



**POLITECNICO**  
**MILANO 1863**

## **Relazione di laboratorio del corso di Sperimentazione nei Propulsori**

AA 2023-2024

<b>Autore</b>	<b>Codice Persona</b>	<b>Matricola</b>	<b>Indirizzo Email</b>
Andrea Bassi	10665754	220534	andrea13.bassi@mail.polimi.it

**Professore:** Giulio Angelo Guido Solero

## **Abstract**

Questo documento raccoglie i report delle varie attività laboratoriali svolte nell'ambito del corso di Sperimentazione nei Propulsori. Per ciascuna attività è presentata una sintesi di richieste, metodi risolutivi e risultati criticamente valutati.

# Indice

<b>Abstract</b>	<b>1</b>
<b>Elenco delle tabelle</b>	<b>3</b>
<b>Elenco delle figure</b>	<b>4</b>
<b>Elenco dei simboli</b>	<b>5</b>
<b>1 Misure di temperatura mediante termocoppia</b>	<b>7</b>
1.1 Risoluzione . . . . .	7
<b>2 Stima dell'errore sistematico</b>	<b>10</b>
<b>3 Misura di portata mediante diaframma</b>	<b>11</b>
<b>4 Perdite per irraggiamento</b>	<b>12</b>
<b>5 Misure al banco prova</b>	<b>13</b>
<b>A Risultati aggiuntivi dell'analisi statistica delle serie di dati</b>	<b>14</b>
A.1 Classi, frequenze relative e cumulate normalizzate . . . . .	14

## Elenco delle tabelle

1.1	Valori estremi di temperatura . . . . .	7
1.2	Indici statistici delle due distribuzioni . . . . .	8
1.3	Errore statistico delle due distribuzioni . . . . .	9
A.1	Risultati relativi alla serie corta . . . . .	14
A.2	Risultati relativi alla serie lunga . . . . .	15

**Elenco delle figure**

1.1	Istogrammi delle due serie . . . . .	7
1.2	Frequenze relative delle diverse classi . . . . .	8
1.3	Frequenze cumulate normalizzate per entrambe le serie . . . . .	9

## Lista dei simboli

Variabile	Descrizione	Unità
$\epsilon_{STAT}$	Errore statistico	°C
$F$	Frequenza cumulata normalizzata	—
$f$	Frequenza relativa	—
$N$	Numero di campioni	—
$\sigma_T$	Deviazione standard della temperatura	°C
$\sigma_{\bar{T}}$	Deviazione standard della temperatura media	°C
$SK$	Coefficiente di skewness	—
$T$	Temperatura	°C
$t_{95}$	Parametro t per intervallo di confidenza al 95%	—
$\bar{T}$	Temperatura media	°C
$T_{MEDIANA}$	Temperatura mediana	°C



# 1 Misure di temperatura mediante termocoppia

**Dati e richieste** Vengono fornite due serie di misure di temperatura allo scarico di una camera di combustione, eseguite mediante termocoppia di tipo B. La prima è costituita da 1599 valori ("Serie corta"), la seconda da 9999 ("Serie lunga"). Entrambe le serie sono campionate con una frequenza di campionamento di 100 Hz e vengono fornite mediante file testuale (.txt).

Si chiede di svolgere l'analisi statistica dei dati.

## 1.1 Risoluzione

Si riportano i risultati emersi dall'elaborazione dei dati sperimentali. I calcoli sono stati svolti mediante il software *Matlab* e le funzioni built-in.

**Suddivisione in classi e istogramma** Entrambe le serie sono divise in 10 classi, di uguale ampiezza, costruite affinché non ci possa essere ambiguità nell'attribuzione dei valori: poiché le misure hanno 6 cifre decimali, gli estremi di classe sono definiti con 7 cifre decimali. L'estremo della prima classe viene scelto come il minimo valore di  $T$  a cui viene sottratto  $0.5e-7$  °C. Analogamente, l'estremo superiore dell'ultima classe viene calcolato sommando la stessa quantità al massimo valore di  $T$  nella serie. I valori estremi delle due serie sono mostrati in Tab.1.1, riportati integralmente per mettere in evidenza il numero di cifre decimali.

Serie	$T_{MIN}$ [°C]	$T_{MAX}$ [°C]
Corta	953.745910	1193.110960
Lunga	931.352290	1449.917970

Tabella 1.1: Valori estremi di temperatura

Gli istogrammi relativi alle due serie sono mostrati in Fig.1.1.

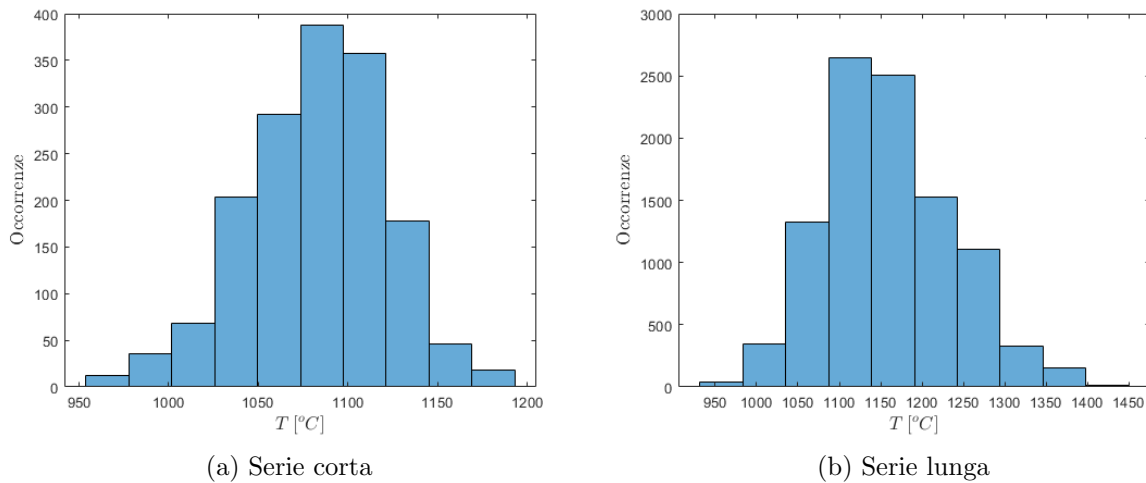


Figura 1.1: Istogrammi delle due serie



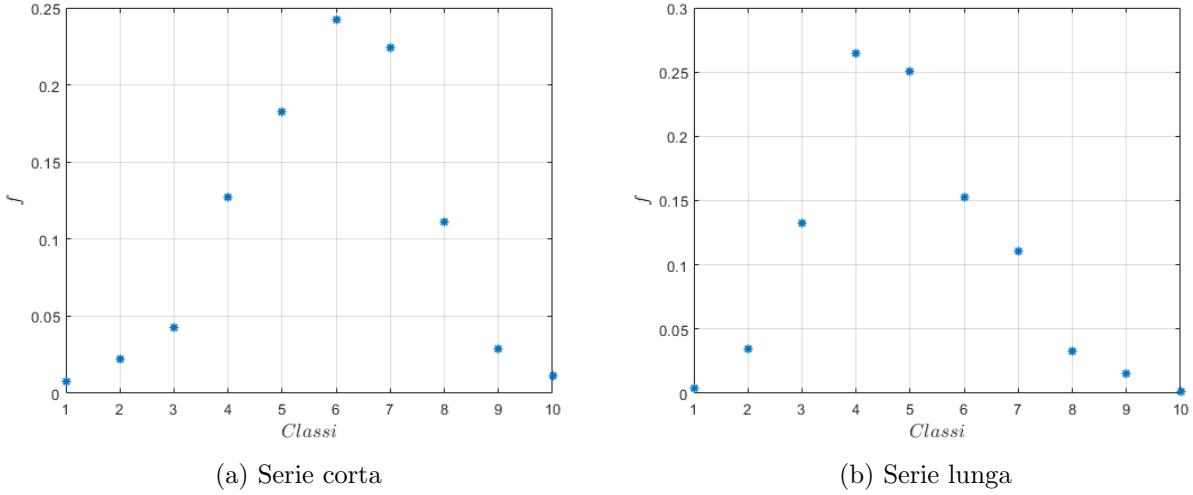


Figura 1.2: Frequenze relative delle diverse classi

Si osserva come entrambe le distribuzioni di dati siano simili alla distribuzione gaussiana, mostrando tuttavia una evidente asimmetria. Quest'ultima è quantificabile dal coefficiente di skewness, riportato in Tab.

**Calcolo delle frequenze relative e cumulate** Successivamente vengono riportate delle rappresentazioni grafiche delle frequenze relative ( $f$ ) e frequenze cumulate normalizzate ( $F$ ) delle varie classi.

**Calcolo degli indici statistici** L'analisi statistica dei dati viene svolta mediante il calcolo degli indici statistici relativi alle due serie di dati. In particolare, si riportano media ( $\bar{T}$ ) e mediana ( $T_{MEDIANA}$ ) delle due serie, nonché deviazione standard ( $\sigma_T$ ) e skewness ( $SK$ ) delle distribuzioni. I risultati sono presentati in Tab.1.2.

Indice	Serie corta	Serie lunga
$\bar{T}$ [°C]	1082.8	1159.2
$T_{MEDIANA}$ [°C]	1085.7	1152.4
$\sigma_T$ [°C]	39.147	77.841
$SK$	-0.27	0.40

Tabella 1.2: Indici statistici delle due distribuzioni

**Stima dell'errore statistico** Lo studio statistico delle due serie di dati si conclude con la stima dell'errore statistico ( $\epsilon_{STAT}$ ). Risulta necessario calcolare la deviazione standard del valore medio di temperatura ( $\sigma_{\bar{T}}$ ) secondo:

$$\sigma_{\bar{T}} = \frac{\sigma_T}{\sqrt{N}} \quad (1.1)$$

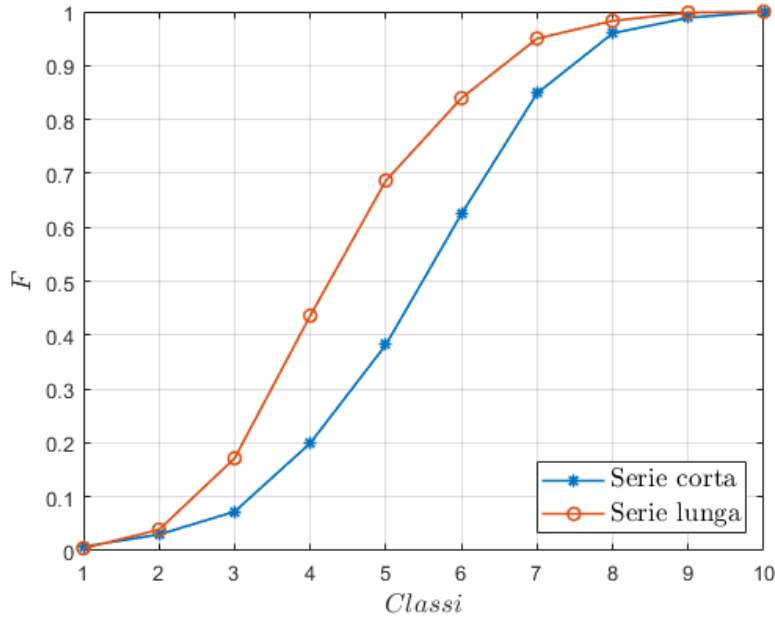


Figura 1.3: Frequenze cumulate normalizzate per entrambe le serie

dove  $N$  è il numero di campioni di ciascuna serie. Infine, il valore di  $\epsilon_{STAT}$  si ottiene con:

$$\epsilon_{STAT} = \sigma_{\bar{T}} t_{95\%} \quad (1.2)$$

dove  $t_{95}$  è ricavato dalla distribuzione t per un intervallo di confidenza al 95% (dove  $\nu = N - 1$ , dove 1 rappresenta il numero di gradi di libertà persi a seguito dell'introduzione di  $\bar{T}$ ).

Indice	Serie corta	Serie lunga
$t_{95\%}$	1.9614	1.9602
$\nu$	1598	9998
$\epsilon_{STAT} [^{\circ}\text{C}]$	$\pm 1.9202$	$\pm 1.5259$

Tabella 1.3: Errore statistico delle due distribuzioni

Da Tab.1.3 si nota come un numero elevato di campioni garantisca un errore statistico molto contenuto, che risulta minore di  $\sigma_T$  di un ordine di grandezza. Questo risultato deriva dalla presenza di  $\sqrt{N}$  in Eq.(1.1), il cui valore ammonta a  $\sim 40$  per la prima serie, a  $\sim 100$  per la seconda. Per quanto riguarda il valore di  $t_{95}$  si osserva che tende al valore asintotico ( $\nu \rightarrow \infty$ ) di 1.960 per entrambe le serie, quindi non c'è particolare differenza tra le due.

---

## 2 Stima dell'errore sistematico

---

### 3 Misura di portata mediante diaframma

---

## 4 Perdite per irraggiamento

---

## 5 Misure al banco prova

---

## A Risultati aggiuntivi dell'analisi statistica delle serie di dati

### A.1 Classi, frequenze relative e cumulate normalizzate

Classe	Estremi	Occorrenze	$f$	$F$
1	43535 s74747			
2	43535 s74747			
3	43535 s74747			
4	43535 s74747			
5	43535 s74747			
6	43535 s74747			
7	43535 s74747			
8	43535 s74747			
9	43535 s74747			
10	43535 s74747			

Tabella A.1: Risultati relativi alla serie corta

Classe	Estremi	Occorrenze	$f$	$F$
1	43535 s74747			
2	43535 s74747			
3	43535 s74747			
4	43535 s74747			
5	43535 s74747			
6	43535 s74747			
7	43535 s74747			
8	43535 s74747			
9	43535 s74747			
10	43535 s74747			

Tabella A.2: Risultati relativi alla serie lunga