



Leonardo
da Vinci
Scuola Paritaria



**Il nostro Istituto ha organizzato un laboratorio in occasione di
Bergamo Scienza dal titolo:
UN PUNTO VIDI CHE RAGGIAVA LUCE ... " (Dante Paradiso XXVIII 16)**

"Che cosa vediamo in realtà? Guardate una foglia. Vedete un colore, il verde, e una struttura. Queste due cose sono il suo "chroma". Ne vedete la grandezza e la forma e dal contesto visivo capite quanto è lontana. Avete visto la luce? No, avete visto la foglia. Date una rapida occhiata al Sole. Avete visto la luce? No, avete visto il Sole. E allora che cosa è la luce, come entra nel quadro generale? Forse state pensando a un raggio di Sole che attraversa l'aria di una stanza piena di polvere, ma se ci pensate un attimo vi renderete conto che quello che vedete è la polvere. C'è davvero una cosa come la luce? Certo che c'è, perché senza di essa non riusciremmo a vedere. La luce è invisibile? Di notte, con l'aria tersa, date un'occhiata ai fari accesi di un'automobile. La luce è lì, ma noi l'attraversiamo con lo sguardo senza vederla."

A partire da alcune considerazioni e scambio di opinioni su questo scritto di David Park sulla "Natura e significato della luce", i ragazzi del corso di ottica dell'Istituto "Leonardo Da Vinci" hanno allestito, con la supervisione dei loro insegnanti, un laboratorio interattivo sull'ottica e i suoi principali fenomeni.

Dopo un incontro iniziale in cui verrà spiegato il percorso della mostra e i vari esperimenti a livello teorico con l'ausilio di slide in power point, si procederà alla visita della mostra e delle varie esperienze.

Nella prima aula si vedranno i principali fenomeni di ottica geometrica come la riflessione, la rifrazione, la riflessione totale e le leggi sulle lenti sottili.

Successivamente si passerà ad esperienze legate all'ottica ondulatoria: colorimetria, interferenza, diffrazione della luce fino ad arrivare alle più moderne fibre ottiche.

Infine i ragazzi di quarta e quinta con la supervisione dei docenti di optometria eseguiranno ai visitatori una visita optometrica e mostreranno come si realizza un occhiale da vista.

TAVOLO 1: 1° esperimento

La rifrazione avviene ogni volta che un raggio attraversa la separazione tra due mezzi trasparenti nei quali la luce ha velocità diverse.

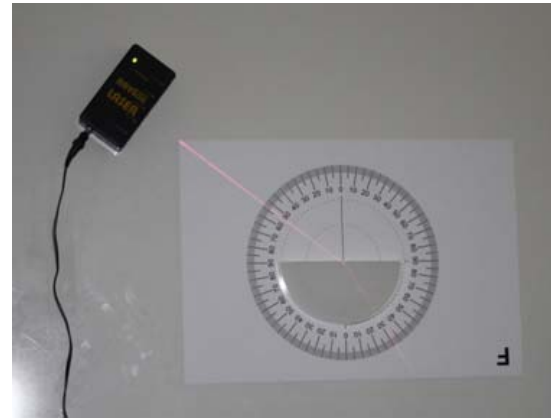
Prima legge

Il raggio **incidente**, il raggio **rifratto** e la retta **perpendicolare** alla superficie di separazione dei due mezzi, nel punto di incidenza, appartengono allo **stesso piano**.

Seconda legge

$$\frac{\sin \hat{i}}{\sin \hat{r}} = \frac{n_1}{n_2}$$

Aumentando l'angolo di incidenza aumenta l'angolo di rifrazione fino ad arrivare ad una situazione limite in cui l'angolo di rifrazione vale 90°. Superato l'angolo limite si avrà la riflessione totale. (meccanismo laser vedi dopo)



Accendo il laser e metto il foglio con il goniometrico. Così visualizzo il raggio incidente e quello rifratto.

TAVOLO 1: 2° esperimento

PREMESSA: L'OCCHIO

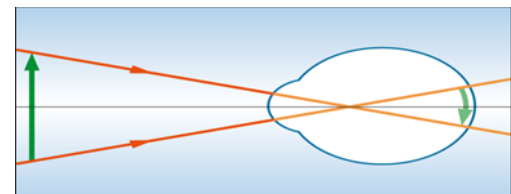
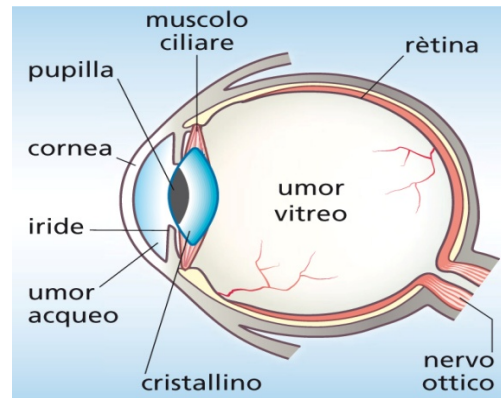
L'occhio è un globo racchiuso da una spessa membrana opaca, che presenta sul davanti una superficie trasparente detta **cornea**. Dietro la cornea vi è l'**iride**, un diaframma che ha nel centro un foro (la **pupilla**) attraverso cui penetra la luce.

Dietro all'**iride** si trova il **cristallino**, un corpo trasparente a forma di lente, circondato dal muscolo ciliare.

La **pupilla** è comandata in modo inconscio da un muscolo che ne fa variare il diametro a seconda dell'intensità della luce incidente.

Nell'occhio si susseguono tre mezzi rifrangenti:

- La cornea e l'umor acqueo
- Il cristallino
- L'umor vitreo.

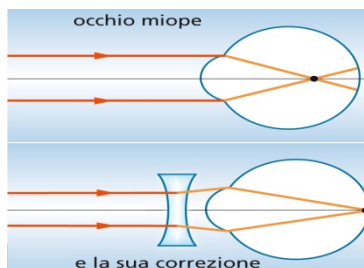


La retina e la formazione delle immagini

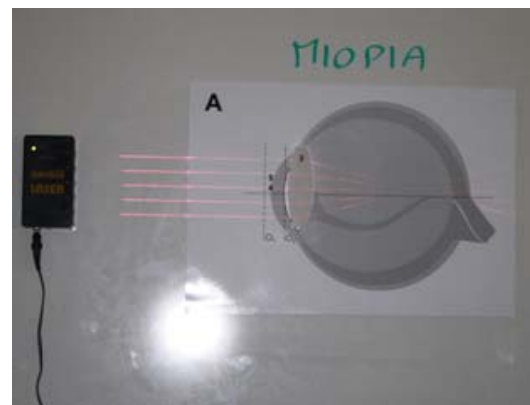
Quando guardiamo un oggetto luminoso o illuminato, alcuni raggi di luce emessi entrano nell'occhio attraverso la pupilla. Dopo esser stati rifratti dai diversi mezzi trasparenti che incontrano, formano un'immagine reale e capovolta sul fondo dell'occhio, dove si trova una superficie coperta di elementi sensibili alla luce, la **retina**.

LA MIOPIA e la sua correzione

Nell'occhio miope l'immagine di un oggetto distante **si forma prima della retina**. Per la sua correzione sarà necessaria una lente negativa (divergente). Infatti il sistema è troppo convergente, il difetto si corregge con una lente divergente.

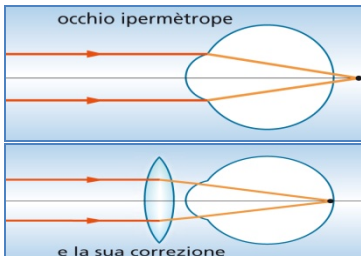


ESPERIMENTO:
mettere 3 raggi paralleli, inserire foglio A, per simulare la miopia usare la lente 2. Per correggere la miopia aggiungo la lente 5.

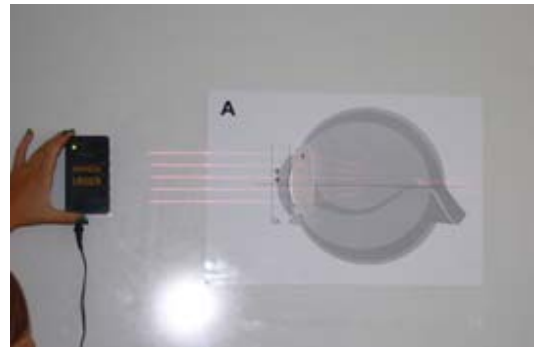


L'IPERMETROPIA e la sua correzione

Nell'occhio *ipermetrope* l'immagine di un oggetto distante si forma **dietro** la retina. Per la sua correzione sarà necessaria una lente positiva (convergente). Infatti il sistema è poco convergente, il difetto si corregge con una lente convergente.



ESPERIMENTO:
mettere 3 raggi paralleli, inserire foglio A, per simulare la ipermetropia usare la lente 3. Per correggerla miopia aggiungo la lente 4.



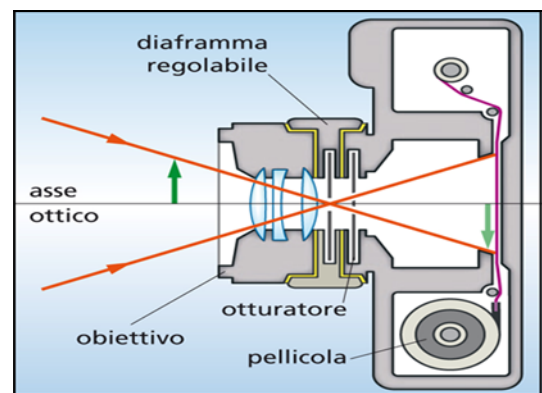
TAVOLO 1: 3° esperimento

LA MACCHINA FOTOGRAFICA

La macchina fotografica è costituita da una scatola, in cui la luce entra da una apertura (diaframma) che si trova dietro a un sistema di lenti. Queste lenti fanno convergere la luce sulla parete posteriore della scatola, dove si trova una pellicola o meglio un rivelatore elettronico.

L'**obiettivo**, che si comporta come una lente **convergente**, forma un'immagine **reale e capovolta** dell'oggetto fotografato. Per ottenere una fotografia nitida è necessario che l'immagine si formi esattamente sul piano rivelatore.

Esperimento: raggi paralleli, inserisco il foglio 3 con macchina fotografica.



CANNOCHIALE

Il cannocchiale non ingrandisce le immagine come fa il microscopio, per esempio l'immagine della luna vista dal cannocchiale è molto più piccola della luna stessa. Però crea un'immagine che è molto più vicina al nostro occhio.

CANNOCHIALE GALILEIANO E CANNOCHIALE KEPLERIANO

La differenza tra i due sta nell'ingombro nel loro utilizzo (Galileo terrestre, Keplero astronomico) e nel fatto che l'immagine risulta rovesciata (Keplero) o dritta (Galileo).

Il **cannocchiale galileiano** (fig. 1) consta di una lente convergente (piano-convessa o biconvessa), con funzione di obiettivo, e da una lente divergente (piano-concava o biconcava) in funzione di oculare. Forma un'immagine virtuale, ingrandita e **dritta**. principio di funzionamento del cannocchiale kepleriano (fig. 2) è piuttosto semplice. L'obiettivo forma dell'oggetto osservato un'immagine **reale, rimpicciolita e capovolta**.

ESPERIMENTO:

C. G. Inserire foglio C e lente 2, raggi paralleli, restano paralleli.

C. K. Foglio D, raggi paralleli, vediamo che si ribaltano.

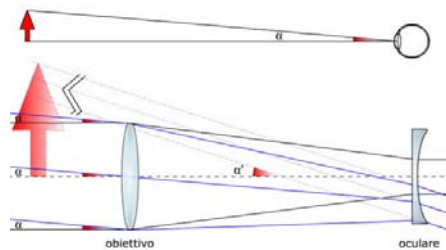


Fig.1 Schema ottico del cannocchiale galileiano

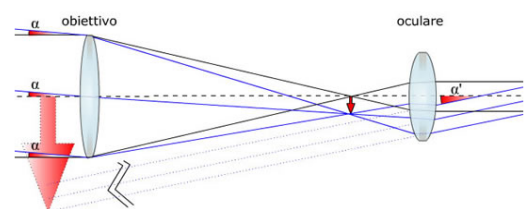


Fig.2 Schema ottico del cannocchiale kepleriano

APPENDICE: LE LENTI

Una lente sferica è un corpo trasparente delimitato da due superfici sferiche che produce immagini ingrandite o rimpicciolite degli oggetti.

Le lenti **convergenti** (o positive) sono **più spesse al centro** che ai bordi. Fanno convergere in un punto (**fuoco**) un fascio di raggi paralleli all'asse ottico.

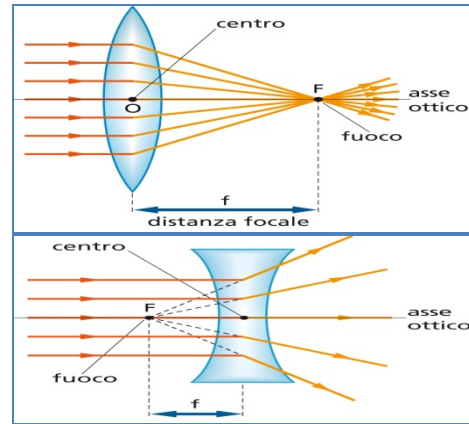
Le lenti divergenti sono più spesse ai bordi che al centro. Fanno divergere da un punto (fuoco) un fascio di raggi paralleli all'asse ottico.

L'*asse ottico* è la retta che congiunge i centri delle due superfici sferiche che delimitano la lente. Il **centro O** è il punto dell'asse ottico che divide a metà lo spessore della lente. La **distanza focale** è la distanza fra il fuoco e il centro.

Sono convergenti le lenti di ingrandimento, sono divergenti quello dello spioncino della porta d'ingresso.

TAVOLO 1: 4° esperimento

Maschera: se la indossiamo, la visuale è ribaltata, utilizza due specchi a 45°, è solo un gioco di specchi.



TAVOLO 2: 1° esperimento

BIG MIRASCOPIO è un Proiettore di Miraggi

Tridimensionali e' un'illusione ottica, dovuta ad un gioco di specchi concavi, l'immagine che vediamo è un'immagine reale. L'immagine reale si forma quando i raggi riflessi convergono a formare l'immagine.

Il Mirascopio 3D produce un'immagine che sembra reale ma che non è tangibile.

Questa apparente magia si spiega con le leggi degli specchi concavi. Nel nostro apparecchio vengono usati due specchi parabolici sovrapposti. La loro curvatura è tale per cui l'oggetto posto al centro dello specchio inferiore attraverso una riflessione multipla si viene a trovare nel luogo di quello superiore.

L'immagine prodotta da questo dispositivo è reale cioè formato da raggi di luce.



TAVOLO 2: 2° esperimento

RIFLESSIONE.

La prima legge della riflessione

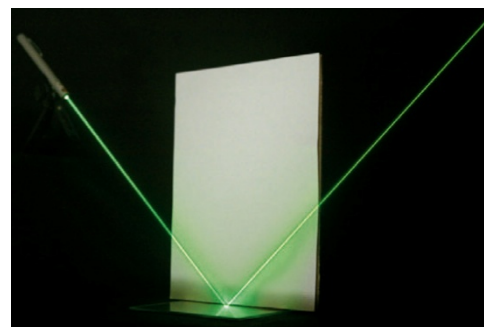
Il raggio **incidente**, il raggio **riflesso** e la **perpendicolare** alla superficie riflettente nel punto di incidenza appartengono allo **stesso piano**.

La seconda legge della riflessione

L'angolo di incidenza è uguale all'angolo di riflessione.

Esperimento: accendo laser e metto fasci paralleli.

Posso anche far vedere da un tavolo all'altro, evidenziando il fascio con evaporatore.



TAVOLO 2: 3° esperimento

MODELLO DI OCCHIO- ACCOMODAZIONE

Il modello operativo di occhio è costruito interamente in plexiglas e poggia su una base in legno. Con questo modello è possibile effettuare uno studio sul funzionamento dell'occhio. È possibile dimostrare come il cristallino (rappresentato dalla lente in silicone) può modificare la sua forma per mezzo di piccoli muscoli (rappresentato dalla siringa) per mettere a fuoco oggetti lontani o vicini. Questo fenomeno è detto accomodazione.

ESPERIMENTO

- 1) Attacco sorgente
- 2) Siringa tutta aperta
- 3) Se schiaccio, metto a fuoco, nell'esperimento devo visualizzare la E dietro, sul fondo dell'occhio.

Nota: se sposto sopra simulo le aberrazioni dell'occhio e correggo con lenti.



TAVOLO 3: 1° esperimento

FIBRE OTTICHE

La fibra ottica è costituita da un sottilissimo filo di materiale vetroso o plastico di diametro variabile tra 3 micron e 200 micron.

Si distinguono due strati fondamentali il nucleo e il mantello. Nucleo e mantello hanno un indice di rifrazione diverso in particolare $n_1 > n_2$.

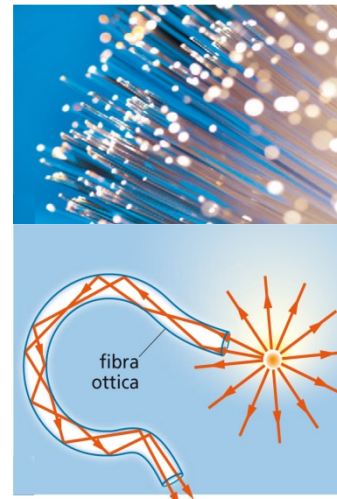
Si basa sul concetto di **riflessione totale della luce**. Si dimostra che quando il **raggio luminoso entra** nella fibra ottica all'interno di un cono (chiamato cono di accettazione) esso **si propaga** nella fibra ottica per la **riflessione totale**.

$$\sin \theta_m = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

Quindi si osserva che l'angolo di accettazione dipende solo dall'indice di rifrazione. Questo fenomeno della riflessione totale si ha anche se la fibra ottica viene piegata. Si dimostra che la curvatura massima di una fibra ottica è di quattro volte il diametro della fibra stessa.

La luce che vi penetra si riflette all'interno della fibra moltissime volte, fino a uscire all'altra estremità.

ESPERIMENTO: far entrare la luce nella fibra per angoli maggiori o uguali all'angolo di accettazione, lo vedremo uscire dall'altra estremità.



TAVOLO 4: 1° esperimento

Questa esperienza ci permette di capire per quale motivo il cielo è azzurro durante il giorno ed è rosso al alba e al tramonto.

Ogni volta che la luce attraversa un gas viene diffusa lateralmente. La lunghezza d'onda maggiore diffusa vale 400 nanometri (colore blu). All'alba e al tramonto il raggio luminoso percorre uno strato di atmosfera maggiore poiché il sole è all'orizzonte. Ciò significa che la luce viene via via impoverita della componente blu prima delle altre componenti cromatiche successivamente, fino a giungere all'occhio dell'osservatore costituita prevalentemente dalla sola componente rossa che è la meno diffusa. La diffusione dipende anche dalle dimensioni delle particelle diffondenti. In particolare maggiore è la grandezza delle particelle e maggiore è la quantità di luce diffusa.

Al tramonto l'atmosfera fa da filtro e passa solo la componente rossa.

ESPERIMENTO: C'è una fonte di luce che simula il sole, versando acido solforico aumentano le dimensioni delle molecole della composizione, varia quindi il filtro. Preparazione: 5 gocce di acido solforico a litro.



APPROFONDIMENTO : Perché il cielo è blu?

Com'è noto, la luce visibile di color bianco proveniente dal Sole è composta dalla sovrapposizione di onde elettromagnetiche di diverse lunghezza d'onda che variano dai 380 nm [1 nanometro (nm) = 1 milionesimo di millimetro] della radiazione che percepiamo come violetta, fino ai 720 nm della radiazione che ci appare rossa, passando per il blu, verde, giallo, arancio.

Una volta raggiunta la Terra, un raggio solare interagisce con l'atmosfera. Quest'ultima è composta per il 78% da azoto e per il 21% da ossigeno. Sono anche presenti argon, acqua (in forma di vapore, goccioline e cristalli di ghiaccio) e particelle solide (polveri, ceneri dai vulcani e sale dal mare).

Gli effetti dell'interazione tra luce ed atmosfera dipendono dalla lunghezza d'onda della radiazione e dalle dimensioni degli oggetti su cui questa incide.

Le particelle di polvere e le goccioline d'acqua sono molto più grandi della lunghezza d'onda della luce visibile: in questo caso la luce viene riflessa in tutte le direzioni allo stesso modo, indipendentemente dalla propria lunghezza d'onda.

Le molecole di gas hanno dimensioni inferiori e la luce si comporta diversamente a seconda della sua lunghezza d'onda. La luce rossa ha una lunghezza d'onda maggiore e tende a "scavalcare" le particelle più piccole senza "vederle"; questa luce, dunque, interagisce molto debolmente con l'atmosfera e prosegue la sua propagazione rettilinea lungo la direzione iniziale. Al contrario, la luce **blu ha una lunghezza d'onda inferiore** e si "accorge" della presenza delle **molecole da cui è infatti riflessa in tutte le direzioni** (fu Einstein a dimostrare nel 1911, contrariamente a quanto si credeva in principio, che erano proprio le molecole, e non le polveri in sospensione, la causa della diffusione).

Questa diffusione differenziale dipendente dalla lunghezza d'onda è chiamata, in inglese, **Rayleigh scattering**. Nell'attraversare l'atmosfera, la **maggior parte della radiazione di maggior lunghezza d'onda prosegue** la sua traiettoria rettilinea. La luce rossa, arancione e gialla viene influenzata solo in minima parte dalla presenza dell'aria. Al contrario, **la luce blu è diffusa in tutte le direzioni**. In qualunque direzione si osservi, parte di questa luce giunge ai nostri occhi. Il cielo, pertanto, appare blu.

Vicino all'orizzonte il cielo è di un azzurro più chiaro perché la luce, per raggiungerci da questa direzione, deve attraversare più aria e viene diffusa maggiormente; pertanto siamo raggiunti da una minor quantità di luce blu.

Le nuvole e la nebbia ci appaiono bianche perché consistono di particelle più grandi delle lunghezze d'onda della radiazione visibile, e diffondono tutti i colori allo stesso modo. Tuttavia, in particolari condizioni, è possibile che in aria si trovino in sospensione particelle più piccole.

Se fossimo **sulla Luna, a causa dell'assenza di atmosfera** (e della diffusione ad essa connessa), **il cielo apparirebbe nero e il Sole sarebbe bianco**. Sulla Terra, invece, in conseguenza del *Rayleigh scattering*, parte della componente blu è rimossa dai raggi diretti del Sole che pertanto ci appare giallo. Questo effetto è amplificato al tramonto, quando il Sole è vicino all'orizzonte. **I raggi solari diretti attraversano uno strato maggiore di atmosfera e vengono maggiormente impoveriti della componente blu**. Il Sole, dunque, diventa sempre più rosso man mano che il tramonto procede.

----- SECONDA STANZA -----

TAVOLO 1: OTTICA ONDULATORIA**DISCO DI BENHAM**

Il disco di Benham è formato da due colori: bianco e nero.

Esso è composto da un semicerchio nero e da un altro bianco nel quale sono presenti degli archi di circonferenza neri opportunamente intervallati.

Facendo ruotare l'immagine compaiono a seconda delle velocità e del soggetto osservante vari archi colorati.

Il fenomeno non è del tutto compreso ma è in relazione al funzionamento del sistema visivo umano.

La retina dell'occhio è costituita da due recettori di luce (coni e bastoncelli).

I coni si differenziano in tre tipologie ognuna sensibile ad un certo colore. Non solo, ognuna di queste celle ha tempi di trasmissione diversi tra loro. Si pensa che questi aspetti fisiologici siano responsabili dell'illusione ottica.

Curiosità: i dischi prendono il nome da Benham, un costruttore di giocattoli dell'800, il quale notò i colori su una trottola, sulla quale egli aveva applicato un disegno in bianco e nero.



TAVOLO 2: SINTESI ADDITIVA

Premessa: Gli esseri umani hanno (al più) tre tipi di recettori dei colori, e ogni luce colorata può venire eguagliata con qualche mescolanza di tre luci scelte appropriatamente. Quali siano tali colori e come si combinano per formare diversi colori dipende criticamente dall'aver a che fare con un processo di mescolanza additiva o uno di mescolanza sottrattiva.

Le due forme basilari di mescolanza dei colori sono chiamate 'additiva' e 'sottrattiva'. La principale differenza è che nel primo caso le lunghezze d'onda del colore aggiunto si sommano, mentre nel secondo si sottraggono a quelle del colore di partenza. Il risultato può essere diverso, come vedremo.

SINTESI ADDITIVA DEI COLORI

Il colore esiste solo nella mente dell'osservatore e quindi non è una grandezza oggettiva. L'esperienza visiva, cioè la percezione del colore comprende tre fasi:

- ◆ Agente fisico esterno (luce)
- ◆ Un processo fisiologico che ha sede sulla retina (coni e bastoncelli)
- ◆ Un'elaborazione intellettuale a livello psichico.

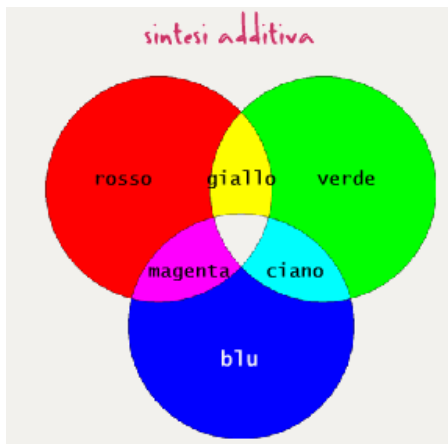
Un qualsiasi colore è riproducibile attraverso una sintesi additiva di tre colori:

$$c(C) = r(R) + g(G) + b(B) \quad \text{LEGGE DI GRASSMAN}$$

Le lettere in minuscolo rappresentano la quantità di colore, quelle in maiuscolo il tipo di colore.

APPROFONDIMENTO

Il fatto che luci di differente lunghezza d'onda, le quali, viste singolarmente, ci appaiono ciascuna colorata in modo diverso, generino – sommate insieme – la visione del bianco, è un fenomeno che viene definito sintesi o mescolanza additiva.



Il metodo additivo consiste nel 'sommare' le luminosità di ogni colore base onde ottenere il colore desiderato. Il metodo additivo viene applicato in tutte quelle circostanze in cui i colori sono generati da raggi di luce o da pixel luminosi (monitor, TV, ecc...), partendo da uno sfondo nero. La visione del bianco può essere considerata come la controparte percettiva della somma di tutte le radiazioni che compongono lo spettro visibile. Ai fini della creazione di un sistema affidabile per la generazione di colori ottenuti miscelando luci colorate, si ricorre solitamente all'uso di tre colori-base, che sono definiti primari.

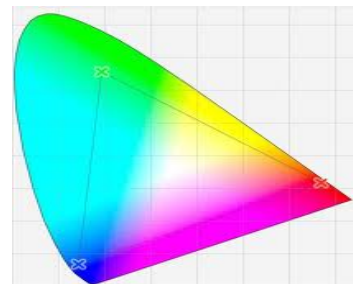
In figura è rappresentato lo schema classico della sintesi additiva. È l'effetto che si ottiene sovrapponendo tra loro tre raggi luminosi: uno verde, uno rosso ed uno blu, opportunamente. Un simile esperimento si può realizzare facilmente, usando tre sorgenti di luce bianca, ciascuna schermata con un filtro di uno dei tre colori qui considerati primari, e proiettando i tre raggi su una superficie neutra.

Ogni colore può essere rappresentato su un grafico chiamato diagramma cromatico.

$$y = \frac{g}{r + g + b} \quad x = \frac{r}{r + g + b}$$

x e y sono i coefficienti tricromatici. I colori visibili hanno una lunghezza d'onda compresa tra 400nm (blu) e 700nm (rosso).

Nella sintesi additiva il colore ottenuto dalla combinazione dei tre primari è il bianco, i colori primari sono rosso, verde, blu.



ESPERIMENTO: proiettiamo sul muro bianco le luci dei tre colori primari.

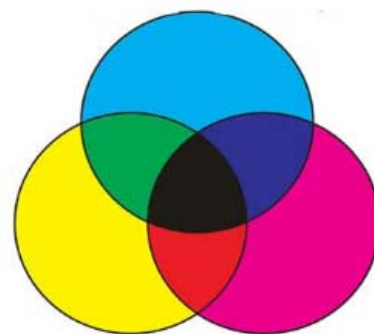


TAVOLO 3 SINTESI SOTTRATTIVA**SINTESI SOTTRATTIVA DEI COLORI**

La **sintesi sottrattiva** è quella che si verifica mescolando dei pigmenti di colore. I colori primari sono ciano, magenta e giallo (CMY), e sono i colori che formano tra di loro il massimo contrasto. Nella stampa a colori vengono usati insieme al nero (quadricromia). Le sue regole, sono quelle che ci servono per la pittura. Per cui il verde (giallo + blu) è l'opposto del magenta, il rosso (magenta + giallo) è l'opposto del blu.

Questi colori opposti vengono detti complementari, perché ciascuno di essi serve da complemento agli altri due per formare la sintesi sottrattiva completa (con cui si ottiene il nero).

Nella sintesi sottrattiva il colore risultante dalla combinazione dei tre colori è il nero.



sintesi sottrattiva

APPROFONDIMENTO

Se davanti ad un proiettore di luce bianca si pone un filtro monocromatico si sottrae dalla luce bianca una parte della lunghezza d'onda del visibile:

- Un filtro giallo equivale a togliere dalla luce bianca il blu
- Un filtro magenta equivale a togliere il verde
- Un filtro ciano equivale a togliere il rosso

Se alla luce bianca appongo tutti i filtri (rosso, blu e verde) all'uscita ho buio.

ESPERIMENTO : Mettiamo dei filtri davanti alla sorgente luminosa. Il filtro giallo toglie il blu, quindi vedremo un raggio giallo (W-B), il viola toglie il verde (W-G), il magenta toglie il rosso (W-R).

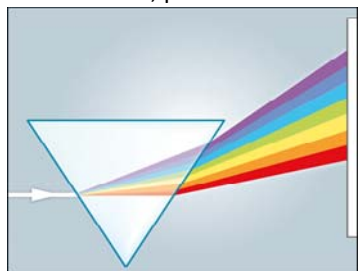
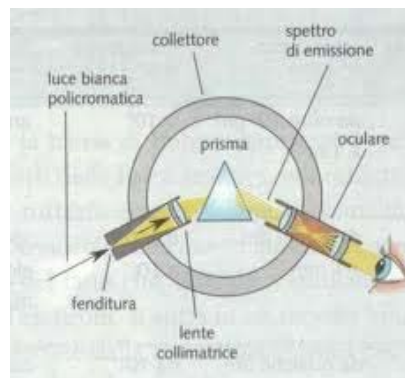
SINESTESIA

COLORE	UDITO	OLFATTO	GUSTO	TATTO	SPAZIALITÀ
Bianco	silenzio	soave	debole	gelido	impalpabile
Nero	sordo	combusto	amaro	compatto	compresso
Rosso	potente	penetrante	piccante	ardente	pulsante
Giallo	acuto	aspro	acido	aguzzo	radiante
Verde	fruscante	balsamico	salato	umido	bloccato
Blu	profondo	fresco	dolce	freddo	concentrico
Marrone	rauco	aromatico	bruciato	increspato	avvolgente
Viola	vibrante	inebriante	dolciastro	vellutato	sinuoso
Arancione	sonoro	stimolante	matturo	caldo	espansivo
Grigio	smorzato	metallico	amarognolo	amorfo	immobile
Rosa	delicato	fiorito	zuccherino	morbido	soffuso

TAVOLO 4 LO SPETTROSCOPIO

Lo spettroscopio è uno strumento ottico in grado di scomporre la luce proveniente dalle fonti più differenti, dando vita ad uno *spettro*, caratterizzato da diverse colorazioni. Il suo impiego interessa i settori fisici e chimici, i quali si concentrano sullo studio delle radiazioni elettromagnetiche emesse da varie sorgenti.

Lo spettroscopio è un apparecchio composto da diverse strutture: un **prisma**, un **cannocchiale**, un **piattino**, due **noni**, una **piattaforma** ed un **collimatore**. Il *collimare* può essere identificato in un tubo metallico dotato di una lente trasparente convergente, la sua struttura è regolabile ed inclinabile, da un lato termina con una fessura, di cui è possibile regolare la larghezza, dall'altro invece si trova la lente, posizionata verso il prisma o il reticolo.



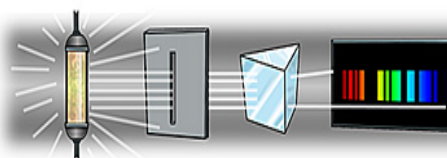
ESPERIMENTO:

- 1) **Fonte luce bianca.** Un fascio di luce bianca, dopo che ha attraversato un prisma, si suddivide nei diversi colori che costituiscono lo spettro della luce.
- 2) **Fonte sorgente gas.** Se la sorgente è un gas sottoposto a scariche elettriche allora lo spettro è costituito da una serie di righe isolate più o meno numerose a seconda del tipo di sorgente.

Ciò ci permette di capire di che colori è composta la sorgente luminosa.

Le righe spettrali. La luce che si ottiene riscaldando un elemento chimico non contiene l'intero arcobaleno ma solo determinate righe dette **righe spettrali**.

Ogni atomo quando viene sollecitato emette un insieme ben preciso di colori (**spettro di emissione**). Le righe spettrali sono una sorta di **firma dell'atomo**.



La spettroscopia è la scienza che utilizza le righe spettrali per individuare la composizione di un determinato oggetto (es. stelle lontane)