

Supporre che l'occhio, con tutti i suoi inimitabili congegni per regolare il fuoco a distanze differenti, per far entrare diverse quantità di luce, per correggere l'aberrazione sferica e cromatica, si possa essere formato per mezzo della selezione naturale, sembra, lo confesso liberamente, assurdo al massimo grado.

(C. DARWIN 1859)

Infatti, un occhio non ancora completamente evoluto non è vantaggioso per il suo possessore: se l'animale non riesce ad adattare l'apertura a condizioni di luce variabile, risulta cieco a tutti gli effetti quando, per esempio, l'illuminazione diventa scarsa...

(UN IGNORANTE PRESUNTUOSO nel 2017, che poi continua parlando della visione cromatica, della stereoscopia, dell'accomodamento etc., in cui assenza l'occhio sarebbe secondo lui inutile)

“L'occhio non nasce da una singola mutazione: nasce da un insieme di molte mutazioni casuali, nessuna delle quali da sola permette di vedere. La probabilità che queste, appunto perché casuali, si presentino tutte insieme è praticamente nulla, e finché se ne presenta soltanto qualcuna, il vantaggio selettivo non c'è”

V. Mathieu, filosofo, 17 gennaio 2006

E' il concetto di “complessità irriducibile” caro agli entievolutionisti antichi e moderni: una struttura complessa o un meccanismo, privi anche di una sola delle loro parti, diventano completamente inutili

Pensate che tutto questo sia vero, o che ci sia qualche errore logico?
Possiamo fare un esperimento con la nostra vista.

Tuttavia la ragione mi dice che, essendo possibile dimostrare che esistono numerose gradazioni da un occhio perfetto e complesso ad un altro molto imperfetto e semplice (ogni gradazione essendo utile al suo possessore); e che, inoltre l'occhio varia molto leggermente e che le variazioni sono ereditarie (e questo è certamente vero); e che una qualsiasi variazione o modificazione dell'organo può essere utile ad un animale le cui condizioni di vita stanno mutando; allora la difficoltà di credere che, grazie alla selezione naturale, si possa formare un occhio perfetto e complesso, cessa di essere consistente."

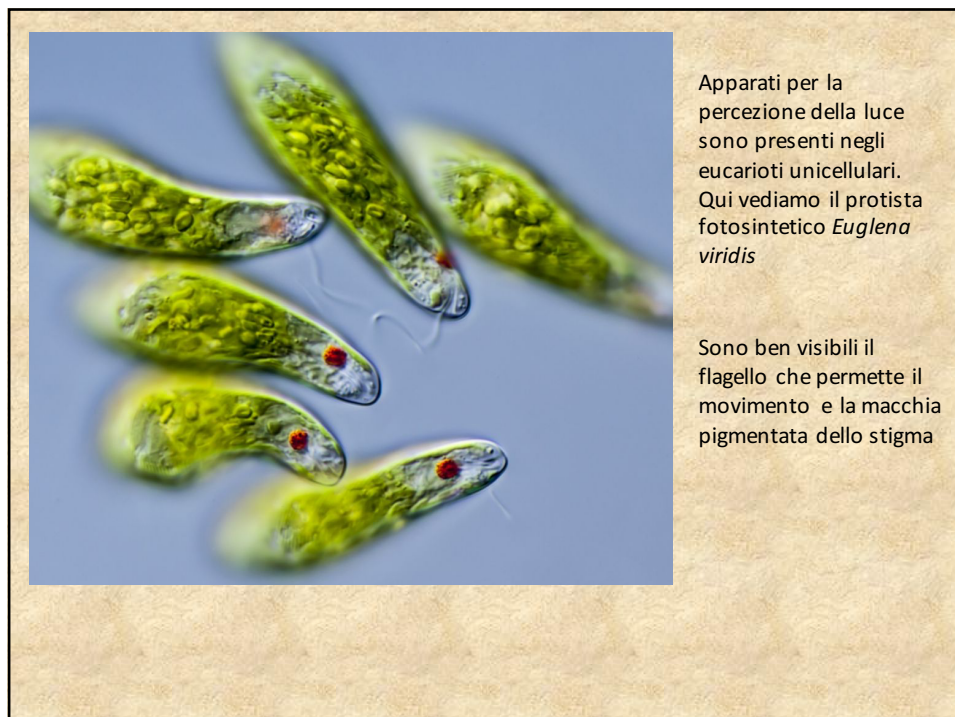
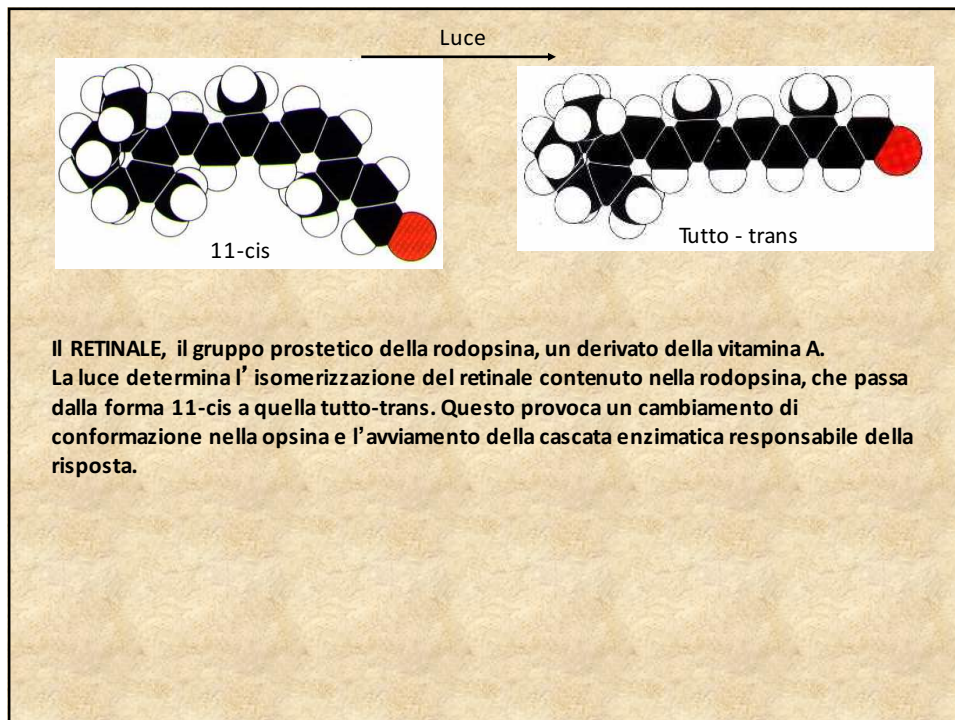
(C. DARWIN)

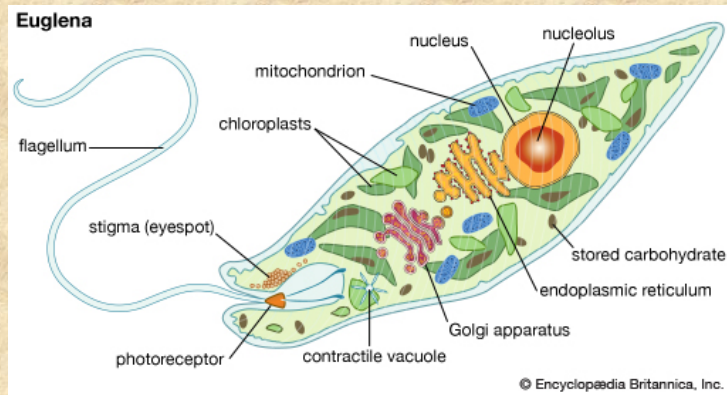
Come dunque Darwin comprende bene le esigenze visive dei diversi organismi possono essere molto diverse e anche occhi molto semplici possono fornire ai loro possessori degli importanti vantaggi evolutivi. Una medusa non ha bisogno dell'occhio sofisticato di un'aquila.



Tutti i sistemi visivi che conosciamo sono basati sulla presenza di proteine fotorecetttrici, o pigmenti visivi, che contengono un gruppo prostetico (in rosa nella figura), capace di cambiare conformazione quando viene eccitato da un fotone. Il cambiamento del gruppo prostetico induce nella proteina un cambiamento della sua conformazione e quindi della funzione.

Qui è raffigurata la molecola della RODOPSINA, una delle più comuni proteine fotorecetttrici, propria anche dei bastoncelli della retina umana. Il gruppo prostetico è il RETINALE. Nella retina la rodopsina, quando viene eccitata dalla luce, provoca la attivazione di un enzima, la fosfodiesterasi. L'enzima a sua volta, idrolizzando il secondo messaggero cGMP, determina la chiusura di canali ionici per Na^+ e quindi una variazione nel potenziale di membrana della cellula retinica.

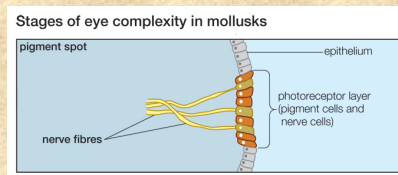
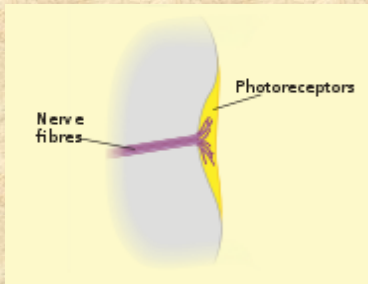




L'*Euglena viridis*, un protista fotosintetico, dispone di un fotorecettore e di una macchia pigmentata (stigma) che a seconda della posizione dell'organismo e della direzione di provenienza della luce potrà schermare o meno i raggi luminosi. Un questo modo l'euglena può essere informata sulla posizione della fonte di luce. Quando il fotorecettore viene eccitato regola il movimento del flagello.

Gli apparati visivi degli animali pluricellulari

I casi più semplici che possiamo immaginare sono rappresentati da cellule fotosensibili singole oppure da gruppi di cellule riunite a formare un epitelio fotosensibile.

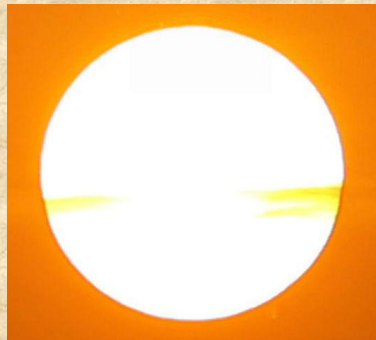


La macchia oculare (epitelio fotosensibile piatto) di una Patella

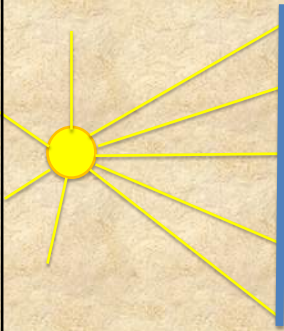
Una cubomedusa con i rophalia, sistemi sensoriali



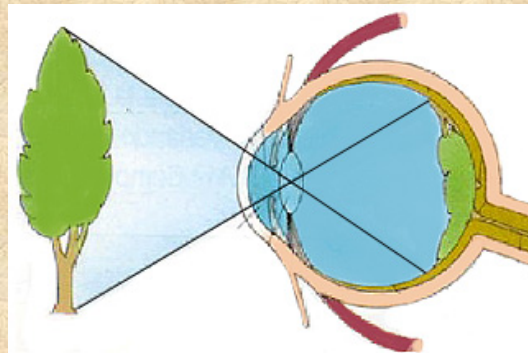
Che tipo di informazione può fornire un apparato come quello qui rappresentato?



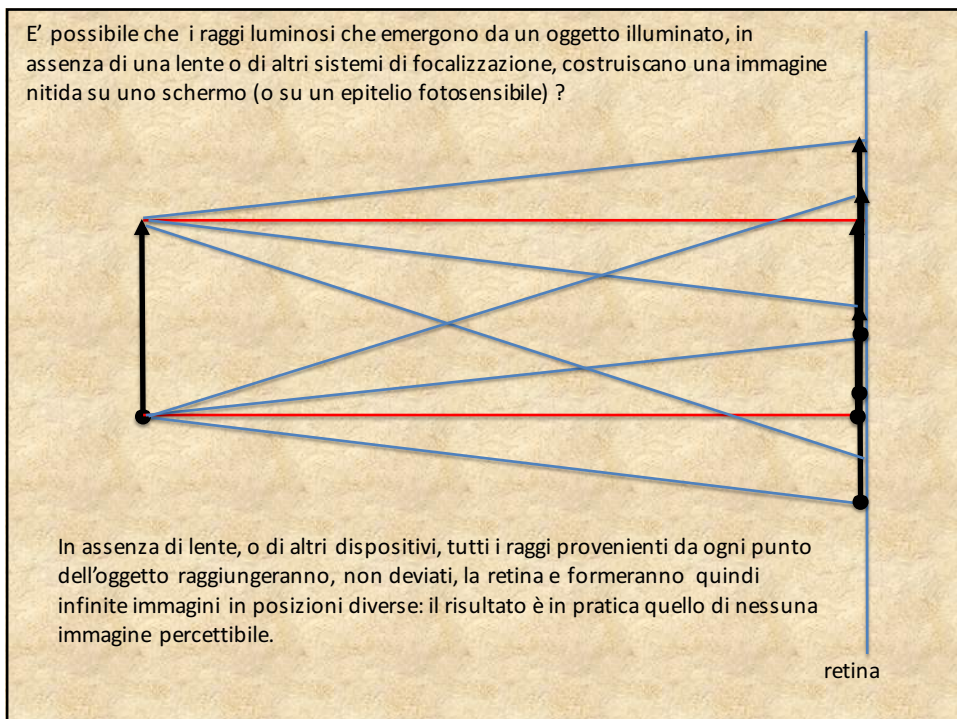
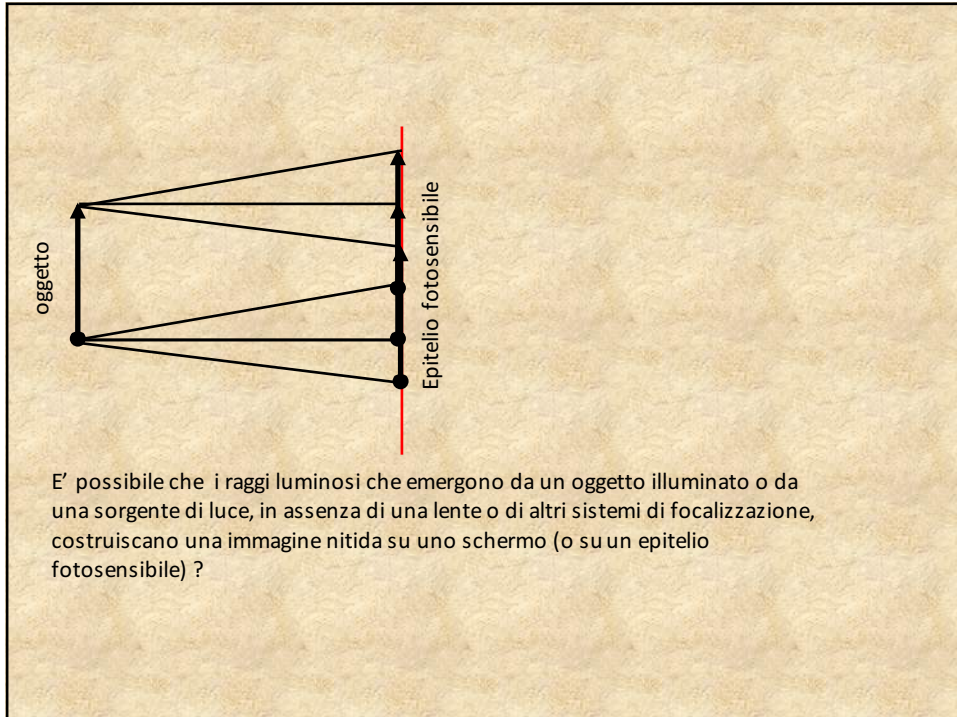
Perché quando guardiamo il sole lo vediamo rotondo come una palla, mentre se guardiamo un muro illuminato dal sole vediamo una illuminazione uniforme?



Dal sole, come da ogni sorgente luminosa o da ogni oggetto illuminato, emergono infiniti raggi in tutte le direzioni. Il muro risulta quindi illuminato uniformemente. Quando invece guardiamo direttamente il sole o un oggetto illuminato il sistema diottrico del nostro occhio permette di costruire una immagine

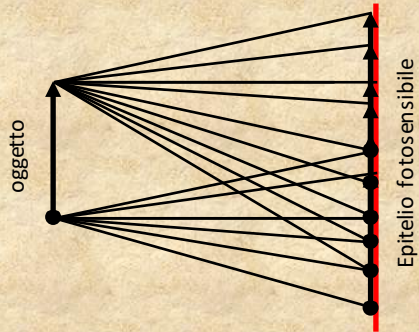


La costruzione dell'immagine nell'occhio umano, che contiene una lente biconvessa: il cristallino



Costruiamo un "occhio"

Che cosa vede un "occhio" formato da un semplice epitelio fotosensibile approssimativamente piano? Percepisce soltanto la presenza o assenza di luce

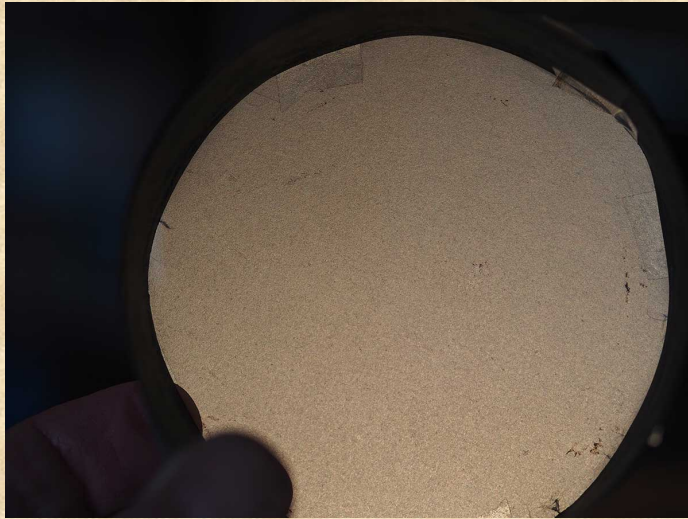


Da ogni punto dell'oggetto partono infiniti raggi che giungono all'"occhio" creando infinite immagini. Quindi si percepisce soltanto una luminosità diffusa

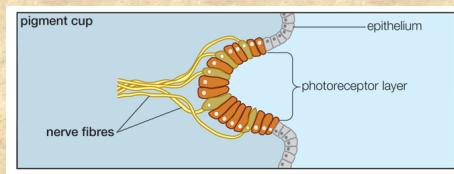
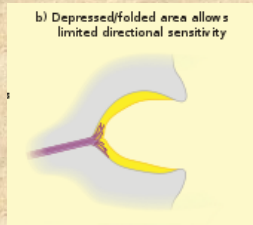


Possiamo simulare un "occhio" di questo tipo con un cilindro di cartoncino nero coperto a una estremità con carta da lucidi. Rivolgendo la parte con la carta da lucido verso la fonte di luce vediamo soltanto una luminosità omogenea

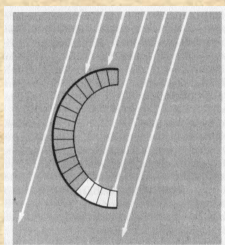




Quale informazione otteniamo da un occhio di questo tipo? Soltanto la presenza o la assenza di luce e la sua intensità.

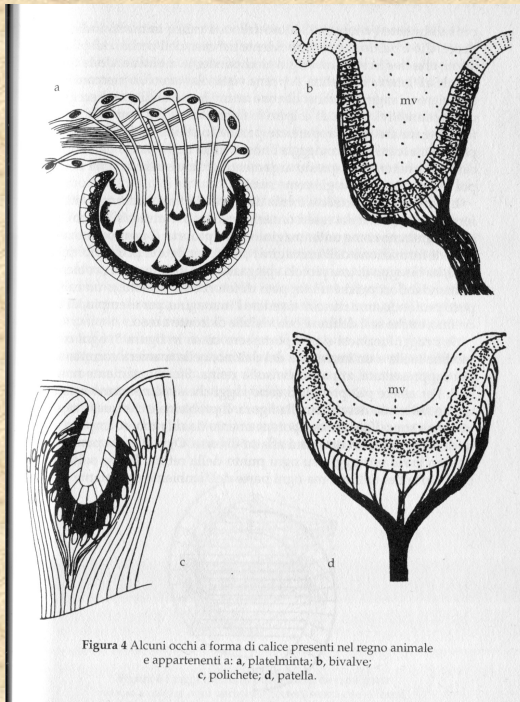


Rispetto ad un epitelio fotosensibile piano, uno stadio di maggiore complessità è quello dell'occhio a coppa, presente ad esempio in alcune lumache marine o nelle planarie

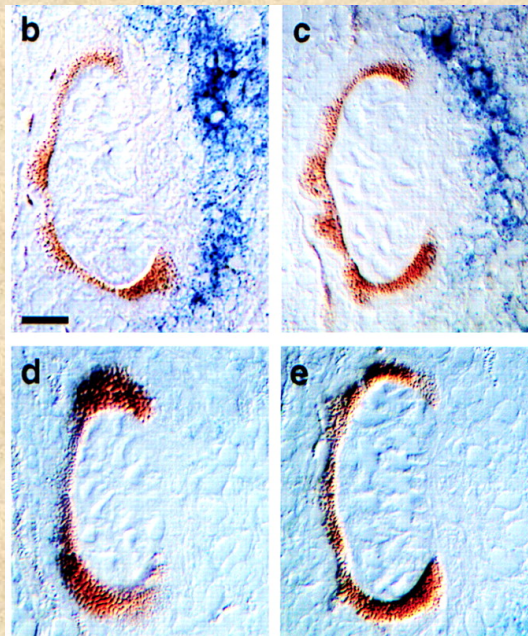


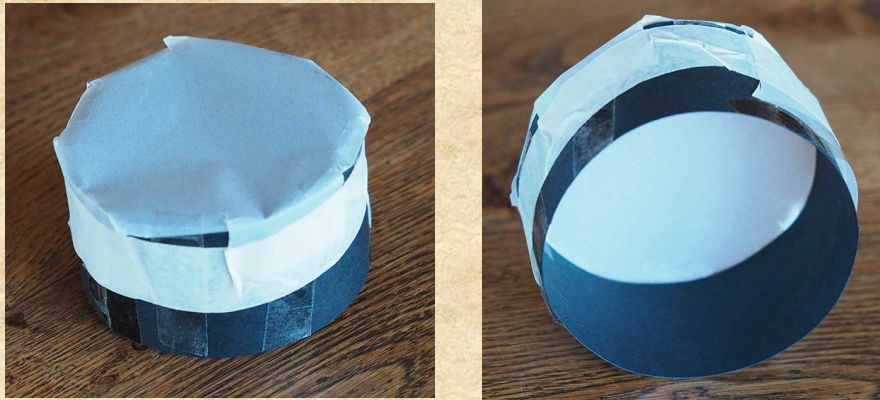
Quali vantaggi può comportare una struttura di questo tipo, in cui l'epitelio fotosensibile è accolto in una invaginazione a forma di coppa? Oltre a un effetto meccanico protettivo, l'occhio a coppa genera un'ombra: una parte dell'epitelio è illuminata e un'altra è in ombra a seconda della direzione di provenienza dei raggi. Questo occhio quindi ci fornisce informazione, oltre che sulla presenza assenza di luce, anche sulla direzione di provenienza

Alcuni esempi di occhi a coppa



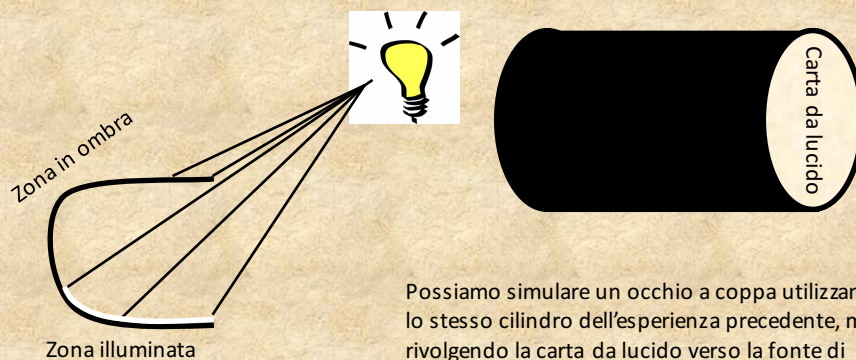
Occhi di Planaria, a forma di coppa





Il nostro "occhio" di carta ci è utile per simulare un occhio a coppa, rivolgendo la carta da lucido verso la fonte di illuminazione.

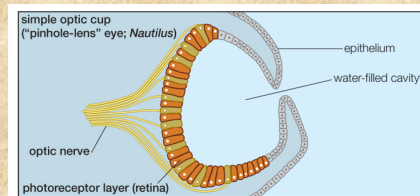
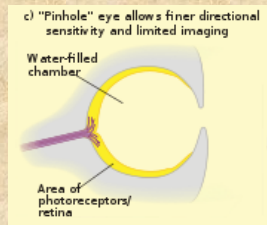
Che cosa vede un "occhio" a forma di coppa? Le pareti della coppa creano un'ombra sulla retina, in posizione opposta alla direzione di provenienza della luce. Questo tipo di occhio fornisce una informazione sulla direzione di provenienza della luce



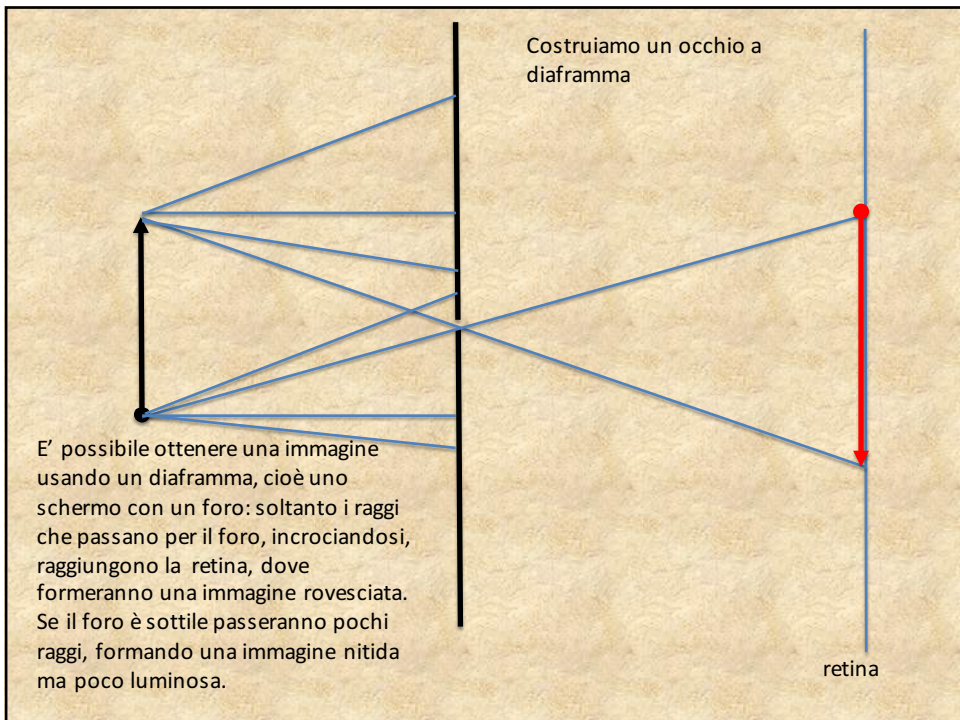
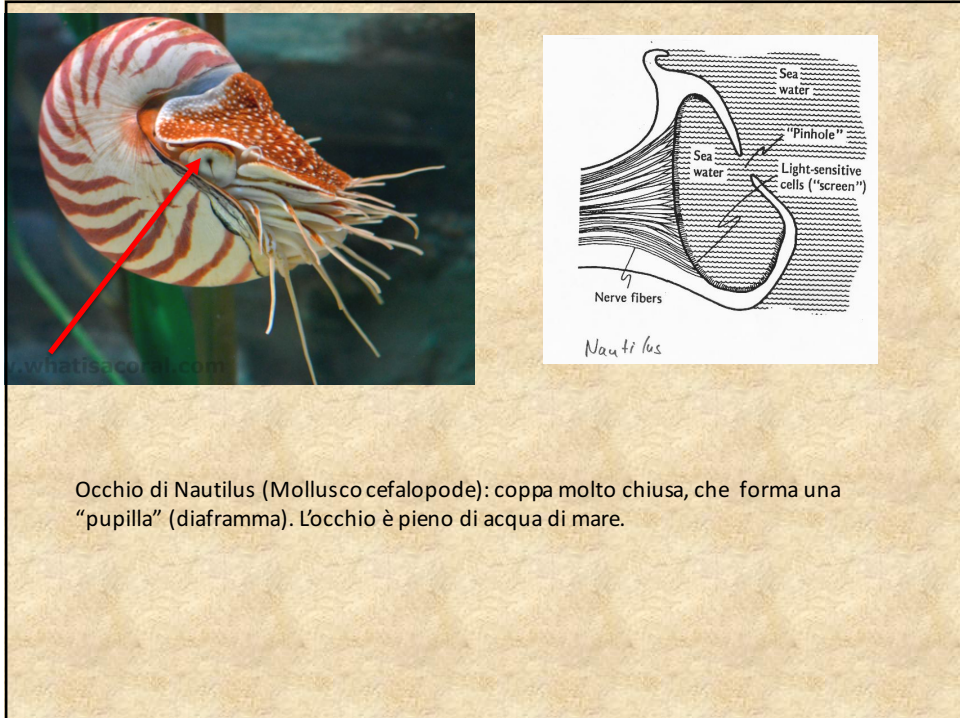
Possiamo simulare un occhio a coppa utilizzando lo stesso cilindro dell'esperienza precedente, ma rivolgendo la carta da lucido verso la fonte di illuminazione. Spostando la direzione del tubo vedremo distintamente muoversi l'ombra delle pareti

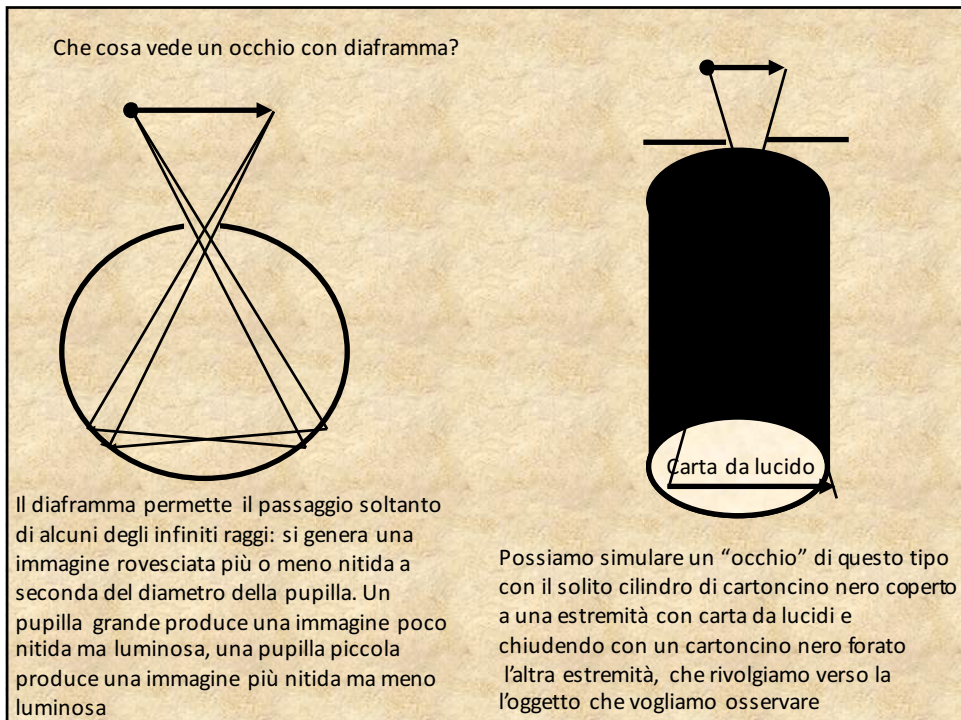
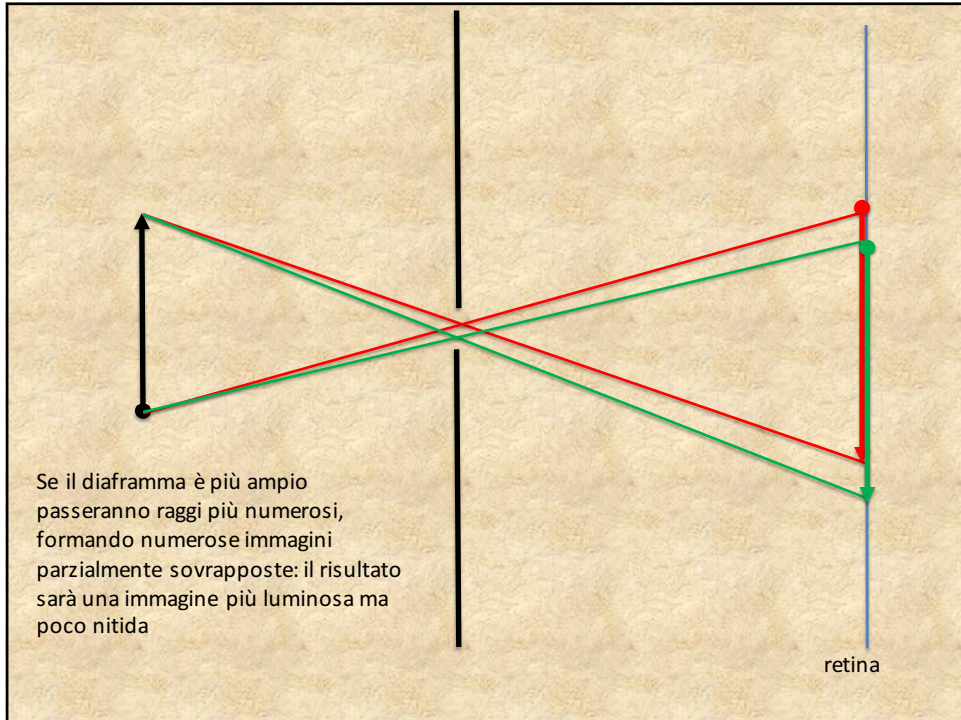


Vedremo distintamente l'ombra delle pareti: se la luce proviene da sinistra l'ombra si vede sulla destra



Uno sviluppo ulteriore dell'occhio a coppa è l'occhio a diaframma: la coppa è più chiusa, fornendo migliore protezione e più efficace percezione della direzione di provenienza della luce, ma soprattutto determinando un inizio di formazione di immagini.







L'immagine di una finestra ottenuta con il nostro occhio a diaframma di cartoncino: cominciamo a vedere qualcosa. L'immagine è rovesciata

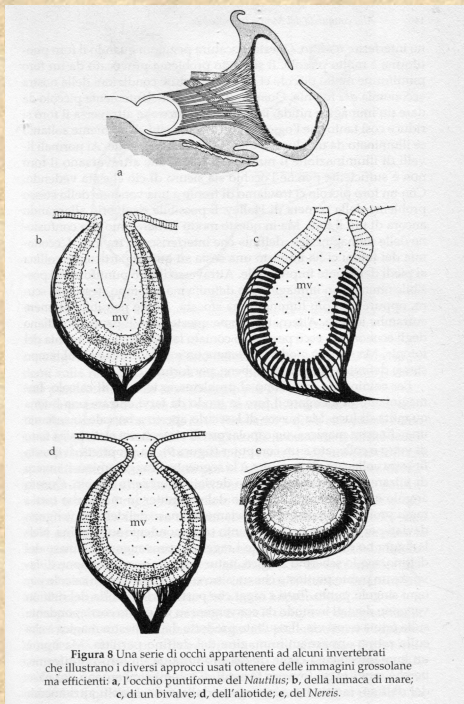
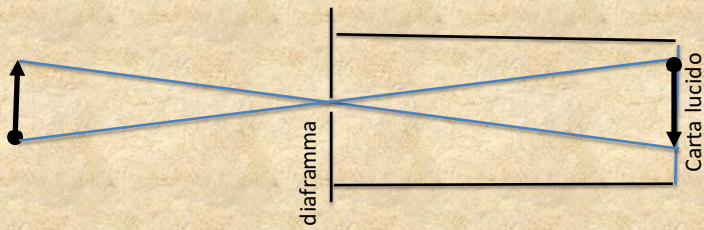


Figura 8 Una serie di occhi appartenenti ad alcuni invertebrati che illustrano i diversi approcci usati ottenere delle immagini grossolane ma efficienti: a, l'occhio puntiforme del *Nautilus*; b, della lumaca di mare; c, di un bivalve; d, dell'aliothide; e, del *Nereis*.

The diagrams show the following stages:

- c) "Pinhole" eye allows finer directional sensitivity and limited imaging:** A water-filled chamber with a small opening (pinhole) and an area of photoreceptors/retina.
- d) Transparent humor develops in enclosed chamber:** The chamber is now filled with transparent humor, and the opening is closed by a layer of epithelium.
- e) Distinct lens develops:** A distinct lens forms within the chamber, and a separate cornea develops.
- f) Iris and separate cornea develop:** The eye becomes more complex with the addition of an iris, aqueous humor, and vitreous humor.

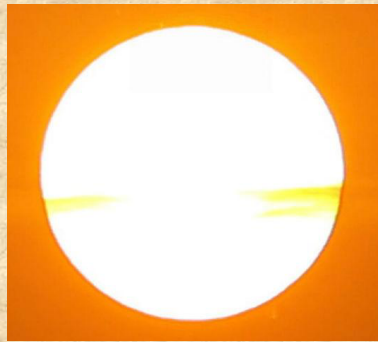
Two comparative diagrams on the right show:

- simple optic cup ("pinhole-lens" eye; Nautilus):** Labels include epithelium, water-filled cavity, photoreceptor layer (retina), and optic nerve.
- eye with primitive lens (Murex, a marine snail):** Labels include epithelium, refractive lens, retina, and optic nerve.

La cavità dell'occhio a diaframma del Nautilus è piena di acqua di mare, in altri casi la cavità contiene del materiale trasparente prodotto dall'animale, ad esempio una secrezione gelatinosa.

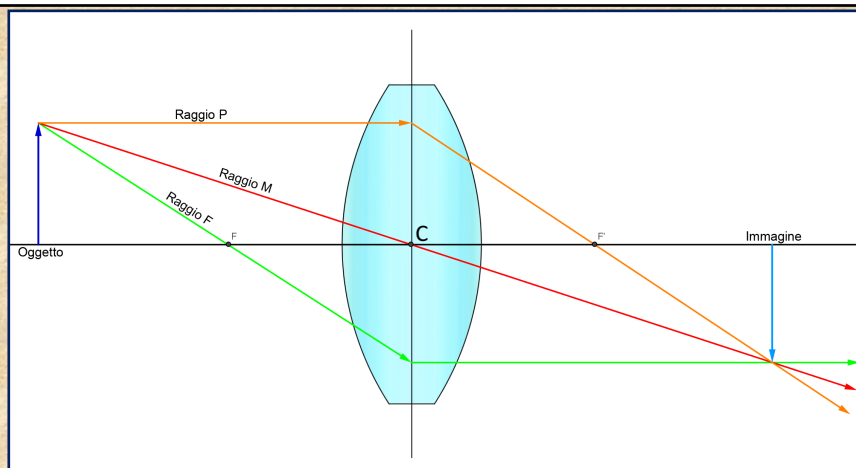
Questa nuova situazione, oltre a proteggere in modo più efficace l'epitelio fotosensibile, può essere il passo decisivo per la evoluzione di un occhio con lente, se l'indice di rifrazione del materiale contenuto nella camera è più alto di quello dell'acqua. Se la sua forma sarà quella di una sfera, più o meno schiacciata, potrà formare un'immagine

Lenti formate da gocce d'acqua. La tensione superficiale genera delle forme più o meno sferiche che, grazie all'indice di rifrazione dell'acqua, più alto di quello dell'aria, funzionano da lenti.



Perché quando guardiamo il sole lo vediamo rotondo come una palla, mentre se guardiamo un muro illuminato dal sole vediamo una illuminazione uniforme?

Nel nostro occhio, grazie soprattutto al cristallino che funziona da lente, viene costruita un'immagine dai raggi che si focalizzano sulla retina.
In assenza di un sistema di lenti tutti i raggi provenienti dal sole cadono sul muro senza essere focalizzati, illuminandolo uniformemente.
Provate a interporre una lente convessa (lente di ingrandimento) tra la luce del sole e la parete, e vedrete la differenza.



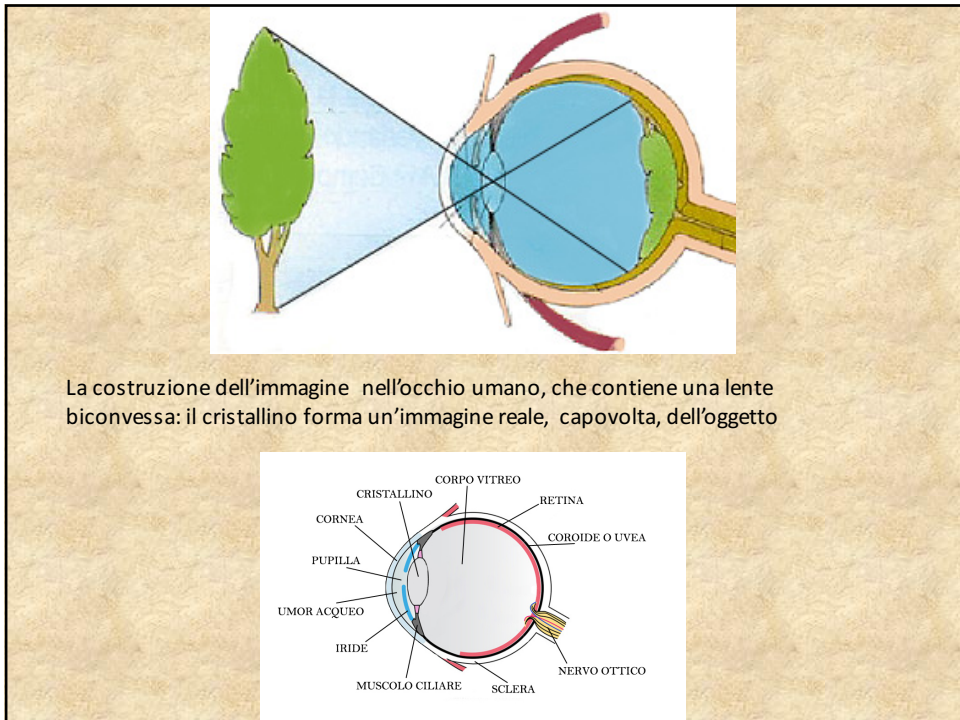
La costruzione dell'immagine con una lente biconvessa. Consideriamo i raggi che provengono dalla punta della freccia: i raggi (Raggio P) che arrivano alla lente paralleli all'asse ottico emergono passando per il fuoco (punto F), quelli (Raggio F) che arrivano passando per il fuoco emergono paralleli all'asse ottico. I raggi (Raggio M) che passano per il centro ottico (C) proseguono non deviati. Nel punto di intersezione dei raggi si forma l'immagine della punta

In realtà dalla punta della freccia emergono infiniti raggi. Tutti quelli che giungono alla lente convergono nello stesso punto e contribuiscono a formare l'immagine della punta. I raggi che non attraversano la lente non vengono deviati e quindi non contribuiscono a formare l'immagine. Per questo motivo una lente di diametro grande sarà molto luminosa. La nostra pupilla, dilatandosi o restringendosi, regola la quantità di luce che giunge alla lente e quindi regola la luminosità dell'immagine

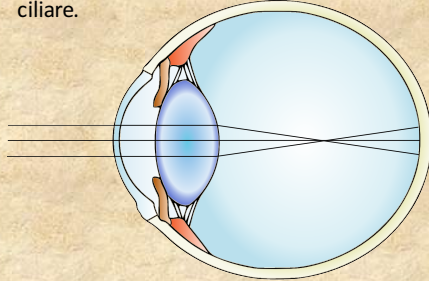
Costruiamo un occhio con lente.

Dovremo scegliere la lunghezza del cilindro di cartoncino nero in base alla lunghezza focale della lente che useremo

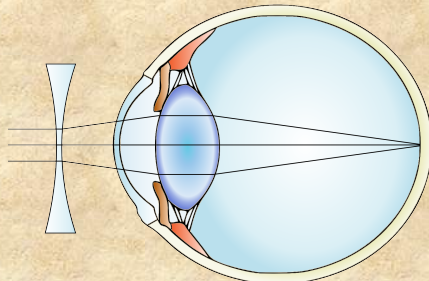
Il solito cilindro di carta e una lente convessa (convergente, una normale lente di ingrandimento) ci permettono di simulare un occhio con lente



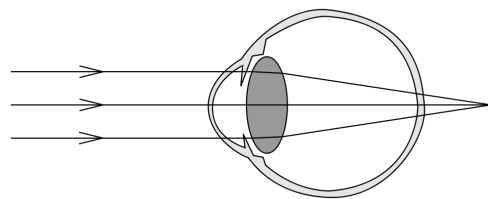
Perché si formi una immagine nitida, focalizzata sulla retina, la lunghezza focale della lente (cristallino) deve essere proporzionata alla lunghezza geometrica dell'occhio. La lunghezza focale del nostro cristallino è regolabile per poter mettere a fuoco oggetti vicini o lontani (accomodamento), grazie alla sua elasticità e alla attività del muscolo ciliare.



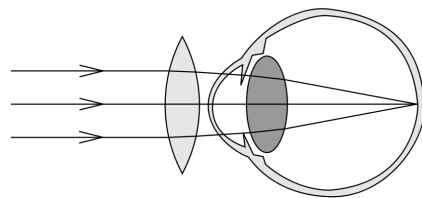
Nell'occhio miope l'immagine non si focalizza sulla retina ma anteriormente ad essa. La causa può essere un occhio troppo lungo rispetto al cristallino o un cristallino con una curvatura eccessiva



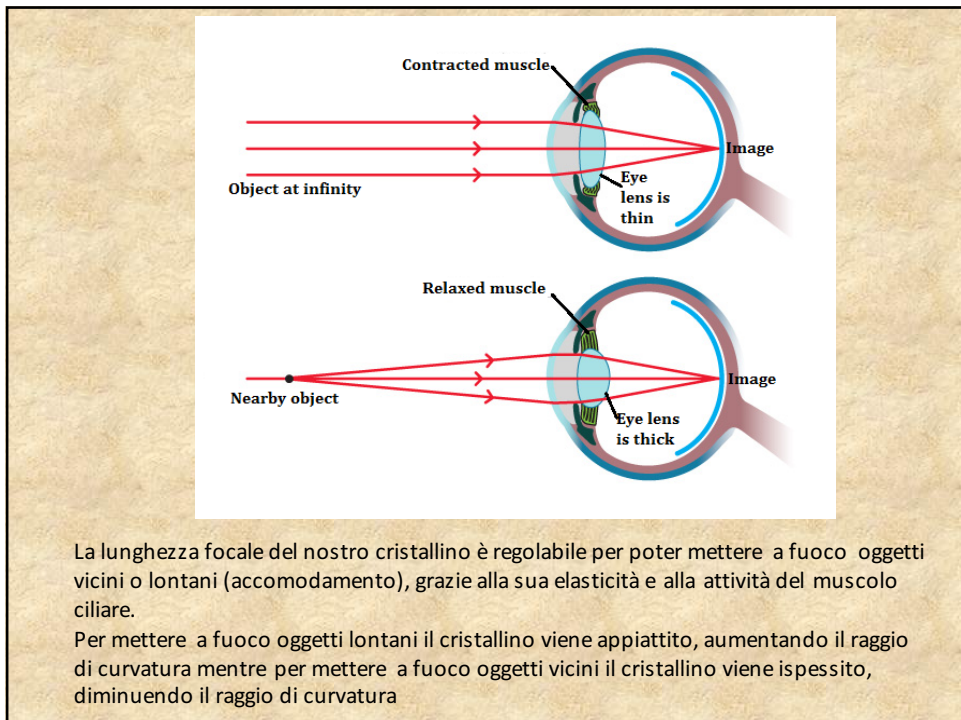
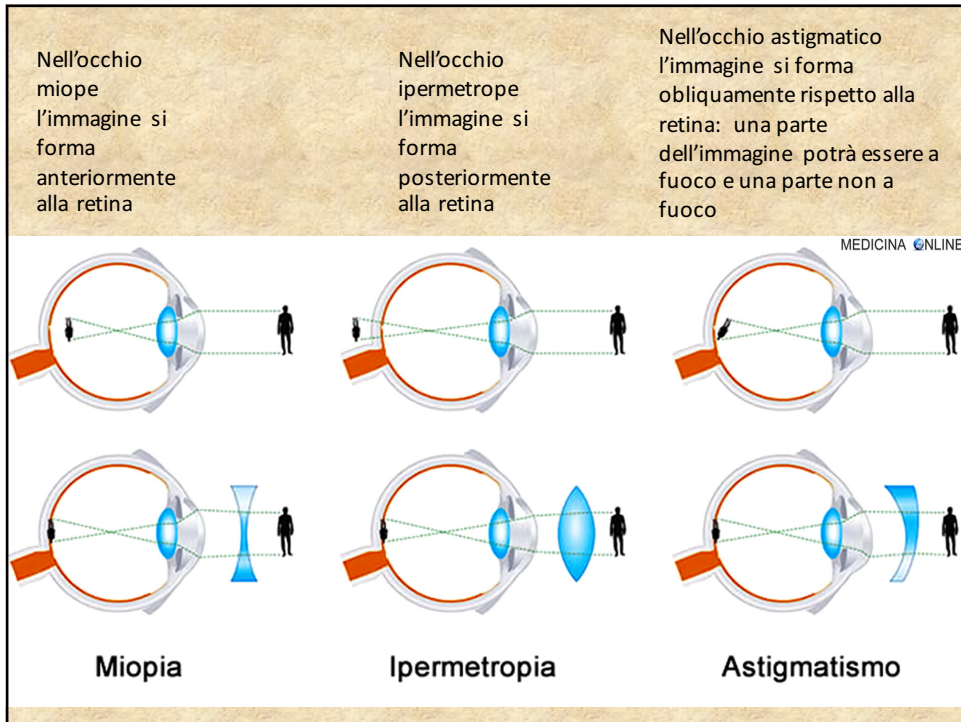
L'uso di una lente divergente permette di correggere la miopia

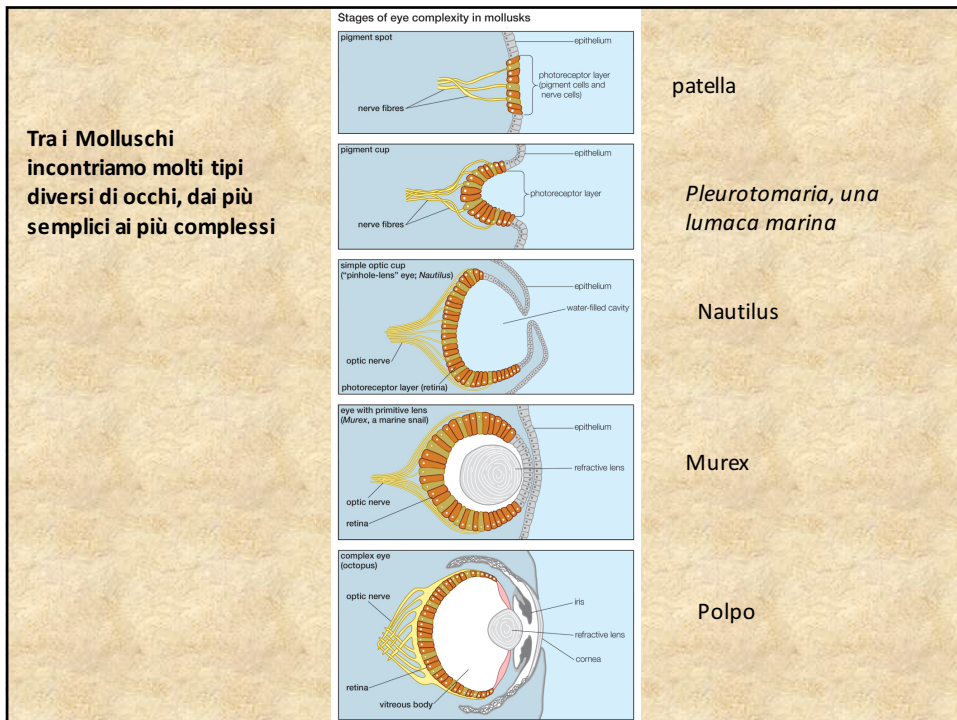
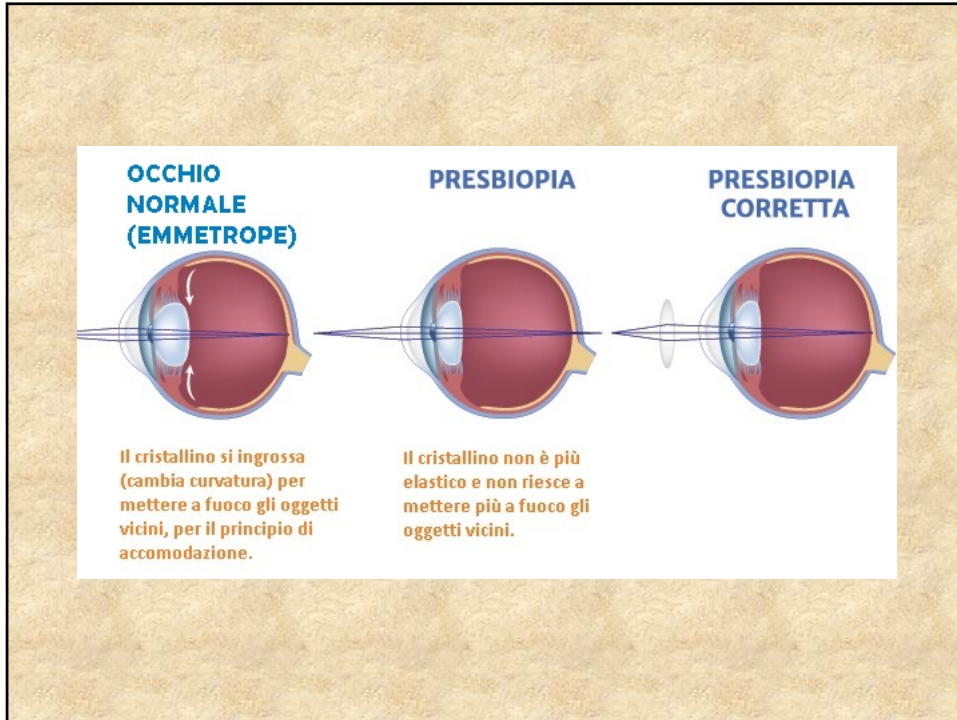


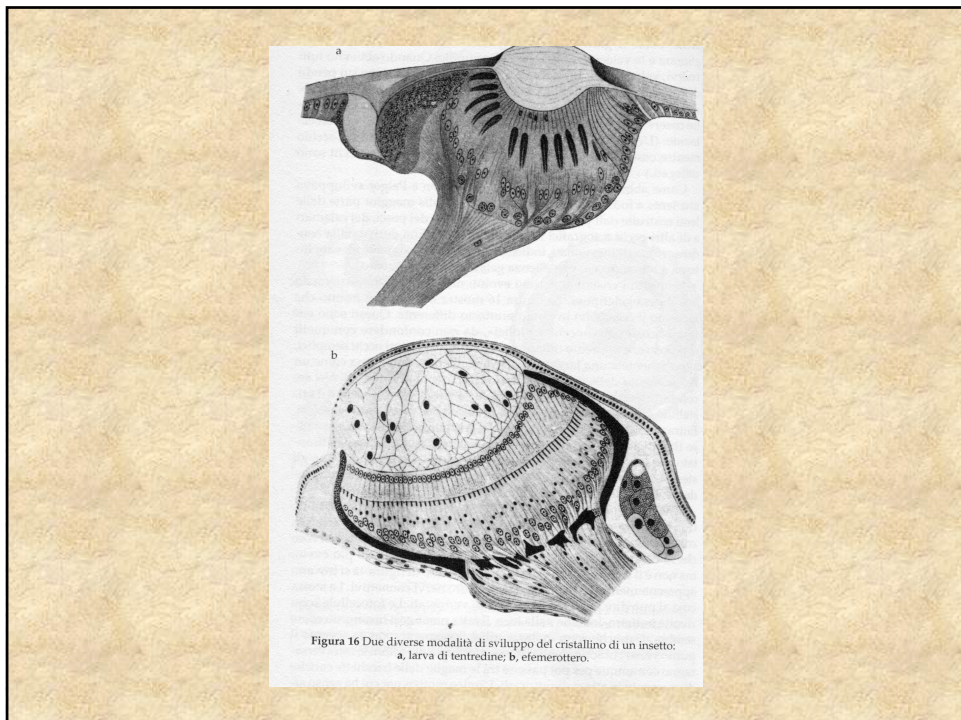
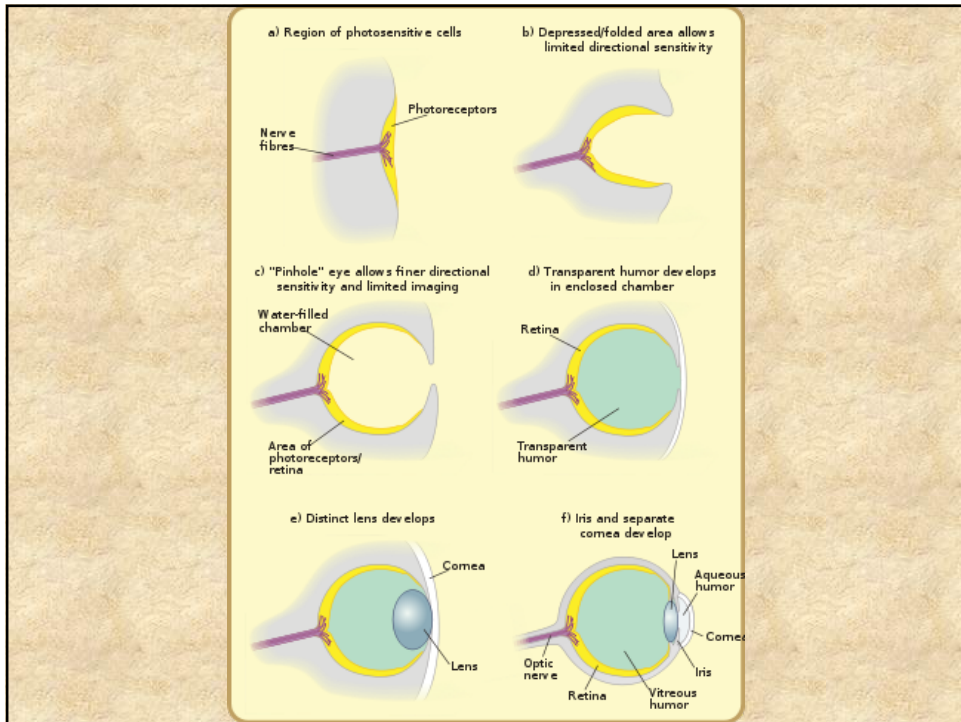
Nell'occhio ipermetrope l'immagine non si focalizza sulla retina ma posteriormente ad essa. La causa può essere un occhio troppo corto rispetto al cristallino o un cristallino con una curvatura insufficiente

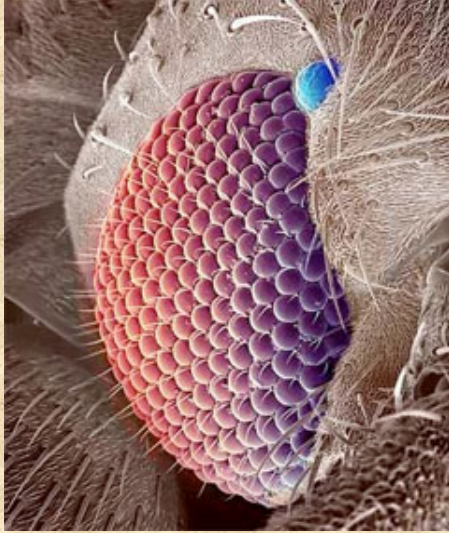


L'uso di una lente convergente permette di correggere la ipermetropia









L'occhio composto di molti insetti è formato da numerosissimi ommatidi. Nella sua forma più semplice (occhio composto per apposizione) ogni ommatidio può essere considerato come un sottilissimo prisma che porta alla base un fotorecettore. La forma lunga e sottile dell'ommatidio permette di selezionare i soli raggi che siano paralleli al suo asse verticale. Si genera una immagine non rovesciata, costruita per punti, a mosaico.

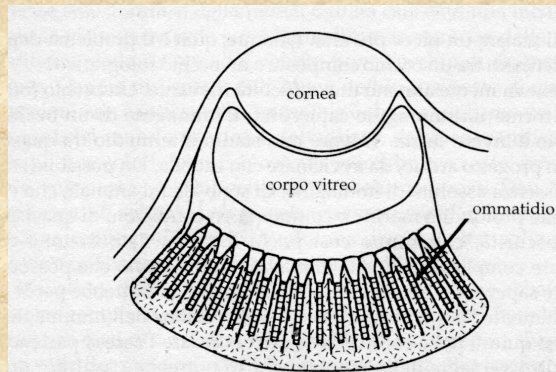
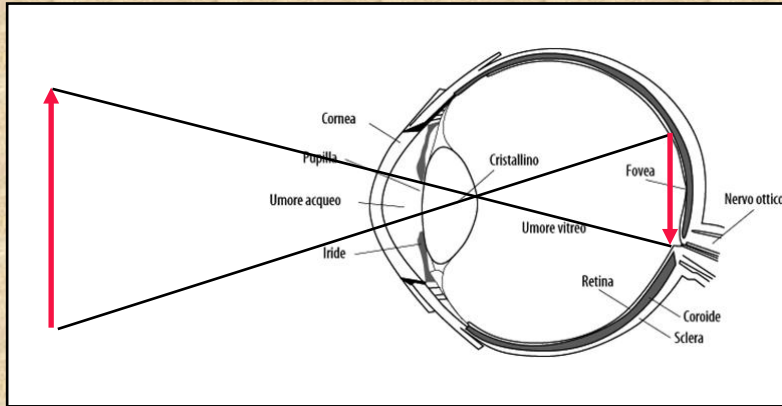


Figura 20 Lo straordinario occhio di *Ampelisca*: un occhio fotografico

L'OCCHIO UMANO

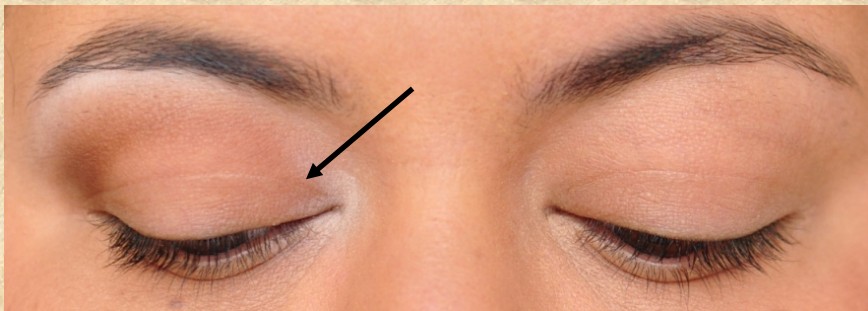
Rimandando ai libri di testo per la descrizione della anatomia dell'occhio esaminiamo soltanto alcuni aspetti della visione



Il sistema ottico dell'occhio si può considerare come una lente convessa, che proietta sulla retina una immagine rovesciata dell'oggetto.

Il cervello esegue poi la corretta interpretazione, per cui non vediamo il mondo rovesciato!

Con un semplice esperimento possiamo verificare il rovesciamento dell'immagine: Con un dito esercitiamo una pressione su una palpebra, ad esempio nella posizione indicata dalla freccia, comprimendo leggermente il bulbo oculare

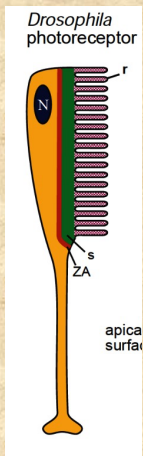
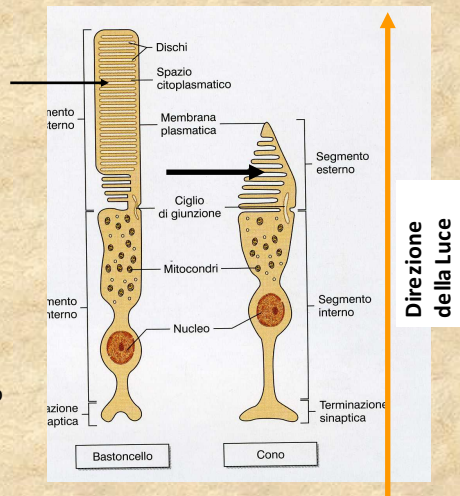


Vedremo apparire un alone scuro o luminoso nell'angolo inferiore esterno del campo visivo (mentre la pressione era nell'angolo superiore interno)

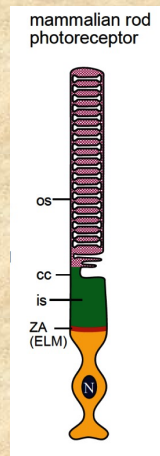
Le cellule sensibili alla luce sono i coni e i bastoncelli situati nella retina. Un complesso sistema di membrane (frecce) contiene una proteina sensibile alla luce, una delle OPSINE. Eccitata dalla luce la opsina cambia la sua struttura e provoca un cambiamento nella permeabilità della membrana agli ioni e quindi un impulso nervoso

I bastoncelli sono molto sensibili alla luce e quindi utili nelle condizioni di bassa luminosità (visione crepuscolare e notturna). Non distinguono i colori e forniscono immagini poco dettagliate.

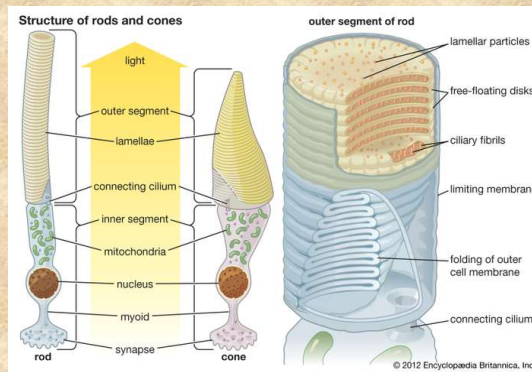
I coni sono meno sensibili ma capaci di distinguere i colori, esistendo in diversi tipi (tre nella nostra specie), ciascuno sensibile a determinate lunghezze d'onda. Forniscono immagini molto dettagliate. Per vedere bene e a colori abbiamo bisogno di molta luce!



Rabdomerico



Ciliare



I fotorecettori degli animali si distinguono in due categorie: rabdomerici e ciliari. In quelli rabdomerici, tipici della maggior parte degli invertebrati, le pliche di membrana che portano le opsine derivano da microvilli. In quelli ciliari il segmento che contiene le opsine (segmento esterno) deriva da un ciglio primario

Ascidia Hagfish Pineal Lamprey Gnathostome

Ascidia Missinoide Occhio parietale Lampreda Mammifero

Fotorecettori ciliari: in rosso la struttura a 9 coppie di microtubuli del ciglio primario

(a) Flagella (b) Cilia

Direction of motion

Plasma membrane Central microtubules Radial spokes Inner sheath Nexin

Dynein arms B tubule A tubule Doublet microtubule

motile cilium primary cilium

basal body basal body

Differenza tra un ciglio mobile e un ciglio primario, che manca dei microtubuli centrali e non ha attività motoria

Ciglia mobili e flagelli: struttura 9+2: 9 coppie periferiche e due tubuli centrali

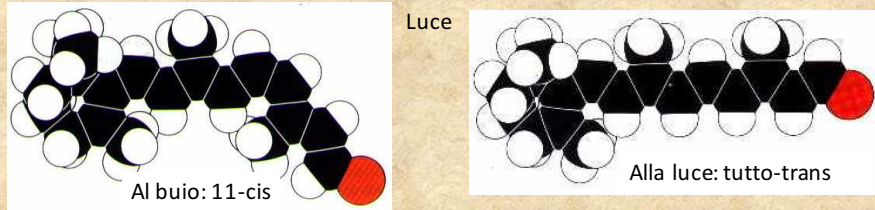
Le opsine presenti nelle membrane dei coni e dei bastoncelli contengono una molecola che cambia di forma quando viene esposta alla luce

Al buio: 11-cis Alla luce: tutto trans

Esposta alla luce la rodopsina provoca un cambiamento nella permeabilità (e quindi del potenziale elettrico) della membrana dei coni e dei bastoncelli, cioè un impulso nervoso.

Il RETINALE, gruppo prostetico della rodopsina, un derivato della vitamina A.
 La luce determina l'isomerizzazione del retinale contenuto nella rodopsina. Questo provoca un cambiamento di conformazione nella opsina e l'avviamento della cascata enzimatica responsabile della risposta.

Le opsine presenti nelle membrane dei coni e dei bastoncelli contengono una molecola che cambia di forma quando viene esposta alla luce



Perché la opsina, dopo essere stata eccitata, ritorni nella condizione di partenza è necessario che il retinale tutto-trans si distacchi dalla opsina e venga sostituito da una nuova molecola in conformazione 11-cis.

Il retinale tutto trans torna in condizione 11-cis grazie ad interventi enzimatici che si svolgono soprattutto nelle cellule pigmentate del tappeto nero.

Dopo la esposizione a luci molto intense i fotorecettori possono risultare "esauriti" per carenza di nuovo 11-cis retinale. Questa è una delle possibili cause di alcuni fenomeni di abbagliamento e di immagini residue. Le aree illuminate fortemente mostrano uno sbiancamento (bleaching) dovuto al cambiamento i conformazione del retinale, qui mostrato in una area della retina di rana.

