

## Didattica della Fisica A.A. 2009/10

### Luce e colore

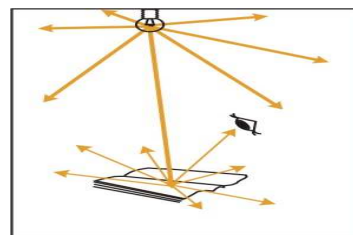
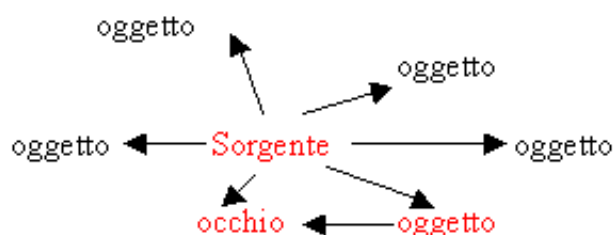
A cura di Ornella Pantano e Enrica Giordano

#### Cosa serve per vedere

Per poter vedere un oggetto è necessario che un fascio di luce emesso da una sorgente colpisca l'oggetto e venga da questo riflesso o diffuso in direzione dei nostri occhi. La luce che entra negli occhi viene percepita dai fotorecettori della retina che mandano l'informazione al cervello. Le informazioni che arrivano vengono poi elaborate dal cervello per costruire l'immagine dell'oggetto.

Gli elementi necessari alla visione sono quindi :

- ✓ almeno una sorgente di luce,
- ✓ l'occhio,
- ✓ l'oggetto della visione
- ✓ e soprattutto la luce che mette in relazione gli elementi precedenti



#### Sorgenti di luce primarie e secondarie

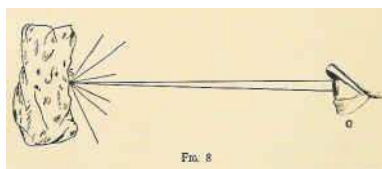
I corpi come il Sole, la lampadina, la torcia che emettono luce utilizzando energia prodotta da processi che avvengono al loro interno vengono indicati con il nome di **sorgenti di luce primarie**.

Qualunque altro corpo che non si comporti come una sorgente di luce primaria, quando viene illuminato riemette una parte della luce ricevuta nello spazio circostante e viene indicato con il nome di **sorgente secondaria**. La luce riemessa da qualunque sorgente secondaria è meno intensa, ha una diversa direzione di propagazione e generalmente anche una diversa composizione spettrale ( e quindi un diverso colore) rispetto alla luce emessa dalla sorgente primaria che illumina la sorgente secondaria. Quando l'occhio si trova sulla traiettoria della luce, rivolto nella direzione della sorgente (primaria e/o secondaria), la luce entra nell'occhio e noi "vediamo" la sorgente di luce.

Lo schema **sorgente - oggetto - occhio** può essere anche espresso come **sorgente primaria - sorgente secondaria (oggetto) - rivelatore di luce (occhio)**.

## Propagazione della luce

La luce non si vede: noi siamo in grado di rilevare la luce solo nel momento in cui entra nei nostri occhi e agisce sui nostri recettori. Essa può provenire direttamente da una sorgente luminosa o essere stata diffusa in direzione dei nostri occhi dalle superfici degli oggetti.



La forma del fascio di luce emesso da una sorgente può essere ricostruita o visualizzata utilizzando degli schermi o del pulviscolo in modo da riflettere/diffondere una parte della luce del fascio in direzione dei nostri occhi.

Il fascio può essere rappresentato come un'insieme di **raggi di luce che si propagano nell'aria in linea retta**.

## Osservazione di un oggetto fuori e dentro l'acqua

Dalle osservazioni di un oggetto dentro e fuori dell'acqua possiamo concludere che :

- Le immagini visive dell'oggetto spostate e/o deformate si formano per la presenza dell'acqua e/o delle pareti del recipiente;
- Si hanno immagini deformate soltanto per la parte dell'oggetto che si trova sotto il livello dell'acqua. Solo se l'oggetto è completamente addossato alla parete attraverso cui viene osservato, la parte sommersa viene vista quasi completamente "come è davvero" e "dove è davvero". La parte in aria dell'oggetto viene vista attraverso le pareti nello stesso modo in cui viene vista direttamente attraverso l'aria;

Lo schema sorgente-oggetto-occhio permette di spiegare la visione indiretta di un oggetto attraverso l'acqua o altri materiali trasparenti. Ognuna delle immagini visive dell'oggetto è dovuta all'arrivo nei nostri occhi di una parte della luce da esso inviata nello spazio circostante.

- **Quando si vede un'immagine puntando** lo sguardo verso la parte immersa dell'oggetto, si "guarda attraverso uno strato d'acqua" di spessore più o meno grande a seconda della posizione dell'oggetto e della posizione di osservazione. La luce proveniente dalla parte immersa dell'oggetto deve attraversare lo strato d'acqua per arrivare agli occhi dell'osservatore. Questo modifica il percorso della luce rispetto al percorso che avrebbe solo in aria e l'entità della modificazione dipende dallo spessore dello strato attraversato.

In questo caso si parla di "**rifrazione**" della luce e di immagini "**rifratte**" degli oggetti.

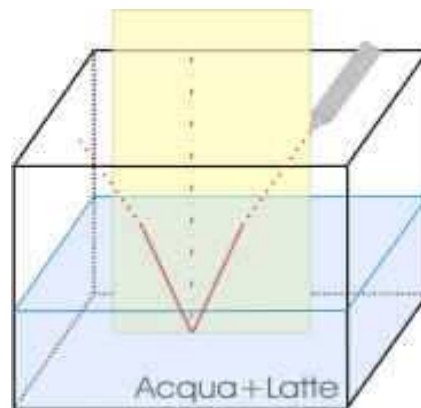
- **Quando si vede un'immagine puntando** lo sguardo verso le pareti del recipiente poste al di là dell'oggetto, rispetto all'osservatore, la luce emessa dall'oggetto raggiunge la parete ed è poi rimandata verso gli occhi dell'osservatore che vede l'immagine dell'oggetto riflessa dalla parete.

In questo caso si parla di “**riflessione**” della luce e di immagini “**riflesse**” dell'oggetto.

- Se tra la parete riflettente e l'oggetto è interposto uno strato d'acqua, la luce proveniente dall'oggetto e riflessa dalla parete prima di arrivare all'occhio deve riattraversare lo strato d'acqua e l'immagine percepita è contemporaneamente un'**immagine riflessa e rifratta**.

## Cosa fa la luce quando entra in un mezzo trasparente

Le immagini multiple che si vedono quando un oggetto viene immerso in un recipiente contenente acqua possono essere meglio comprese se osserviamo attentamente il comportamento di un sottile fascio di luce quando penetra nell'acqua e viene fatto riflettere sul fondo del recipiente.



Quando dirigiamo il fascio della torcia a penna (o del laser) verso lo specchio posto sul fondo del recipiente contenente acqua, osserviamo che il fascio di luce incidente e quello riflesso formano una V che, al cambiare della direzione verso cui è puntata la torcia, si apre e si chiude o ruota nello spazio mantenendosi sempre in un piano perpendicolare al fondo del recipiente.

Se il fascio è sottile, possiamo assumere che la riflessione del fascio di luce descriva il comportamento dei singoli raggi di luce di cui immaginiamo costituito il fascio e che quindi ogni raggio di luce venga riflesso sul fondo del recipiente secondo le seguenti regole:

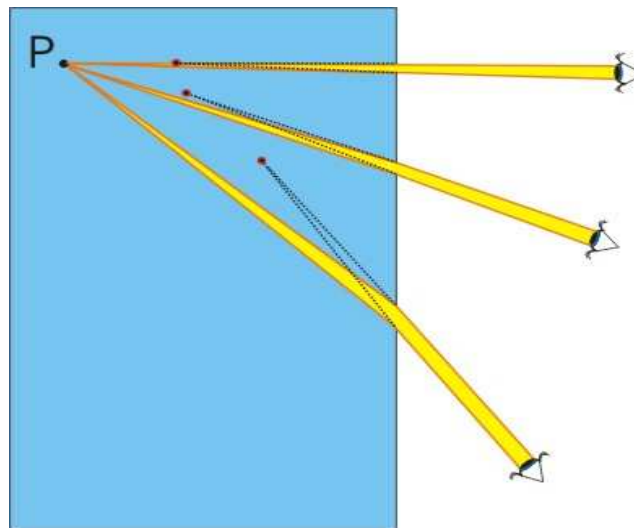
- **raggio incidente e raggio riflesso si trovano sullo stesso piano** e tale piano è perpendicolare allo specchio nel punto in cui il raggio incidente lo colpisce;
- **raggio incidente e raggio riflesso sono ugualmente inclinati rispetto al piano** (o rispetto alla perpendicolare al piano).

Quando il fascio passa dall'aria all'acqua si nota invece il seguente comportamento:

- la **direzione di propagazione del raggio di luce cambia in corrispondenza della superficie di separazione tra i due mezzi trasparenti** (aria e acqua in questo caso); all'interno di ciascun mezzo il fascio si propaga in linea retta.
- l'**angolo formato dalla direzione di propagazione del raggio di luce e la retta perpendicolare alla superficie è maggiore nell'aria rispetto a quanto lo sia nell'acqua**.

Nel passare dall'aria all'acqua il fascio di luce si avvicina alla retta perpendicolare, mentre nel passare dall'acqua all'aria si allontana dalla perpendicolare.

Sulla base di quanto visto per il comportamento di un sottile fascio di luce si può interpretare l'osservazione di immagini deformate e/multiple dell'oggetto immerso nell'acqua. Nella figura **P** rappresenta una **piccola parte dell'oggetto** che diffonde raggi di luce in tutte le direzioni. **Noi vediamo questa parte dell'oggetto quando un piccolo fascio di raggi di luce provenienti da essa entra nel nostro occhio.** Guardando attraverso le pareti della vaschetta, all'occhio dell'osservatore arrivano raggi provenienti da **P** che sono stati **rifratti** nel passaggio acqua-aria. L'insieme dei raggi che entrano nella pupilla appare come provenire dalla zona della vaschetta indicata dal punto in rosso e **dipende dalla posizione dell'osservatore.** La parte dell'oggetto rappresentato dal punto **P** sarà "vista" quindi in una posizione apparente diversa (più vicina) di quella realmente occupata.



I prolungamenti dei raggi rifratti emessi dalla stessa zona dell'oggetto possono quindi convergere in punti diversi dentro la vaschetta e apparire come immagini multiple di quel punto.

## Dispersione della luce bianca

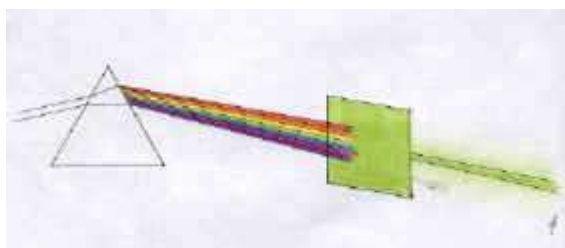
Quando facciamo passare un sottile fascio di luce bianca attraverso un **prisma** di vetro osserviamo che il fascio si separa in una serie di colori, chiamata **spettro**, che comprendono rosso, arancione, giallo, verde, azzurro, indaco e viola. Interponendo un nuovo prisma sulla traiettoria del fascio colorato, possiamo riottenere il fascio di luce bianca. I colori che abbiamo osservati sono quindi contenuti nella luce bianca, che possiamo pensare come composta di elementi fondamentali riconoscibili come luce di colore diverso. Inoltre, ciascuna di queste componenti luminose viene rifratta in un modo diverso passando attraverso il prisma.

Il fenomeno della separazione della luce è detto **dispersione** ed è un fenomeno comune in natura. L'arcobaleno, ad esempio, è la dimostrazione naturale che anche la luce del sole è composta da sette colori. Dopo un temporale le goccioline d'acqua, ancora presenti nell'atmosfera, si comportano come prismi e, attraversate dalla luce, la scompongono nei sette colori dando origine, appunto, all'arcobaleno. E' possibile notare la dispersione della luce anche quando un raggio di sole colpisce

uno specchio, oppure l'acqua di una pozzanghera. La dispersione è anche la causa dei lampi di colore caratteristici del diamante e, in minor grado, di altre gemme trasparenti sfaccettate.

## Luce colorata

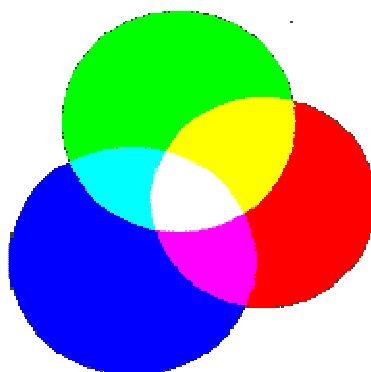
Si può provare a interporre, tra il prisma e lo spettro, un filtro colorato (foglio di acetato, gelatina per fotografia). Proiettata sullo schermo si osserva solo la banda del colore del filtro, più in particolare con il filtro rosso si ottiene solo una striscia rossa, con un filtro verde, una striscia verde. Se si mette un secondo prisma sul fascio colorato ottenuto, ad es. verde, si osserva che il fascio si allarga ma rimane verde. Ciò significa che i colori dello spettro sono puri, che non possono essere scomposti ulteriormente.



I colori dello spettro non esauriscono tutta la gamma dei colori saturi. Newton aveva già osservato che se si isolano due radiazioni estreme dello spettro (rosso e violetto) e poi si combinano in modo da sovrapporle si ottiene un colore “nuovo” detto porpora o magenta, che non appartiene ad alcuna delle radiazioni dello spettro. Variando l'intensità relativa della componente rossa e di quella viola, si ottiene tutta una gamma di porpora che va dal rosso al violetto, attraverso una serie di tonalità di rossi più o meno violacei.

## Colori primari della luce

I colori primari della luce (cioè i colori che non si ottengono dalla sovrapposizione di altri fasci colorati) sono **verde, rosso e blu**.



Se sovrapponiamo a due a due luci di colori primari otteniamo le combinazioni illustrate nel disegno. Si può osservare che i colori secondari della luce sono i **colori primari delle tempere**.

In analogia con le tempere si possono individuare i **colori complementari della luce** che, sulla ruota dei colori, si trovano in posizione diametralmente opposta. Il giallo è complementare del blu; il rosso magenta è complementare del verde; il blu ciano è complementare del rosso.



Osserviamo che ogni colore secondario è complementare del colore primario che non entra nella sua composizione (sovrapponendo luce verde e blu si ottiene il colore blu ciano che è complementare del rosso).

Sovrapponendo le luci complementari si ottiene il **bianco**, così come si ottiene il bianco sovrapponendo il verde, il rosso e il blu.

La percezione che abbiamo quando sovrapponiamo luci di colore diverso è legata al modo in cui il nostro occhio rivela le caratteristiche della luce. Sono infatti presenti sulla retina due tipi di recettori: i **bastoncelli**, sensibili all'intensità della luce, e i **coni**, sensibili al colore della luce. In condizioni di bassa luminosità, solo i bastoncelli si attivano e non riusciamo a vedere i colori degli oggetti, ma solo se sono più o meno illuminati.

Se la luce è sufficiente si attivano anche i coni e quindi vediamo i colori. Esistono **tre tipi di coni sensibili rispettivamente alla luce rossa, verde e blu**. Quando un raggio di luce entra nell'occhio va a stimolare i coni sensibili a quel particolare tipo di luce e il segnale viene inviato al cervello che elabora il colore. La sovrapposizione di due luci colorate stimola contemporaneamente due tipi di recettori per cui il cervello elabora un colore diverso. Quando vengono stimolati nello stesso modo i tre tipi di coni il cervello interpreta questa percezione come luce bianca.

La ricomposizione della luce bianca ottenuta per sovrapposizione di fasci luminosi definiti in base alla loro lunghezza d'onda è chiamata **sintesi additiva del colore-luce**. La sintesi additiva si riferisce sia ad una sovrapposizione di fasci di luce colorati sia ad una sovrapposizione nell'occhio.

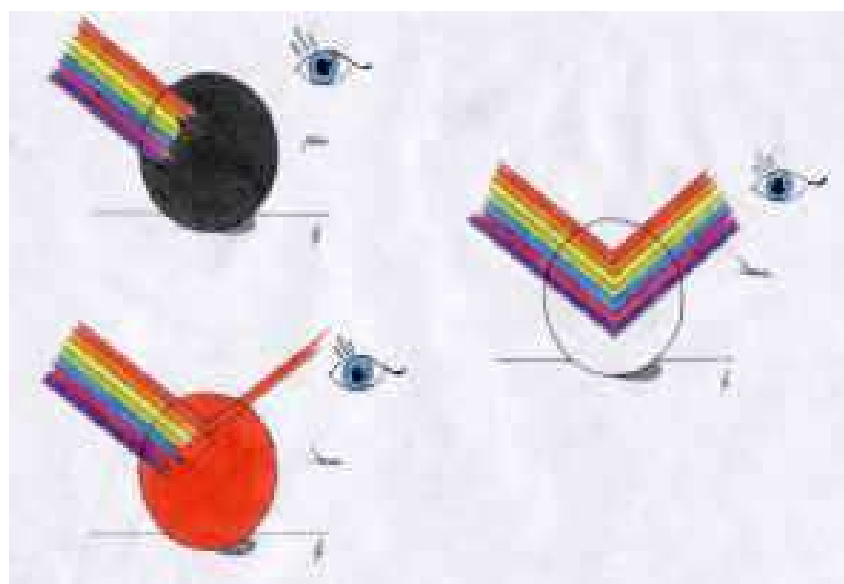
Benché non sia stato ancora completamente chiarito come i coni mandino i segnali al **cervello** e come il **cervello** elabori questi dati, l'uomo ha sfruttato i principi della sintesi additiva per inventare la fotografia a colori, i monitor e i televisori a colori (i punti dei fosfori - rossi, verdi e blu - di cui è costituito ogni pixel sono vicini e così piccoli da essere indistinguibili e nell'occhio dell'osservatore si fondono).

## Il colore degli oggetti

Il colore di un oggetto si modifica in relazione alle diverse situazioni luminose in cui l'oggetto si trova.

Un corpo opaco, quando viene colpito da un raggio di luce bianca può :

- assorbirlo completamente risultando così **nero**,
- può diffonderlo completamente risultando in tal caso **bianco**
- può diffonderlo solo parzialmente ed appare ad es. **rosso**, perché **rosso è il colore che viene diffuso**.



## Ombre colorate

Si può completare l'esperienza osservando le ombre di un oggetto illuminato da due o tre sorgenti colorate.

Con due luci colorate (ad esempio rossa e verde) possiamo notare su uno schermo la comparsa di una zona di ombra nera e di due zone di penombra colorate, rispettivamente di rosso e di verde. L'ombra nera è dovuta al fatto che in quella zona i fasci colorati sono stati assorbiti completamente dall'oggetto mentre si ha penombra verde perché è stata assorbita la luce rossa e lasciata passare solo quella verde, viceversa per quella rossa.

Più articolata la stessa esperienza con tre luci colorate (rosso, blu e verde). In questo caso si ottiene un'ombra nera e sei penombre colorate (rosso, blu, verde, giallo, rosso magenta e blu ciano).

### Riferimenti

*Il laboratorio proposto è stato sviluppato partendo dal percorso "Luce, colore, energia" di E. Giordano. Per ulteriori approfondimenti e proposte consultare il sito:*  
<http://didascienze.formazione.unimib.it/set>