

**Esperienza del 22/3/2007.**

Noemi Chirico, Francesca Tedone, Olga Viviana Trumpy

Classe 59

**Polarizzazione e potere rotatorio del glucosio****➤ Materiale a disposizione:**

- un polarimetro, costituito da due lastre polarizzanti (polarizzatore e analizzatore) montate su supporti paralleli distanziati (con analizzatore dotato di scala goniometrica graduata).
- un apposito supporto per la vaschetta che contiene liquido da interporre tra le due lastre;
- 3 vaschette a base rettangolare di vetro;
- zucchero sciolto in acqua in concentrazione satura.
- una sorgente di luce non polarizzata
- righello

**➤ Scopo dell'esperienza:**

L'esperienza ha lo scopo di evidenziare il comportamento dello zucchero sciolto in acqua quando viene attraversato da un fascio di luce polarizzata. Lo zucchero ha la proprietà di essere otticamente attivo: quando un fascio di luce polarizzato linearmente attraversa la soluzione il piano di polarizzazione in uscita risulta ruotato rispetto a quello in entrata.

Si verifica inoltre la dipendenza dalla dimensione della vaschetta contenente la soluzione di zucchero e dalla lunghezza d'onda.

L'esperienza è divisa in due parti: con luce bianca e con luce monocromatica (azzurra).

**➤ Premesse all'esperienza**

E' necessario spiegare la **natura ondulatoria** della luce: la luce è un'onda elettromagnetica trasversale: i vettori campo elettrico  $E$  e induzione magnetica  $B$ , perpendicolari tra loro, vibrano in piani perpendicolari alla direzione di propagazione  $k$  (figura 1).

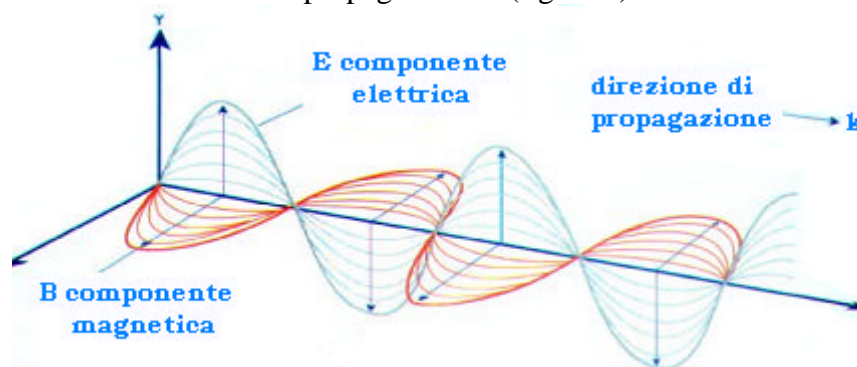


figura 1

Nel caso di luce proveniente dal sole, da una lampadina, da una candela e in generale da una sorgente luminosa, i vettori  $E$  e  $B$ , pur rimanendo perpendicolari tra di loro e perpendicolari alla direzione di propagazione  $k$ , variano di direzione, al variare del tempo, in maniera del tutto casuale. Se al contrario presentano qualche preferenza circa la direzione, sempre trasversale, si dice che la luce è "polarizzata". Convenzionalmente, per descrivere lo stato di polarizzazione della luce, si fa riferimento al solo vettore  $E$ . A seconda della figura geometrica che descrive in un punto fissato l'estremo del vettore  $E$  nel tempo, segmento, circonferenza o ellisse, lo stato di polarizzazione si dice rispettivamente rettilineo, circolare ed ellittico. Per quanto riguarda la comprensione dell'esperienza effettuata in laboratorio è sufficiente considerare lo stato di polarizzazione rettilineo: la luce che si presenta in questo stato si dice **polarizzata linearmente**.

Il **polaroid** (dal nome della marca produttrice, è una plastica composta da molecole filiformi *polimeri* che si dispongono tutte allungate e parallele tra loro. La luce viene assorbita molto di più se il suo campo elettrico è parallelo alle molecole e molto di meno se è perpendicolare) hanno le molecole disposte secondo una struttura particolare in modo da permettere la trasmissione della luce in una direzione privilegiata, detta *asse di trasmissione*: se il campo elettrico  $E$  della luce incidente vibra nella direzione dell'asse di trasmissione, la luce viene trasmessa quasi totalmente; viceversa se  $E$  vibra in direzione perpendicolare a tale asse, la luce viene assorbita quasi totalmente.

Una delle principali caratteristiche che descrivono un'onda è la **lunghezza d'onda**, ossia la distanza tra due creste (oppure tra due gole) consecutive (figura 2); un'altra è la **frequenza**, che si può esprimere come il numero di creste delle onde di uguale lunghezza che passano per un dato punto in un secondo.

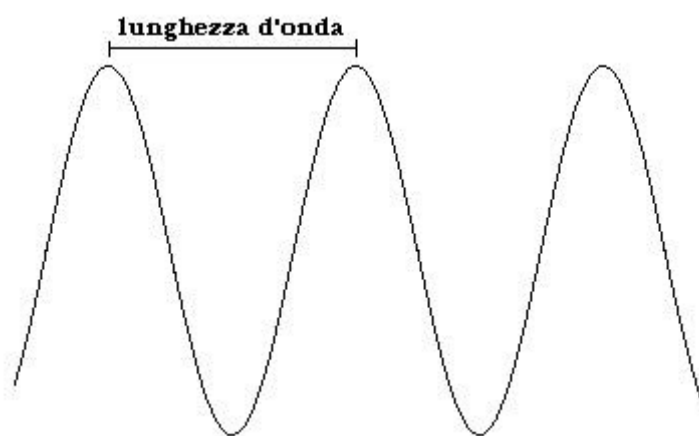


Figura 2

### ➤ Esperienza

#### Fase 1.

Si accende la fonte di luce e si pone sul cammino della luce il primo filtro (**polarizzatore**) posizionando opportunamente il polarimetro (v.figura 1).

La luce trasmessa attraverso il polarizzatore viene osservata dopo aver attraversato il secondo polaroid (**analizzatore**) come indicato in figura. (nella figura 1 i polaroid risultano uguali e orientati in modo perpendicolare).

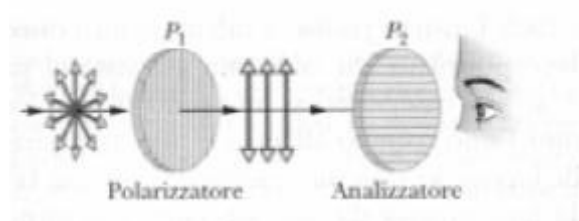


Figura 1

La luce non è polarizzata quando le *direzioni di vibrazione* non si mantengono fisse ma si distribuiscono su tutte le direzioni.

La luce dopo il primo polaroid risulta polarizzata linearmente: i vettori elettrico e magnetico si mantengono sempre negli stessi piani passanti per la direzione di propagazione, cioè si parla di *onda polarizzata planarmente o linearmente*.

**Fase 2.**

Si fa ruotare l'analizzatore di un angolo  $\theta$  come in figura 2 in modo tale che si abbia il minimo nella trasmissione di luce, cioè in *posizione di estinzione*.

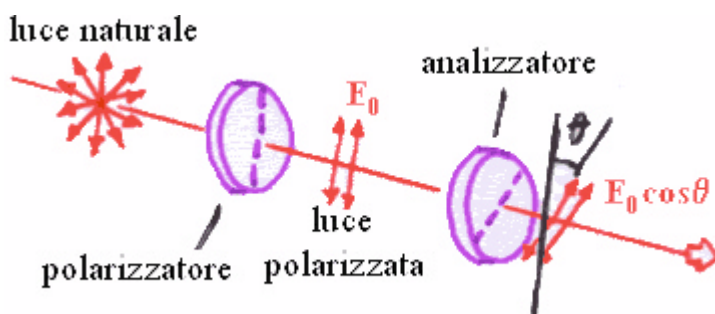


Figura 2.

**Fase 3.**

Fra i due filtri viene posta una vaschetta contenente la soluzione zuccherina precedentemente preparata. Le pareti della vaschetta attraversate dalla luce polarizzata dal polarizzatore sono posizionate ad esso ortogonali.

Si osserva che in questo modo passa nuovamente luce, cioè si verifica una rotazione del piano di polarizzazione. Inoltre, quando la luce bianca polarizzata supera (dopo averla attraversata) la soluzione zuccherina trasparente, i suoi colori non vibrano più tutti nello stesso piano, per cui ruotando l'analizzatore in senso orario è possibile osservare, mano a mano che si procede nella rotazione, luce di diversi colori.

Si constata la dipendenza del potere rotatorio di questa sostanza dalla lunghezza d'onda della luce. E' stata presa l'ampiezza in gradi della rotazione, per ciascun colore (secondo noi al massimo d'intensità) osservato dalla stessa persona, quando si raggiunge il massimo d'intensità. Si è ripetuto il procedimento utilizzando via via le diverse vaschette e riportandone lo spessore e gli angoli di rotazione ogni volta (tabelle 1, 2, 3, 4).

**Errori assoluti:**

- La sensibilità del goniometro è di  $1^\circ$  ed essendo apprezzabile visivamente il mezzo grado, è stato assunto come errore nelle misure degli angoli:  $\Delta\theta = \pm 0,5^\circ$ .
- La sensibilità del righello è 1 mm, che è stato assunto come errore nelle misure delle larghezze:  
 $\Delta L = \pm 0,1$  cm.

Non viene proposta una analisi degli errori, in quanto l'osservazione dei colori risulta essere soggettiva e la distinzione dei colori dipende da fattori personali; manteniamo l'accortezza di far individuare il colore dalla stessa persona.

- **Senza vaschetta:  $q$  in posizione di estinzione:  $190,0 \pm 0,5$  gradi.**
- **Senza vaschetta:  $q$  con luce bianca:  $303,0 \pm 0,5$  gradi.**

**CASO 1 :  $L_1 = 5,6 \pm 0,1$  cm ;**

Rotazione analizzatore ( $q$ ) in gradi	Colore o buio
$303,0 \pm 0,5$	posizione di estinzione (buio)
$238,5 \pm 0,5$	Arancione

225,0 ± 0,5	Viola
221,0 ± 0,5	Viola Ametista
218,0 ± 0,5	Blu Notte
211,0 ± 0,5	Azzurro
190,0 ± 0,5	Bianco
61,0 ± 0,5	Ocra-Ambra
43,5 ± 0,5	Viola
39,0 ± 0,5	Blu Notte
29,0 ± 0,5	Azzurro
16,0 ± 0,5	Bianco

Tabella 1

**CASO 2 :  $L_2 = 10,5 \pm 0,1$  cm ;**

<b>Rotazione analizzatore (<math>q</math>) in gradi</b>	<b>Colore o buio</b>
Non rilevata	posizione di estinzione (buio)
260,0 ± 0,5	Arancione
250,0 ± 0,5	Viola
	Viola Ametista
239,0 ± 0,5	Blu Notte
225,0 ± 0,5	Azzurro
	Bianco
274,0 ± 0,5	Ocra-Ambra
	Viola
	Blu Notte
	Azzurro
11,0 ± 0,5	Bianco

Tabella 2

**CASO 3 :  $L_3 = 3,5 \pm 0,1$  cm ;**

<b>Rotazione analizzatore (<math>q</math>) in gradi</b>	<b>Colore o buio</b>
Non rilevata	posizione di estinzione (buio)
	Arancione
29,0 ± 0,5	Viola
	Viola Ametista
23,0 ± 0,5	Blu Notte
	Azzurro
	Bianco
36,0 ± 0,5	Ocra-Ambra
209,0 ± 0,5	Viola
202,0 ± 0,5	Blu Notte
	Azzurro
60,0 ± 0,5	Bianco

Tabella 3

**CASO 4 :  $L_4 = 15,5 \pm 0,1$  cm ;**

<b>Rotazione analizzatore (<math>q</math>) in gradi</b>	<b>Colore o buio</b>
Non rilevata	posizione di estinzione (buio)
	Arancione

$29,0 \pm 0,5$	Viola
	Viola Ametista
$262,0 \pm 0,5$	Blu Notte
$240,0 \pm 0,5$	Azzurro
$218,0 \pm 0,5$	Bianco
$307,0 \pm 0,5$	Ocra-Ambra
	Viola
$75,0 \pm 0,5$	Blu Notte
$49,0 \pm 0,5$	Azzurro
	Bianco

Tabella 4

### Considerazioni

- Dai risultati riscontrati durante l'esperienza nei vari casi (che si differenziavano per le lunghezze delle vaschette poste tra i due polaroid), si verifica la dipendenza del potere rotatorio dallo spessore della soluzione (di conseguenza dal numero di molecole con cui la luce polarizzata interagisce); risulta inoltre che l'entità di questa rotazione è funzione della lunghezza d'onda del fascio luminoso: questo è provato dall'osservazione di come la luce bianca venga scomposta nelle sue componenti individuabili ruotando l'analizzatore.
- La rotazione avviene attorno alla direzione di propagazione, in verso orario rispetto alla direzione di propagazione della luce (le sostanze come lo zucchero che ruotano il piano di polarizzazione in verso orario si dicono *destrogire*; si dicono invece *levogire* le sostanze che ruotano il piano di polarizzazione in verso in diverse antiorario, ad esempio il fruttosio).
- L'ampiezza della rotazione  $q$  dipende da molti fattori: dal tipo di molecola, dal numero di molecole della soluzione (numero a sua volta dipendente dalla concentrazione della soluzione e dalla lunghezza della vaschetta) che interagiscono con l'onda, dalla temperatura, dalla lunghezza d'onda del fascio di luce. Mantenendo ferme alcune di queste variabili (temperatura, tipo di molecola, lunghezza d'onda del fascio), è possibile studiare le altre (numero di molecole).

Per esempio, nel visibile, tale rotazione è maggiore per la luce blu che per quella rossa. In sostanza, quando luce bianca polarizzata emerge dalla soluzione trasparente, i suoi colori non vibrano più tutti nello stesso piano: un filtro polarizzatore è perciò in grado di fermare alcuni colori e farne passare altri. Per questa ragione le misure vengono eseguite con luce monocromatica, ed a temperatura ambiente.

### Fase 4

Sulla base di queste considerazioni si è impostata la seconda parte del lavoro.

L'obiettivo in questo caso è di andare a misurare l'entità della rotazione che subisce la luce polarizzata di una data lunghezza d'onda.

Per fare ciò è stato utilizzato un filtro colorato (BLU) da apporre alla sorgente luminosa.

Un filtro colorato può essere pensato come una membrana semipermeabile: lascia passare solo certe lunghezze d'onda e assorbe il resto: un filtro blu assorbe il rosso e lascia passare il blu.

Abbiamo segnato l'angolo di polarizzazione per varie lunghezze del contenitore con soluzione zuccherina e preso le misure come nella prima parte dell'esperienza, ma questa volta con luce filtrata blu.

L'angolo considerato è quello in cui l'intensità luminosa è minima e si è andati a cercare, al variare dello spessore della soluzione, di che angolo bisognava ruotare il polaroid analizzatore per ritrovare il minimo di luminosità. Abbiamo trovato i seguenti dati, usando le stesse vaschette della prima parte dell'esperienza:

$$q = 190,0^\circ \pm 0,5^\circ \text{ senza vaschetta}$$

CASO 1b :  $L_1 = 5,6 \pm 0,1 \text{ cm}$  ;  $q = 220,0^\circ \pm 0,5^\circ$  con vaschetta

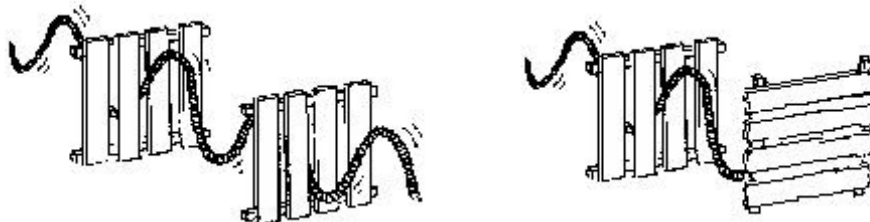
CASO 2b :  $L_2 = 10,5 \pm 0,1 \text{ cm}$  ;  $q = 37,0^\circ \pm 0,5^\circ$  con vaschetta

CASO 3b :  $L_3 = 3,5 \pm 0,1 \text{ cm}$  ;  $q = 207,0^\circ \pm 0,5^\circ$  con vaschetta

CASO 4b :  $L_4 = 15,5 \pm 0,1 \text{ cm}$  ;  $q = 65,0^\circ \pm 0,5^\circ$  con vaschetta

### Didattica

Per proporre in classe il fenomeno della polarizzazione si può ricorrere ad un esempio pratico: si immagina la lastra polarizzante come un cancello a inferriate parallele e la luce come l'onda di una corda che vibra: se il piano in cui si muove la corda è parallelo alle aste del cancello l'onda passa, se è perpendicolare l'onda si interrompe:



Argomento legato alla polarizzazione e necessario alla sua comprensione è la natura dei colori. Introducendo le onde luminose e la lunghezza d'onda e dopo aver parlato di frequenza si può introdurre il discorso dei colori da noi percepiti .

Ampliando l'esperienza effettuata è possibile proporre l'esperimento con il fruttosio oltre allo zucchero, per presentare due tipologie di sostanze otticamente attive che differiscono nei risultati, infatti la rotazione necessaria per la compensazione avviene in direzioni opposte.

Produzione di luce polarizzata in natura: diversi fenomeni naturali producono luce polarizzata a partire dalla luce naturale.

La luce può essere polarizzata parzialmente o completamente per riflessione, come scoprì Malus nel 1809. Di questo fenomeno ci si può rendere conto osservando che guardando la luce *diffusa* proveniente dall'atmosfera attraverso un polaroid ci si accorge che, in direzione approssimativamente perpendicolare alle direzioni di emissioni del sole, l'intensità trasmessa dipende dall'orientazione del polaroid, indicando un parziale stato di polarizzazione della luce solare diffusa. Guardando la luce solare *riflessa* da una superficie d'acqua indossando occhiali da sole con lenti polaroid e ruotando la testa da un lato e dall'altro si può notare che l'intensità della luce riflessa passa da un massimo ad un minimo. Lo stesso effetto è sfruttato in campo fotografico per eliminare la luce riflessa dalla superficie dell'acqua rendendo così un'immagine più cristallina e trasparente.

*Interazione con materiali detti anisotropi* : la calcite, il quarzo, il nitrato di sodio e il ghiaccio sono esempi di materiali birifrangenti (lo stesso materiale sembra presentare due differenti indici di rifrazione). Questi materiali, se attraversati da luce non polarizzata, in opportune condizioni, generano due fasci uscenti distinti che, se analizzati con un polaroid, risultano polarizzati.

*Dicroismo*: sono detti dicroici quei materiali, naturali o artificiali, che, per la loro particolare struttura molecolare, presentano una direzione privilegiata lungo la quale possono essere facilmente indotte correnti elettriche. I materiali dicroici se investiti da luce naturale trasmettono una parte della luce incidente che risulta polarizzata.

Molti sono i materiali otticamente attivi attorno a noi, ad esempio la plastica di cui è fatto il cucchiaino da caffè delle macchinette: l'effetto cromatico che si nota è dato dalle differenze di spessore del cucchiaino, dovute alla sua lavorazione.

Infatti, come riscontrato nell'esperienza, l'entità della rotazione dell'asse di polarizzazione della luce è dipendente dallo spessore del mezzo otticamente attivo attraversato. Ruotando la lamina analizzatrice è possibile vedere tutta la gamma delle tonalità variare.

Sfruttando questo principio è possibile realizzare dei campioni, anche artisticamente interessanti, che possono aiutare a presentare in maniera accattivante il comportamento della luce polarizzata quando attraversa un mezzo otticamente attivo.

La polarizzazione è un fenomeno utilizzato in diversi modi. Ad esempio i vetri con delle imperfezioni nel processo di cottura, utilizzati nei parabrezza delle automobili o le lenti per i telescopi, sviluppano degli stress interni che possono essere messi in evidenza analizzando lo stato di polarizzazione della luce che li attraversa. Nella fotografia, un filtro polarizzatore impedisce il passaggio delle onde luminose riflesse dall'acqua o da altre superfici. Grazie a questa proprietà è possibile restituire la trasparenza ad un corso d'acqua illuminato dal sole, che altrimenti apparirebbe bianco o molto chiaro a causa della riflessione della luce.

La polarizzazione è dappertutto nella vita quotidiana. E' un principio importante, che permette a molti comuni oggetti di svolgere la loro funzione, dagli occhiali da sole agli orologi digitali e agli schermi dei computer portatili.

Gli occhiali scuri di tipo polaroid sono composti appunto di plastica polaroid. Le molecole degli occhiali sono orientate in modo orizzontale, quando gli occhiali sono indossati normalmente. Questo fa sì che la luce polarizzata orizzontalmente venga assorbita molto di più di quella polarizzata verticalmente. Ma perché si fa questo? La luce solare diretta non è polarizzata, per cui non c'è un particolare vantaggio a eliminare una polarizzazione piuttosto che l'altra. Il fatto è che normalmente noi non guardiamo il Sole direttamente (che può far male), mentre i nostri occhi sono investiti continuamente dalla luce solare riflessa dagli oggetti intorno a noi. La riflessione non avviene proprio all'angolo di Brewster, per cui anche la luce riflessa non è polarizzata, si dice che è "parzialmente polarizzata". Perciò gli occhiali polaroid eliminano meglio questa luce riflessa che può essere particolarmente fastidiosa, soprattutto se siamo di fronte a una superficie abbastanza piana e speculare, come l'acqua (se si sta in barca) o una strada (mentre si guida) o sulla neve.

Anche la luce del cielo arriva a noi dopo aver urtato le molecole della nostra atmosfera (e' questa la causa del colore azzurro del cielo). Di conseguenza anche la luce del cielo possiede una certa polarizzazione, riscontrabile girando la lente di un occhiale polaroid mentre si osserva una zona del cielo lontana dal sole.

Misure dell'angolo di rotazione del piano di polarizzazione vengono ampiamente usate nella tecnica polarimetrica, per determinare la concentrazione delle soluzioni ed in particolare delle soluzioni di zuccheri. Questa proprietà, che prende anche il nome di potere rotatorio, è utilizzata anche per studiare la purezza delle soluzioni (microscopio chimico).

Fra gli oggetti di uso comune, le lenti antiriflesso sfruttano la proprietà di certi materiali, opportunamente trattati, di eliminare la luce polarizzata che si produce per riflessione della luce naturale.

Il fenomeno della polarizzazione è facilmente riproponibile utilizzando una lastra di vetro ricoperta da diversi strati di nastro adesivo. Quando la luce passa attraverso il cellophane del nastro adesivo, il piano di polarizzazione dell'onda viene ruotato. L'angolo di rotazione dipende dalle rispettive lunghezze d'onda.

Quando la luce riemerge dal materiale trasparente, i colori non stanno più vibrando tutti nello stesso piano di polarizzazione. Il filtro polarizzatore blocca alcuni colori e ne fa passare altri.

Ricordando che esiste una forma “destrorsa” e una “sinistrorsa” della medesima sostanza è importante far presente che si tratta in effetti di due molecole diverse, con proprietà chimiche e fisiche diverse, anche se “simmetriche”: questo concetto è particolarmente importante nella sintesi di farmaci: se risulta *levogira* la molecola può essere pericolosa.

Una possibile proposta a scuola è quella di chiedere agli alunni di fare la seguente prova e di riportare l’osservazione e il risultato per iscritto:

*la polarizzazione è dappertutto nella vita quotidiana, è un fenomeno importante, che permette a molti comuni oggetti di svolgere la loro funzione: dagli occhiali da sole agli orologi digitali e agli schermi dei computer portatili. I pescatori portano spesso degli occhiali da sole polarizzanti, per cercare di ridurre il riflesso della luce sull'acqua. Forse ti sei accorto di questo, andando al mare. Prova a verificare tu stesso l'effetto, ma ricorda di controllare se i tuoi occhiali da sole sono polarizzanti, perchè la maggior parte non lo sono.*