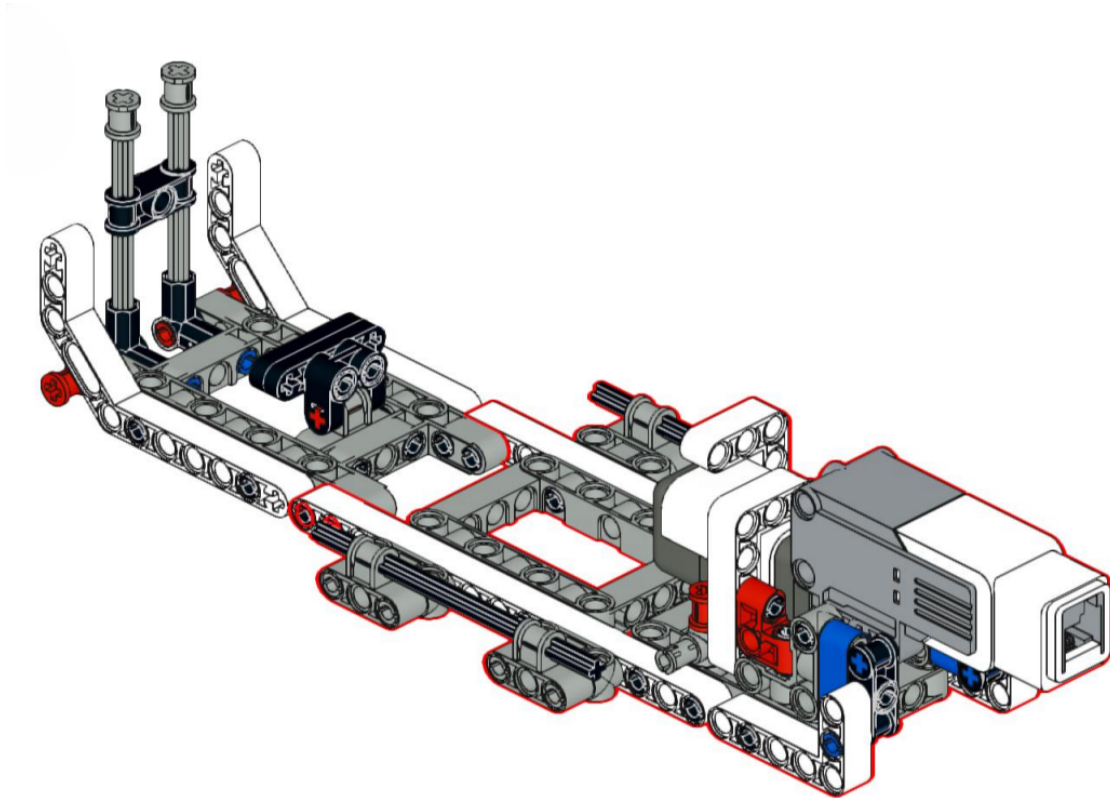




# Polarimetro

Giulia Scotellaro, Gianluca Pacini

5 - 25 Giugno 2023

# Indice

|          |                                                    |           |
|----------|----------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Introduzione</b>                                | <b>2</b>  |
| 1.1      | Dicroismo circolare                                | 2         |
| 1.2      | Birifrangenza circolare                            | 2         |
| 1.2.1    | Chiralità                                          | 3         |
| 1.2.2    | Polarimetro                                        | 3         |
| 1.2.3    | Legge di Malus                                     | 4         |
| 1.2.4    | Rotazione Specifica                                | 5         |
| <b>2</b> | <b>Scopo</b>                                       | <b>5</b>  |
| <b>3</b> | <b>Polarimetro realizzato con Spike</b>            | <b>5</b>  |
| 3.1      | Materiali utilizzati                               | 5         |
| 3.2      | Istruzioni                                         | 6         |
| 3.3      | Codice                                             | 8         |
| <b>4</b> | <b>Polarimetro realizzato con EV3</b>              | <b>9</b>  |
| 4.1      | Materiali utilizzati                               | 9         |
| 4.2      | Istruzioni                                         | 9         |
| 4.3      | Codice                                             | 10        |
| 4.3.1    | MindstormsEV3                                      | 11        |
| 4.3.2    | LeJos (Java)                                       | 12        |
| <b>5</b> | <b>Software</b>                                    | <b>13</b> |
| 5.1      | Installazione                                      | 13        |
| 5.2      | Utilizzo                                           | 14        |
| 5.2.1    | Gestione file                                      | 14        |
| 5.2.2    | Gestione LeJos                                     | 14        |
| 5.2.3    | Calcolo deviazione                                 | 15        |
| <b>6</b> | <b>Analisi delle misurazioni</b>                   | <b>15</b> |
| 6.1      | Misurazioni Spike                                  | 15        |
| 6.2      | Misurazioni EV3                                    | 16        |
| 6.2.1    | Misure con LED Blu                                 | 16        |
| 6.2.2    | Misure con LED Giallo                              | 17        |
| 6.3      | Verifica della precisione                          | 18        |
| 6.4      | Misurazioni UniFi                                  | 18        |
| 6.5      | Confronto tra le misure dell'EV3 e il Jasco DP 370 | 19        |
| <b>7</b> | <b>Conclusioni</b>                                 | <b>21</b> |

# 1 Introduzione

Con polarizzazione si intende la proprietà di una onda trasversale che ne specifica il piano di oscillazione. La luce è un'onda trasversale, ciò vuol dire che la direzione delle oscillazioni è perpendicolare alla direzione verso cui è diretta. In natura la luce si dice non polarizzata in quanto composta da una moltitudine di polarizzazioni diverse: facendo passare questa attraverso un polarizzatore si ottiene un'onda con polarizzazione di un solo tipo. Solo alcuni elementi influenzano la polarizzazione della luce e questo dipende da alcune loro caratteristiche: *Birifrangenza*, *dicroismo*. In particolare la radiazione elettromagnetica polarizzata può essere vista come la somma di due componenti circolari, una destrorsa (R) e una sinistrorsa (L) con stessa intensità.

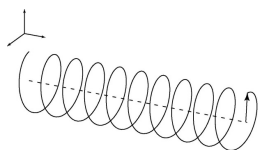


Figura 1: Sinistrorsa

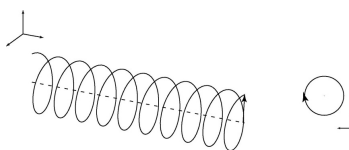


Figura 2: Destrorsa

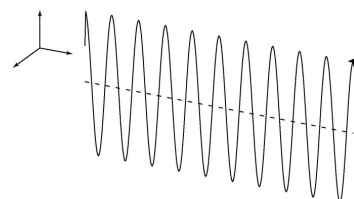


Figura 3: Radiazione polarizzata

## 1.1 Dicroismo circolare

Le due componenti destra e sinistra della radiazione piano polarizzata vengono assorbite dal mezzo in modo diverso. \* utilizzato ad esempio in polarimetro per assorbire tutte polarizzazioni eccetto una. influenza il colore della radiazione luminosa

## 1.2 Birifrangenza circolare

In un materiale che presenta birifrangenza circolare l'indice di rifrazione è diverso per le due componenti circolari (R e L) della radiazione polarizzata nel piano. Ciò comporta che le 2 componenti circolari percorrano il mezzo con velocità diverse, provocando quindi un ritardo di fase. Il ritardo tra le 2 componenti porta ad una rotazione del piano di vibrazione della radiazione.

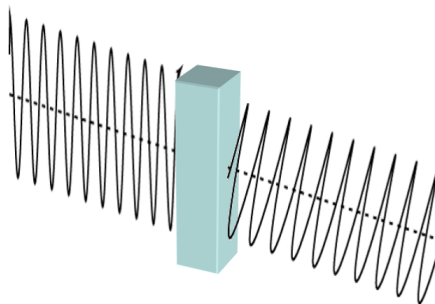


Figura 4: Rotazione Ottica

### 1.2.1 Chiralità

La chiralità è una proprietà fondamentale che si riferisce alla simmetria di una molecola rispetto alla sua immagine speculare. Nel contesto della polarizzazione, la chiralità può influenzare la direzione di oscillazione del campo elettrico associato alla luce polarizzata. Quando la luce interagisce con una molecola chiroottica, la sua polarizzazione può essere influenzata dal fatto che la molecola sia destrorsa o sinistrorsa. Questo fenomeno è noto come polarizzazione chirale.

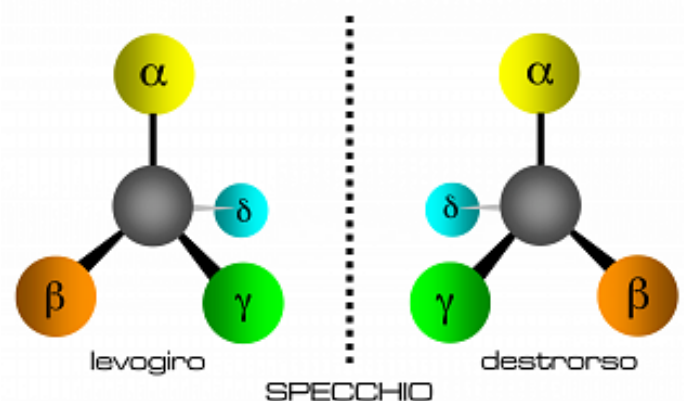


Figura 5: Chiralità

La polarizzazione chirale si manifesta attraverso due diversi effetti: l'effetto di rotazione ottica e l'effetto di dissimmetria di assorbimento. L'effetto di rotazione ottica si verifica quando la luce polarizzata linearmente attraversa una sostanza chiroottica e viene ruotata di un angolo, a destra o a sinistra, a seconda della chiralità della sostanza. Questo fenomeno è dovuto all'interazione tra la luce polarizzata e la struttura asimmetrica della molecola chiroottica.

L'effetto di dissimmetria di assorbimento, invece, si manifesta quando la luce polarizzata circolarmente attraversa una sostanza chiroottica e viene assorbita in modo diverso a seconda della sua polarizzazione. Questo effetto è legato alla capacità della sostanza chiroottica di assorbire selettivamente uno dei due stati di polarizzazione circolare della luce.

### 1.2.2 Polarimetro

Lo strumento di misura della rotazione ottica provocata dalla birifrangenza è il polarimetro. Questo è composto da una fonte di luce filtrata per una certa lunghezza d'onda che passa attraverso un polarizzatore, poi per una soluzione e infine per un altro polarizzatore, detto "analizzatore", prima di essere misurata. Nello strumento uno dei due filtri polarizzatori deve poter ruotare per poter apprezzare le variazioni di intensità corrispondenti alla rotazione dell'asse di vibrazione della luce passando per la soluzione e solitamente è l'analizzatore a venir ruotato.



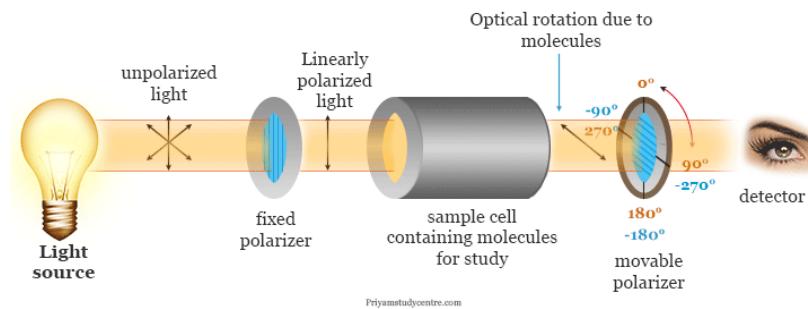


Figura 6: Polarimetro

Ciò che si misura, nel caso di un polarimetro digitale, è la variazione di intensità luminosa al ruotare del polarizzatore. Questa come espresso dalla **legge di Malus** varia con periodo pari a  $180^\circ$  da un minimo che rappresenta i due assi di polarizzazione perpendicolari ad un massimo che li vede paralleli.

### 1.2.3 Legge di Malus

Secondo la legge di Malus, l'intensità della luce polarizzata che passa attraverso un filtro polarizzatore è proporzionale al quadrato del coseno dell'angolo tra la direzione di polarizzazione della luce incidente e l'asse di trasmissione dell'analizzatore. In altre parole, l'intensità della luce polarizzata diminuisce man mano che l'angolo tra la direzione di polarizzazione e l'asse dell'analizzatore aumenta.

$$I = I_0 \cdot \cos^2(\theta)$$

Si nota quindi che la funzione ha periodo  $180^\circ$ , si ripete due volte per ogni rotazione del filtro polarizzatore.

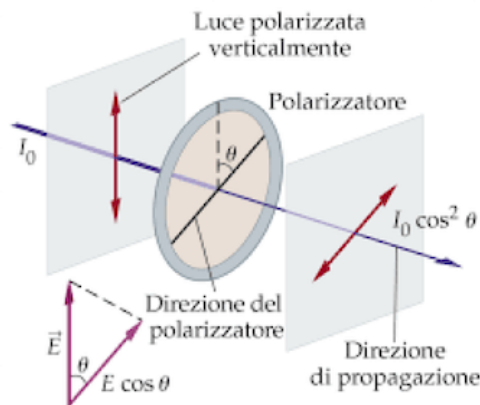


Figura 7: Legge di Malus

### 1.2.4 Rotazione Specifica

Per rendere il valore indipendente da variazioni di concentrazione e di lunghezza della cella, si usa la Rotazione Specifica  $[\alpha]_D$ .

$$[\alpha]_D^t = \frac{\alpha}{l \cdot c}$$

- $a$  = rotazione osservata in gradi
- $c$  = concentrazione (g/mL)
- $l$  = lunghezza della cella (dm)
- $D = 589.3$  nm (riga gialla del Na)
- $t$  = temperatura (gradi Celsius)

La rotazione specifica così calcolata è sempre uguale per lo stesso composto ed è una proprietà fisica caratteristica di ogni composto otticamente attivo.

## 2 Scopo

Lo scopo di quest'iniziativa è realizzare un polarizzatore per calcolare la rotazione del saccarosio e del destrosio rispetto all' acqua. Il dispositivo dovrà essere realizzato in Lego, in modo che possa essere replicato da tutti, adulti e bambini, appassionati e non, con l'obiettivo di diffondere la cultura scientifica.

## 3 Polarimetro realizzato con Spike

### 3.1 Materiali utilizzati

Per rendere la riproduzione del polarimetro il più semplice possibile e con strumenti facilmente reperibili lo si è realizzato per intero con le componenti di un unico set lego Spike (**45345**). Dovranno comunque essere reperiti anche:

- Diodo LED
- Filtro polarizzatore (bastano dei semplici occhiali 3D)
- Batteria da 4,5 V
- Resistenza da 52 Ohm
- Millefori
- Cavi Dupont
- Interruttore



Figura 8: Diodo LED



Figura 9: Occhiali 3D



Figura 10: Batteria da 4,5 V

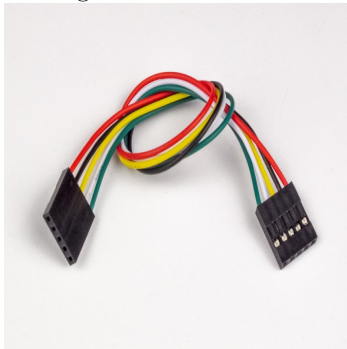


Figura 11: Cavi dupont



Figura 12: Resistenza

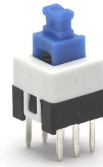


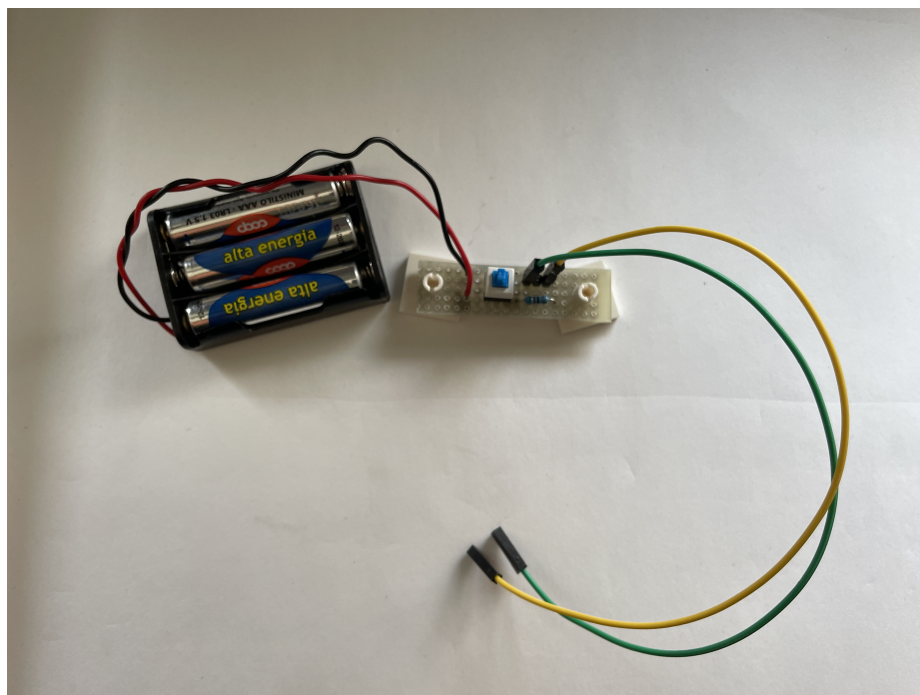
Figura 13: Interruttore

### 3.2 Istruzioni

Per il montaggio, scaricare il libretto delle istruzioni dal seguente link(**Scarica le istruzioni**) oppure scansionare il QR Code sottostante.



Per alimentare il LED abbiamo utilizzato una batteria da 4,5 V che abbiamo collegato tramite il circuito mostrato sottostante.



Il risultato ottenuto, dopo aver aggiunto i polarizzatori (si consiglia di incollarli) e il LED, sarà il seguente:



### 3.3 Codice

Per realizzare il programma che permette di simulare il funzionamento di un polarizzatore tramite lego Spike Essential è necessario utilizzare Pybrick (versione Web). Per prima cosa si deve spegnere l'hub e scollegarlo in caso sia connesso tramite USB. Dopodichè:

1. Vai su Codice Pybricks .
2. Clicca l'icona a forma di ingranaggio a sinistra per aprire il riquadro ” *Impostazioni e guida* ” se non è già aperto
3. Fare clic sul pulsante ” *Installa firmware Pybricks* ”
4. Seguire le istruzioni sullo schermo.

A questo punto si può passare a realizzare il programma.

```
from pybricks.hubs import EssentialHub
from pybricks.pupdevices import Motor, ColorSensor, ColorLightMatrix
from pybricks.parameters import Button, Color, Direction, Port, Side, Stop
from pybricks.robotics import DriveBase
from pybricks.tools import wait, Stopwatch

#cancella la console
print("\x1b[H\x1b[2J", end="")

#dichiarazione dell'Hub utilizzato
hub = EssentialHub()

#dichiarazione porte e sensori
sensor = ColorSensor(Port.A)
motor = Motor(Port.B)

#funzione per individuare intensita' minima
def calibrate():
    min = 100
    pos = 0
    for i in range(0,180):
        ambient = sensor.ambient()
        motor.run_angle(100, 1)
        if(ambient<min):
            min = ambient
            pos = motor.angle()
    return pos

cal = calibrate()

#funzione per misurare l'intensita'
def measure():
    wait(20000)
    motor.run_target(100,cal)
    for i in range(0,220):
        ambient = sensor.ambient()
        print(str(i) + "," + str(ambient))
```

```
motor.run_angle(100, 1)

print("Misure effettuate: ")
nmeasure = input()
nmeasure = int(nmeasure)

#misurazioni dei vari test
for i in range(0,nmeasure):
    print("test" + " " + str(i+1))
    measure()
```

## 4 Polarimetro realizzato con EV3

### 4.1 Materiali utilizzati

Per rendere la riproduzione del polarimetro il più semplice possibile lo si è realizzato per intero con le componenti di un unico set lego (**45544**). Sebbene si sia utilizzato un unico kit dovranno essere reperiti altri componenti fondamentali per la misurazione:

- Diodo LED
- Filtro polarizzatore (bastano dei semplici occhiali 3D)
- Lente convergente e relativo supporto



Figura 14: Diodo LED



Figura 15: Occhiali 3D.

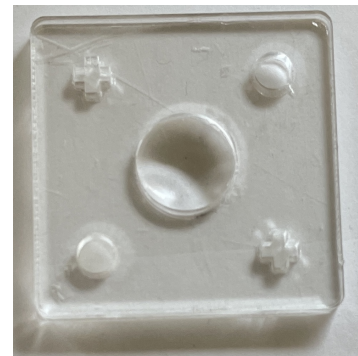


Figura 16: Lente e relativo supporto per lego

### 4.2 Istruzioni

Per il montaggio, scaricare il libretto delle istruzioni dal seguente link(**Scarica le istruzioni**) oppure scansionare il QR Code sottostante.





Dopodichè occorre installare la lente, i polarizzatori (si consiglia di incollarne uno all'asta) e il LED in modo da ottenere il risultato sottostante:



#### 4.3 Codice

Durante la nostra esperienza abbiamo programmato il brick EV3 in due modi differenti:

- MindstormsEV3

- LeJos (Java)

#### 4.3.1 MindstormsEV3

Questo ambiente è il più semplice per chi è alle prime armi e ha deciso di approcciare il mondo dell'informatica e della robotica. Si tratta di un semplice software (**Scarica MindstormsEV3**), che utilizza la programmazione a blocchi, come ad esempio Scratch. Dopo aver installato il software, si può passare alla realizzazione del programma che simuli il funzionamento di un polarimetro. Per prima cosa si deve effettuare la calibrazione, che consiste nel far ruotare tramite il motore, un polarizzatore per  $180^\circ$ . Questo, grazie al sensore di colore, impostato in modalità ambiente (Colore nel caso del sensore di luce NXT), ci permette di rilevare l'intensità di luce emessa dal LED che passa per i due polarizzatori, quando essi sono posti perpendicolarmente otterremo l'intensità più bassa: sarà il riferimento da cui partiranno tutte le restanti misurazioni.

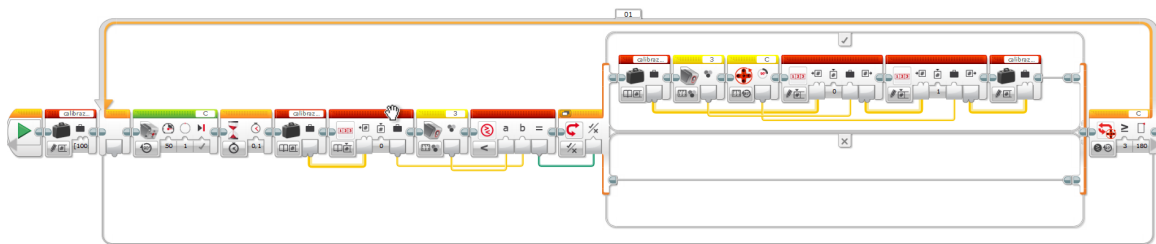


Figura 17: Codice per la calibrazione

Dopo esser tornato al punto con intensità minore, ha inizio la misurazione, che consiste nel far ruotare il polarizzatore collegato al motore, di  $220^\circ$ , in modo che si possa ottenere almeno un minimo. Questa azione viene ripetuta tante volte quante sono le misurazioni da effettuare. Ogni volta i valori misurati dal sensore di colore vengono poi salvati in un file.



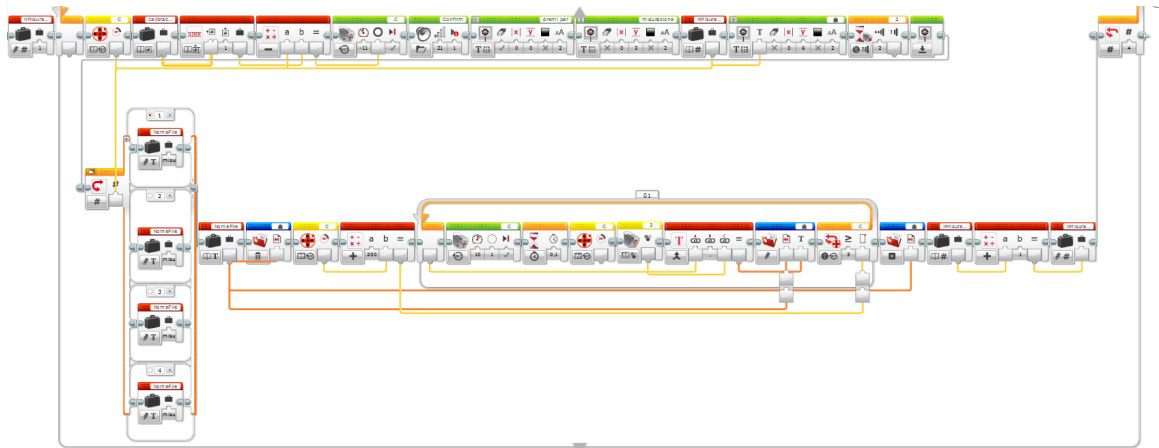


Figura 18: Codice per la misurazione

A questo punto non resta che analizzare i dati.

Per ottenere il nostro programma completo: **clicca qui**. In tal caso collegare il motore alla porta C, il sensore di tocco alla porta 2 e quello di colore alla porta 3. Per aver un risultato migliore si consiglia inoltre, se possibile, di utilizzare il sensore di luce NXT al posto di quello dell'EV3.

#### 4.3.2 LeJos (Java)

LeJos è un sistema operativo OpenSource per il Lego EV3: Questo permette di sfruttare al massimo le funzioni del mattoncino potendosi integrare direttamente con un computer (Programma). Per poter installare sull'EV3 LeJos si deve disporre di una scheda microSD e aver Java JDK 1.7 installato sul computer che verrà utilizzato per la procedura: **clicca qui**

Una volta terminata l'installazione, per poter essere riconosciuto dal computer, dovremo installare i **DRIVER** sul dispositivo riconosciuto altrimenti come generico. In seguito da connessione di rete andremo ad impostare ([Scheda di Rete] - Proprietà - Condivisione) il Lego come condiviso in rete.

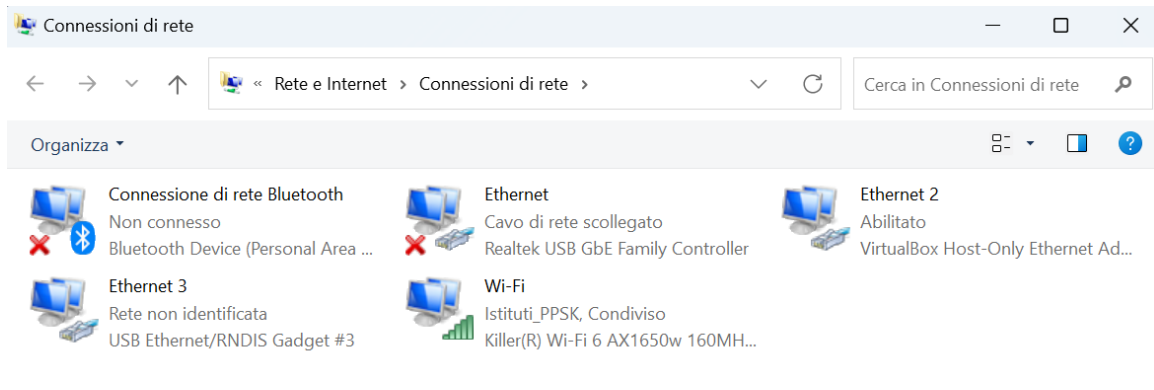


Figura 19: Impostazioni di rete

A questo punto potremo comunicare con il lego direttamente dal nostro computer. In particolare attraverso un software di gestione del polarimetro sviluppato appositamente.

Il sensore di luce dovrà essere collegato sulla porta S1, mentre il motore medio sulla porta C dell'EV3.

## 5 Software

### 5.1 Installazione

Prerequisiti:

- Java JDK 1.7

Il software in questione è realizzato in JAVA e quindi per poter essere eseguito è necessario scaricare il file zip, disponibile al seguente **LINK** e aprire il file JAR. Se la procedura è eseguita correttamente la schermata che dovrebbe apparire è la seguente.

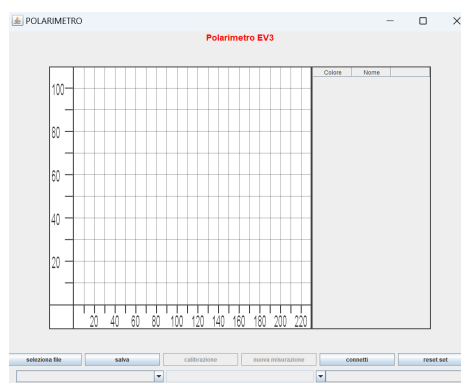


Figura 20: Schermata Software

## 5.2 Utilizzo

### 5.2.1 Gestione file

Il programma è costituito da un grafico e una relativa legenda per descrivere le misurazioni effettuate attraverso il programma stesso o meno. Di queste sarà possibile calcolare in gradi la deviazione tra 2 misurazioni diverse. Attraverso il bottone "seleziona file" si può selezionare sia un salvataggio precedente del programma (.dat) che un file csv ottenuto da una misurazione effettuata attraverso i metodi descritti nelle sezioni precedenti. Possono essere aperti in successione più file csv che verranno mostrati sullo stesso grafico, a meno che non si usi il tasto "reset set".

### 5.2.2 Gestione LeJos

Per poter comunicare con LeJos ci si deve collegare tramite il bottone "connetti".

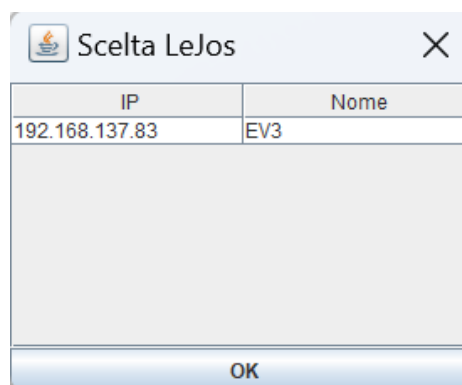


Figura 21: Scelta LeJos

Una volta collegato si deve effettuare la calibrazione e poi si possono effettuare le misurazioni in successione specificando un nome e un colore (altrimenti gestiti in automatico).

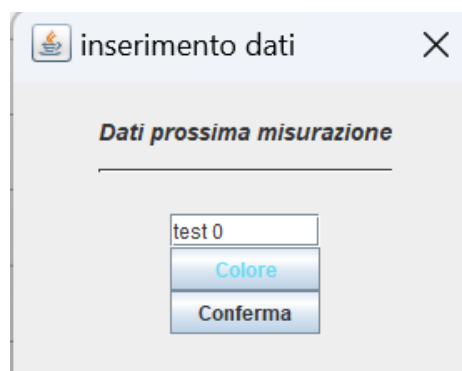


Figura 22: Inserimento Misurazione

### 5.2.3 Calcolo deviazione

Attraverso le due selezioni negli angoli inferiori è possibile indicare le misurazioni da prendere in esame per il calcolo della deviazione mostrata poi al centro schermata in basso. La misura dell'angolo è calcolata come differenza tra le ascisse dei punti di minimo delle 2 misurazioni: il minimo è calcolato come vertice della parabola che meglio approssima un insieme di punti nell'intorno del minimo. Così facendo si riesce ad ottenere una precisione maggiore nell'individuare il minimo.

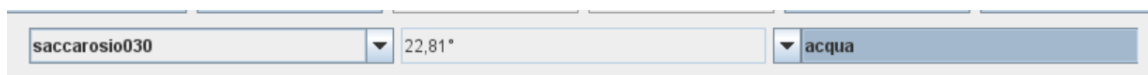


Figura 23: Calcolo Deviazione

## 6 Analisi delle misurazioni

### 6.1 Misurazioni Spike

Dopo aver realizzato il programma e il dispositivo, si può procedere ad effettuare varie prove. I risultati da noi ottenuti, dopo una serie di prove, tramite lo Spike Essential e un LED blu sono i seguenti:

| Solvente | Soluto     | Concentrazione | Rotazione |
|----------|------------|----------------|-----------|
| Acqua    | Saccarosio | 0,15 g/ml      | 12,03°    |
| Acqua    | Saccarosio | 0,30 g/ml      | 22,81°    |
| Acqua    | Destrosio  | 0,15 g/ml      | 9,54°     |

Tabella 1: Tabella risultati

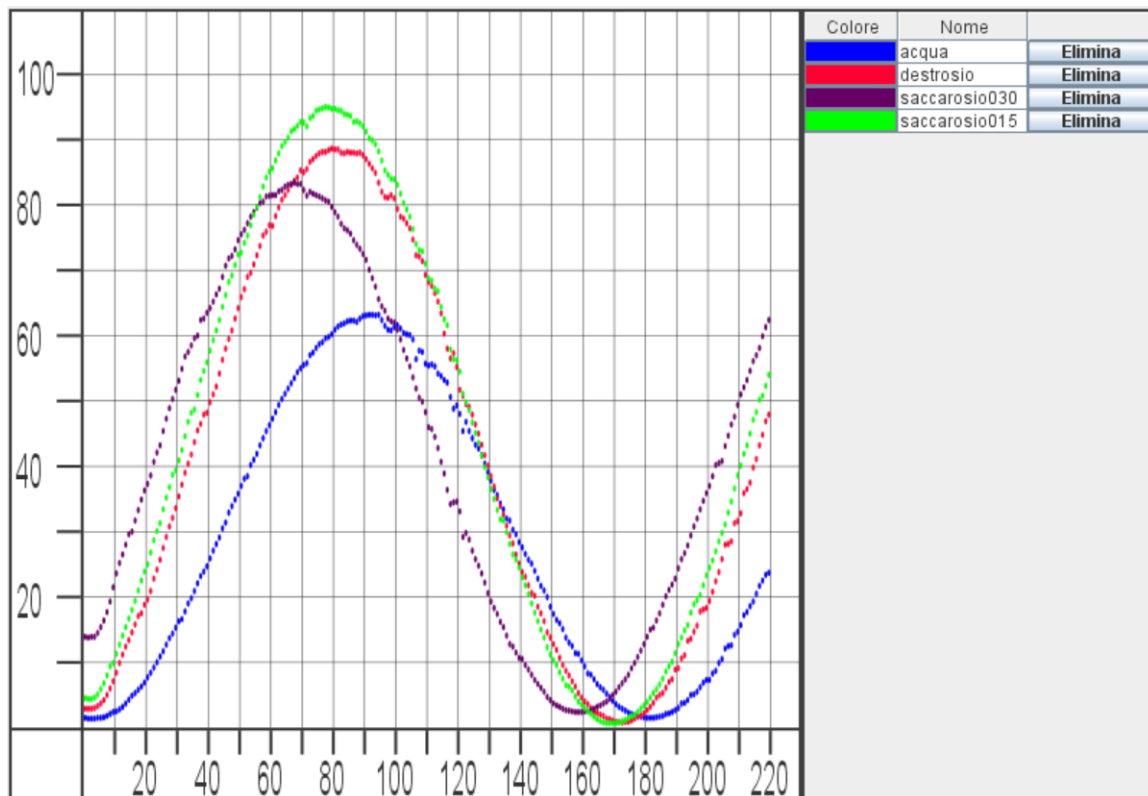


Grafico delle misurazioni effettuate con Spike Essential

## 6.2 Misurazioni EV3

Dopo aver realizzato il programma e il dispositivo, si può procedere ad effettuare varie prove. In questo caso abbiamo effettuato le prove con:

- LED Blu con lunghezza d'onda pari a 457 nm <sup>1</sup>
- LED Giallo con lunghezza d'onda pari a 606 nm <sup>1</sup>

### 6.2.1 Misure con LED Blu

I risultati da noi ottenuti, dopo una serie di misurazioni, tramite l'EV3 e un LED blu sono i seguenti:

| Solvente | Soluto     | Concentrazione | Rotazione |
|----------|------------|----------------|-----------|
| Acqua    | Saccarosio | 0,15 g/ml      | 10,64°    |
| Acqua    | Saccarosio | 0,30 g/ml      | 21,76°    |
| Acqua    | Destrosio  | 0,15 g/ml      | 9,14°     |

Tabella 2: Tabella risultati

<sup>1</sup>La lunghezza d'onda dei led è stata misurata in laboratorio presso CNR ISC

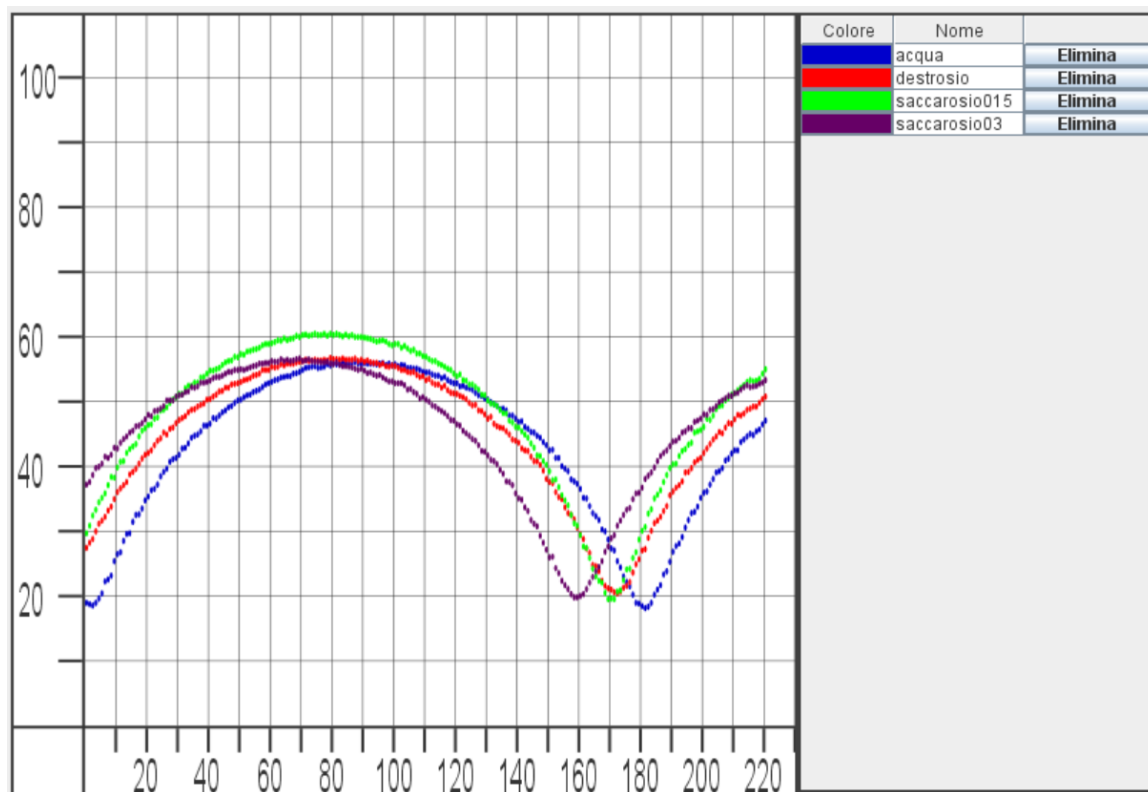


Grafico delle misurazioni effettuate con LED Blu

### 6.2.2 Misure con LED Giallo

I risultati da noi ottenuti, dopo una serie di misurazioni, tramite l'EV3 e un LED giallo sono i seguenti:

| Solvente | Soluto     | Concentrazione | Rotazione |
|----------|------------|----------------|-----------|
| Acqua    | Saccarosio | 0,15 g/ml      | 5,81°     |
| Acqua    | Saccarosio | 0,30 g/ml      | 11,00°    |
| Acqua    | Destrosio  | 0,15 g/ml      | 3,88°     |

Tabella 3: Tabella risultati

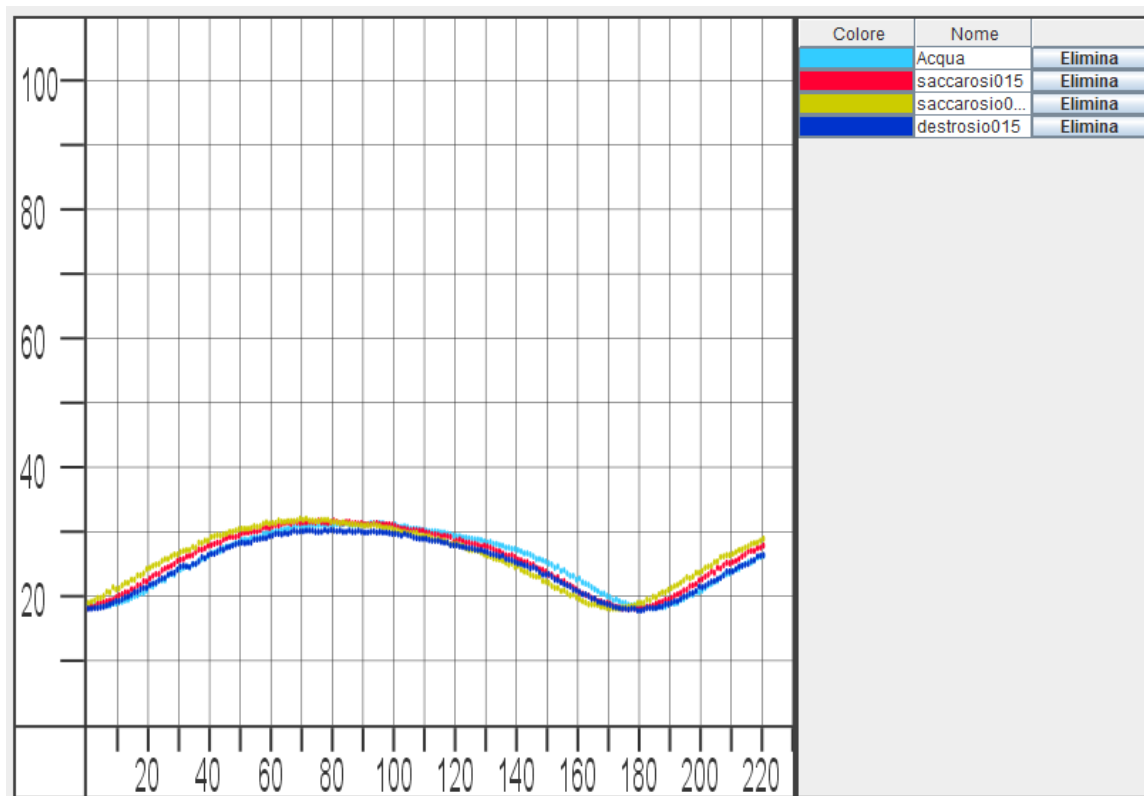


Grafico delle misurazioni effettuate con il LED Giallo

### 6.3 Verifica della precisione

Per verificare che il sistema sia affidabile e abbia una certa precisione si effettuano più misure in successione con la stessa soluzione e se ne calcolano la deviazione tra ognuna

| Solvente | Soluto     | Concentrazione | Rotazione rispetto a valore nominale |
|----------|------------|----------------|--------------------------------------|
| Acqua    | Saccarosio | 0,15 g/ml      | 0,19°                                |
| Acqua    | Saccarosio | 0,15 g/ml      | 0,25°                                |
| Acqua    | Saccarosio | 0,15 g/ml      | 0,15°                                |

Tabella 4: Tabella confronto misure successive

Dalle misurazioni fatte si evince che si sia riusciti a raggiungere una precisione molto maggiore di quella concessa dal motore stesso (rotazioni di  $1^\circ$ ), questo grazie al metodo utilizzato per il calcolo del minimo attraverso la regressione della parabola di approssimazione.

### 6.4 Misurazioni UniFi

Durante l'esperienza abbiamo controllato, se il funzionamento del nostro strumento fosse corretto. Per far ciò ci siamo recati all'Università di Firenze, dove abbiamo misurato le stesse soluzioni con il vero polarimetro (Jasco DP 370), che sfrutta una lampada a sodio con lunghezza d'onda pari a 589 nm, ottenendo i seguenti risultati:

| Solvente | Soluto     | Concentrazione | Rotazione |
|----------|------------|----------------|-----------|
| Acqua    | Saccarosio | 0,15 g/ml      | 9,823°    |
| Acqua    | Saccarosio | 0,30 g/ml      | 20.004°   |
| Acqua    | Destrosio  | 0,15 g/ml      | 7,713°    |

Tabella 5: Tabella misure UniFi con polarimetro da laboratorio Jasco DP370



Figura 24: Saccarosio con concentrazione 0,30g/ml

## 6.5 Confronto tra le misure dell'EV3 e il Jasco DP 370

Dopo aver effettuato le misurazioni anche all'Università di Firenze come detto nei paragrafi precedenti, abbiamo effettuato un confronto. Calcolando il rapporto tra le misure del saccarosio effettuate con Jasco DP 370, otteniamo 2,04, se facciamo la stessa operazione con le misure dell'EV3 con il LED Blu il risultato è 2,05. Questo significa che pur utilizzando un LED con lunghezza d'onda diversa e uno strumento meno preciso, riusciamo ad ottenere valori corretti. Ciò conferma che la rotazione dell'asse di vibrazione sia direttamente proporzionale alla concentrazione del soluto.

| Solvente           | Soluto     | Concentrazione | Rotazione Jasco | Rotazione EV3 |
|--------------------|------------|----------------|-----------------|---------------|
| Acqua              | Saccarosio | 0,15 g/ml      | 9,823°          | 10,64°        |
| Acqua              | Saccarosio | 0,30 g/ml      | 20.004°         | 21,76°        |
| Acqua              | Destrosio  | 0,15 g/ml      | 7,713°          | 9,14°         |
| Rapporto Saccarosi |            |                | 2,04            | 2,05          |

Tabella 6: Tabella confronto

Successivamente abbiamo calcolato anche il rapporto tra la misura ottenuta con il polarimetro da laboratorio e quella ottenuta con l'EV3, che dovrebbe corrispondere al rapporto tra le due celle degli strumenti, moltiplicato per il rapporto delle due lunghezze d'onda:

$$\frac{d2}{d1} * \frac{L2}{L1}$$

I risultati ottenuti sono coerenti per quanto riguarda il LED giallo, mentre sono più imprecisi con il LED Blu, questo perché molto probabilmente il potere rotatorio dipende anche dalla lunghezza d'onda.



| Solvente | Soluto     | Concentrazione | Rotazione Jasco | Rotazione EV3 | Rapporto EV3/Jasco |
|----------|------------|----------------|-----------------|---------------|--------------------|
| Acqua    | Saccarosio | 0,15 g/ml      | 9,823°          | 5,81°         | 0,59               |
| Acqua    | Saccarosio | 0,30 g/ml      | 20.004°         | 11°           | 0,55               |
| Acqua    | Destrosio  | 0,15 g/ml      | 7,713°          | 3,88°         | 0,50               |

Tabella 7: Tabella rapporti con LED Giallo

| Solvente | Soluto     | Concentrazione | Rotazione Jasco | Rotazione EV3 | Rapporto EV3/Jasco |
|----------|------------|----------------|-----------------|---------------|--------------------|
| Acqua    | Saccarosio | 0,15 g/ml      | 9,823°          | 10,64°        | 1,10               |
| Acqua    | Saccarosio | 0,30 g/ml      | 20.004°         | 21,89°        | 1,09               |
| Acqua    | Destrosio  | 0,15 g/ml      | 7,713°          | 9,14°         | 1,20               |

Tabella 8: Tabella rapporti con LED Blu

| d cella Jasco | d cella EV3 | $\lambda_{Jasco}$ | $\lambda_{EV3}$ | $(d2/d1)*(L2/L1)$ |
|---------------|-------------|-------------------|-----------------|-------------------|
| 100           | 58          | 589               | 606 (giallo)    | 0,56              |
| 100           | 58          | 589               | 457 (blu)       | 0,75              |

Tabella 9: Tabella rapporti diametri e lunghezze d'onda

Per mostrare quindi che il potere rotatorio dipende dalla lunghezza d'onda abbiamo realizzato il grafico sottostante, dal quale è ben evidente come più simile sia la lunghezza d'onda più simile sarà il suo andamento. Il potere rotatorio è stato calcolato come:

$$\frac{\text{angolo} * \lambda}{d_{\text{cella}}}$$

### Grafico Potere Rotatorio

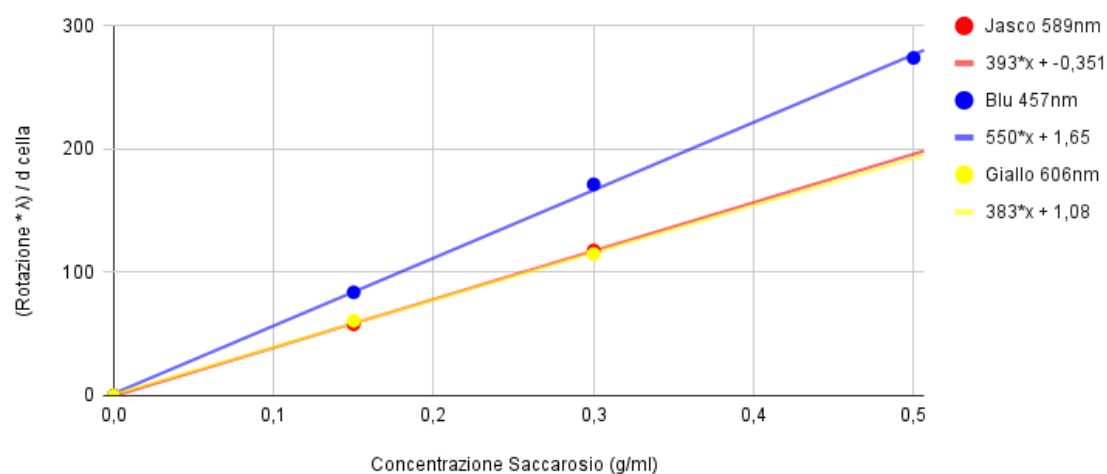


Figura 25: Grafico del potere rotatorio del saccarosio a varie concentrazioni

## 7 Conclusioni

Quest'esperienza è stata inserita nel progetto **ChangeGame** del CNR, che propone lo sviluppo di percorsi di apprendimento tramite la collaborazione con le scuole, per motivare gli studenti verso le materie STEM (scienza, tecnologia, ingegneria e matematica). Inoltre sarà presentato durante la "Notte dei ricercatori" e alla "Fondazione Scienze e Tecnica" di Firenze.