

# Esperienza introduttiva: Misura della viscosità della glicerina

Gruppo 3

Febbraio 2023

Data esperienza: Gennaio 2023  
Gruppo: Marta ARNOLDI  
Cecilia GUZZON  
Giovanni CARMINATI  
Istruttore: Prof. CALVI

## Contents

<b>1 Obiettivi:</b>	<b>2</b>
<b>2 Cenni Teorici</b>	<b>2</b>
2.1 Sfera in caduta in un fluido . . . . .	2
2.2 Legge di Stokes . . . . .	2
2.3 Misurazione di $\eta$ . . . . .	2
<b>3 Materiale e strumenti di misura usati</b>	<b>3</b>
<b>4 Svolgimento dell'esperienza</b>	<b>3</b>
4.1 Parte A: studio degli errori di misura . . . . .	3
4.2 Parte B: misura della viscosità . . . . .	3
<b>5 Dati raccolti</b>	<b>4</b>
5.1 raccolta dati 13 gennaio . . . . .	4
5.2 raccolta dati 23 gennaio . . . . .	4
<b>6 Analisi Dati</b>	<b>5</b>
6.1 PARTE A . . . . .	5
6.2 PARTE B . . . . .	6
6.3 Stima $\eta$ . . . . .	7
<b>7 Discussione dei risultati ottenuti</b>	<b>7</b>
7.1 PARTE A . . . . .	7
7.2 PARTE B . . . . .	7

# 1 Obiettivi:

## Primo Obiettivo

attraverso una serie di misure ripetute evidenziare la presenza degli errori casuali

## Secondo Obiettivo

misura della viscosità della glicerina

# 2 Cenni Teorici

## 2.1 Sfera in caduta in un fluido

Una sfera in caduta libera in un fluido è sottoposta a forza peso ( $F_p$ ), spinta di archimede ( $S_a$ ) e forza resistiva dipendente dal fluido ( $F_r$ )

La risultante delle forze ( $R$ ) considerando verso positivo la forza di gravità:

$$R = F_p - S_a - F_r \quad (1)$$

## 2.2 Legge di Stokes

la legge di Stokes determina la forza resistiva del fluido

$$F_r = 6\pi\eta r v \quad (2)$$

dove  $r$  e  $v$  sono raggio e velocità della sfera e  $\eta$  la viscosità del fluido

## 2.3 Misurazione di $\eta$

Sapendo che  $F_p = mg = V\rho_{sfera}g$  e  $S_a = V\rho_{fluido}g$  e che la velocità della sfera è costante quando le forze si uguagliano si ricava:

$$\eta = \frac{2r^2(\rho_{sfera} - \rho_{fluido})g}{9v} \quad (3)$$

### 3 Materiale e strumenti di misura usati

- sfere da 2,3,4,5,6mm di diametro
- glicerina
- cilindro graduato 100cl
- cronometro
- bilancia
- calibro micrometro
- carta per pulire le sfere
- magneti per estrarre le sfere dal cilindro

### 4 Svolgimento dell'esperienza

L'esperienza consiste nel misurare il tempo di caduta di sfere di diversi diametri nella glicerina, calcolare la velocità media di caduta e stimare la viscosità della glicerina

**ATTENZIONE:** dato che la viscosità della glicerina varia significativamente in base alla temperatura è fondamentale prendere nota della temperatura del laboratorio e accertarsi che resti costante

L'esperienza si articola in due:

#### 4.1 Parte A: studio degli errori di misura

- misurare diametro delle sfere
- misurare la massa delle sfere (consigliato misurare la massa di più sfere contemporaneamente e dividere per il numero di sfere)
- Lasciare cadere le sfere di diametro 3 mm nel cilindro contenente la glicerina e misurare il tempo impiegato a percorrere una distanza di 10 cm. (raccolte 100 misure)
- ripetere l'esperimento su una distanza di 20cm (raccolte 10 misure)

#### 4.2 Parte B: misura della viscosità

- ripetere le misurazioni con tutte le sfere su una distanza di 20cm (raccolte 10 tempi per ogni sfera)

## 5 Dati raccolti

La raccolta dati è avvenuta in due giorni distinti a temperature differenti

### 5.1 raccolta dati 13 gennaio

Temperatura laboratorio 24.5 °C  
Massa sfere 3mm 0.11 g

#### PARTE A

Spazio percorso 0.1 m  
numero di misurazioni 100  
tempo medio  $2.985 \pm 0.007$  sec

#### PARTE B

diametro sfere 2mm,3mm,4mm,5mm,6mm  
Spazio percorso 0.2 m  
numero di misurazioni per sfera 10  
tempi medi per sfera:

$d$	2	3	4	5	6
	12.01	5.87	3.43	2.32	1.85

[link per csv contenente le misurazioni parte A](#)

[link per csv contenente le misurazioni parte B](#)

### 5.2 raccolta dati 23 gennaio

Temperatura laboratorio 18.5 °C  
Massa sfere 5mm 0.51 g

#### PARTE B

come 13 gennaio  
tempi medi per sfera:

$d$	2	3	4	5	6
	21.75	10.07	5.97	4.03	2.95

[link per csv contenente le misurazioni parte B](#)

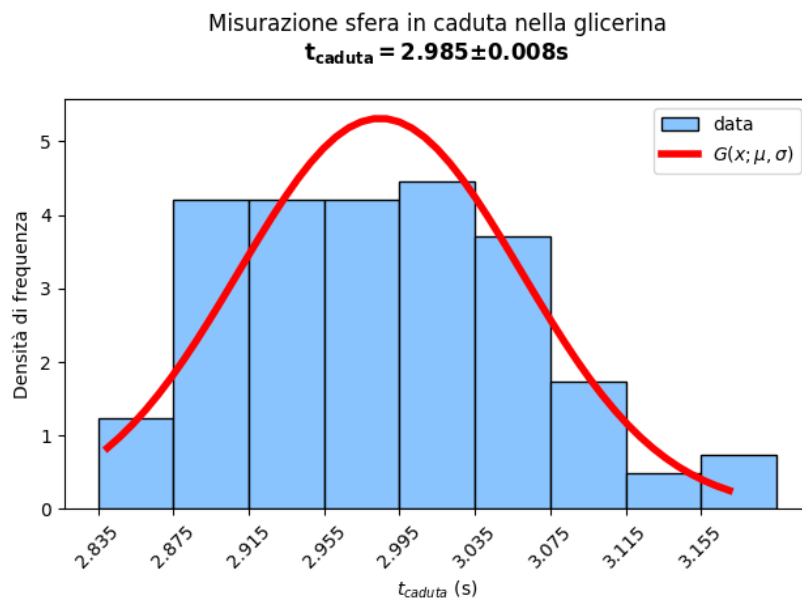
## 6 Analisi Dati

### 6.1 PARTE A

dalle 100 misure del tempo di caduta della sferetta di diametro 3mm ricaviamo:

tempo medio	$\bar{t}$	2.985 s
varianza	$\sigma^2$	0.006 s
deviazione standard	$\sigma$	0.075 s
deviazione std della media	$\bar{\sigma}$	0.008 s

segue il grafico della distribuzione ottenuta confrontata con la distribuzione normale  $G(x, \mu, \sigma)$



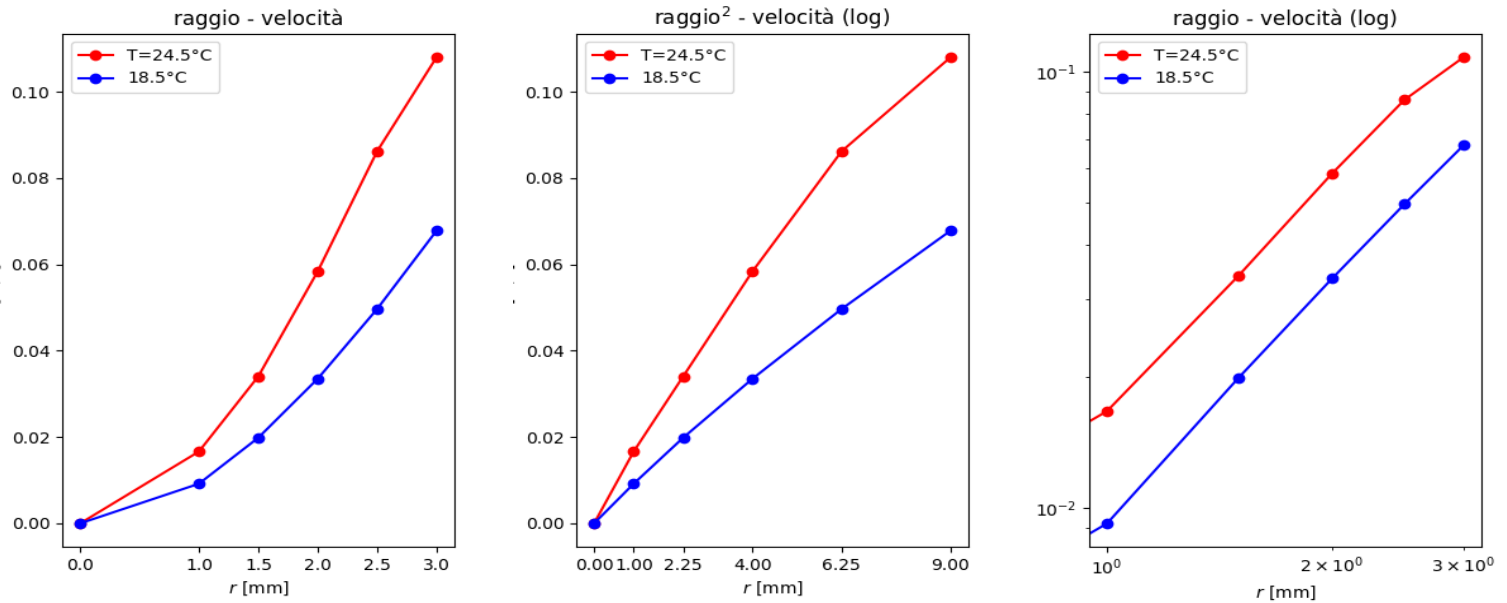
il test del chiquadro svolto usando *chisquare* della libreria *scipy.stats*

$\tilde{\chi}_o^2 = 0.19$  (per l'accordo con una distribuzione normale *chisquare* usa  $d = 100$ )

$P(\chi^2 > \tilde{\chi}_o^2) = 100\%$

## 6.2 PARTE B

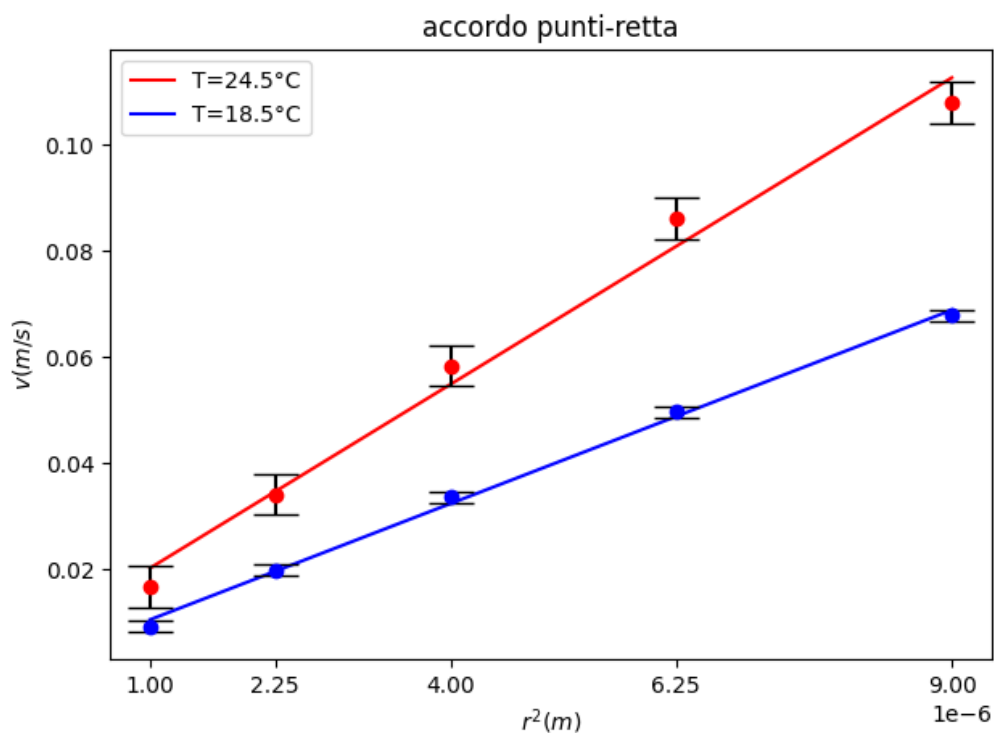
dopo aver ripetuto 10 misure del tempo di caduta delle sfere per ogni diametro, vengono ora confrontate le velocità di caduta delle sfere in relazione al raggio



dai grafici si deduce che  $v \propto r^2$  come conferma dell'equazione (4)

$$v = \frac{2(\rho_{\text{sfera}} - \rho_{\text{fluido}})g}{9\eta} r^2 \quad (4)$$

$y = A + Bx$  dove  $y = v$  e  $x = r^2$



	18.5 °C	24.5 °C
A	0.009	0.003
$\sigma_A$	0.003	0.001
B	11564	7302
$\sigma_B$	608	154
y	0.004	0.001

## 6.3 Stima $\eta$

considerando le misurazioni delle densità, di  $g$  e della temperatura misure esatte otteniamo i seguenti valori:

densità sfere	$\rho_s$	$7800 \text{ kg m}^{-3}$
densità glicerina	$\rho_g$	$1260 \text{ kg m}^{-3}$
temperatura 1	$T_1$	$25.5^\circ\text{C}$
temperatura 2	$T_2$	$18.5^\circ\text{C}$
gravità (Milano)	$g$	$9.81 \text{ kg N}^{-1}$
coeff retta 1	$B_1$	11564
coeff retta 2	$B_2$	7302
sigma $B_1$	$\sigma_{B_1}$	608
sigma $B_2$	$\sigma_{B_2}$	154

assumendo che lo zero sia compatibile ( $y = Bx$ ) dalla (4) ricaviamo  $\eta$ :

$$\eta_1 = \frac{2(\rho_s - \rho_g)g}{9B_1} = 1.23 \quad \eta_2 = \frac{2(\rho_s - \rho_g)g}{9B_2} = 1.95$$

$$\sigma_{\eta_1} = \eta_1 \frac{\sigma_{B_1}}{B_1} = 0.06 \quad \sigma_{\eta_2} = \eta_2 \frac{\sigma_{B_2}}{B_2} = 0.04$$

concludiamo quindi con i valori di  $\eta$ :

$$T = 24.5^\circ\text{C} \quad 1.23 \pm 0.06 \text{ Pa s}$$

$$T = 18.5^\circ\text{C} \quad 1.95 \pm 0.04 \text{ Pa s}$$

## 7 Discussione dei risultati ottenuti

### 7.1 PARTE A

il numero di misure prese è stato sufficiente a determinare il valore del tempo medio di caduta della sfera con un'incertezza ragionevole

### 7.2 PARTE B

dai grafici della relazione tra raggio-velocità della sfera emerge che  $v \propto r^2$  come previsto da (4)

sempre da (4) emerge l'equazione  $y = A + Bx$  dovrebbe avere  $A$  compatibile con lo zero. Dato che  $0 \notin [A - 2\sigma_A, A + 2\sigma_A]$  non c'è compatibilità con lo zero.

La causa dell'incompatibilità è probabilmente legata alla presenza di un errore sistematico: potrebbe esser dovuta all'aver trascurato incertezze relative ai raggi delle masse o a un cambio di temperatura non registrato nel laboratorio. Inoltre la sfera in caso di contatto con il bordo del cilindro rallentava significativamente il tempo di caduta. Va infine considerata la possibilità di aver accidentalmente confuso la dimensione delle sfere dato che non è stato verificato il diametro a ogni lancio

[link dati e codice python](#)