

2

OCCHIO E COLORE

La visione è un processo di trasformazione e di interpretazione del mondo esterno, realmente esistente, in un mondo percettivo caratteristico di ogni singolo individuo.

La percezione visiva si basa sul rapporto di inferenza tra la struttura di un immagine e quella del mondo reale esterno. Come si struttura questa relazione? A questa domanda tenta di rispondere la teoria della visione che ha come campo di studi privilegiato l'analisi dei limiti fisici e delle assunzioni che consentono il verificarsi di tale inferenza.

Obiettivo della visione è:

- produrre una ricca comprensione di ciò che è nel mondo
- stabilire dove gli oggetti sono localizzati
- analizzare il loro cambiamento nel tempo
- permettere ad un sistema biologico di riconoscere e manipolare gli oggetti
- consentire l'interazione fisica con l'ambiente
- individuare colori, forme e composizioni
- identificare gli oggetti noti e meno noti

La visione costruisce la rappresentazione simbolica del mondo tridimensionale (che guida il comportamento) a partire dalle configurazioni di luce sulla retina.

Lo studio della visione avviene considerando i meccanismi di elaborazione delle informazioni che sono necessarie per realizzare gli obiettivi.

2.1 Neurofisiologia Della Visione

L'elaborazione visiva avviene in più parti del sistema occhio-cervello:

- Retina
- Talamo
- Corteccia striata
- Aree visive corticali superiori
- Collicolo superiore
- Sistema ottico accessorio

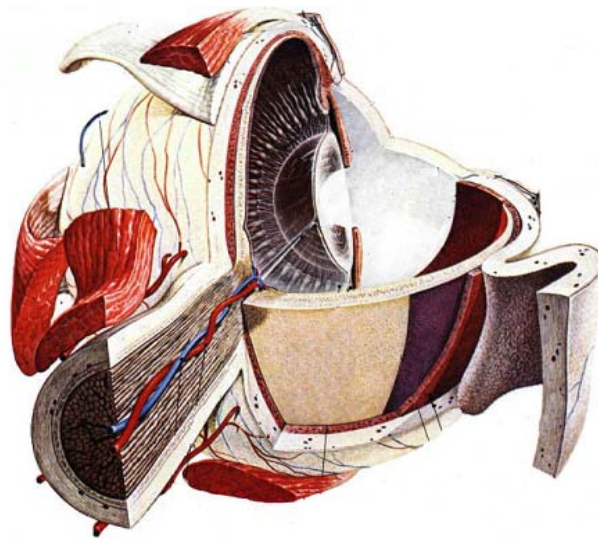


Figura 11: l'occhio

Diagramma dell'occhio

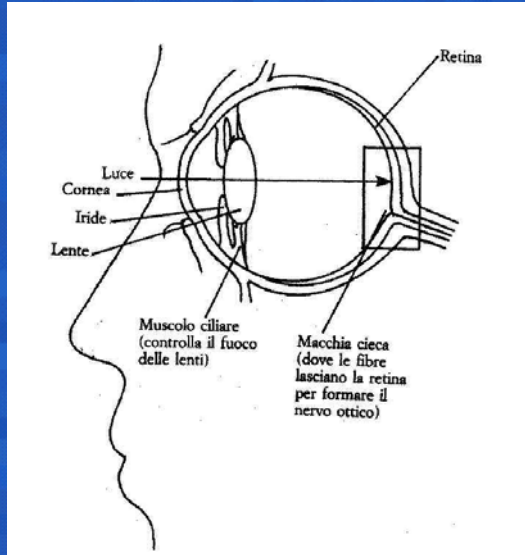


Figura 12: diagramma dell'occhio

La retina occupa la parte posteriore del globo oculare. Essa verso l'interno dell'occhio è a contatto con l'umor vitreo.

A partire dalla superficie esterna o sclerale si distinguono nella struttura laminare di essa, suddivisi in tre strati, le seguenti classi di elementi:

- **FOTORECETTORI: bastoncelli e coni**
 - polarizzano alla luce
 - producono solo potenziali elettrici graduati

I BASTONCELLI ($120 \cdot 10^6$) rendono possibile la visione in bianco e nero. Essi sono essenzialmente concentrati alla periferia della retina ed assenti dalla sua zona centrale, deputata alla percezione dei dettagli e delle forme. Sono responsabili della visione in condizioni di penombra e sono inoltre collegati tra loro in grandi gruppi: in questo modo si

sommano le azioni di un grande numero di cellule recettrici e ne risulta un' elevata capacità di captazione di intensità minime di luce.

I CONI ($6 \cdot 10^6$) sono gli elementi sensibili preposti alla visione dei colori e quindi alla percezione delle differenze qualitative e quantitative della luce entro lo spettro delle radiazioni visibili. Sono localizzati nella zona centrale della retina e contengono pigmenti sensibili ai colori Per attivarsi richiedono un livello di luminosità decisamente maggiore dei bastoncelli.

- **CELLULE BIPOLARI DI TIPO ON** (invertono il segno, depolarizzano) e **OFF** (conservano il segno)
- **CELLULE GANGLIARI** (cellule di output verso il cervello)
 - sono sensibili ad un' intera area del campo visivo, detta "campo recettivo della cellula".
- **CELLULE AMACRINE**
- **CELLULE ORIZZONTALI**

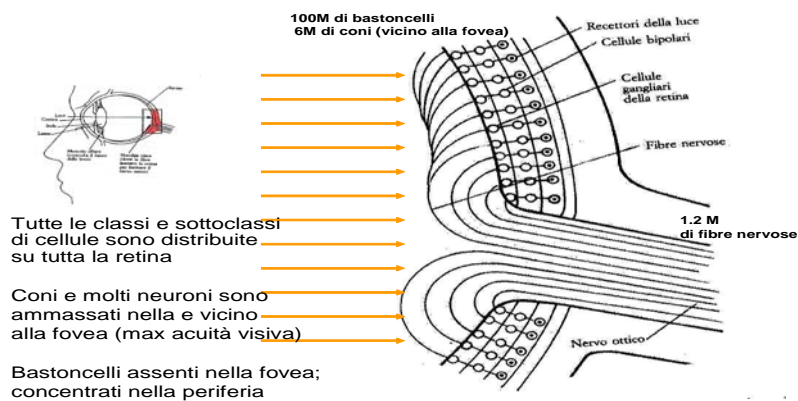


Figura 13: la retina

Le cellule di questi strati entrano in relazione sinaptica a livello di due strati detti plessiformi. Lo strato plessiforme esterno è il luogo dove si stabiliscono i contatti tra fotorecettori con cellule bipolari e gangliari. Queste ultime sono gli elementi di uscita del circuito retinico che inviano verso i centri cerebrali il risultato dell'elaborazione del messaggio visivo che ha luogo nella retina attraverso i loro assoni riuniti nel nervo ottico

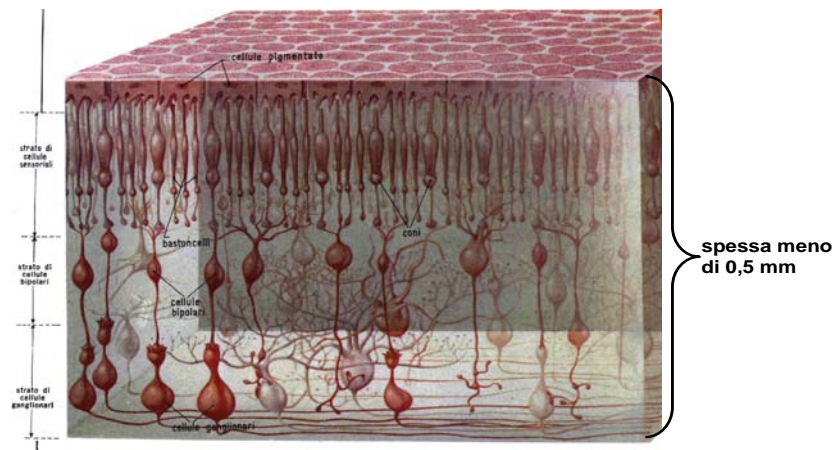


Figura 14: Strati retinici

La visione del colore dipende dai coni che sono di tre tipi , sensibili rispettivamente ai colori verde, rosso e blu. Nei coni avvengono delle reazioni fotochimiche reversibili che producono segnali elettrici diversi in base al colore e all'intensità della luce che colpisce la retina. Il nervo ottico trasmette i segnali al cervello, dove le zone preposte alla visione ricostruiscono l'immagine, producendo il fenomeno fisiologico soggettivo che chiamiamo *visione del colore*.

Circa il 10% della popolazione soffre di patologie legate alla visione del colore.

Caso estremo è rappresentato dai daltonici.

Nel 1930 vennero misurati i segnali elettrici generati dai coni, mentre più recentemente se ne è studiata la biochimica per comprendere i meccanismi di base della sensibilità ai colori primari.

Nel 1928, Wright e Guild produssero le curve della sensibilità dell'occhio medio ai tre colori primari.

Nel 1931 la CIE (link [Commission International de l'Eclairage](#)) accettò i risultati di queste misurazioni come curve di sensibilità allo spettro di un osservatore standard.



Figura 15: coni e bastoncelli

2.2 La Trasduzione Da Segnale Luminoso A Segnale Elettrico

Avviene a livello dei fotorecettori, dove la luce, dopo aver attraversato i diversi strati cellulari e sinaptici, viene convertita in segnale ottico nervoso.

La trasduzione da segnale luminoso a segnale elettrico

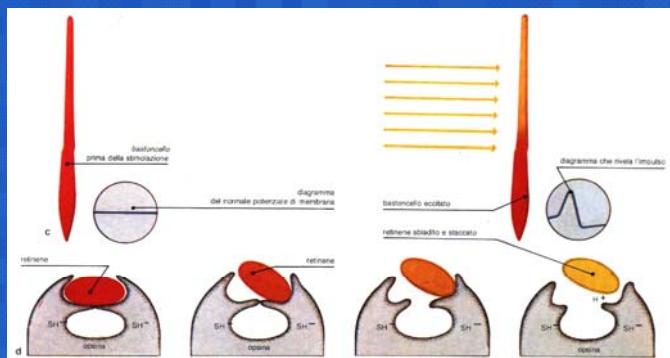


Figura 16: trasduzione da segnale elettrico a segnale luminoso

2.2.1 La Rodopsina

La rodopsina, è un pigmento fotosensibile presente sulle membrane dei dischi del segmento esterno del bastoncello della retina.

La struttura della rodopsina ed i cambiamenti conformazionali che si verificano quando essa assorbe la luce sono stati studiati e chiariti presso l'Università di Harvard dal professor Gorge Wald e dai suoi collaboratori. Le ricerche di Wald iniziarono nel 1933 a Berlino. La rodopsina era già stata scoperta nel 1877 dal fisiologo tedesco Franz Boll, il quale aveva osservato che il colore rosso porpora di un pigmento della retina delle rane scompariva per azione della luce. Il processo di decolorazione portava prima ad una colorazione gialla della retina, la quale successivamente diventava incolore. Un anno più tardi, un altro scienziato, Willy Khune, isolò il pigmento rosso-porpora della retina e lo chiamò *sehpurpur* (cioè porpora della visione).

Nel 1952 Wald dimostrò che il cromoforo (ovvero il gruppo responsabile dell'assorbimento della luce) della rodopsina è un'aldeide polinsatura, l' 11-cis-retinale. La rodopsina si forma nella retina per condensazione tra l' 11-cis-retinale ed una proteina detta opsina. La condensazione coinvolge il gruppo aldeidico dell' 11-cis-retinale ed un gruppo amminico localizzato sulla superficie della proteina. La catena di doppi legami coniugati dell'11-cis-retinale impartisce alla rodopsina la proprietà di assorbire la luce in un intervallo ampio dello spettro visibile.

La rodopsina è infatti il composto fotosensibile responsabile dell'eccitazione dei bastoncelli.

Quando un fotone di luce è assorbito dalla rodopsina si assiste alla generazione di un impulso nervoso e all'isomerizzazione dell'11-cis-retinale della rodopsina nel retinale trans della metardopsina II. Per la sua configurazione, il retinale trans non riesce più ad aderire alle cavità superficiali della proteina ed il suo distacco avviene per idrolisi del gruppo $-CH=N-$. L'idrolisi forma opsina e retinale trans.

La rodopsina ha un massimo di assorbimento a 498 nm, corrispondente al suo colore rosso-porpora. La miscela di opsina e di retinale trans ha un massimo di assorbimento a 387 nm ed è perciò di colore giallo.

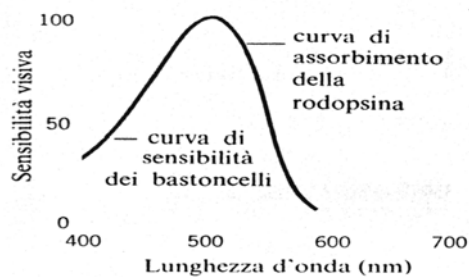


Figura 17: spettri di assorbimento nel visibile della rodopsina e dei bastoncelli

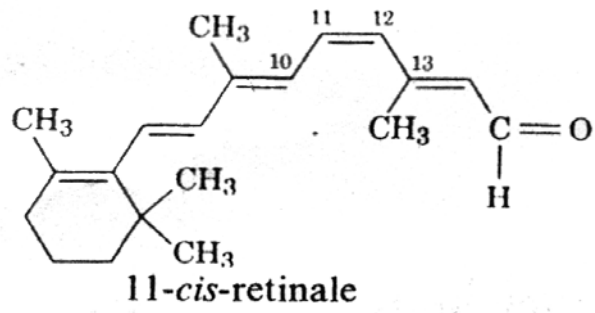


Figura 18: 11-cis-retinele

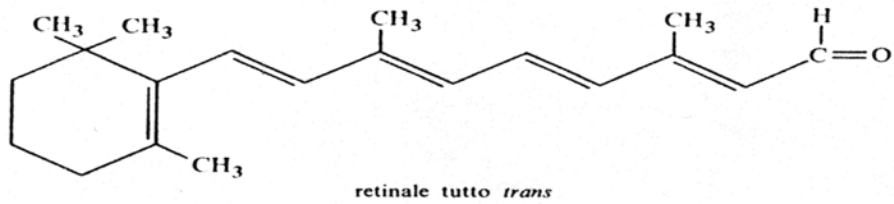


Figura 19: retinale tutto *trans*

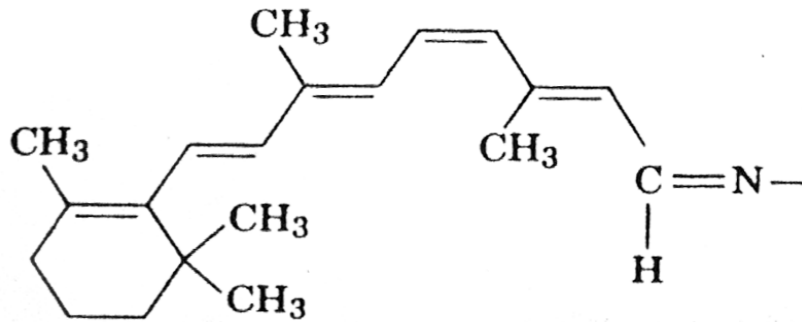


Figura 20: rodopsina

2.2.2 Rigenerazione Della Rodopsina

La rodopsina si rigenera con la stessa velocità con cui si trasforma. Sulla base del loro spettro di assorbimento sono state identificate numerose specie chimiche che partecipano ai processi di riconversione della rodopsina in metarodopsina II:

1. Rodopsina 498 nm
2. Prelumirodopsina 534 nm
3. Lumirodopsina 500 nm
4. Metarodopsina I 478 nm
5. Metarodopsina II 380 nm

Il processo di decolorazione ha inizio nel momento in cui la rodopsina assorbe un fotone di luce e si converte in metarodopsina I. La prelumirodopsina e la lumirodopsina hanno tempo di vita brevissimo. A questo punto se la metarodopsina I assorbe a sua volta un secondo fotone di energia uguale al primo, può essere trasformata in rodopsina la cui riconversione ha scarsa probabilità di avvenire in condizioni di penombra poiché il numero di fotoni che colpisce la retina in queste condizioni è decisamente basso. Viceversa in presenza di luce intensa la fotoriconversione metarodopsina I → rodopsina diviene prevalente. La quantità di rodopsina decolorata raggiunge un valore limite. Il retinale trans formatosi per idrolisi della metarodopsina II è isomerizzato ad 11-cis-retinale ad opera di un enzima della retina. Questa reazione richiede una radiazione di lunghezza d'onda minore di quella necessaria per la fotoriconversione della metarodopsina I in rodopsina.

Per ricombinazione nella retina dell' 11-cis-retinale con l'opsina si riottene la rodopsina.

In assenza di luce il retinale trans che non è isomerizzato nella retina ad 11-cis-retinale, viene ridotto a vitamina A trans ad opera dell'enzima retinal riduttasi. La vitamina A trans viene poi trasportata nel fegato dove avviene il processo di rigenerazione della rodopsina in assenza di luce. In quest'organo infatti si verifica l'isomerizzazione per via enzimatica della vitamina A trans in 11-cis-vitamina A.

Le connessioni principali

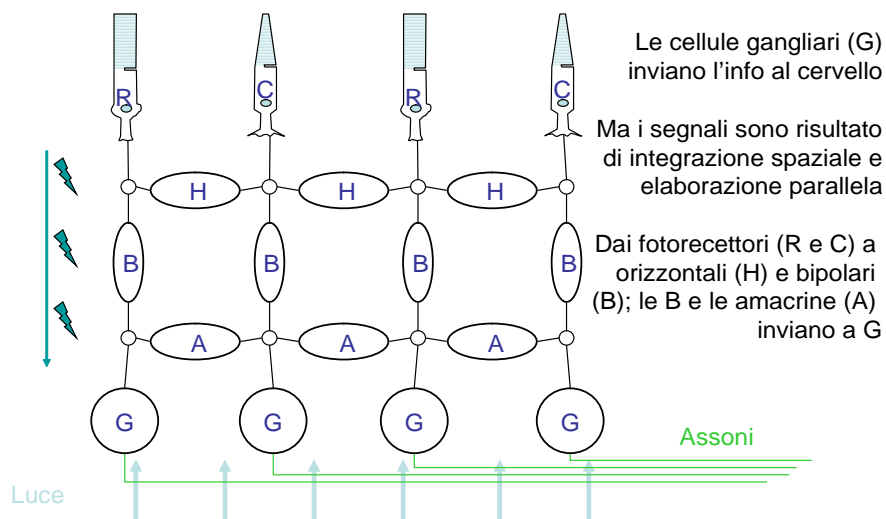


Figura 21: le connessioni principali

2.3 La Sensibilità Dell'occhio

Nell'occhio umano, sebbene ogni bastoncello contenga circa 10 miliardi almeno di molecole di rodopsina, cinque molecole di rodopsina possono rivelare l'assorbimento di appena cinque fotoni di luce, purchè esse siano contenute in bastoncelli differenti. Sembrerebbe perciò che ogni bastoncello possenga un meccanismo di

amplificazione eccezionale dell'impulso nervoso generato dall'assorbimento del fotone.

2.4 Percezione, Effetti Psicologici E Simbologia Dei Colori. Effetti Fisici

Il grande pensatore tedesco Johann Wolfgang Goethe scrisse: “...proviamo in generale una grande gioia per il colore. L'occhio ne ha bisogno, quanto ha bisogno della luce. Basti ricordare la consolazione che ci deriva quando, in una giornata nuvolosa, il sole splende in un solo punto del paesaggio, rendendone visibili i colori”.

Il mondo dei colori descrive un ampio arco: essi si inseriscono nella nostra vita quotidiana, sono come i suoni di linguaggi arcaici radicati in noi, e sono indispensabili per giungere alla coscienza di noi stessi.

Il fisico inglese Isaac Newton studiò le proprietà e la natura della luce. Scopri che la luce bianca, come quella del sole, si scompone in fasci luminosi di colorazione diversa quando attraversa un prisma. E' lo stesso fenomeno dell'arcobaleno, in cui la luce del sole si scompone quando attraversa i prismi delle goccioline di pioggia. Ciascuno di questi colori ha una sua propria frequenza, in funzione della quale emette una differente quantità di energia.

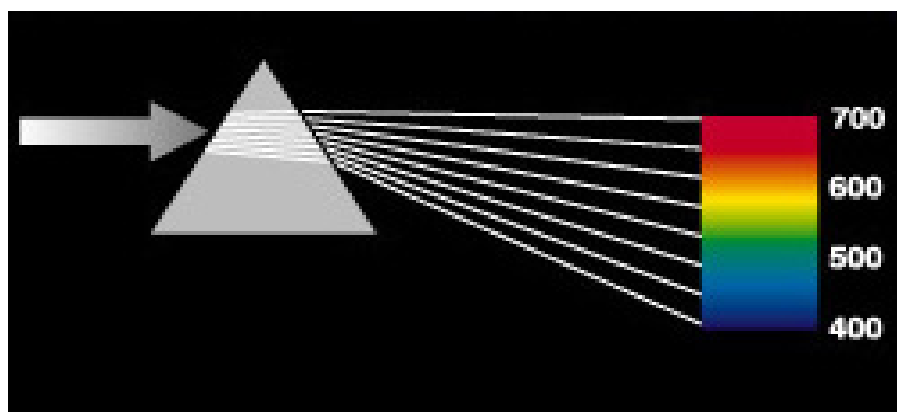


Figura 22: prisma di Newton

Newton dimostrò che ogni singolo colore dello spettro non è scomponibile (colore monocromatico) perché composto di una sola lunghezza d'onda. La suddivisione spettrale in sette colori non è netta, poiché lo spettro presenta una serie continua di sfumature tra un colore e l'altro, determinata da minimi cambiamenti di lunghezza d'onda e non da combinazioni di colori.

In accordo con la legge di Kirchoff le varie sostanze influiscono sulla luce che le colpisce modificandone la composizione spettrale, in parte riflettendola, in parte assorbendola ed in parte trasmettendola, a seconda della loro composizione molecolare. La luce riflessa e quella trasmessa sono diverse dalla luce incidente, poiché le radiazioni che vengono assorbite dalla materia stessa possono mancare in tutto o in parte. La qualità della luce riflessa o di quella trasmessa, dipende quindi sia dalla natura dei raggi luminosi incidenti, sia dalla natura della sostanza che ne viene colpita.

I corpi trasparenti si lasciano completamente attraversare dalle radiazioni luminose, senza assorbirne o rifletterne alcuna, ed appaiono al nostro occhio incolori (fenomeno della trasmissione totale).

La materia quando è colpita dalla luce solare può in parte assorbirla ed in parte rifletterla divenendo così fonte di radiazione. La materia opaca, invece, assume il colore dei raggi che riflette.

E' molto difficile che un corpo visibile rifletta una sola radiazione monocromatica, oppure una stretta banda di radiazioni. Generalmente riflette una larga banda dello spettro, nella quale una particolare lunghezza d'onda, quella corrispondente al colore percepito, risulta dominante.

Se una superficie ha la proprietà di riflettere diffusamente ed in modo uniforme tutta la gamma delle radiazioni della luce incidente senza rinviare una lunghezza d'onda dominante, tale superficie appare bianca. Poiché non esistono in natura corpi che riflettano nella sua totalità la luce che ricevono, ne consegue che difficilmente si può osservare un bianco assoluto, ma piuttosto varie specie di bianco. Analogamente, una superficie nera è caratterizzata da un assorbimento quasi totale della luce che riceve e non presenta una particolare lunghezza d'onda dominante. Poiché difficilmente la luce viene assorbita da un corpo nella sua totalità, è altrettanto difficile osservare il nero perfetto.

La luce riflessa dalle superfici raggiunge i recettori collocati all'interno dell'occhio i quali secondo la teoria di Thomas Young sono sensibili, come suddetto, a tre diverse lunghezze d'onda che corrispondono ai tre colori fondamentali. Secondo il principio di Young è possibile individuare all'interno dei colori luce dello spettro tre colori fondamentali, cioè colori che non si possono ottenere per sovrapposizione e da cui è possibile ottenere tutti gli altri colori presenti in natura.

Il ricercatore inglese Theo Gimbell confrontò l'energia di vibrazione dei colori con quella dei suoni: trovò che i colori posseggono un'energia di vibrazione più elevata di quella dei suoni ed esercitano, quindi, un influsso maggiore di questi ultimi.

I colori non possono essere considerati unicamente come fenomeni fisici: significherebbe ignorare la sensibilità dell'uomo verso di essi. Goethe, con *La teoria dei colori*, fu un pioniere della ricerca in questo campo, e definì i colori “specchio di tutti gli aspetti della natura umana”, per cui non potevano essere osservati e studiati

separatamente dall'uomo. Cioè, ponendosi in una prospettiva completamente diversa da quella di Newton, Goethe riteneva un errore descrivere i colori solo come vibrazioni pressoché astratte, indipendenti dall'uomo. Nella visione globale del mondo, Goethe considera l'universo interiore dell'uomo inseparabilmente legato all'ambiente esterno.

La teoria dei colori è alla base della concezione antroposofica dei colori, e fu di ispirazione per la Bauhaus, la rivoluzionaria corrente artistica ai primi del '900. Johannes Itten, caposcuola della Bauhaus, esprimeva così il suo pensiero sui colori: “ Nel momento in cui rifletto sui colori, costruisco concetti e formulo frasi, la loro atmosfera si dissolve e nelle mie mani rimane solo il loro corpo”.

La teoria dei colori pose i fondamenti della moderna psicologia dei colori. L'interazione uomo-colore evidenzia come i colori non solo siano l'espressione del nostro stato d'animo, ma anche quanto siano in grado di influenzarci. I colori appartengono, quindi, sia al mondo esterno sia al mondo interiore. L'idea di servirsi dei colori per promuovere certe risposte psicologiche è antichissima. I santuari egizi e greci erano dipinti con colori la cui scelta si ritiene fosse ponderata. Le scuole di pensiero tibetane ancora oggi attribuiscono importanza alle caratteristiche cromatiche ai fini della meditazione.

Intorno al 1960 Max Luscher, docente di Psicologia all'Università di Basilea, introdusse un test cromatico, che porta il suo nome, quale metodo di valutazione della personalità. Tale test si basa sulla teoria che la preferenza di un individuo per certi colori e l'antipatia per altri sono indicative di uno stato mentale, di un equilibrio o squilibrio ormonale o di entrambi. Le origini di tale significato dei colori risalgono a tempi lontani nella storia dell'uomo, a quando la sua vita

era condizionata da fattori come notte/oscurità e giorno/luce. I colori associati con queste due situazioni ambientali sono rispettivamente il blu scuro ed il giallo, e le risposte automatiche dell'organismo sono correlate con essi: il blu scuro con un ritmo metabolico e con un'attività ghiandolare ridotti; il giallo con un aumento del ritmo metabolico e della secrezione ghiandolare, allo scopo di fornire, durante il giorno, l'energia necessaria alla caccia e alla ricerca del cibo. Inoltre, in quegli ambienti primitivi l'uomo o cacciava o era cacciato per gran parte del tempo. Gli atti aggressivi nel corso dell'evoluzione sono stati universalmente associati con il rosso, mentre la difesa, anche qualora implichi a sua volta l'attacco, è associata con il grigio, come stato comprovato da innumerevoli esperimenti. E' stato constatato, infatti, che ad un individuo che si trovi per un certo tempo in presenza solo di colori rossi, viene stimolata la pressione sanguigna, con aumento del ritmo respiratorio e del ritmo cardiaco. In presenza invece dell'azzurro scuro, si verifica l'effetto opposto.

Il test completo di Luscher comprende 73 macchie di colore, con 25 diverse sfumature e forme. Il test ridotto comprende, invece, solo 8 colori: in tale versione consente l'identificazione di aree di stress psicologico e fisico, costituendo, così un preavviso dell'approssimarsi di molte malattie. Nel test di Luscher, i colori fondamentali psicologici sono quattro: blu scuro, verde, giallo e rosso; quelli secondari sono il viola (miscuglio di azzurro e rosso), il bruno (miscuglio di giallo, rosso e nero), il grigio (che si colloca a metà strada tra luce ed oscurità, in posizione neutra) ed il nero (che è l'annullamento del colore).

Diverso è il concetto di *colori primari psicologici* introdotto dal fisiologo tedesco Ewald Hering (1834-1918) con la sua teoria sulla visione del colore. Egli considera tre coppie opposte di colori: bianco/nero, rosso/verde, giallo/blu, detti *colori primari psicologici*. Questi risultati sono frutto di studi basati su osservazioni psicofisiologiche condotte intorno alla metà del XIX secolo, quando era in auge la teoria formulata da Helmholtz e Young e confermata da James Maxwell. Gli studi di Hering, infatti, indicano che le suddette coppie di sensazioni cromatiche sembrano in mutuo antagonismo fra loro da un punto di vista percettivo e che l'aggiunta di due tipi di luci in antagonismo tende ad eliminare la percezione cromatica e a produrre la sensazione di bianco, come se gli stati percettivi indotti dai due colori che formano la coppia fossero di segno differente. Secondo il fisiologo tedesco un antagonismo analogo esiste anche nel campo acromatico tra sensazione di bianco e quella di nero.

Al di là della connessione con l'inconscio di ciascuno di noi, i colori hanno anche una connessione con l'inconscio collettivo, nel quale, secondo Carl Gustav Jung, fondatore della psicologia analitica risiedono il sapere e l'esperienza comuni all'intera umanità. I colori fanno parte delle più antiche forme simboliche, che troviamo già sulle torri templari, gli ziggurat babilonesi. Il simbolismo cromatico richiama tutti gli altri sistemi simbolici, indipendentemente dalle loro origini culturali o storiche. I colori, infatti, come simboli arcaici, hanno un significato interculturale: la simbologia cristiana, buddista, indù, indiana, alchimistica e stregonesca è costantemente legata a determinati colori, sempre uguali.

Il giallo, colore caldo, è brillante, estroverso, è il colore più prossimo alla luce, come scrisse Goethe. E' il colore della comunicazione, dello

scambio, dell'apertura al rapporto con gli altri. Nella Grecia classica, le dee e le vergini indossavano sempre abiti color zafferano, a conferma del carattere femminile che viene ancor oggi attribuito al giallo. Il giallo porta in sé una certa ambivalenza: infatti viene spesso associato anche ad energie e sentimenti negativi, come egoismo, avarizia, risentimento, invidia, gelosia e collera (è nota l'espressione "è giallo dalla rabbia"). Il giallo ha un effetto curativo e purificante sulla pelle. Portando o applicando pietre gialle, come l'ambra, il topazio o l'occhio di tigre o panni gialli, è possibile allontanare malattie dal corpo, a conferma della concezione medievale secondo cui le pietre gialle "assorbono" malattie. Il giallo tende ad irraggiare e ad "esplodere", risalta sul foglio e si protende verso l'osservatore secondo un movimento centrifugo dal centro verso l'esterno. Il giallo può essere usato con successo contro gli stati depressivi: è considerato, infatti, l'antidepressivo più potente fra i colori. Il giallo è di aiuto nel lavoro creativo e spirituale, per cui viene raccomandata la predominanza di colori gialli sulla scrivania.

Il rosso, colore caldo-tiepido è legato, etimologicamente, alla fonte della vita ed al sangue. Infatti trae origine dal termine sanscrito rub-ira (in latino *rutilus* e *ruber*), che esprime, per l'appunto i concetti di sangue e vita. Dal punto di vista psicologico, il rosso è sicurezza di sé. Lo psicologo Erich Neumann rileva come antichissime immagini di divinità femminili venissero colorate di rosso al fine di rappresentare la vita e la forza. Anche il rosso è un colore ambivalente. Infatti, come può simboleggiare la vita così può essere il colore della morte. Nel Medioevo, i carnefici portavano vesti rosse; i martiri cristiani e gli Inferi sono simbolicamente rossi. Ai tempi degli egizi, il rosso veniva utilizzato quale protezione dal fuoco; ancora oggi gli estintori e le

autopompe sono verniciati in rosso. Anticamente, i guerrieri e i cacciatori si dipingevano il corpo di rosso, con il duplice scopo di aumentare la forza fisica e di proteggersi dalle ferite e dalla morte; ciò nel rispetto di un antico principio secondo il quale, se la persona si adatta totalmente al pericolo, in un certo senso lo anticipa e lo fa suo

Il rosso stimola la circolazione arteriosa migliorando la vitalità. E' particolarmente efficace per le persone flemmatiche e malinconiche. I tipi sanguigni, spesso presentano una repulsione verso il rosso. Il medico medievale Galeno distingueva quattro tipi di persone: il malinconico, il flemmatico, il sanguigno e il collerico, e attribuiva a ciascuno determinate caratteristiche. I malinconici e i flemmatici sono, a grandi linee, piuttosto calmi, lenti e riflessivi; i sanguigni e i collerici sono, invece, allegri, svelti e aperti alla vita. La visualizzazione del colore rosso può essere utile anche nel curare un organo malato o sottotono. Nelle terapie delle malattie circolatorie è particolarmente indicata l'assunzione di alimenti "rossi": barbabietole, ravanelli, ciliegie, cavolo rosso, bacche rosse, succo di pomodoro. L'utilizzo della luce rossa aumenta il livello di emoglobina nel sangue ed è efficace nel trattamento della pressione bassa e dei disturbi circolatori. Il rosso stimola il metabolismo e la digestione e in alcuni tipi di patologie può restituire importanti energie vitali. Il rosso, al contrario del giallo, non irraggia né verso l'esterno, né verso l'interno, ma rimane fermo su di sé.

Il blu è il colore simbolico dell'acqua e quindi del sentimento. Simboleggia l'unione di ciò che è lontano e ciò che è profondo; al tempo stesso è simbolo dell'immensità del mare e della profondità del cielo. È un colore che "implode" ed attira l'osservatore verso il centro del colore stesso, secondo un movimento centripeto dall'esterno verso

il centro. Per tale motivo fino al Rinascimento lo sfondo dei quadri era sempre blu o azzurro con lo scopo di attirare l'osservatore verso l'interno del quadro, suscitando, nel contempo, l'impressione dello spazio e della profondità. Il blu aiuta l'uomo a trovare il centro di se stesso. Zeus trova il suo centro nella lotta fra Cielo e Terra, poggiando i piedi sulla pietra azzurra. Il blu simboleggia anche le tenebre, e Goethe afferma: "Come il giallo porta sempre con sé una luce, si può dire che il blu porta sempre con sé qualcosa di oscuro". Nel blu c'è una sorta di esclusione del mondo esterno, come qualcosa che si contrae, similmente alla paura e alla depressione. Gli inglesi usano l'espressione *I feel blue* (mi sento blu) per significare che si sentono depressi. *Il libro dei sogni* di Artemidoro, collega il blu scuro con lo smarrimento e la solitudine. Per i Greci il blu significava oscurità. Per il pittore fiammingo Peter Bruegel il Vecchio, il blu è essenzialmente inganno e follia come nell'opera *Die verkebrte Welt* (Il mondo alla rovescia). Per il pittore lombardo Caravaggio, il blu significava veleno e l'aveva escluso dalla sua tavolozza. Il blu, dal punto di vista medico, è un colore rinfrescante, astringente, con azione antipiretica ed antinfiammatoria. Contribuisce ad abbassare la temperatura e la sete blu ha un effetto particolarmente rapido ed efficace. L'irradiazione del corpo con luce blu è consigliata in casi di influenza. Gli antichi avvolgevano i pazienti febbricitanti in panni blu, mentre le infiammazioni venivano curate con liquidi di colore blu (tinture), ovvero bevande blu a base di succo di ribes. La visualizzazione del colore blu è di aiuto negli stati febbrili o dolorifici. Il blu equilibra le energie del corpo, riduce la pressione alta, il nervosismo e la iperattività. I disturbi del sonno possono essere alleviati dall'arredamento e dall'illuminazione azzurra o blu dell'ambiente in

cui si dorme. La luce blu viene utilizzata da molti specialisti nel trattamento dei reumatismi e del mal di testa. Si utilizza nello yoga, nel massaggio e concilia la meditazione.

Gli esseri umani, gli animali e le piante sono tutti soggetti all'azione della luce e del colore, com'è comprovato dall'entità dei cambiamenti che avvengono tra notte e giorno: Ad esempio, il passaggio dall'infrarosso invisibile (radiazione che si ha durante i periodi di oscurità) al rosso cupo, al violetto e quindi all'ultravioletto, si accompagna ad un sottile cambiamento di pressione atmosferica, ad un mutamento di densità registrato non soltanto dagli occhi, bensì anche dalla pelle, tegumento esterno di tutti gli esseri viventi. Ciò significa che i ciechi sono in grado di reagire ai colori esattamente come chi non ha perduto la facoltà visiva; la reazione varia a seconda dell'individuo, ed è essa a fornire valide indicazioni per l'elaborazione di specifici trattamenti. Sul piano psicologico, è ben noto che si ottengono risultati specifici mediante una combinazione di fattori, più che con il ricorso a un unico ingrediente. Per questa ragione, è preferibile sostenere l'azione del colore mediante la forma. In generale, si può dire che l'azzurro si armonizza con ciò che è orizzontale e sferico, il rosso con ciò che è verticale e cubico e il giallo con forme raggianti e stagliate. Per ottenere il massimo effetto, colore e forma devono essere in armonia fra loro, bisogna integrarli inserendo una tensione, che generalmente è il ritmo del fattore tempo. In India l'acqua viene esposta alla luce del sole attraverso vetri colorati, rossi, azzurri, gialli, verdi, per cui, bevendola, il paziente può essere stimolato o calmato, o curato per specifiche affezioni. In un ciclo di conferenze tenute a Dornach nel 1921, Rudolph Steiner ha sostenuto che sia il colore sia la forma possono essere usati quali

trattamenti supplementari di certi stati patologici. La Goethean Science Foundation (Fondazione Scientifica Goethiana) ha fatto propri i suggerimenti di Steiner, inserendoli nella didattica dei corsi organizzati in Inghilterra, nel Worcerstershire. Gli Hygeia Studios di Avening, nel Gloucestershire, e lo Spectro-Chromo Institute di Malaga, nel New Jersey, compiono ricerche su una particolare forma di cromoterapia che comprende l'uso dei colori oltre quello dei suoni e dei ritmi. I colori di cui ci si avvale ai fini della terapia sono quelli dello spettro naturale: rosso, arancione, giallo, verde, turchese, azzurro, indaco, violetto. Le modalità fondamentali di applicazione sono tre: 1. mediante tessuti, pareti e luci colorate; 2. mediante meditazione guidata (costruzione di immagini mentali); 3. mediante proiezione a livello spirituale.

2.5 Teoria Strutturale Del Colore

La teoria strutturale del colore studia ed organizza sistematicamente tutti gli effetti cromatici che vengono percepiti dall'occhio. La ruota del colore è stata ideata per permettere alla mente di fissare la struttura del colore, cioè le posizioni dei colori su di essa in modo da poter distinguere colori primari, secondari, terziari e complementari. Essa è composta da 12 colori così suddivisi:

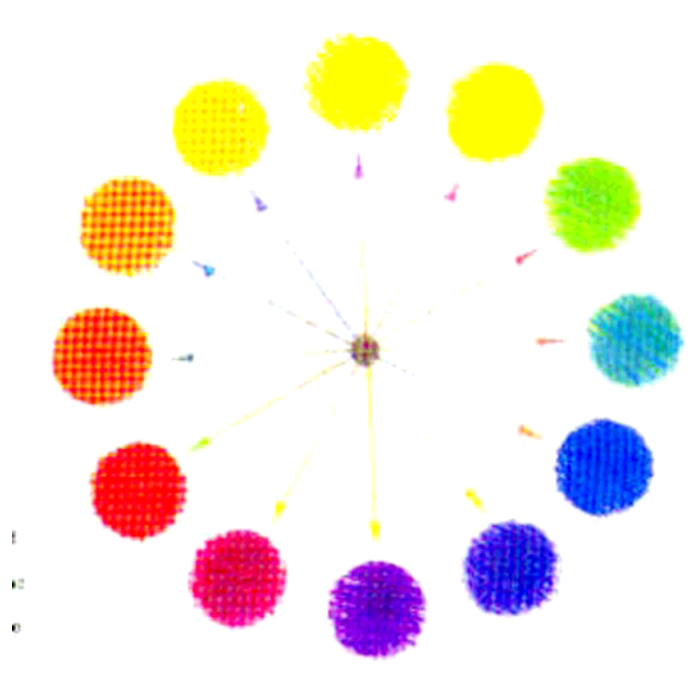


Figura 23: ruota dei colori

I tre **colori primari**- **giallo**, **rosso** e **blu**- sono i blocchi costituenti di base del colore. Sono detti primari perché danno origine a tutti gli altri colori.

I **colori secondari**- **arancione**, **viola** e **verde**- sono quei colori che si ottengono mescolando a due a due i colori primari. Ogni colore secondario deve essere equidistante dai due primari da cui è composto.

I **colori terziari** - **giallo-arancione**, **rosso-arancione**, **rosso-viola**, **blu-verde** – si ottengono mescolando un colore primario con un colore secondario adiacente.

I **colori complementari** sono formati da un colore primario e da uno secondario ottenuto dalla mescolanza degli altri due primari. I colori complementari, se mescolati, si annullano nel grigio, se avvicinati, acquistano luminosità. I due colori, infatti, acquistano forza cromatica rafforzando a vicenda la luminosità di entrambi.

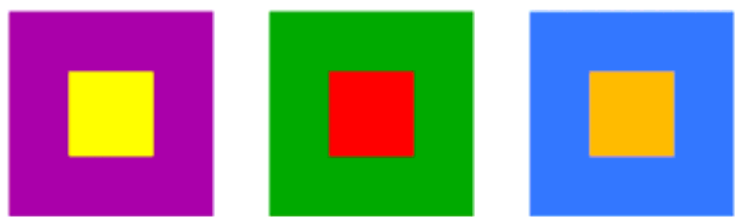


Figura 24: contrasti 1

Se si pone un colore luminoso al centro del suo complementare meno luminoso, l'effetto di contrasto e di complementarietà è particolarmente evidente. Queste sintesi dimostrano che in natura non esistono il bianco ed il nero: essi sono l'effetto prodotto dalla somma di luce e di colore.

Johannes Itten distinse due tipi di realtà cromatica: quella data dalla materia colorante del pigmento (la realtà fisico- chimica) e quella prodotta dalla valutazione cromatica che l'occhio e la mente elaborano a proposito di un dato colore (la realtà psicofisica). L'occhio e la mente possono giungere ad un'esatta percezione soltanto per contrasto o per confronto.

I principali risultati sperimentali della visione dei colori sono i seguenti:

- Mescolando, a due a due, i colori rosso, verde e blu si ottengono colori diversi che possono non essere presenti nello spettro solare(ad esempio il porpora che si forma mescolando il blu con il rosso);
- Una opportuna mescolanza di rosso, verde e blu fornisce la sensazione di bianco(rosso + verde-azzurro = giallo + azzurro = verde + porpora = bianco). Si tratta di paia di colori complementari che “ si estinguono l'un l'altro dando la sensazione acromatica di bianco” (Southall), Se ne deduce che

l'occhio, almeno nel caso della nostra specie, è incapace di riconoscere i componenti fisici elementari della miscela di luci variamente colorate che colpisce la retina.

- L'opportuna mescolanza di tre colori fondamentali o primari permette di riprodurre qualunque sensazione colorata, compresa la sensazione di bianco. Legge fondamentale derivata da quanto si è detto è la "Legge additiva delle mescolanze dei colori" in base alla quale se due luci fisiche soggettivamente identiche vengono mescolate ad altre luci, sempre identiche, si ottiene una nuova coppia di luci identiche tra loro.

Molto interessante poi è il cosiddetto *Contrasto simultaneo colorato* che si ha quando ad esempio si assegna un colore allo sfondo di una figura ed uno diverso, contrastante, ai segni ed al tratto.

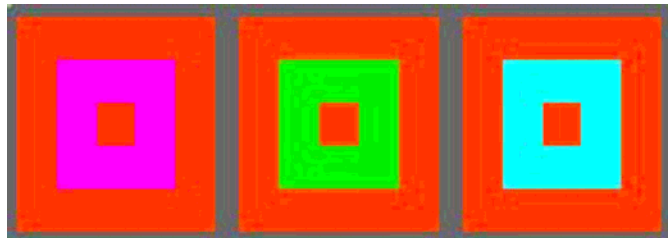


Figura 25 : contrasto 2

Il contrasto risulta netto e il motivo sembra in rilievo nelle coppie rosso-verde e rosso-ciano, mentre il magenta sul rosso sembra piatto e sfuocato.

Il contrasto chiaro scuro viene usato continuamente sia in fotografia che nel disegno. Questo tipo di contrasto si ha quando vengono accostate tonalità diverse dello stesso colore.

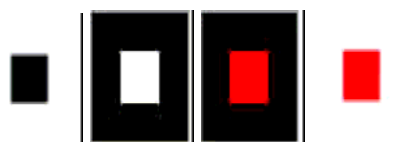


Figura 26 : contrasti 3

Un quadrato bianco sul fondo nero appare più grande di un identico quadrato nero sul fondo bianco. Il bianco è irradiante e dilata i limiti del quadrato, mentre il nero li contrae. Un quadrato rosso sul fondo bianco appare più scuro e la sua luminosità è molto limitata; al contrario, sul fondo nero, il rosso risplende e sembra irradiare calore. Quando realtà ed effetto cromatico non coincidono, abbiamo un'impressione disarmonica.

2.6 Sintesi Del Colore

In base al funzionamento dell'occhio, è difficile stabilire se un determinato colore provenga da una luce spettralmente pura caratterizzata da una sola lunghezza d'onda o da miscele di diverse componenti spettrali, ovvero da più lunghezze d'onda tali tuttavia da ingenerare nel triplice sistema di fotorecettori stimoli identici. Proprio in base alla fisiologia dei coni nella retina si è stabilito che è possibile ottenere qualsiasi colore a partire dai tre colori – rosso-blu-verde – detti PRIMARI ADDITIVI.

Esistono due meccanismi, che chiamiamo genericamente sintesi, con cui si forma il colore. Pur dando luogo alla stessa sensazione, la natura di questi due processi è profondamente diversa. Distinguiamo tra:

- **SINTESI ADDITIVA**, dove si producono effetti di luce sovrapponendo fasci luminosi provenienti da diverse sorgenti. Essa si verifica, a parte il meccanismo della visione, in poche

circostanze: nei teatri, sui palchi dei concerti, soprattutto nei televisori. Le luci delle sorgenti luminose nei tre colori primari vengono mescolate per produrre il colore desiderato. In questo tipo di sintesi l'energia luminosa totale emessa è maggiore di quella di ciascuna sorgente. Si somma luce colorata a luce colorata. La tecnologia ha messo a disposizione sorgenti a banda stretta che rendono possibile questo tipo di sintesi (un esempio è il monitor).

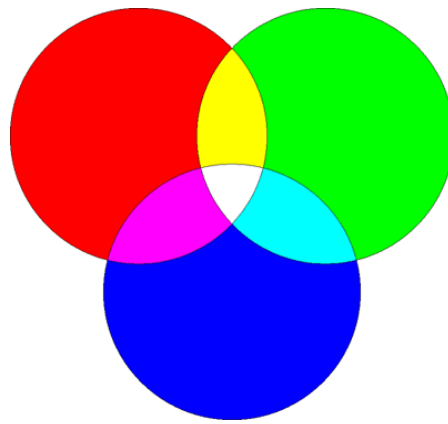


Figura 27: sintesi additiva

- **SINTESI SOTTRATTIVA**, si verifica quando velature o strati di pigmenti diversi producono il colore desiderato. La colorazione degli oggetti comporta meccanismi sottrattivi in quanto si basa sulla loro capacità di assorbire componenti cromatiche della luce che illumina. Il colore è dato dalle componenti che non sono state assorbite. Il punto di partenza della sintesi sottrattiva è la luce bianca: poiché questa contiene tutti i colori, per ottenere il colore voluto occorre eliminare i restanti assorbendoli. Ciò avviene ad opera dei pigmenti colorati, sia opachi (tempere ,vernici..), che trasparenti (acquarelli, diapositive, filtri..). In questo processo la luce riemessa è minore di quella che cade sul corpo colorato (la differenza viene

dissipata in calore). In effetti la sintesi sottrattiva domina il mondo intorno a noi e gli oggetti e la loro rappresentazione in fotografia, diapositive, film, quadri e disegni vengono visti illuminati per luce diretta o in trasparenza.

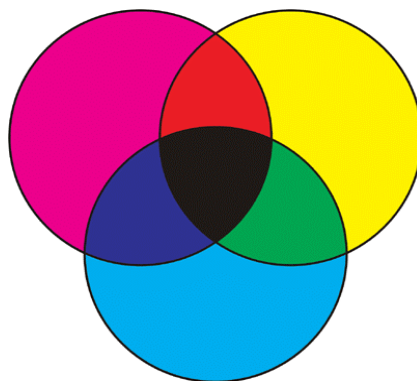


Figura 28: sintesi sottrattiva

2.7 Percezione Psicofisica Del Colore

La visione del colore è caratterizzata da tre diversi attributi psicologici: tonalità, saturazione e luminosità.

- **TINTA (HUE)**, o lunghezza d'onda dominante che è quella particolare sensazione visiva prodotta da radiazione luminosa, diversa per ciascuna possibile lunghezza d'onda della luce dello spettro visibile. Se una determinata luce è composta da una miscela di più lunghezze d'onda, la sua tinta corrisponde a quella di una opportuna lunghezza d'onda che si definisce appunto lunghezza d'onda dominante. I colori che possiedono una tinta sono detti cromatici. Sono invece acromatici il bianco, il nero e tutti quei livelli di grigio.
- **SATURAZIONE (SATURAZION)**, o **PUREZZA** di un colore può essere definita come la sensazione percepita dal grado di concentrazione della tinta rispetto al contenuto di bianco. Un esempio può venire dal confronto di due colori: rosso e rosa.

Partendo dalla stessa tinta, si ottiene l'uno o l'altro a seconda della quantità di bianco miscelato alla tinta. Nel rosso la componente cromatica predomina sul bianco, nel rosa avviene il contrario. Il rosso, dunque, è più puro (o più saturo) del rosa. La purezza varia da valori prossimi allo 0% nel caso di tinte pastello, quasi bianche, fino al 100%, massima purezza della tinta cromatica.

- LUMINOSITA' (BRIGHTNESS), o brillantezza è l'attributo con il quale si indica la diversa "intensità" di una luce (o, se si tratta di un oggetto colorato della quantità di luce riflessa). Essa corrisponde alla sensazione di un colore che va dal molto cupo (ad es. il viola) al molto brillante (ad es. il giallo). È condizionata in parte dall'intensità dello stimolo, in parte dalla struttura nervosa della retina ed in parte dalla capacità di adattamento dell'occhio.

Combinando questi tre attributi si ottiene il SOLIDO DEL COLORE

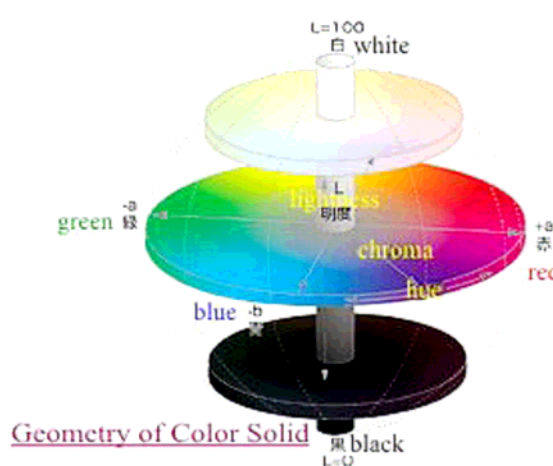


Figura 29: il solido del colore

L'occhio umano può discriminare, nella cosiddetta "serie cromatica", 160 colori o, meglio, tinte differenti.

2.8 I Modelli Del Colore

Un modello del colore è un modo di organizzare l'insieme delle possibili percezioni umane del colore in un modo sistematico. Nella letteratura della visione del colore, possono essere distinte quattro categorie di modelli del colore. Esse sono:

- **Modelli Psicologici e Psicofisici.** Tali modelli si basano sul come appaiono i colori agli osservatori umani. Si derivano i dati sia in modo impressionistico (MODELLO DI MUNSEN) sia in modo sperimentale (MODELLI HSB: Hue Saturation Brightness).
- **Modelli Colorimetrici.** Tali modelli si basano su misurazioni fisiche della riflettanza spettrale, usando tre filtri di colore primari e un fotometro. Si arriva in questo modo a definire i diagrammi di cromaticità CIE.
- **Modelli Fisiologici.** Tali modelli utilizzano tre colori primari in accordo con il funzionamento della visione umana dei colori. Essi prendono il via dalla teoria dei colori di Young fino ad arrivare al familiare modello RGB usato nella computer graphics.
- **Modelli oppONENTI.** Tali modelli si basano su esperimenti di percezione usando coppie oppONENTI primarie di colori (giallo-blu, rosso-verde).

2.9 Colore Fisico E Chimico

Il colore, in natura, deriva per lo più dai colori dei materiali corrispondenti, ma può avere anche un'origine puramente fisica derivante da fenomeni ottici della luce, come diffrazione o interferenza. Questo, detto *colore strutturale* o iridescenza, è stato a lungo un problema di interesse scientifico. Ultimamente, i colori strutturali hanno suscitato interesse poiché le loro applicazioni sono progredite rapidamente e in molti campi di studio relativi alla visione, come la pittura, le automobili, i cosmetici e le industrie tessili. Il progredire della ricerca, comunque, ha mostrato che questi colori sono dovuti alla presenza di straordinarie e piccolissime microstrutture, che sono difficilmente realizzabili perfino attraverso le ultramoderne nanotecnologie. Fondamentalmente la maggior parte dei colori strutturali hanno origine da processi ottici rappresentati da interferenze singole e multiple, diffrazioni reticolari, cristalli fotonici, scattering della luce e così via. Comunque, per accrescere la capacità percettiva degli occhi, gli esseri naturali hanno sviluppato diversi sistemi, nel corso dell'evoluzione per soddisfare simultaneamente una maggiore riflettività in un range specifico di lunghezza d'onda e la generazione di luce diffusiva in un ampio range angolare. Queste due caratteristiche, che sembrano essere in contraddizione tra loro nel comune senso ottico, sono solo, apparentemente in conflitto poiché derivano dalla combinazione appropriata di regolarità ed irregolarità della struttura.

2.10 Colore Animale E Vegetale.

Nelle piante la colorazione dipende dalla presenza di pigmenti prodotti dagli stessi organismi. Un pigmento è una qualsiasi sostanza

che assorbe luce. Alcuni pigmenti assorbono luce di qualsiasi lunghezza d'onda e appaiono neri; altri, invece, assorbono la luce solo a particolari lunghezze d'onda, trasmettendo o riflettendo la luce di altre lunghezze d'onda e risultano colorati. I principali pigmenti presenti nel mondo vegetale sono:

- CLOROFILLA →a
→b
→c
→d
- CAROTENOIDI →carotenoidi
→xantofille
→acidi carotenici
- FICOBILINE
- FLAVONOIDI
- ANTOCIANINE
- TANNINI
- CHINONI

Nelle piante i vacuoli rivestono la funzione di siti di accumulo di alcuni pigmenti. I colori blu, viola, rosso porpora, rosso scuro e scarlatto di alcune cellule vegetali sono dovuti alle antocianine, le quali, a differenza della maggior parte degli altri pigmenti vegetali, sono solubili in acqua e disciolte, dunque, nel succo vacuolare. Le antocianine danno il colore rosso e blu a molti ortaggi (ravanello, rapa e cavolo), ai frutti (come uva, ciliegie) e molti fiori (come geranio, fiordaliso, rosa e peonia). Talvolta questi pigmenti riescono a mascherare la clorofilla, come accade nell'acero rosso, e danno il

colore caratteristico alle foglie in autunno. Questi pigmenti si formano nei luoghi soleggiati in risposta al freddo, bloccando la produzione di clorofilla che degradandosi dà la possibilità alle antocianine di rivelarsi. Nelle foglie che non formano pigmenti antocianinici alla degradazione della clorofilla subentrano i carotenoidi già presenti nei cloroplasti

Per gli animali i colori sono una specie di segnaletica, un travestimento per andare a caccia senza problemi, un mezzo per spaventare i predatori, un richiamo sessuale.

I loro colori e le loro sfumature sono dovuti sia al fenomeno di assorbimento della luce ad opera di composti chimici detti pigmenti (chiamati anche biocromi) sia a fenomeni fisici (i colori fisici vengono detti schemocromi). I fenomeni di dispersione, di interferenza, e di diffrazione della luce sono alla base di quello che è il colore fisico. Le entità ottiche che la natura costruisce con incredibile perfezione possono essere costituite da particelle, microscopici prismi, reticoli, striature, strati sottili, cavità. Uno dei colori più belli di origine fisica che si incontra nel mondo animale è il BLU, prodotto dalla diffusione della luce. Il blu delle ali delle farfalle, ad esempio, è il risultato di una microscopica struttura nervata presente su ogni singola scaglia dell'ala; queste nervature sono spaziate in modo tale da produrre la diffusione di luce azzurra. Ma la diffusione, e quindi la tonalità, varia a seconda dell'angolo di riflessione o dell'angolo di visuale; il colore dunque è iridescente. Lo stesso vale per la cuticola blu degli insetti e per i colori caleidoscopici della coda del pavone: le penne di questo uccello sono costituite da un minuscolo reticolo di filamenti neri che diffondono la luce come le nervature delle farfalle. La luce è diffusa

con maggiore intensità quando i corpi che la diffondono sono di misura paragonabili alla lunghezza d'onda della radiazione.

I pigmenti che determinano il colore chimico negli animali sono principalmente: CAROTENOIDI e MELANINE. Le melanine si generano a partire da diversi precursori come la DOPA, la cisteinil DOPA, il Triptofano. Una azione combinata di questi precursori può contribuire alla varietà e tonalità dei colori

BIBLIOGRAFIA

Raven P.H, Everet R.F, Eichoran S,E: **“Biology of Lands”**, fourth Edition, Worth Publishes, New York,1986, TR.IT.G. Aliotta, R. Castaldo, Biologia delle piante, 5° Ed. Italiana, Zanichelli, Bologna,1990.

P.Ball: **“Colore,una biografia”**

J.Itten: **“The elements of Colour”**, Van Nostnds reinold, New York 1970

Brustain, Manlio: **“Storia dei Colori”**, Einaudi, Torino 1999

Goethe,J Wolfgang Von: **“La teoria dei colori”**, Il Saggiatore, Milano

Klausbernd Vollmar: **“Colori”** TR,IT V, Chiarlo, red edizioni, Novara(2003)

Ann Hill: **“A visual Enciclopedia of Unconventional Medicine”**, 1978 Trawn Coplestone Publishing Ltd London. TR.IT: F.Saba Sardi, Enciclopedia della medicina alternative, Edizioni Euroclub Italia S.p.a-Bergamo

M.Riva: **“Approfondimenti: il colore degli elementi e la sua misurazione”**. DISTAM, Università di Milano

M.Ciani,C,Zamberlain: **“Basi fisiche del colore”**

R.Calanca: “**Gli attributi dei colori e la loro rappresentazione grafica**”

N. DI Mauro: “**Informatica Applicata al tessile**”, Università degli Studi di Bari – A.A. 2006-2007

R.Pratesi: “**Interazione Radiazione ottica-biomateria**”-
Dipartimento di Fisica, Università di Firenze

C.Oleari: “**Spettroscopia ottica e colorimetria applicata**” –
Dipartimento di Fisica (INFM), Università di Parma

M.Piccolino e A.Navangone: “**Un sistema sensoriale ad alte prestazioni. La retina dei vertebrati**”.

M.S.Moreolo :”**Cristalli fotonici**”. Università degli Studi di Roma Tre – Corso di Laurea in Ingegneria elettronica

D.Marr: “**La Visione**”

M.A.Fox. J.K.Whitecell: “**Organic Chemistry**”, Second Edition 1997,
Jones and Bartlett Publishers International George Thieme Verlag,
Stuttgart- New York. Chimica organica,1997, EdiSES s.r.l. Napoli

T.W. Graham Solomons: “**Chimica Organica**”, Seconda Edizione
Italiana

L'Universale, La Grande Enciclopedia Tematica. - Le Garzantine 2003
“Scienze”

SITI INTERNET CONSULTATI:

<http://www.di.unito.it>

<http://www.dsi.unive.it>

<http://www.uv3.uniroma1.it>

<http://www.diodati.org.it>

<http://www.munsell.com>