

COSA SUCCEDDE QUANDO GUARDIAMO



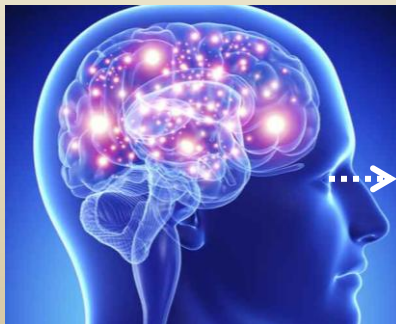
Installazione di
Vittorio CORSINI
a Peccioli (PISA)

Ultimo capitolo de “I FENOMENI LUMINOSI”

COSA SUCCEDE QUANDO GUARDIAMO

SOMMARIO

1. INTRODUZIONE
2. IL MONDO ESTERNO ILLUMINATO
3. L'INTERFACCIA FRA FUORI E DENTRO: L'OCCHIO
4. IL MONDO INTERNO
5. CONSIDERAZIONI FINALI



1 - INTRODUZIONE

Nel primo di questi articoli (“QUANTE RELTÀ”- feb. 2018) si dichiarava l’intenzione di indagare il meccanismo con cui l’uomo percepisce il mondo esterno. Ci si proponeva cioè di esplorare il nostro SISTEMA VISIVO: le modalità con cui le informazioni provenienti dagli organi di senso (OCCHIO) vengono elaborate dall’organo centrale (CERVELLO).

Il percorso seguito ci ha portato a giocare con le illusioni ottiche, esaminare cosa sia il colore dal punto di vista scientifico e anche dal punto di vista delle scienze umane (psicologia e antropologia), studiare la luce e i fenomeni luminosi confrontando le scoperte scientifiche con le indicazioni dei testi sapienziali.

Ora ci predisponiamo a concludere questa panoramica che non ha la pretesa di fornire risposte quanto piuttosto di essere stimolo per i curiosi e di suscitare interrogativi. E lo facciamo ritornando all’inizio del cammino: ci sembra importante “chiudere il cerchio” con una riflessione, un po’ più approfondita di quanto già fatto precedentemente, proprio sul funzionamento del nostro SISTEMA VISIVO.

L’uso continuo e quotidiano del nostro apparato percettivo ci rende distratti rispetto alle meraviglie che possediamo, disattenti rispetto ai fenomeni miracolosi che avvengono continuamente nel nostro interno.

Suggeriamo una riflessione di consapevolezza.

Note utili per la lettura

In questo lavoro saranno scritte su FONDO AZZURRO tutte le informazioni di carattere scientifico o comunque tecnico.

Saranno invece scritte su FONDO GIALLO tutte le osservazioni e i commenti personali.

2 - IL MONDO ESTERNO ILLUMINATO

Ritorniamo su argomenti già presentati: non ce ne voglia il lettore attento e di buona memoria se vengono ripetuti concetti precedentemente esposti. Alcune considerazioni richiedono di riprendere il relativo contesto, inoltre ... *repetita iuvant*.

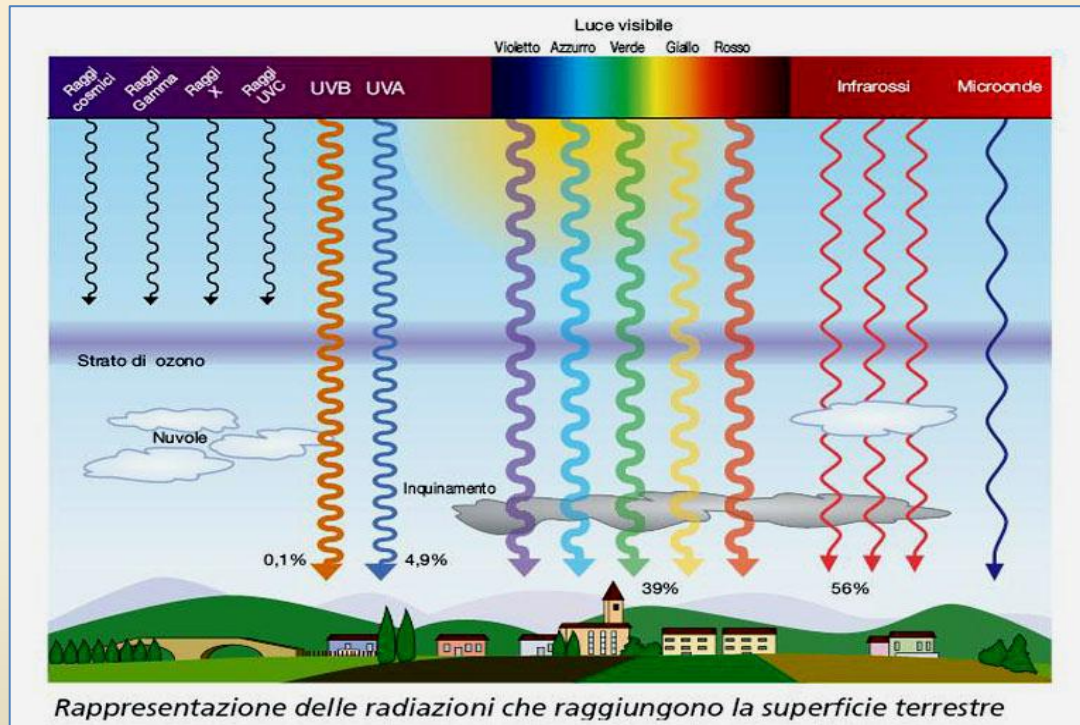
Il Sole, come un'immensa fornace, emette continuamente una radiazione intensissima di energia in tutto lo spazio che lo circonda. Di questa immensa quantità di energia la Terra riceve una porzione veramente minuscola. Si calcola che di tutta la radiazione che il Sole emette la Terra riceve una quantità pari a circa $\frac{1}{2}$ miliardesimo del totale. Insignificante rispetto al Sole, determinate per la Terra.



Grazie alla rotazione che la Terra compie attorno al proprio asse, l'energia ricevuta dal Sole viene "dosata" cioè distribuita con regolarità su tutta la superficie. Se la Terra non ruotasse il giorno durerebbe 6 mesi e la faccia illuminata diverrebbe rovente, con temperature inammissibili per la vita. Anche la notte, di identica durata, condizionerebbe la faccia in ombra con un totale congelamento a temperature bassissime.

Inoltre ricordiamo di sfuggita che l'inclinazione dell'asse di rotazione rispetto al piano dell'eclittica (di $23^{\circ} 27'$) produce l'effetto ciclico che chiamiamo stagioni, con una utile successione di eventi climatici che presentano un'inversione fra i due emisferi.

L'energia che la terra riceve dal Sole arriva sotto forma di radiazioni elettromagnetiche, e anche di altro. Le radiazioni non deviate dal campo magnetico terrestre (Fasce di Van Allen) sono filtrate o addirittura bloccate dall'atmosfera; e questo è provvidenziale poiché alcune possiedono una energia così elevata da renderle fortemente ionizzanti, per cui assai dannose per la vita della biosfera. Altre giungono invece fino alla superficie della Terra e sono la fortuna del Pianeta.

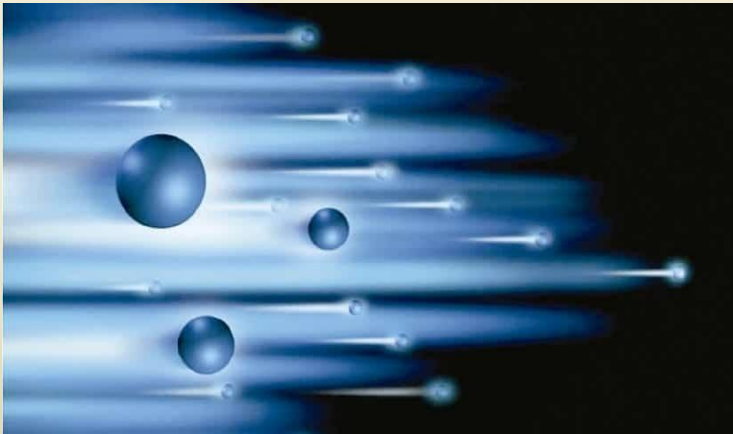


Infatti, grazie al filtro selettivo dell'atmosfera, la luce del Sole fa vivere la Terra. Ogni forma di vita presente sulla Terra, viene mantenuta dal flusso energetico solare che penetra nella biosfera; l'energia utilizzata per la formazione ed il mantenimento di tutta la biomassa è l'1% della radiazione totale in arrivo.

Continuiamo a provare meraviglia nel considerare che un insignificante briciola dell'immensa energia regalata dal Sole, grazie al filtro intelligente dell'atmosfera, diventa la "Luce": l'alimento necessario e sufficiente alla Vita della Terra.



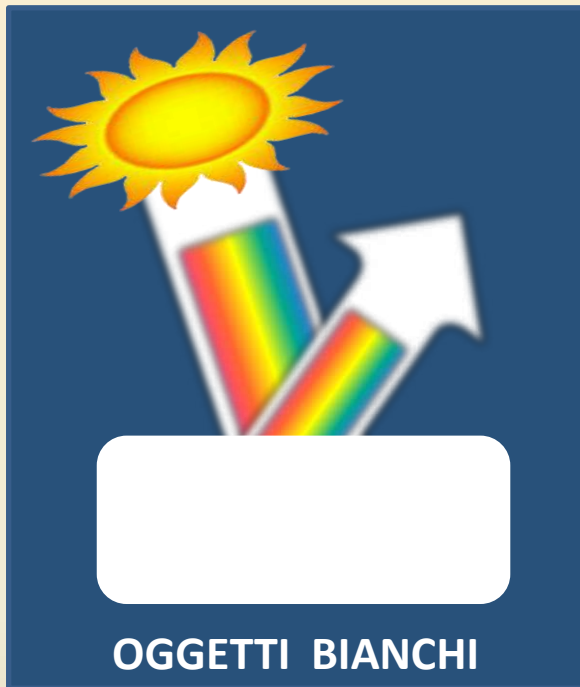
Questa luce, che ai nostri occhi risulta bianca, in realtà è composta da infiniti raggi che ci appaiono come molteplici sfumature di colori: dal rosso vermiglio fino al violetto (vedi esperimento del prisma di Newton del 1665). A ciascuno di questi raggi è associata una particella chiamata **fotone**: è un *quanto* di energia elettromagnetica relativo alla radiazione specifica.



Fu chiamato *quanto di luce* all'inizio del secolo scorso allorché si capì che la radiazione elettromagnetica non fluisce in modo continuo, bensì in piccolissimi *pacchetti* separati. L'intuizione teorica di Max Plank del 1900 fu confermata, pochi dopo, da A.Einstein con l'esperimento dell'Effetto Fotoelettrico che gli valse il premio Nobel.

I fotoni - per noi assolutamente invisibili - che, superata l'atmosfera, arrivano sulla superficie della Terra illuminano ogni cosa. L'oggetto materiale che viene illuminato diffonde a sua volta luce nello spazio circostante.

Ciascun oggetto reagisce alla luce con un comportamento suo proprio. Alcuni oggetti assorbono pochissimi fotoni e ne riflettono la maggior parte: li chiamiamo BIANCHI. Altri assorbono quasi tutta l'energia che ricevono: li chiamiamo NERI. Infine ci sono quelli che assorbono selettivamente i fotoni di una certa energia (o di una gamma di energie) e riflettono tutti i rimanenti: questi sono gli oggetti che chiamiamo COLORATI



Il meccanismo del COLORE è complesso e dipende da 4 fattori:

1. **L'oggetto illuminato** (ovviamente)
2. **La qualità della luce** (una luce monocromatica rossa farà apparire nere le foglie "verdi")
3. **Il soggetto che osserva** (cane, gatto o cavallo non vedono il rosso; gli insetti vedono gli UV)
4. **L'ambiente circostante l'oggetto**: il colore dello sfondo crea una dominante che altera il colore percepito dell'oggetto (come descritto già da Goethe nella sua *Teoria del colore* -1810).

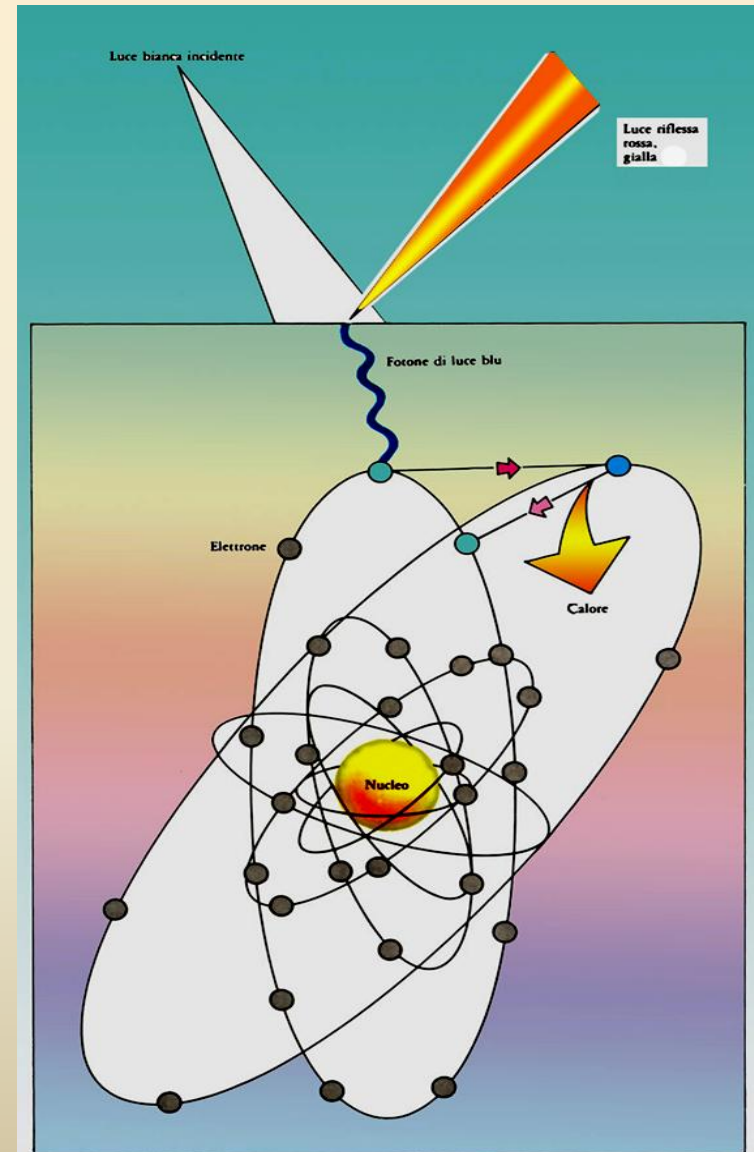
In questo lavoro tralasciamo per brevità i punti 2 e 4, e ci concentriamo sul punto 1, cioè **l'oggetto illuminato**, che, insieme alla luce, è il protagonista del “mondo esterno”, e sul punto 3, cioè **il soggetto che osserva**, sede del “mondo interno”.

L' OGGETTO ILLUMINATO

Il fotone che illumina un oggetto ne colpisce gli atomi esterni; qui incontra la nube di elettroni che circonda il nucleo, piccolo e denso.

Quando il fotone urta un elettrone periferico che abbia la capacità di assorbire l'esatta sua quantità di energia, annullandosi, la cede all'elettrone, il quale, eccitato, cioè spinto dalla nuova energia, salta su un'orbitale superiore. Qui però trova l'area già occupata da elettroni con identiche caratteristiche e, per il Principio di esclusione di Pauli (siamo nella Fisica Quantistica), deve ritornare nella sua sede: lo fa cedendo, sotto forma di calore, il quid di energia ricevuto dal fotone. L'atomo si riscalda così in funzione dei fotoni assorbiti (vedi figura a lato).

Tutti gli altri fotoni (le cui energie luminose hanno valore diverso dalla capacità recettiva dell'elettrone) non vengono utilizzati dall'oggetto che, correttamente, li restituisce allo spazio da cui provengono.



Nell'esempio della figura precedente è rappresentato un atomo che assorbe i fotoni della gamma del colore BLU e restituisce allo spazio quelli della gamma dei colori ROSSO e GIALLO: ne risulta che l'osservatore riceve il colore complessivo cioè l'ARANCIO.

OSSERVAZIONE N°1:

Questo meccanismo sta alla base del nostro "vedere" per cui dobbiamo essere grati alla LUCE se possiamo muoverci con sicurezza nello spazio e se riusciamo a comprendere il mondo che ci circonda e, soprattutto, se sulla Terra esiste la Vita, e noi con essa.

OSSERVAZIONE N°2:

Nei fenomeni foto-chimici sopra descritti è da sottolineare la coincidenza dei valori di energia. La capacità di ricezione dell'elettrone deve essere assolutamente identica alla quantità di energia del fotone in arrivo, affinché nulla vada sprecato. Se non esiste questa coincidenza non c'è scambio di energia fra fotone ed elettrone; per cui non c'è assorbimento del fotone da parte dell'atomo, cioè dell'oggetto.

Dobbiamo concludere che tutte le radiazioni elettromagnetiche le cui energie non trovano corrispondente identica capacità recettiva non risultano "utili" alla vita dell'oggetto, per cui vengono restituite allo Spazio da cui provengono.

La Natura non spreca nulla; non ci sono rifiuti nel Cosmo.



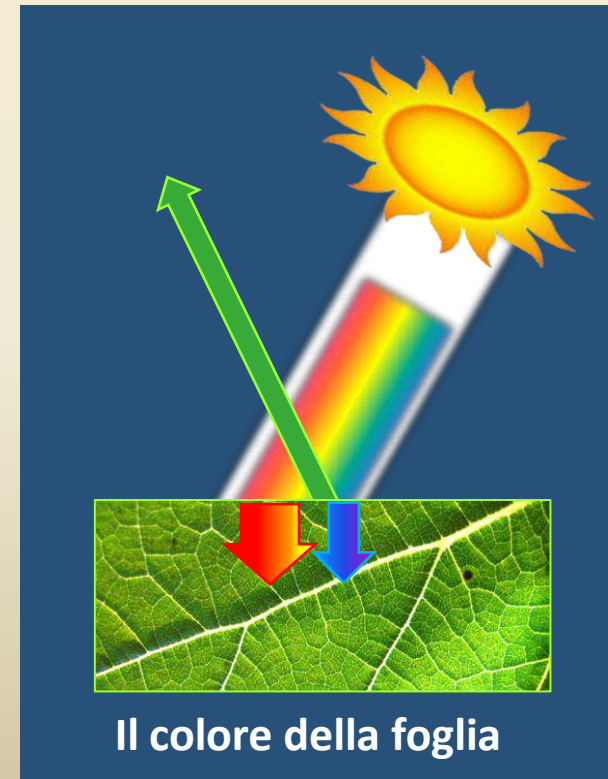
Dobbiamo ancora dedicare attenzione ad un aspetto relativo al “mondo esterno” prima di passare al capitolo successivo.

Cosa vede un osservatore quando raggi di luce “bianca” illuminano un oggetto, per es. una foglia? L'osservatore vede la foglia di colore VERDE. Infatti, dei moltissimi fotoni che arrivano alla foglia, tutti quelli con energia pari alla radiazione rossa (gamma del colore rosso) e alla radiazione blu (gamma del colore blu) vengono assorbiti dai cloroplasti (che così hanno il carburante necessario ad attivare la fotosintesi clorofilliana), mentre quelli VERDI vengono restituiti NON UTILIZZATI, per cui diffusi e irraggiati nell'ambiente. Perciò visibili anche dagli occhi dell'osservatore.

La situazione appare curiosa se non strana (vedo il verde, ma la “realtà” della foglia è rosso-blu), ma è confermata dalle colture con luce artificiale. In Svezia e in Islanda grandi serre producono in tutti i mesi dell'anno frutta e verdura fresca con luce artificiale. Analogamente sulla ISS (Stazione Spaziale Internazionale) da anni vengono coltivati ortaggi per alimentazione degli astronauti con il sistema idroponico.



In entrambi i casi vengono utilizzati pannelli con lampade solamente rosse e blu. In molti casi sono registrati ortaggi addirittura migliori di quelli da agricoltura tradizionale.



Il colore della foglia

OSSERVAZIONE N°3:

L'oggetto illuminato reagisce alla radiazione elettromagnetica che lo illumina secondo la legge della Risonanza. Dei molteplici elettroni che circondano il nucleo si eccitano soltanto quelli che risuonano, cioè sono in perfetta sintonia, con l'energia dei fotoni incidenti. Ciò avviene con analogia a quanto succede in campo acustico: una corda di pianoforte, non smorzata, si mette a vibrare con la stessa nota emessa dal soprano lirico. Per cui quando osservo un paesaggio dai mille colori devo pensare che ogni singolo componente del paesaggio sia risonante con l'energia di uno degli infiniti raggi del Sole, e diventi uno strumento partecipe e attivo di una grande, immensa sinfonia cosmica. Tutti gli oggetti illuminati suonano in una grande orchestra offrendo la propria specifica nota all'armonia globale.

E qui cessa l'analogia con il mondo del suono. Se ascolto una grande orchestra percepisco l'insieme armonico di moltissime note musicali, ma mi diventa difficile isolare e distinguere la nota emessa da uno strumento particolare, per es. il terzo violino della seconda fila.

Al contrario nel mondo della luce. Se osservo un panorama devo riflettere sul fatto che sto guardando infiniti oggetti materiali i cui atomi diffondono nello spazio, in tutte le direzioni, infiniti raggi luminosi (le radiazioni restituite in quanto non assorbite). Lo spazio fra me e il paesaggio è un oceano zeppo di miriadi e miriadi di raggi luminosi e io posso distinguere il colore di ogni singolo punto all'interno di quel paesaggio. Posso individuare con esattezza (entro la capacità risolutiva della mio occhio) il singolo raggio proveniente da ogni singolo punto.

La luce disegna con precisione geometrica ogni oggetto: anche muovendomi e spostando il mio punto di osservazione posso sempre ricevere un raggio da quel singolo punto. I raggi restano definiti, non si mescolano, non si confondono.

Desto meraviglia il fatto che ciascun fotone di ogni singolo raggio incroci continuamente, nel suo percorso, infiniti altri fotoni senza interferire minimamente, senza deviare dalla sua traiettoria che resta perfettamente rettilinea.

E questa coesistenza senza reciproco disturbo avviene sempre, sia quando ci troviamo in uno spazio angusto (tipo le vecchie cabine telefoniche), sia, soprattutto, quando lo spazio è infinito, per esempio quando osserviamo il cielo.



Questo secondo caso è tanto più sorprendente se consideriamo che il “nostro” fotone (quello che entra nella nostra pupilla) si è incrociato infinite volte con fotoni di caratteristiche fisiche enormemente più potenti, con energia fino a 10^{22} volte più alta: i raggi cosmici.

È un incredibile scenario che ci lascia senza fiato per la meraviglia!

OSSERVAZIONE N°4:

Il raggio di luce non si vede. Si vede solo la luce riflessa dall'oggetto illuminato. L'affermazione può sembrare sorprendente, ma è esperienza di tutti vedere di notte la Luna piena illuminata e non scorgere assolutamente i raggi del Sole che la illuminano.

(vedi: "Le qualità della Luce"- <https://blog-it.theplanetarysystem.org/2021/08/10/le-qualita-della-luce/>)

Il fatto su cui ci sarebbe molto da riflettere è proprio questo: la Luce non si vede, è sottile, impalpabile, leggera, eterea e, per rendersi visibile ha bisogno di un oggetto di materia concreta, opaca, pesante su cui urtare. Quasi un'allegoria del Bene che ha bisogno del Male per essere apprezzato? L'allegoria di un mondo trascendente invisibile che richiede per equilibrio un mondo manifesto concreto? Precisiamo che

l'unico raggio di luce che vediamo è quello che colpisce la nostra retina."Vediamo" il raggio che entra nella pupilla e colpisce la retina, ma non vediamo assolutamente quello che colpisce la nostra palpebra.

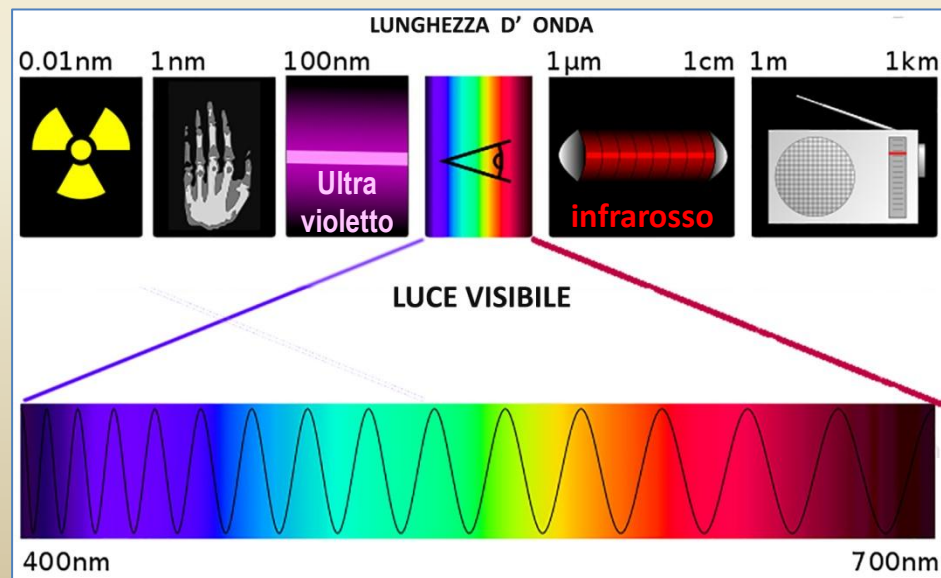


Per cui l'"Uomo invisibile" in realtà è impossibilitato a vedere: se anche la retina del suo occhio è invisibile significa che è trasparente per cui il raggio di luce la attraversa senza produrre alcuna azione. La sua retina deve diventare opaca, densa, concreta: solo così il raggio di luce viene percepito, e produce effetto.

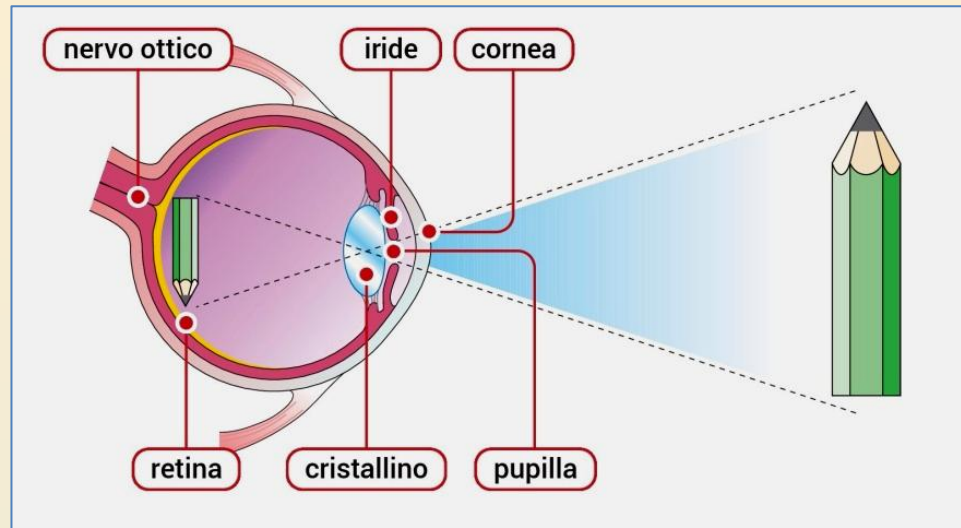
L' esempio ripreso dalle fiabe per bambini rende l'idea della necessità di un mondo visibile, concreto, pesante per percepire la presenza e l'azione di un mondo sottile, impalpabile, invisibile.

3 - L'INTERFACCIA FRA IL FUORI E IL DENTRO: L'OCCHIO

Il mondo esterno all'uomo è completamente e continuamente percorso e attraversato in ogni direzione da fotoni (radiazioni elettromagnetiche) irraggiati dalle sorgenti luminose cui si sovrappongono quelli diffusi dagli oggetti illuminati. Alcuni fotoni non sono visibili al nostro occhio, ma in qualche modo li percepiamo grazie alla loro energia, cioè alla loro capacità di causare degli effetti. I raggi **Infrarossi** ci provocano la sensazione di calore, quelli **Ultravioletti** addirittura causano l'irritazione dell'epidermide inizialmente avvertita come abbronzatura: questa è la difesa della pelle che aumenta la melanina, pigmento scuro che protegge i tessuti sottostanti dall'eritema solare. I raggi **visibili** (cioè i fotoni relativi alle radiazioni visibili), quando entrano nella pupilla, vengono percepiti come "colore". È questo il momento in cui i fotoni del mondo esterno provocano stimoli interni al nostro organismo. L'occhio è il nostro "sensore" in cui avviene lo scambio di informazioni da fuori a dentro. Non ce ne faremmo nulla della Luce se non avessimo l'occhio (frase da titolo giornalistico, ma valida ai nostri fini).



L'OCCHIO è paragonabile ad una macchina fotografica che riceve i fotoni dall'esterno e registra sulla retina un'immagine di quanto sta fuori. Come in tutte le macchine fotografiche, telecamere ecc. l'immagine di ciò che si trova all'esterno viene proiettata rimpicciolita, capovolta e invertita sulla retina (lato destro al posto del sinistro e i piedi al posto della testa).

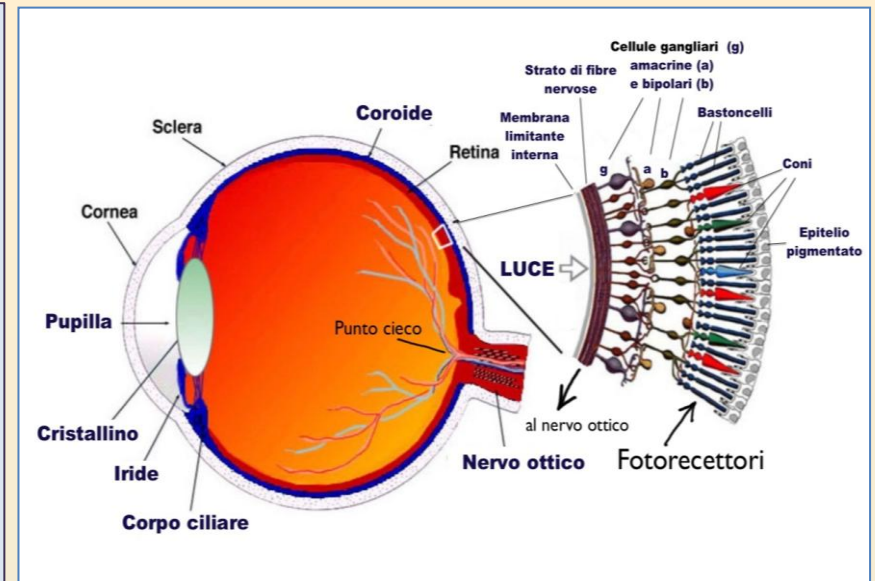


OSSERVAZIONE N°5:

Il nostro cervello raddrizza e inverte l'immagine proveniente dalla retina degli occhi. Dobbiamo ritenere che questo sia un meccanismo innato e non derivato dall'esperienza altrimenti per un neonato sarebbe difficile e lungo il percorso esperienziale per acquisire questa capacità.

L'occhio umano (uguale a quello degli organismi superiori) regola l'intensità (= la quantità) dei raggi luminosi mediante l'IRIDE che allarga o restringe il foro della PUPILLA; inoltre, per mezzo del CRISTALLINO, mette a fuoco l'immagine esattamente sul piano della retina focalizzando i raggi al centro in una piccola conca, denominata FOVEA, dove è massima la nostra acutezza visiva.

L'IRIDE (l'area colorata che circonda il foro della pupilla) corrisponde al diaframma della fotocamera: si restringe fino ad un diametro di 2 mm per ridurre la quantità di luce quando è eccessiva, e si allarga fino a 8 mm di notte quando ce n'è pochissima: la variazione del diametro di 4 volte corrisponde ad una variazione dell'area di passaggio di 16 volte, con conseguente aumento (o riduzione) del fascio luminoso di 16 volte. È una variazione insignificante se paragonata alla sensibilità dell'occhio (luminosità da 1 a 1 miliardo), ma è utile soprattutto per migliorare la messa a fuoco.



Subito dietro l'iride si trova il CRISTALLINO, che è l'obiettivo. Una lente perfetta: riesce a mettere a fuoco anche gli oggetti vicini senza allontanarsi (o avvicinarsi) alla retina, ma semplicemente variando la curvatura della propria superficie grazie all'azione del muscolo ciliare. In realtà il sistema ottico è costituito anche dalla CORNEA, potente lente anteriore formata dalla membrana fibrosa che avvolge tutto il bulbo oculare e che si chiama sclera. La sclera (che è di colore bianco: il "bianco dell'occhio") nella parte anteriore diventa trasparente (infatti lascia vedere il colore dell'iride) e svolge anche la funzione di proteggere il cristallino. Dal punto di vista ottico la cornea (lente divergente) abbinata al cristallino (lente convergente) costituiscono un obiettivo acromatico cioè in grado di eliminare le aberrazioni cromatiche provocate dai raggi di differenti colori. In altre parole proietta sulla retina un'immagine nitida, senza aloni colorati ai contorni.

OSSERVAZIONE N°6:

È da notare che il cristallino e la cornea sono completamente isolati dal sistema sanguigno circolatorio, per cui la sostituzione chirurgica è assolutamente priva di rigetto poiché non sono presenti gli anticorpi del sistema immunitario.

Curiosità: il cristallino è l'unico organo del corpo umano che oltre a essere composto da cellule completamente trasparenti (la cornea al contrario è fatta da lamelle di collagene) cresce in continuazione: le cellule non si rigenerano; quelle morte rimangono in sede per tutta la vita, vuote (per continuare a essere trasparenti) ma sempre presenti. Si valuta che a 90 anni il cristallino abbia quadruplicato lo spessore!

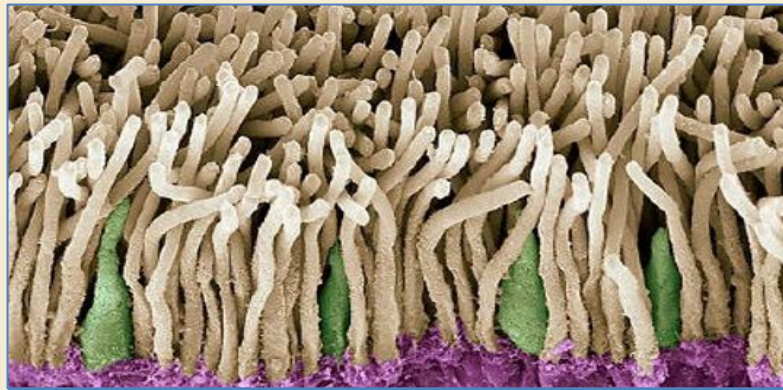
Il bulbo oculare è riempito di UMOR VITREO, gelatinoso e trasparente, la cui pressione (circa doppia di quella esterna) mantiene tesa la sclera nella sua forma sferica. Il bulbo oculare presenta sul fondo (cioè nella parte opposta alla pupilla) la retina che è il tessuto fotosensibile. L'altra parte della superficie interna, quella che non è occupata dalla retina, è chiamata coroide e si presenta di colore nero per evitare riflessi di luce interni che disturberebbero la visione. Come nell'interno delle macchine fotografiche.

OSSERVAZIONE N°7:

Nelle persone affette da albinismo la mancanza di melanina (facilmente visibile nei capelli, nella pelle, nelle ciglia) si estende anche alla coroide; per cui gli occhi degli albinisti hanno molti riflessi interni di luce spuria che rendono difficile la visione dettagliata. Gli occhiali scuri utilizzati dagli albinisti riducono i riflessi dannosi senza annullarli, ma contemporaneamente scuriscono anche la visione utile.

I raggi luminosi, modulati da iride e focalizzati dal cristallino, giungono sulla RETINA che riveste il fondo del globo oculare. La retina è un tessuto a più strati nell'ultimo dei quali sono situati i FOTORECETTORI: le cellule sensibili alla luce.

Nell'uomo sono di 4 tipi: 3 tipi di CONI e 1 tipo di BASTONCELLI. I coni sono in quantità di 6 - 7 milioni quasi tutti concentrati nella fovea cioè l'areola centrale all'asse visivo del globo oculare, e diventano sempre più radi man mano che ci si allontana dalla fovea. I bastoncelli sono circa 120 milioni distribuiti a partire dal contorno della fovea e sempre più fitti verso la periferia, verso l'area comunemente chiamata "coda dell'occhio".



CONI evidenziati in colore VERDE

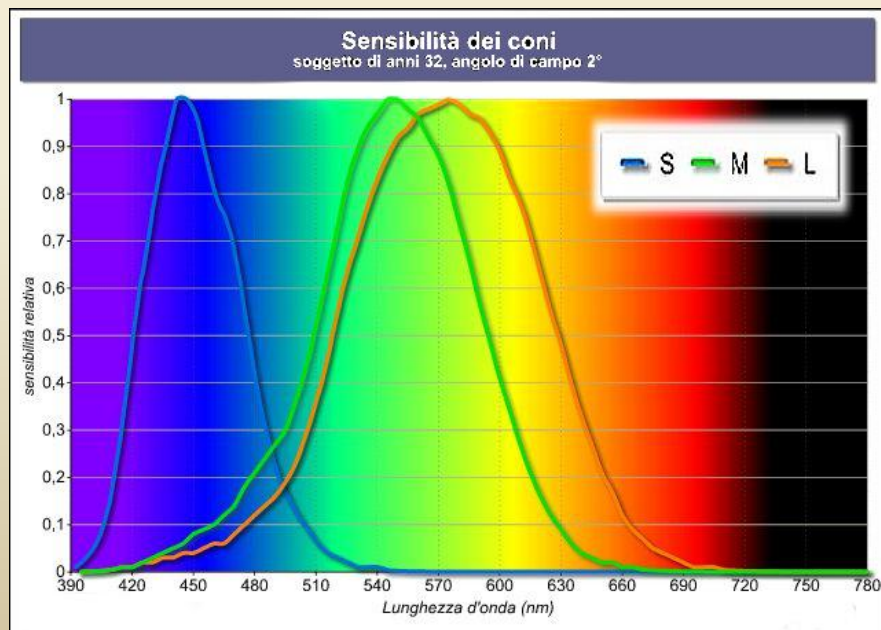
I BASTONCELLI sono molto sensibili, ci servono nella visione notturna e in tutte le situazioni di penombra o di poca luce. Sono sufficienti da 1 a 5 fotoni per attivarli, ma questa sensibilità si paga con l'incapacità di "misurare" l'energia del fotone ovvero la lunghezza d'onda della radiazione luminosa, in altre parole: i bastoncelli non distinguono i colori.

Questo limite fisiologico è all'origine del famoso detto "Di notte tutti i gatti sono bigi". Inoltre per reagire con pochissima luce sono collegati a gruppi: questo fatto comporta un'alta imprecisione nel distinguere i dettagli dell'oggetto. Per cui non siamo nemmeno sicuri che l'ombra bigia sia un gatto.

I CONI invece richiedono almeno 500 fotoni per essere attivati (per cui li utilizziamo normalmente di giorno e in tutte le situazioni di luce vivida) e si distinguono nei tre tipi già accennati: i coni “L” sensibili alle radiazioni della banda del **ROSSO**, quelli “M” sensibili alle radiazioni della banda del **VERDE** e quelli “S” sensibili alle radiazioni della banda **BLU- VIOLA**.

Da questa descrizione si evince che i colori-base della **LUCE** sono **tre**: il **ROSSO**, il **VERDE** e il **BLU**, come già aveva compreso per via teorica il fisico J.C.Maxwell nel 1855.

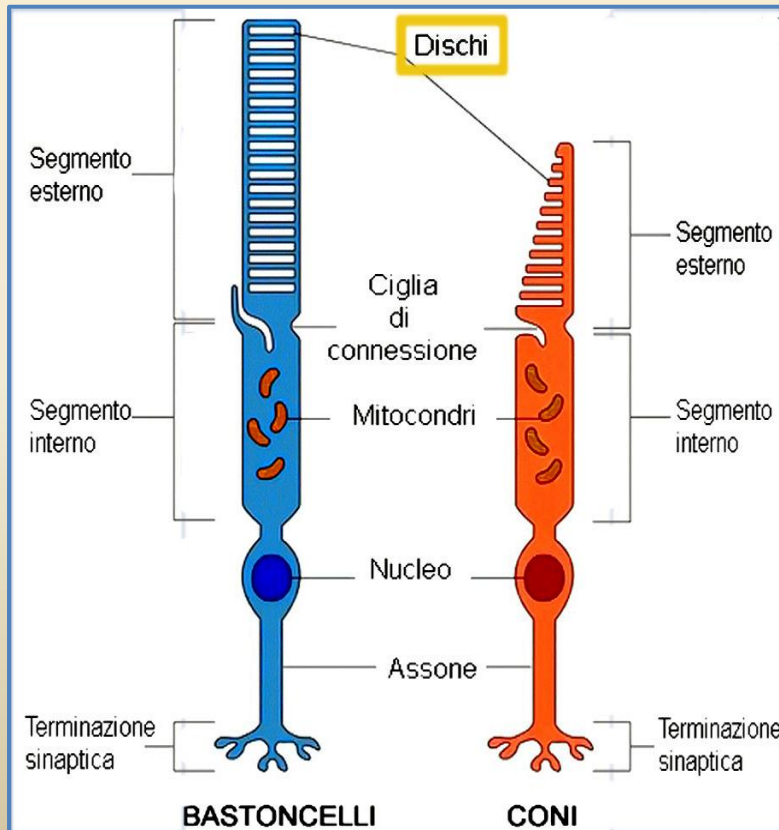
Da non confondere con i colori-base dei pigmenti che sono, come tutti sanno, il rosso, il giallo e il blu (lo vediamo nelle stampanti dei computer dove le cartucce sono caricate rispettivamente con inchiostro magenta (un rosso carminio molto chiaro), inchiostro giallo e ciano (un azzurro chiaro). Ma qui stiamo parlando di radiazione elettromagnetica, di luce e non dei pigmenti colorati che usano i pittori. Tutte le innumerevoli sfumature di colore che percepiamo sono il risultato di una fusione delle risposte che i tre tipi di coni forniscono quando ricevono un medesimo stimolo luminoso.



CONI L = **ROSSO**
CONI M = **VERDE**
CONI S = **BLU- VIOLA**

Notiamo che, nel regno animale, i gufi che vivono di notte hanno solo bastoncelli, al contrario galline e piccioni hanno solo coni: si ritirano all'imbrunire, che, per loro, risulta essere già "notte".

Altri animali per es. cani, gatti, cavalli, ecc. pur avendo un occhio simile al nostro, hanno solo coni di due tipi: manca loro quello "L" sensibile al rosso per cui la loro visione ipoteticamente si completa con un grigio verdastro.



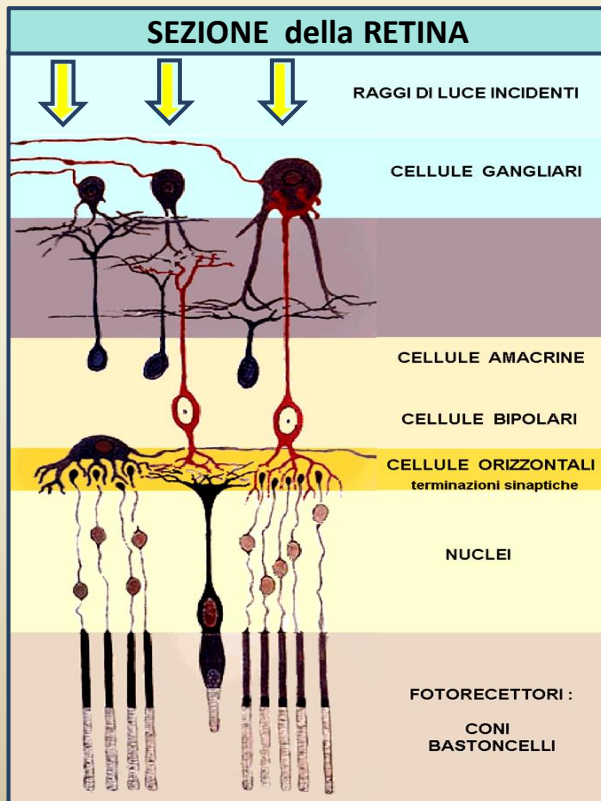
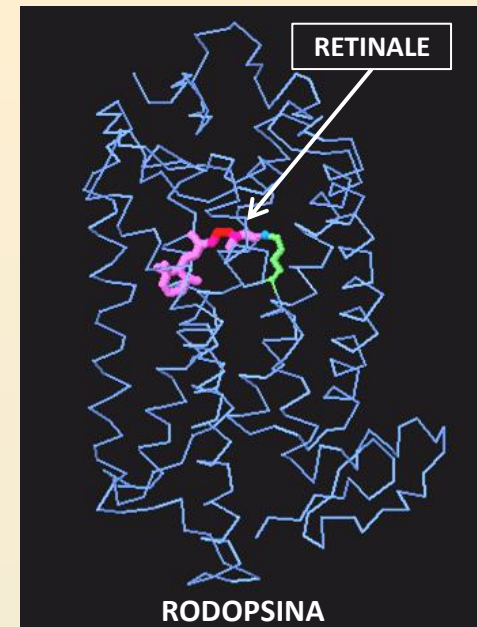
I FOTORECETTORI della retina, cioè i CONI e i BASTONCELLI, nella loro parte esterna presentano centinaia di piccoli organi di forma circolare, detti DISCHI, disposti uno sull'altro come in una pila di monetine. Questi dischi contengono nel loro interno una molecola particolare, molto lunga e arrotolata, la RODOPSINA (detta anche "pigmento visivo" oppure "porpora visiva").

Questa molecola è composta da circa 700 amminoacidi, e funziona come una cella fotovoltaica: quando riceve un raggio di luce libera un segnale elettrico (dell'ordine di 70 milli Volt) che viene trasmesso tramite il terminale sinaptico.

All'interno della rodopsina c'è il **RETINALE**: una delle molte forme della vitamina A. È il retinale ad avviare la serie di reazioni da cui scaturisce il segnale elettrico che percorrerà il nervo ottico.

I fotoni in arrivo spezzano un legame chimico instabile presente nel retinale che emette così una piccola tensione elettrica. Opportuni enzimi provvedono poi a richiudere la molecola (per riprendere il ciclo) con il tempo loro necessario: lungo per i bastoncelli e corto per i coni.

Nell'immagine di destra si vede la struttura complessiva della rodopsina, composta di sette catene verticali ad alfa elica, con al centro il retinale (colorato).



Il segnale elettrico dei fotorecettori passa, attraversando la terminazione sinaptica e tramite un piccolo nervo, alle cellule sovrastanti.

Nella **RETINA** ve ne sono di quattro tipi: **cellule orizzontali, bipolari, amacrine e gangliari**. Queste cellule sono tutte collegate fra loro per elaborare in loco i segnali (elettrici) appena prodotti dai fotorecettori.

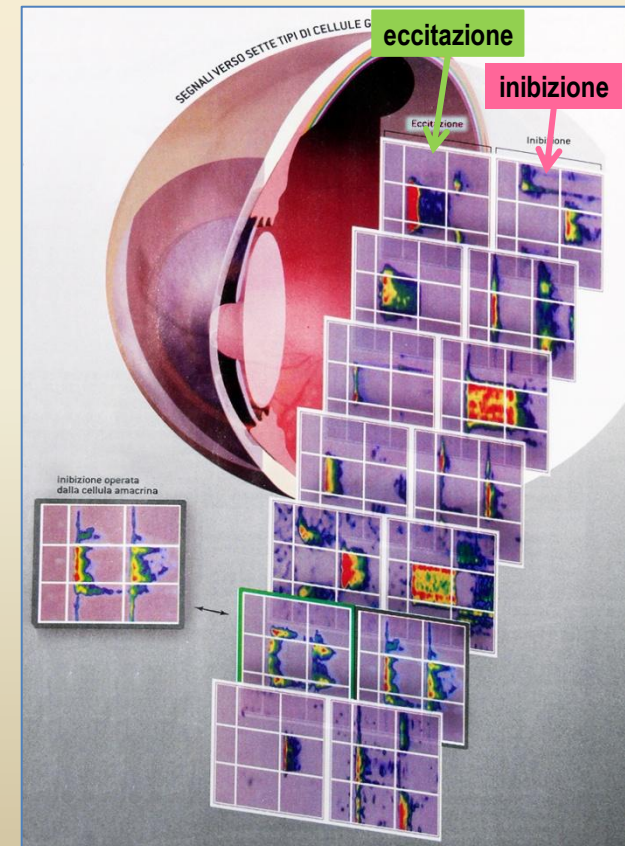
La retina è considerata dai fisiologi una parte di tessuto neuronale che dal cervello si è spostato nei globi oculari. La funzione di questi strati di cellule è quello di meglio definire gli stimoli chimico-elettrici dei fotorecettori per inviare al cervello informazioni (costituite, ricordiamo, unicamente da segnali elettrici) già elaborate con risposte parziali.

Il sistema utilizzato da tali cellule retiniche è un meccanismo di **attivazione/inibizione**. ATTIVAZIONE da parte delle BIPOLARIE e INIBIZIONE da parte delle AMACRINE. Esempio: quando un cono sensibile al rosso riceve un fotone, di radiazione rossa, produce un'attivazione in questo tessuto di cellule che, contemporaneamente, genera anche una inibizione alle cellule relative ai coni del verde. Il segnale inviato al cervello é: *"Qui c'è rosso per cui non c'è verde"*. È un rafforzativo della segnalazione che si avvantaggia di un risparmio metabolico. E ancora, in altra situazione: se un fotone colpisce il centro di un'area recettiva e un secondo fotone ne colpisce la periferia, si genera automaticamente un'attenuazione (funzione di "quasi off") dell'area centrale; questo al fine di aumentare il contrasto del soggetto nel confronto con lo sfondo.

Ricerche recenti (pubblicate nel 2005-6) condotte da Frank WERBLIN (Università della California - Berkeley (USA) e da Botond ROSKA (Friedrich Miescher Institute di Basilea - Svizzera) hanno chiarito che:

- esistono 12 tipi diversi di cellule gangliari
- queste estraggono 12 rappresentazioni distinte per ogni scena visiva e mandano a flusso continuo questi "filmati" al nervo ottico che li distribuisce a differenti regioni del cervello
- questo flusso di 12 filmati viene modulato da 27 tipi di cellule amacrine con segnali che ne coordinano le tracce

Nell'immagine di destra si vede una selezione di 7 delle 12 scene proposte dalle cellule gangliari relative ad un lampo di luce che illumina per 1 sec un quadratino di 600 micrometri. In risposta ad un evento molto semplice si verifica un'attività straordinariamente varia e di difficile interpretazione. Immagini di inibizione per la fila di DS e di eccitazione per la fila di SN.



Queste ultime scoperte hanno portato a conoscenza molte funzioni della RETINA che era già stata definita “un cervello in miniatura”. In pochi millesimi di secondo le cellule della retina proiettano verso il cervello qualcosa che potremmo definire una dozzina di “tracce” di una pellicola, ognuna delle quali è un’astrazione del mondo visivo. Una traccia, per es. contiene una specie di disegno che evidenzia i soli margini degli oggetti; un’altra corrisponde al movimento in una direzione specifica; alcune trasmettono segnali sulle sole ombre; altre sulle aree luminose. Ma molte tracce restano ancora misteriose in quanto difficili da decifrarne il significato.

OSSERVAZIONE N°8:

Le cellule della retina, di cui non sono ancora state chiarite completamente le funzioni, sono veri e propri neuroni, molto miniaturizzati rispetto quelli cerebrali, e collegati da circuiti così sofisticati la cui complessità è tale da sbigottire i neurobiologi.

La miniaturizzazione è utile per non ostacolare il percorso dei raggi luminosi che devono attraversare i vari strati di cellule prima di arrivare ai fotorecettori, ma rende difficile lo studio e l’indagine in laboratorio. Osserviamo comunque che questa porzione di tessuto neuronale grande come un francobollo svolge una funzione importantissima e vitale per l’organismo intero.

Un secondo, ma altrettanto importante, risultato dell’elaborazione di tali cellule è una forte riduzione delle informazioni da inviare al cervello. I fotorecettori, coni più bastoncelli, ammontano a circa 130 milioni, ma il nervo ottico trasporta un numero ben inferiore di informazioni dato che possiede solo 1,5 milioni di fibre nervose.

È una riduzione incredibile: come se si dovesse riassumere uno scritto con l’obbligo di concentrare 100 parole in 1 o 2 soltanto!

D’altra parte un nervo ottico che trasportasse 130 milioni di fibre avrebbe dovuto avere un diametro di circa 2 cm, impedendo completamente la mobilità del globo oculare.

OSSERVAZIONE N°9:

Sembrerebbe che una così forte riduzione di segnali comporti necessariamente una perdita di informazioni; ma in realtà il nostro sistema visivo riesce a recuperare capacità percettiva con un ingegnoso espediente: i MOVIMENTI SACCADICI.

Per spiegare le saccadi (o movimenti saccadici) dobbiamo ricordare che l'occhio ruota nella sua orbita allo scopo di focalizzare l'immagine sempre nella fovea dove la altissima concentrazione di coni ci permette la massima risoluzione (= massima capacità di distinguere dettagli molto piccoli).

L'espediente consiste nello spostare continuamente il "mirino" dell'occhio in modo da esplorare tutta l'area che attira la nostra attenzione. Una specie di scanner. Gli spostamenti sono dei veri e propri scatti velocissimi, durante i quali la ricezione visiva è sospesa: il cervello è in pausa, come se dormisse. Questi spostamenti sono intervallati da soste in cui la ricezione si attiva.

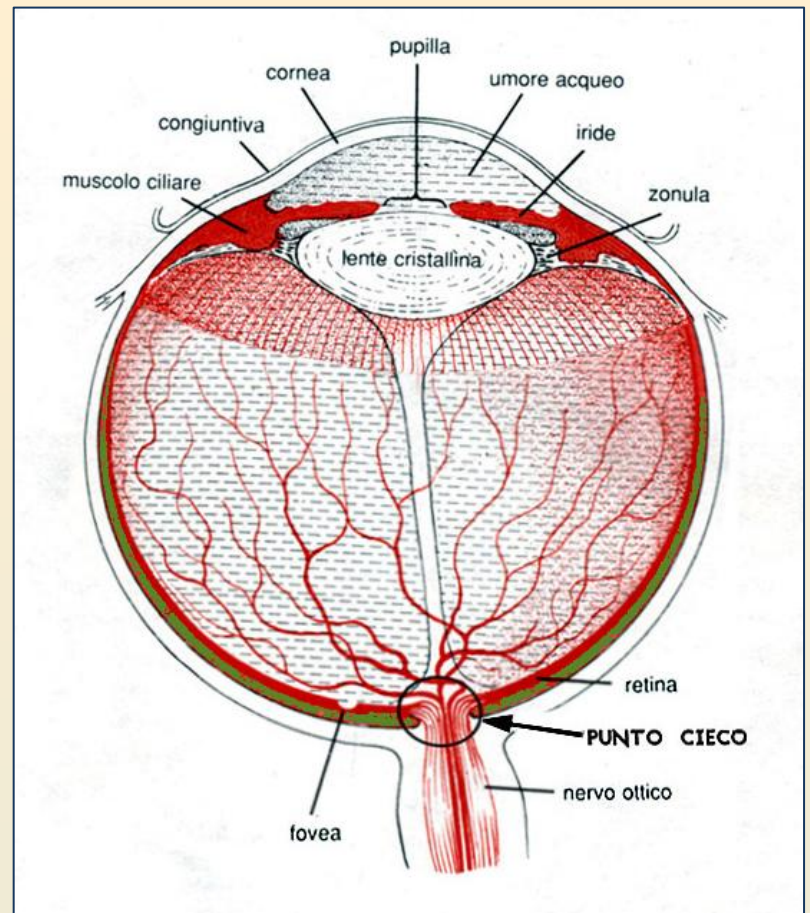
Normalmente avvengono 2 o 3 saccadi ogni secondo.

I movimenti saccadici sono automatici e del tutto involontari; sono definiti come "movimenti coniugati" in quanto vengono effettuati da entrambi gli occhi in modo sincrono. Ci consentono di avere la massima definizione su tutte le parti della scena che reputiamo importanti nonostante che il "mirino" (fovea) veda una ristrettissima area di solamente 1° di angolo visuale.

Relativamente alle cellule GANGLIARI (considerate un residuo di un sistema visivo primitivo antecedente ai coni e ai bastoncelli) è stata scoperta una ulteriore particolarità: sono sensibili alla luminosità in generale e segnalano all'organismo se è giorno o è notte per cui tali cellule sono responsabili dei cicli fisiologici di sonno/veglia, cioè dei cicli circadiani. Sono attive anche nelle persone cieche dalla nascita.

Non tutta la retina è sensibile ai raggi luminosi: esiste una piccola area di circa 1,5 mm di diametro dove i fotorecettori sono assenti. È il PUNTO CIECO dove convergono i nervi e i vasi sanguigni: i primi, provenienti dalle cellule collegate a coni e bastoncelli, si riuniscono in quel punto per formare il nervo ottico e uscire dal globo oculare; i secondi, i capillari sanguigni, per entrare ad alimentare la retina.

I raggi luminosi che cadono nel punto cieco non possono essere segnalati in alcun modo al cervello. Per cui quest'ultimo sarà impegnato a "riempire" il vuoto secondo le informazioni limitrofe, cioè a buon senso: "se a destra c'è azzurro e a sinistra c'è azzurro allora è molto probabile che anche in mezzo ci sia azzurro".



È pur vero che, avendo due occhi, il cervello compone le visioni di entrambi sovrapponendole e completando con assoluta certezza i due vuoti, ma è facile sperimentare la "funzione di riempimento" osservando il cielo sereno con UN SOLO occhio aperto: tutto azzurro, senza alcun vuoto.

Possiamo concludere che possediamo un' eccezionale "interfaccia" fra dentro e fuori : così funzionale ed efficiente che non sappiamo ancora comprenderne tutte le funzioni.

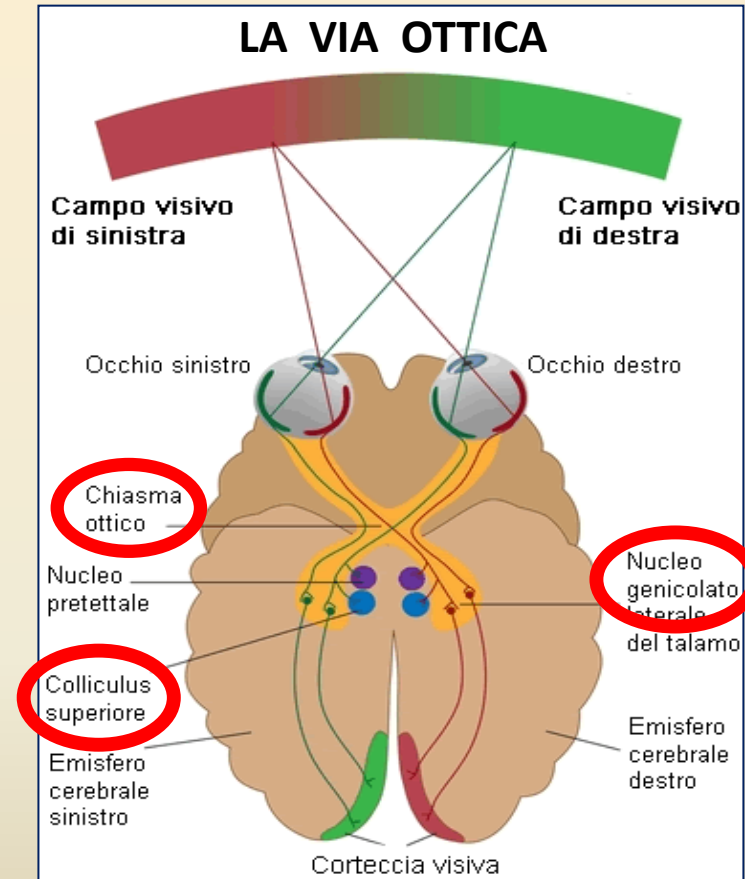
4 - IL MONDO INTERNO

I segnali (elettrici) del nervo ottico arrivano al cervello percorrendo la “via ottica” che li porta ad incontrare tre organi: il chiasma ottico, il nucleo genicolato laterale e il collicolo superiore.

Il CHIASMA OTTICO opera una selezione e un instradamento dei segnali in arrivo da entrambi gli occhi. Tutto ciò che riguarda l'area SINISTRA della scena che si sta osservando (in rosso nella fig. a lato) per cui proviene dalla parte DESTRA di entrambi gli occhi viene riunito e inviato all'emisfero DESTRO. E viceversa. Il chiasma è un grande incrocio che divide a metà i nervi ottici, li raggruppa nuovamente e li indirizza ai due emisferi cerebrali.

Migliaia di segnali elettrici relativi alla visuale di destra sparpagliati sulla corteccia cerebrale dell'emisfero sinistro e altri migliaia relativi alla visuale di sinistra sparpagliati in quella dell'emisfero di destra: diventano una immagine compiuta e unitaria. In modo misterioso e miracoloso.

I NUCLEI GENICOLATI effettuano una prima analisi delle forme, del movimento e della profondità del campo visivo, mentre i COLLICOLI risultano coinvolti nella localizzazione degli oggetti e di conseguenza nel controllo dei movimenti oculari.



Merita approfondire un altro aspetto del sistema visivo che suscita meraviglia.

Supponiamo di osservare una scena; decidiamo di spostare lo sguardo per valutarne un dettaglio.

Figura 1: il cervello manda l'ordine "movimento occhi" al collicolo che, a sua volta, invia il segnale operativo ai globi oculari.

tempo di esecuzione **linea azzurra** = $1+1= 2 \text{ ms}$

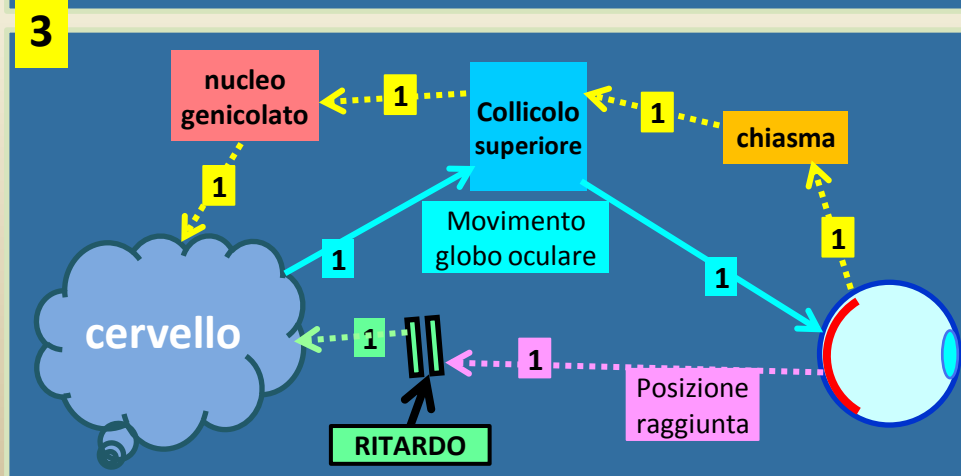
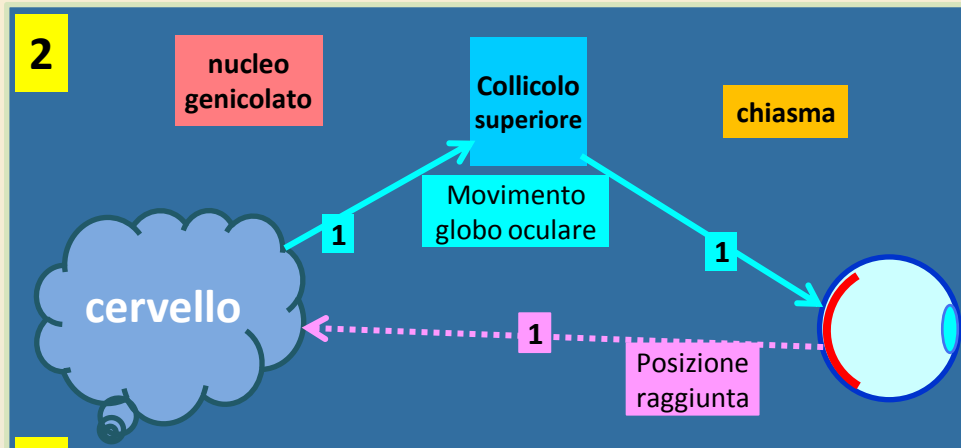
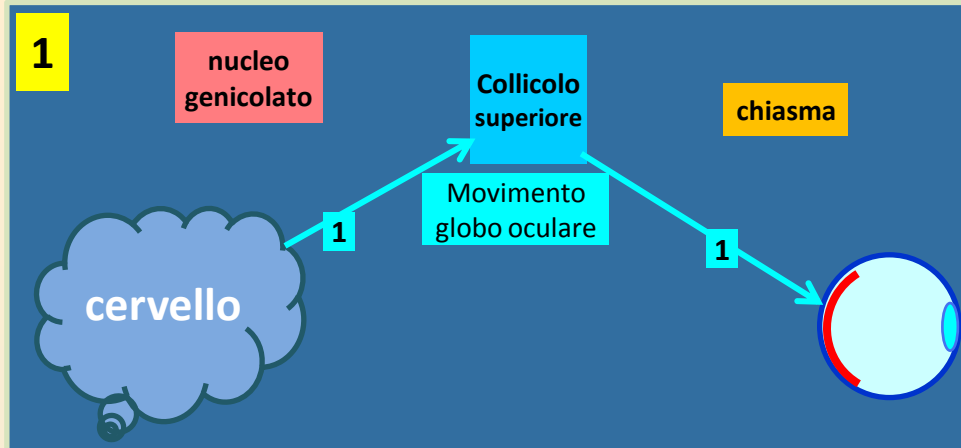
Figura 2: i globi oculari ruotano e segnalano al cervello "posizione raggiunta": il tutto impiega un tempo **linea viola** di = 1 ms: Il cervello inizia l'osservazione; sono passati $2+1= 3 \text{ ms}$

Figura 3: i segnali della retina, percorrendo la via ottica, devono attraversare tre organi per cui arrivano al cervello dopo un tempo totale **linea gialla** = $1+1+1+1= 4 \text{ ms}$

Ne risulta uno sfasamento temporale di 1 ms: sufficiente a impedire totalmente la comprensione della scena. I neuro fisiologi hanno scoperto la presenza di un dispositivo di **RITARDO** (fig. 3 in basso) nel segnale dei globi: serve proprio per eliminare lo sfasamento. Così il sincronismo degli eventi è totale!

La perfezione di tale sistema lascia senza parole!

Nota: i tempi indicati sono abbastanza vicini alla realtà.

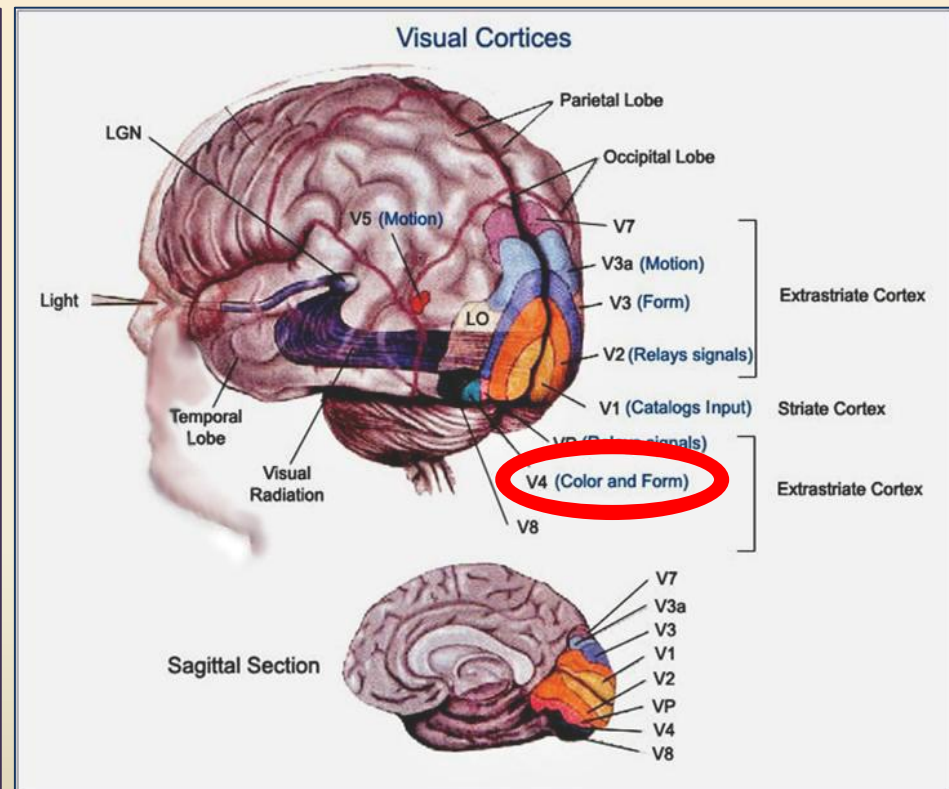


I segnali elettrici, percorsa la via ottica, giungono alla corteccia cerebrale occipitale (nella zona della nuca) dove sono localizzate numerose AREE VISIVE: dalla V1 alla V7; ma anche molte aree del mesencefalo e della corteccia temporale inferiore sono interessate alla visione.

Gli studi e le ricerche effettuate hanno dimostrato che ciascuna di queste aree è suddivisa in gruppi di cellule specializzate che effettuano una propria elaborazione trasmettendo poi il risultato alle altre aree: un perfetto lavoro di gruppo.

Vi sono gruppi di cellule sensibili alle linee verticali, altre alle linee inclinate o orizzontali, ai contorni degli oggetti, altre ancora al movimento, ecc. Il cervello non individua tanto le “cose” quanto piuttosto le “discontinuità” presenti nella scena : i bordi, le linee di cambio colore, i movimenti, ecc.

È interessante notare un fatto che è stato anche divulgato dal neurofisiologo Oliver Sacks relativo ad un suo paziente che, a seguito di un danno cerebrale, aveva perso la percezione dei colori. Il danno era localizzato nell' area V4 (vedi il libro: “Un antropologo su Marte”).



L'area VISIVA 4 attribuisce la qualità “colore” ai segnali elettrici in arrivo dalla retina che, fino a all'area VISIVA 3 sono segnali di radiazioni “senza colore”.

OSSERVAZIONE N°10:

Quanto sopra è fortemente in contrasto con il senso comune: noi crediamo che il papavero emetta radiazioni di colore rosso, invece le radiazioni elettromagnetiche non hanno alcun colore. Esse si distinguono per le diverse lunghezze d'onda (o per la frequenza o intensità luminosa), ma non hanno "colore", esattamente come non hanno "sapore" o non hanno "suono".

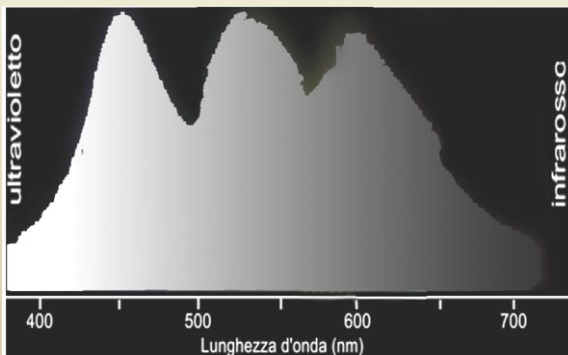
Sono fenomeni fisici alla stessa stregua della gravità o delle reazioni termodinamiche.

Il colore è una sensazione soggettiva: infatti il cono, fotorecettore nella retina, non sa nulla del colore. Sulla sua superficie c'è una gocciolina di olio colorato che filtra le radiazioni in arrivo e ne fa passare solo alcune. La funzione del cono è contare quanti fotoni arrivano ed emettere un segnale elettrico proporzionale a tale misura.

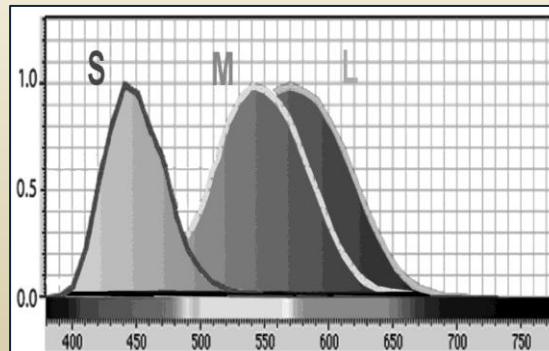
Di lì in poi ci sono solo impulsi elettrici, sempre fenomeni fisici, che partono dalla retina e proseguono lungo la via ottica sparpagliandosi sulle prime tre aree della corteccia cerebrale fino ad arrivare alla V4.

La V4 (e solo lei) ha il compito di elaborare questi impulsi elettrici verificando da quali coni arrivano, per attribuire una ulteriore qualità che chiamiamo "COLORE".

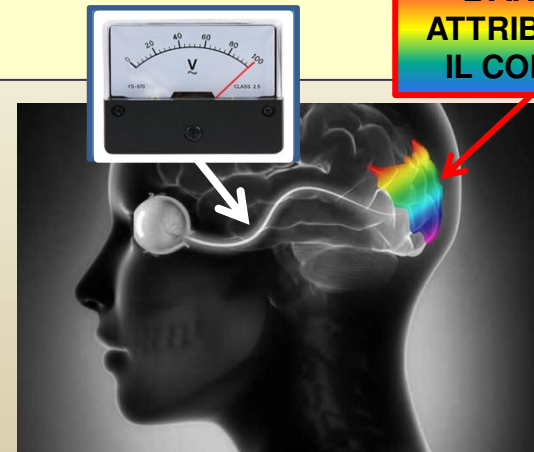
Qualità che fino a poco prima non esisteva.



Le radiazioni elettromagnetiche non hanno colore



I coni colpiti da una radiazione emettono una tensione elettrica



Al cervello arrivano soltanto impulsi elettrici

OSSERVAZIONE N°11:

Questo ha confermato che il COLORE è più che una sensazione soggettiva: addirittura è una “creazione” soggettiva! Non esiste nel mondo esterno, ma viene “prodotto” nel mondo interno.



Quando smettiamo di camminare per ammirare un bel tramonto, dovremmo ricordare che partecipiamo alla creazione di quello spettacolo.

Nessuna mucca smette di brucare per ammirare un bel tramonto ...

La conclusione è una sola:

l'uomo è responsabile del colore del mondo, cioè della bellezza del mondo, perché la qualità della BELLEZZA è DENTRO L'UOMO!

“GUARDIAMO CON GLI OCCHI, MA VEDIAMO CON LA MENTE”

Platone – 7° libro de La Repubblica

5 - CONSIDERAZIONI FINALI

Abbiamo visto come, dall'esatto momento in cui apriamo gli occhi, una miriade di impulsi elettrici arriva alla corteccia occipitale e si distribuisce su molte aree. Queste, in modo automatico e pressoché istantaneo, elaborano tutte i segnali ricevuti per ricavarne informazioni utili a comprendere e a capire cosa c'è all'esterno. La funzione del cervello è acquisire conoscenza da utilizzare ai fini operativi.

A tale scopo il cervello deve, molto velocemente, interpretare linee, contorni, aree di colore, sfumature, movimenti, ecc. Tutti i particolari della scena valutati importanti ai fini dell'azione vengono presi in considerazione e analizzati, quelli giudicati irrilevanti vengono del tutto ignorati.

Di tutta questa frenetica e istantanea attività non siamo minimamente consapevoli.

Il cervello interpreta i segnali degli occhi sulla base delle esperienze memorizzate in precedenza per attribuire un peso, un orientamento, una tridimensionalità (cosa non banale in quanto le informazioni della retina sono solo bidimensionali!), una rugosità, una temperatura, una direzione e velocità di movimento a oggetti che ha individuato differenziandoli dallo sfondo.

Queste operazioni sono ovviamente condizionate dall'archivio dei ricordi registrati, ma anche dalle emozioni del momento, dalle aspettative, dalle tensioni mentali, dal contesto socio-culturale in cui vive.



OSSERVAZIONE N°12:

Proprio questa partecipazione attiva nel costruire l'immagine interna, conferma che ciascuno si crea una riproduzione mentale personale, soggettiva, diversa da quella degli altri. In altre parole non possiamo evitare di produrre opinioni personali, assolutamente soggettive. È fisiologico: il nostro vissuto e la nostra personalità colorano la interpretazione soggettiva della realtà esterna che è unica, ma appare diversa a ciascun osservatore. Sarà necessario l'impiego delle qualità che stanno alla base della socialità cioè il rispetto, l'umiltà, il dialogo, la collaborazione, per superare e comporre le differenze, utilizzando le diversità come ricchezza di informazioni supplementari.

Dalle ricerche dei neurofisiologi risulta che i neuroni attivati dalla coscienza della percezione non sono raggruppati in un'unica area, ma sono distribuiti lungo l'intera area visiva. In altre parole la consapevolezza visiva non è il prodotto di un organo preciso e definito.

La consapevolezza visiva è segnalata dall'attivazione di una **piccola percentuale** di neuroni presenti in **tutte le aree coinvolte** dal percorso visivo. Come se un invisibile "direttore d'orchestra", con i suoi comandi silenziosi, attivasse contemporaneamente pochi suonatori per ciascun gruppo di orchestrali.

Per il ricercatore o lo scienziato risulta stupefacente la constatazione che una miriade di impulsi elettrici (per cui dei fenomeni fisici) sparpagliati su un grande superficie della corteccia cerebrale producano una immagine unitaria, un blocco unico definito e compiuto, ma, soprattutto, diventino ESPERIENZA di vedere un oggetto specifico, producano la CONSAPEVOLEZZA del vedere.

Chi o cosa esegue il passaggio dal piano fisico al piano psichico?

OSSERVAZIONE N°13:

Giustamente lo scienziato che studia il mondo fisico si stupisce quando gli effetti della materia sono sul piano psichico, ma se pensiamo che tutto ciò avviene perché l'organismo completo è vivo (ha Vita), l'organo interno è vivo, la cellula è viva, la molecola è viva ... allora ci accorgiamo che dobbiamo capovolgere la prospettiva, dobbiamo trovare la causa in alto (sul piano della Vita, il piano Trascendente) e valutarne gli effetti in basso, nel mondo Immanente, manifesto.

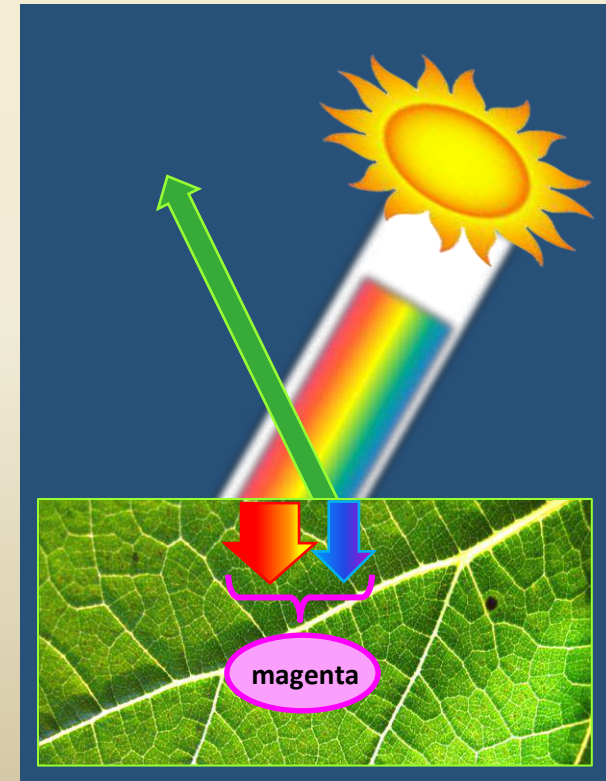
Resta la meraviglia e lo stupore per il mistero del Mondo, ma la visione è quella giusta, è quella completa che abbraccia il visibile e l'invisibile, accettando l'Inconoscibile.

OSSERVAZIONE N°14:

Questo ci porta a riconoscere che l'uomo vive nel mondo immanente, ma che il mondo causante è altrove.

Di conseguenza gli strumenti che ha a disposizione sono utilissimi per muoversi ed agire nel mondo manifesto, nel mondo concreto, ma si fermano al fenomeno, a ciò che ci appare.

Abbiamo sfiorato l'argomento parlando dei colori: la foglia ci appare verde e il papavero ci appare rosso. Ma abbiamo constatato che la foglia assorbe le radiazioni rosse e blu (che insieme compongono il magenta) e restituisce quelle verdi che non utilizza. Analogamente il papavero assorbirà le radiazioni blu e verdi (che insieme compongono il ciano) e diffonde il rosso, che non utilizza.



Possiamo concludere che la “realtà” della foglia è magenta? No di certo, per tre motivi: siamo condizionati dalla qualità della luce; con una luce monocromatica ci apparirebbe un mondo completamente diverso. Inoltre siamo condizionati dal nostro sistema percettivo: le api e gli uccelli che possiedono anche il fotorecettore per gli Ultravioletti (a noi mancante) vedono una “realtà” per noi sconosciuta.

Ma soprattutto come possiamo dire qual è la realtà della foglia se le nostre informazioni (che ci arrivano dallo spazio sotto forma di radiazioni elettromagnetiche) provengono da gli atomi superficiali dell’oggetto solo quando sono eccitati da una particolare energia esterna?

È evidente, anche sul piano fisico e non solo sul piano filosofico, che non abbiamo la possibilità di cogliere la realtà del mondo che ci circonda.

L’uomo vive nel mondo, utilizza le risorse del mondo, ma non ne afferra la realtà se resta legato alle apparenze.

Ma come diceva Platone, ripreso molti secoli dopo da Galileo, “Guardiamo con gli occhi, ma vediamo con la mente”. L’uomo possiede la facoltà del ragionamento: un pensiero logico che prenda in considerazione anche l’Invisibile può aiutare l’uomo a vedere un orizzonte più ampio.

Questa situazione era stata già descritta alcuni millenni addietro dalle filosofie orientali che l’avevano definita come il “Mondo di Maya”, il mondo delle apparenze fenomeniche, il mondo dell’illusione.

A quel tempo però, avevano anche constatato, e giustamente valorizzato, un altro strumento a disposizione dell’uomo, una facoltà che poteva scavalcare d’un balzo i limiti della mente logica, i condizionamenti della mente concreta: l’INTUIZIONE.

Al contrario della mente concreta, che è condizionata dalla cultura e dal sapere, la MENTE INTUITIVA è libera e, come spiega l’etimologia, consente alla mente dell’uomo di penetrare all’interno delle cose, consente di coglierne la vera realtà, dall’interno, non dalla superficie.



FINE