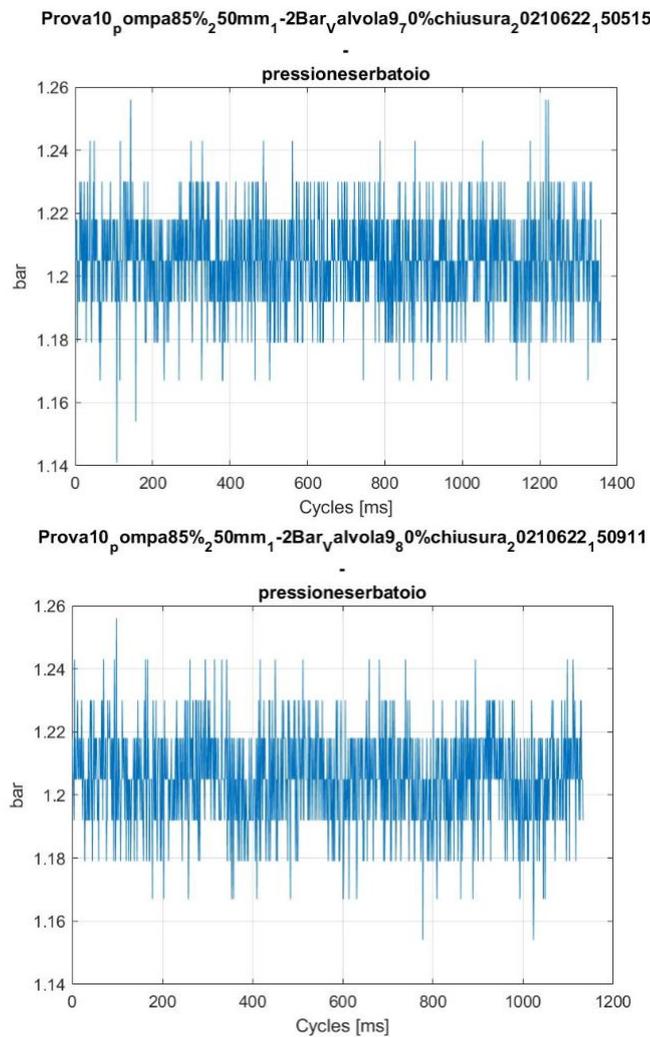


Figura 4.13: Andamento pressione serbatoio; 70-80% chiusura valvola 9

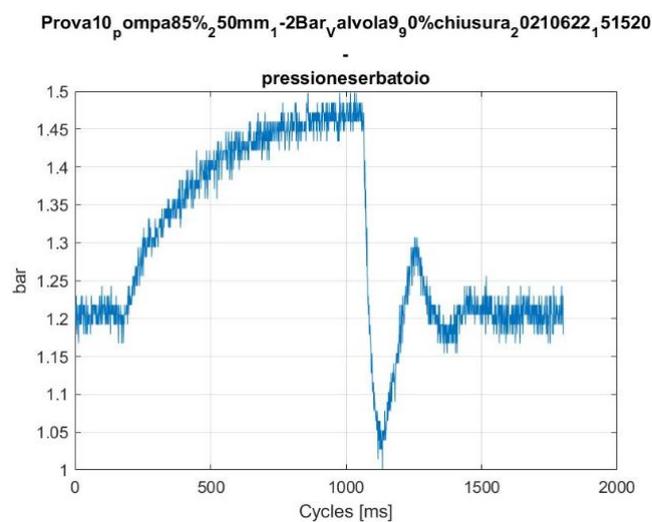


Figura 4.14: pressione serbatoio 90% chiusura valvola 9

Si riportano di seguito i valori statistici più significativi dei vari sensori da confrontare con tabella [4.5](#) a regime.

	Min	Max	Media	Dev. Standard
<i>Portata Aria Out LN3</i>	0	96.65	12.76	17.17
<i>Pressione Ingresso Acqua LN7</i>	5.46	5.53	5.5	0.01
<i>Portata Aria In LN8</i>	10.35	38.62	21.53	6.46
<i>Portata Acqua IN LN10</i>	9.63	10.33	9.96	0.1
<i>Pressione Eiettore LN11</i>	0.89	0.98	0.94	0.01
<i>Pressione tubo miscelatore LN12</i>	0.40	0.53	0.47	0.02
<i>Pressione serbatoio LN19</i>	1.001	1.49	1.29	0.11
<i>livello acqua LN20</i>	233.07	260.92	249.61	3.03

Tabella 4.15: Valori statistici anomalia 5 valvola 9 circa 90 Percento chiusura 1.2 bar pressione serbatoio

#### 4.9.2 Pressione Valle Pompa 5.5 bar, Livello acqua 250mm, Pressione serbatoio 1.5bar

Andamento molto simile al caso con pressione di serbatoio 1.2 bar; si riportano di seguito i valori statistici più significativi da confrontare con quelli a regime (vedi tabella [4.6](#))

	Min	Max	Media	Dev. Standard
<i>Portata Aria Out LN3</i>	0	101.89	2.98	12.47
<i>Pressione Ingresso Acqua LN7</i>	5.43	5.54	5.5	0.01
<i>Portata Aria In LN8</i>	0	28.51	8.39	6.15
<i>Portata Acqua IN LN10</i>	9.54	10.25	9.92	0.1
<i>Pressione Eiettore LN11</i>	0.89	0.988	0.94	0.01
<i>Pressione tubo miscelatore LN12</i>	0.44	0.59	0.53	0.02
<i>Pressione serbatoio LN19</i>	1.16	1.71	1.53	0.1
<i>livello acqua LN20</i>	240.03	262.66	249.61	2.26

Tabella 4.16: Valori statistici anomalia 5 valvola 9 80° chiusura; 1.5 bar pressione serbatoio



## Capitolo 5

# CONCLUSIONI

Con il presente lavoro si è cercato di introdurre e simulare un caso di analisi di anomaly detection. L'argomento è ben più complesso e articolato e si snoda attraverso tecniche di machine learning non trattate in questa sede. Con lungimiranza si può affermare che una nuova rivoluzione tecnologica con l'Industry 4.0 è alle porte e lo studio dell'anomaly detection sarà argomento topico e centrale. Difatti arrivare ad avere un controllo puntale e meticoloso dei macchinari e riuscire in anticipo ad individuare un'anomalia di una macchina e intraprendere una manutenzione prima ancora che avvengano guasti sarà di importanza straordinaria.

