

http://www.nonsolocittanova.it/spazio_dei_colori.htm

www.diodati.org

Bergamaschini, Marazzini, Mazzoni: L'indagine del mondo fisico vol D Carlo Signorelli Editore

L'OCCHIO

L'occhio non è solo uno "strumento" che permette di osservare gli oggetti che ci circondano, in quanto in esso avviene anche una parziale elaborazione dei segnali che vengono raccolti.

La figura 1 rappresenta lo schema anatomico di un occhio, mentre la struttura fisica corrispondente è riportata nella figura 2.

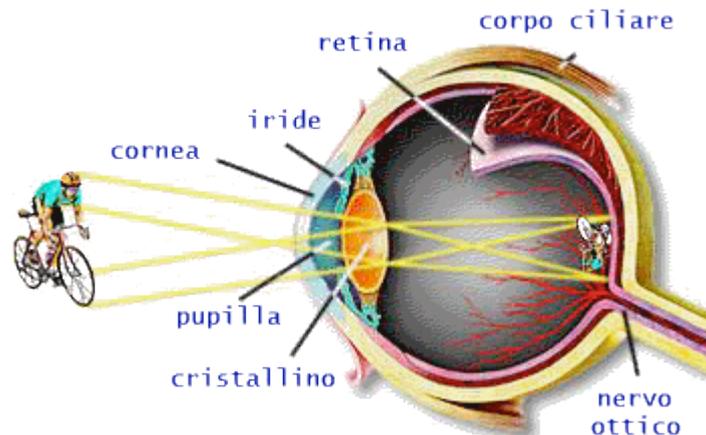


Fig 1

Cerchiamo di illustrare, sia pur sommariamente, il complesso meccanismo della visione umana. In esso distinguiamo tre parti:

- un sistema ottico che forma e proietta le immagini su una superficie sensibile;
- una superficie sensibile che raccoglie le immagini e le trasmette;
- un elaboratore dei dati raccolti da quest'ultima che li elabora, li vaglia e "forma" l'immagine definitiva: la visione umana.

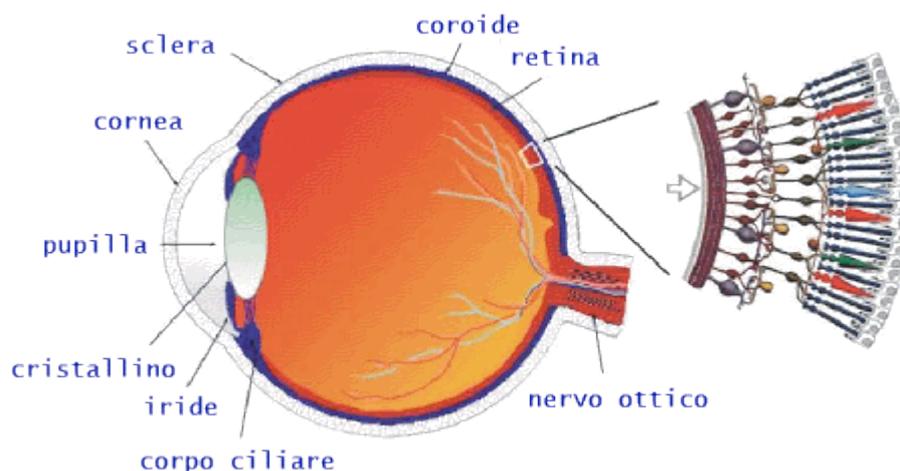


Fig. 2

Da esse si possono ricavare le seguenti osservazioni:

l'**iride** svolge il ruolo di diaframma ad apertura variabile; si restringe o si dilata a seconda che l'oggetto osservato emetta o rifletta una radiazione luminosa più o meno intensa.

Le zone in cui sono situati l'**umor acqueo**, il **cristallino** e l'**umor vitreo** costituiscono un sistema diottrico composto con fuoco e potere convergente variabili.

La distanza focale di questo sistema ottico può essere variata ad opera prevalentemente del cristallino, che può essere contratto o disteso mediante i **muscoli ciliari**. L'intervallo di variazione va da 1.7 mm (massima contrazione del cristallino) a 23 mm (cristallino accomodato alla visione all'infinito).

La **retina**, posta a 23 mm circa dal cristallino, raccoglie e in un certo senso elabora la radiazione elettromagnetica inviando poi le informazioni al cervello tramite il nervo ottico. La retina è sensibile alle lunghezze d'onda comprese tra i 4000 nm e gli 8000 nm. Gli elementi sensibili alla radiazione sono strutture cellulari dette **coni** e **bastoncelli** per la loro particolare forma (figura 3).

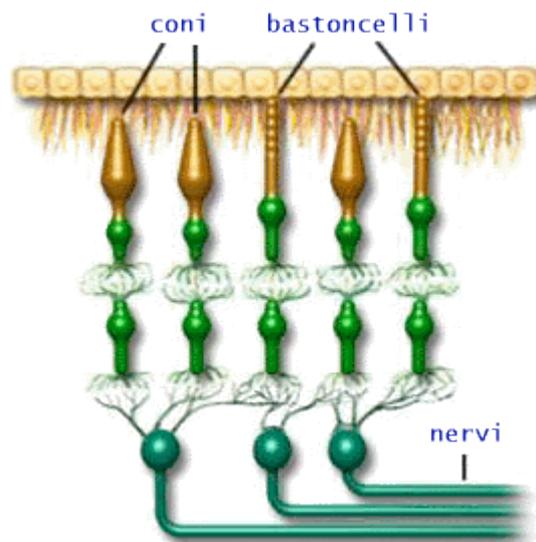


Fig. 3

La retina umana contiene circa 10^8 bastoncelli e circa $3 \cdot 10^6$ coni. I bastoncelli contengono un pigmento (la rodopsina) sensibile alle bassissime intensità di illuminazione. Essi consentono perciò la visione crepuscolare o al semibuio, ma restituiscono un'immagine sostanzialmente priva di colore.

I coni sono invece suddivisi in tre tipi, diversificati dal fatto di contenere tre pigmenti che hanno il loro massimo assorbimento per lunghezze d'onda della luce visibile rispettivamente corte, medie, lunghe. Essi sono preposti alla visione diurna e del colore ma, allo scopo, richiedono intensità luminose di un certo valore (un solo fotone assorbito da un bastoncello genera un impulso di corrente di circa $10^{-11} - 10^{-12}$ A, mentre un solo fotone assorbito da un cono genera un impulso di corrente di soli 10^{-14} A).

Questa differenza di sensibilità spiega anche l'impressione di accecamento che si constata quando da un ambiente molto illuminato si entra in un ambiente debolmente illuminato. A basse luminosità infatti i coni diventano insensibili e comunque occorre un certo tempo affinché i bastoncelli assumano il ruolo primario nel processo della visione.

Sia nei bastoncelli, sia nei coni, la luce incidente eccita il pigmento contenuto nella parte più esterna. Questa prima reazione fotochimica innesca un processo di chiusura dei canali della membrana esterna del fotorecettore che impedisce il normale accesso di ioni Na^+ con conseguente aumento del potenziale negativo interno del bastoncello o del cono. L'aumento di potenziale negativo si trasmette lungo la membrana esterna fino alla terminazione sinaptica del cono o del bastoncello dalla quale si diparte l'impulso nervoso diretto al cervello.

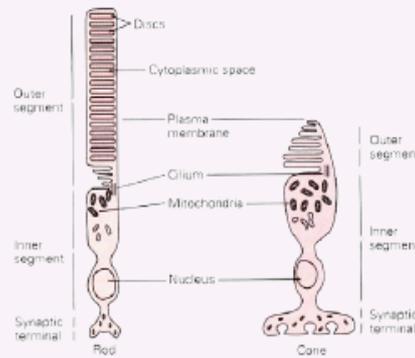
Osservando l'interno dell'occhio si nota una piccola zona chiamata macula lutea o fovea centralis in cui i coni sono particolarmente addensati: è la zona preposta alla visione distinta e dove è quindi massima l'acuità visiva. In altri termini, quando fissiamo un oggetto facciamo automaticamente cadere l'immagine sulla fovea.

Al di fuori di questa l'acuità visiva diminuisce drasticamente: a soli 10 gradi di distanza dall'asse visivo è già il 25% in meno! È altresì importante notare il punto dove il nervo ottico si annette alla retina: questa zona, chiamata punto cieco, è completamente insensibile alla luce e di questo dobbiamo tenerne conto quando impieghiamo la visione distolta nell'osservazione di oggetti deboli. Un'altra parte importante dell'occhio è la coroide, un tessuto scuro ricco di melanina che avvolge esteriormente la retina e che ha la funzione di assorbire la luce che filtrando, appunto, attraverso la retina potrebbe causare una perdita di contrasto delle immagini. È un po' lo stesso motivo per cui l'interno dei telescopi si dipinge di nero. La coroide quando arriva verso la parte anteriore dell'occhio si flette all'indietro andando a costituire un tramezzo, l'iride, nel cui foro centrale, la pupilla, passa la luce.

Importantissima è la proprietà della risposta agli stimoli luminosi che è di tipo logaritmico; ciò significa che siamo in grado di percepire sia il bagliore di una folgore, sia la luce tremolante di una stella. Se così non fosse, se cioè la risposta del nostro occhio fosse solo lineare, saremmo completamente ciechi al di sotto di un certo livello d'illuminazione o costantemente abbagliati in presenza di luci molto forti, con la conseguente incapacità di poter svolgere la stragrande maggioranza delle nostre attività quotidiane.

I fotorecettori: anatomia e funzione

A Morphology of photoreceptors



B Outer segments of photoreceptors

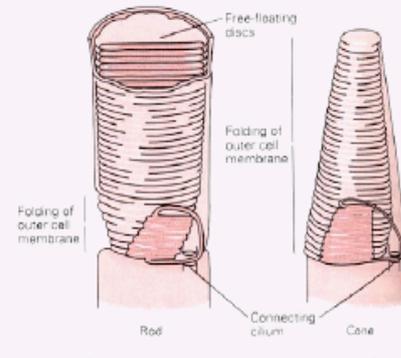


Tabella 22-1 Differenze fra bastoncelli e coni e fra i rispettivi sistemi neurali

Bastoncelli	Coni
Sensibilità elevata: specializzati per la visione notturna	Sensibilità inferiore: specializzati per la visione diurna
Molto fotopigmento, catturano molta luce	Quantità inferiori di fotopigmento
Amplificazione elevata, mettono in evidenza singoli fotoni	Amplificazione minore
Bassa risoluzione temporale: risposta lenta, tempo d'integrazione lunga	Risoluzione temporale elevata: risposta rapida, tempo di integrazione breve
Più sensibili alla luce diffusa	Più sensibili alla luce diretta assialmente
<i>Sistema dei bastoncelli</i>	<i>Sistema dei coni</i>
Bassa acuità visiva: vie retiniche altamente convergenti, non è presente nella fovea	Acuità visiva elevata: vie retiniche meno convergenti, particolarmente concentrato nella fovea
Acromatico, è presente un solo tipo di pigmento	Cromatico: esistono tre tipi di coni, ciascuno dei quali possiede un pigmento diverso ed è particolarmente sensibile a una parte dello spettro visibile

Persistenza delle immagini

I coni e i bastoncelli vengono eccitati dalla radiazione elettromagnetica e conservano questo stato di eccitazione per un tempo di circa 1/10 – 1/15 di secondo. Per questo motivo l'occhio non può distinguere movimenti che si svolgono con una frequenza molto elevata, come per esempio il battito delle ali di una vespa o il moto della ruota di un'automobile. Questo fatto però permette la visione continua di fenomeni a carattere impulsivo come la scarica nei tubi a fluorescenza, la successione di fotogrammi cinematografici o le immagini televisive; è sufficiente infatti che la frequenza di questi fenomeni superi i 15 eventi al secondo perché si produca nell'osservatore una sensazione di continuità.