

CAPITOLO 3.3 SISTEMA VISIVO

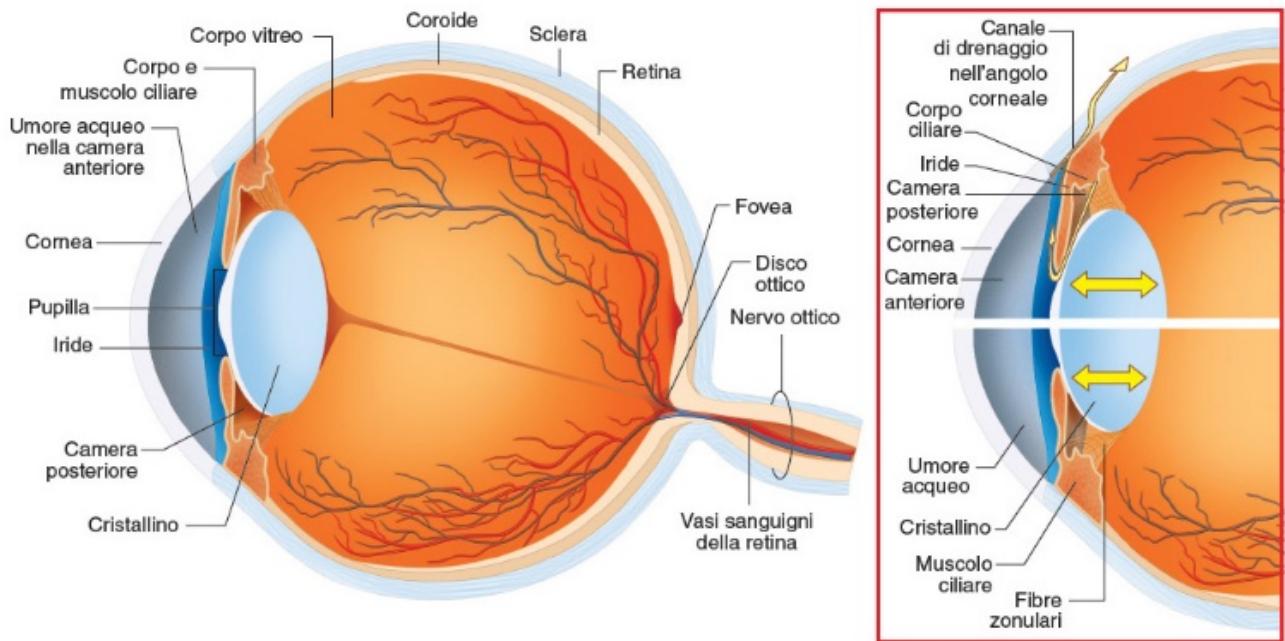


Figura 9.1 Occhio e mezzi ottici. La figura illustra i mezzi ottici (cornea e cristallino) e le strutture oculari accessorie (iride e corpo ciliare). Sono inoltre mostrate le strutture vascolari (coroide, arteria e vena centrale della retina) e nervose (retina, fovea, disco e nervo ottico) alle quali si fa riferimento nel capitolo. Nel riquadro è indicata la localizzazione delle strutture oculari coinvolte nella formazione e nel drenaggio dell'umor acqueo (camera anteriore e posteriore, angolo corneale e canale di drenaggio). La freccia gialla indica il percorso dell'umor acqueo: è prodotto dall'epitelio del corpo ciliare nella camera posteriore e scorre verso la camera anteriore attraverso il forame pupillare. Il drenaggio avviene attraverso un canale posizionato nell'angolo corneale, nel quale si trova il trabecolato corneo-sclerale, e successivamente attraverso il canale di Schlemm (non indicato in figura) che è in contatto con il trabecolato.

strato esterno:

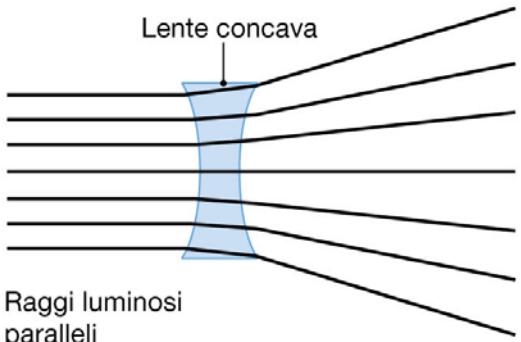
cornea, congiuntiva, sclera

strato intermedio:

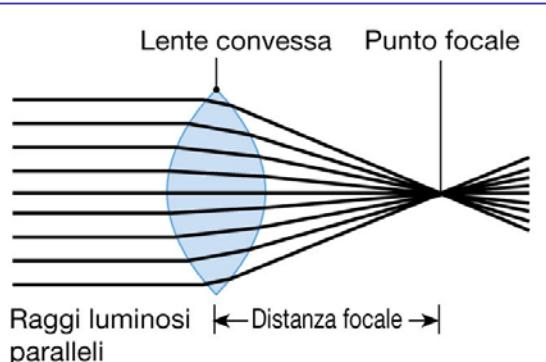
iride: (fibre muscolari lisce), regola il diametro della pupilla **coroide:** ricca di vasi sanguigni che irrigano gli strati esterni della retina

strato interno:

retina: sulla parete posteriore dell'occhio

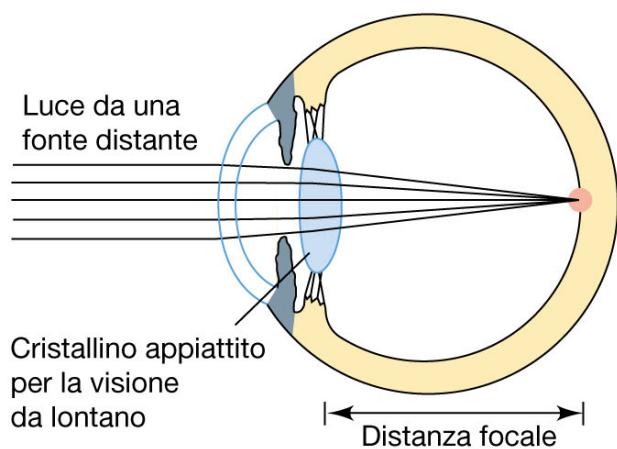
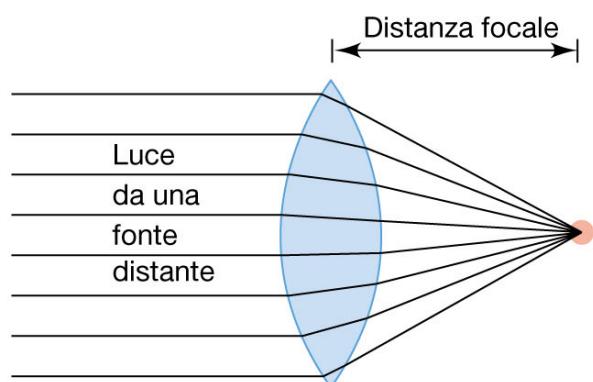


LA LENTE CONCAVA FA DIVERGERE I RAGGI LUMINOSI



LA LENTE CONVESSA FA CONVERGERE I RAGGI LUMINOSI

La distanza focale è la distanza tra il centro della lente e il punto focale.



L'accomodazione del cristallino

VISIONE DI OGGETTI DISTANTI:

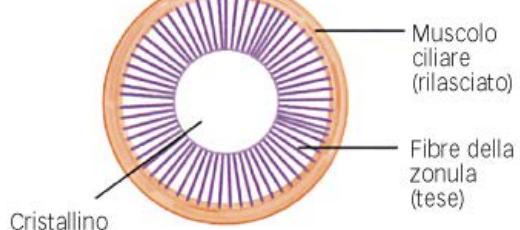
Cristallino piatto con minimo potere rifrattivo.

VISIONE DI OGGETTI VICINI:

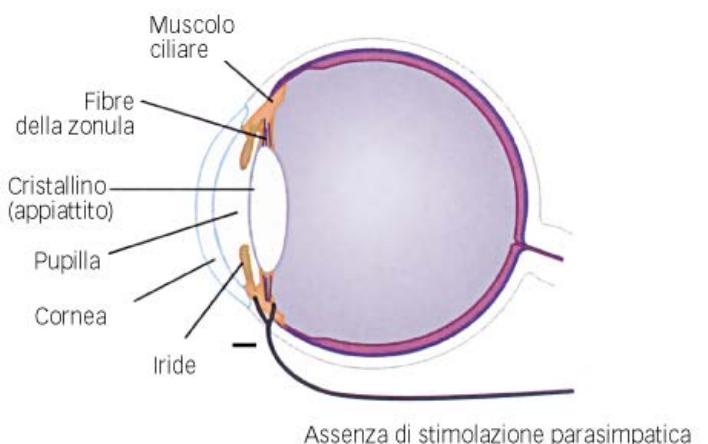
cristallino arrotondato, massimo potere rifrattivo.

VISIONE DI OGGETTI DISTANTI

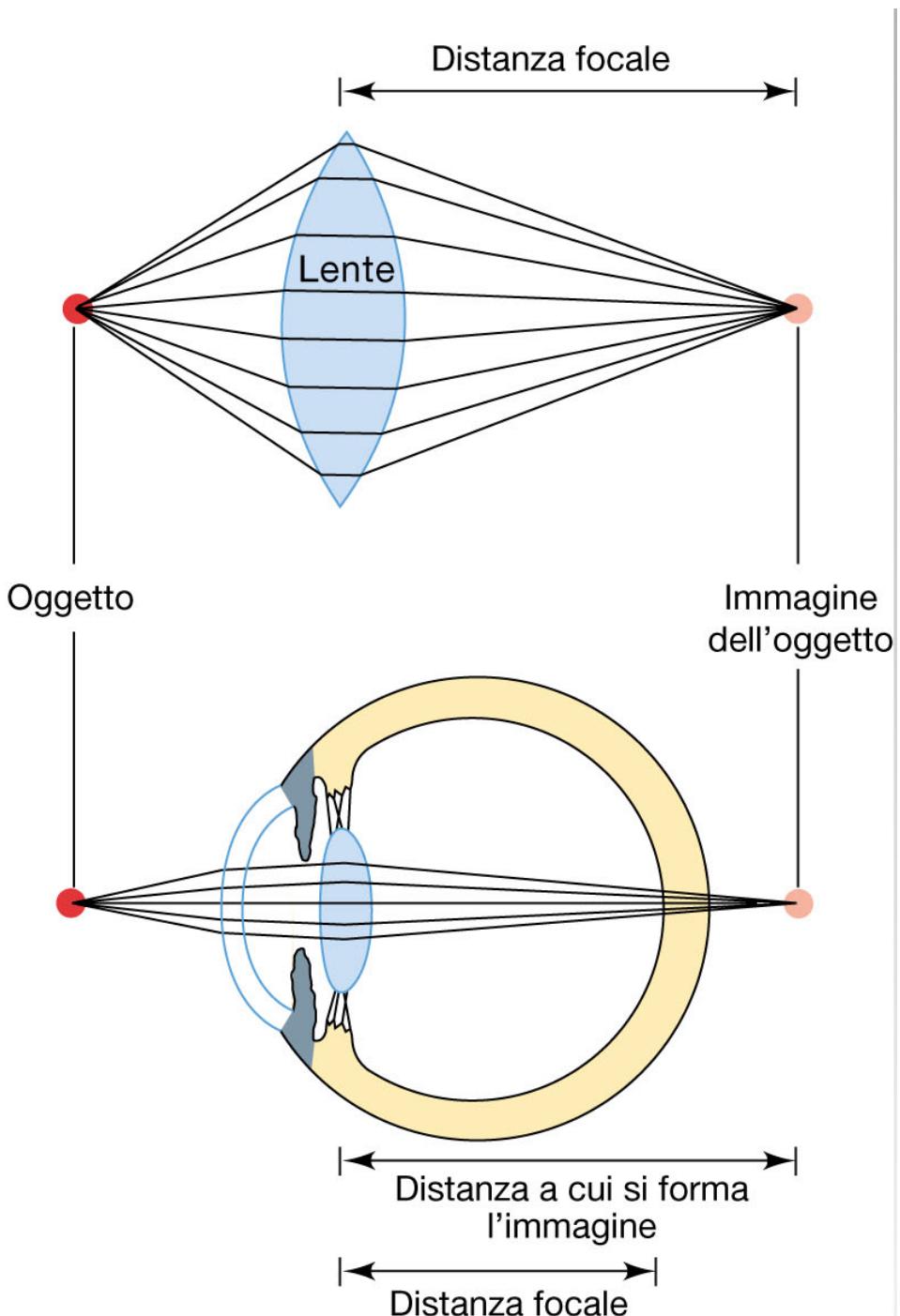
Muscolo ciliare rilasciato, fibre zonula in tensione.



(a) Visione di oggetti distanti

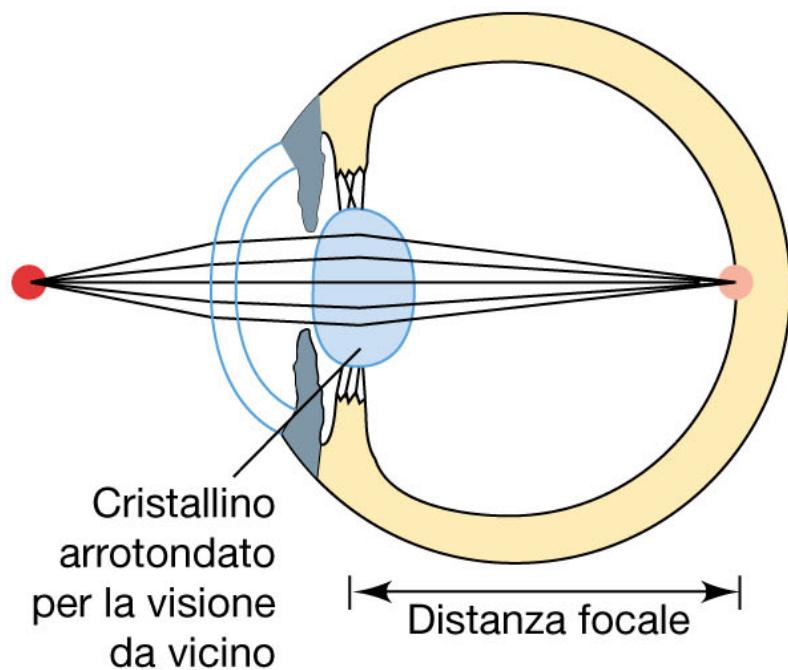
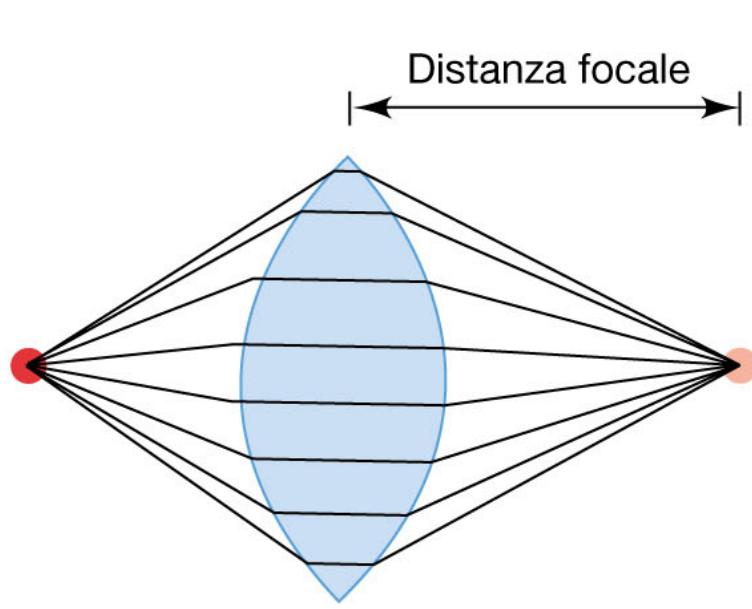


OGGETTO IN AVVICINAMENTO

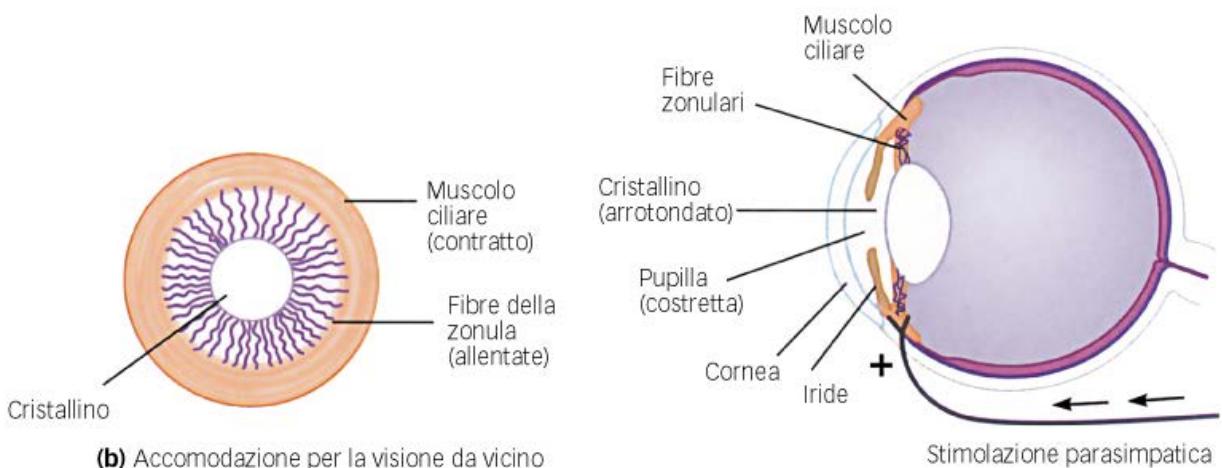


VISIONE DI OGGETTI VICINI: ACCOMODAZIONE DEL CRISTALLINO.

Per mettere a fuoco l'oggetto vicino, il cristallino diventa + convesso. Il cristallino **arrotondato** ha massimo potere rifrattivo ed una distanza focale minore.



VISIONE DI OGGETTI VICINI: cristallino arrotondato, massimo potere rifrattivo. Diminuisce la tensione delle fibre zonulari a causa della contrazione del muscolo ciliare



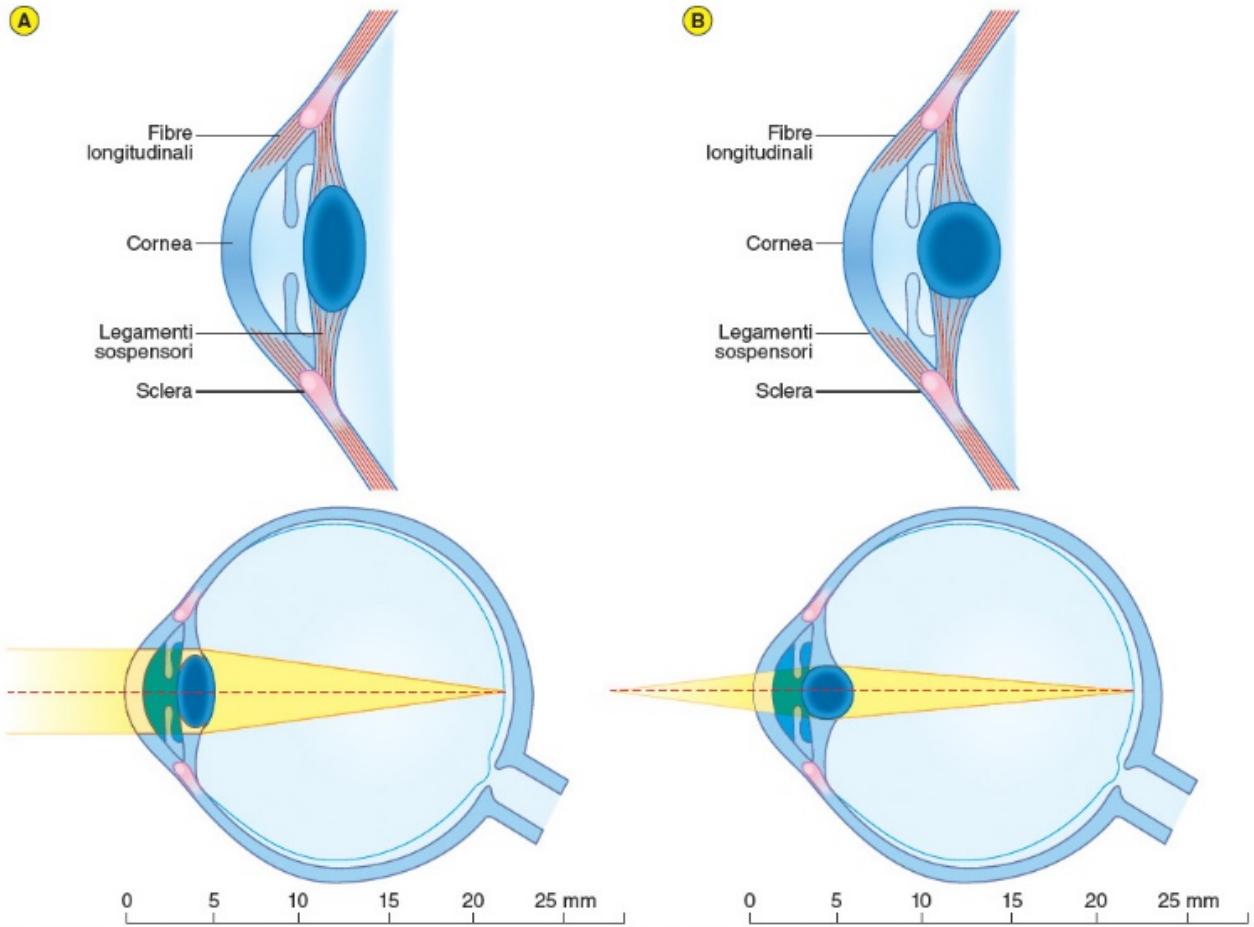
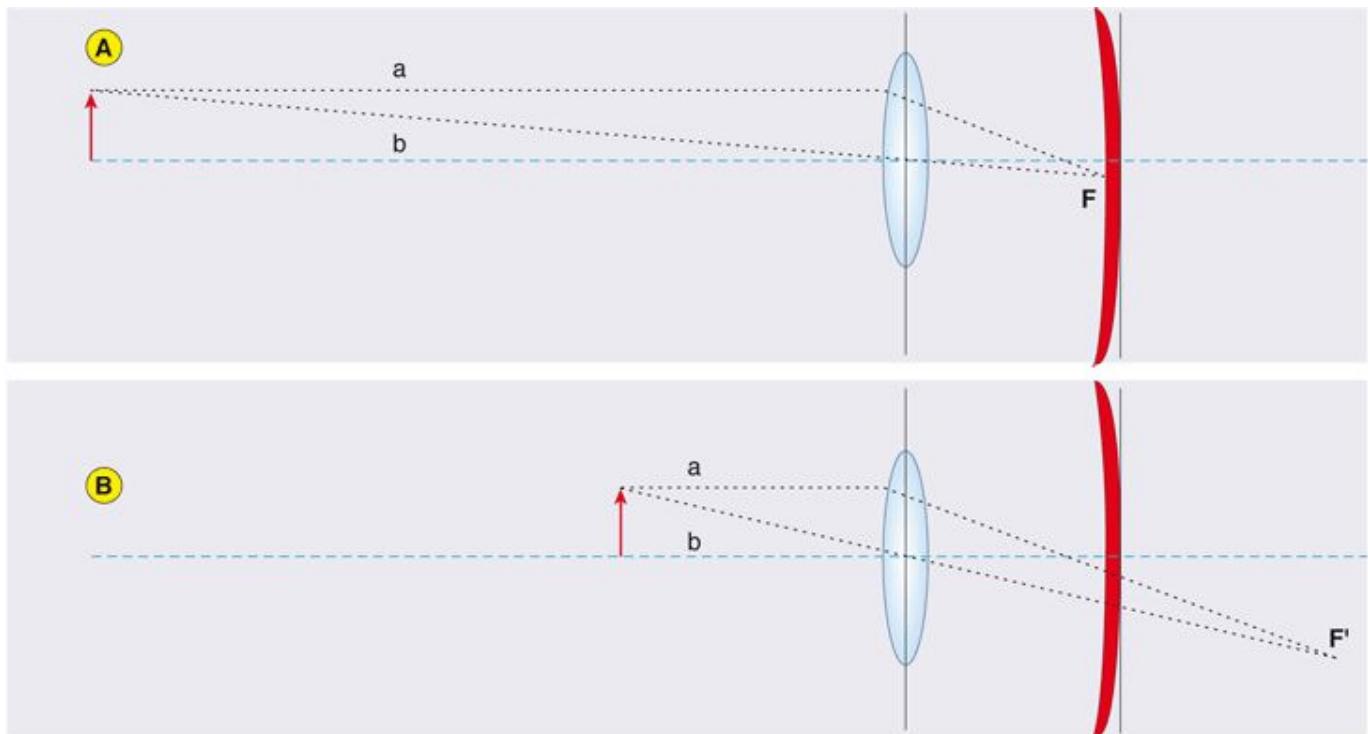


Figura 9.6 Accomodazione. (A) La tensione esercitata dai legamenti sospensori sul cristallino contrasta la sua naturale elasticità che porterebbe all'aumento della sua convessità e spessore. (B) La contrazione della muscolatura ciliare a decorso circolare causa una riduzione della tensione dei legamenti sospensori e permette al cristallino di aumentare il suo spessore. L'aumento della convessità (e dello spessore) del cristallino costituisce la principale differenza tra l'occhio accomodato per l'osservazione di oggetti lontani (oltre i 6 m) e l'occhio accomodato per l'osservazione di oggetti vicini. L'aumento della convessità (e dello spessore) comporta un aumento del potere di rifrazione, che consente di mettere a fuoco sulla retina i raggi luminosi divergenti provenienti da un oggetto vicino, cioè di far cadere sulla retina il fuoco coniugato.

Proprietà ottiche dell'occhio

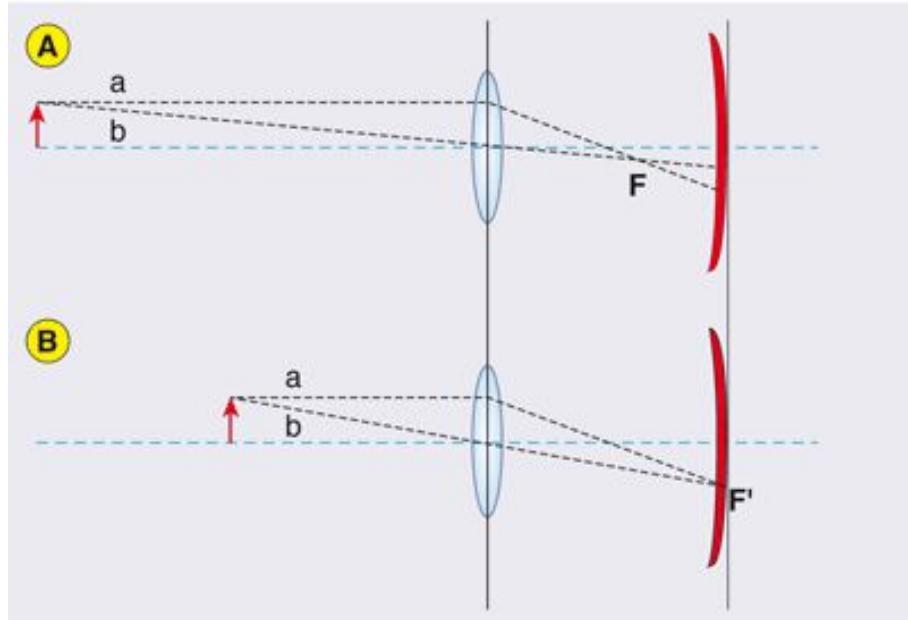
- i centri ottici di cornea e cristallino si trovano sullo stesso asse pertanto l'occhio si può rappresentare più semplicemente come una **singola lente**



- nell'occhio normale (cristallino appiattito), oggetti lontani (oltre 6 metri) sono messi a fuoco sulla retina
- la **retina** è a 17 mm del centro del cristallino con un potere di rifrazione di 58 diottrie
- in assenza di accomodamento, gli oggetti più vicini di 6 metri formano l'immagine oltre la retina (**fuoco**)
- la messa a fuoco dell'immagine sulla retina avviene cambiando la curvatura del cristallino (**accomodazione**)

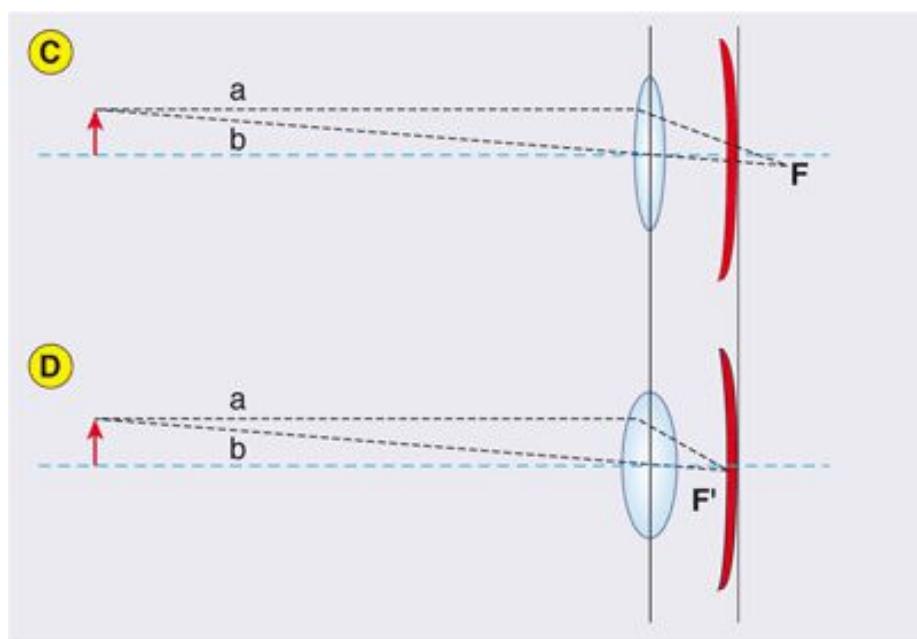
Vizi refrattivi

Occhio miope



- bulbo oculare *più lungo* del normale
- il fuoco è *davanti* alla retina
- immagini lontane sono sfocate
- avvicinando l'oggetto all'occhio l'immagine converge nel fuoco coniugato

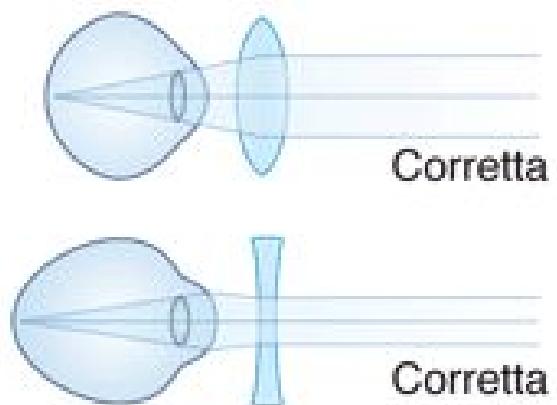
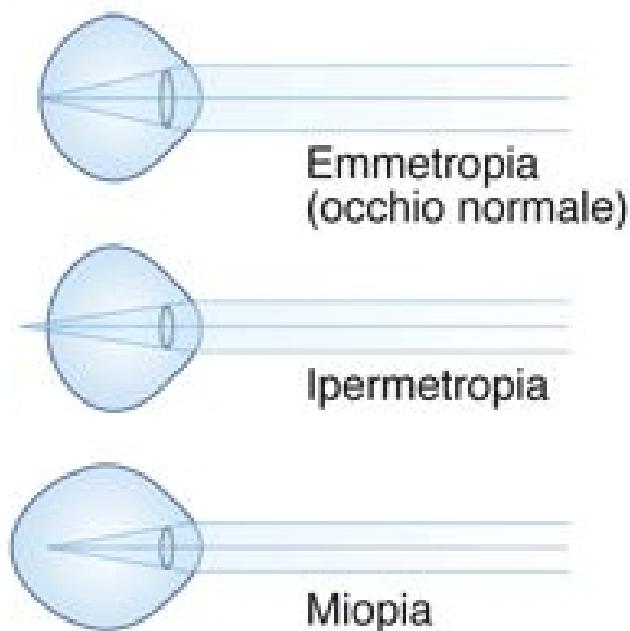
Occhio ipermetrope



- difetto di rifrazione del cristallino
- bulbo oculare *più corto* o insufficiente convessità della cornea o del cristallino
- i raggi luminosi che provengono da oggetti distanti convergono in un punto focale oltre la retina

Correzioni dei vizi refrattivi

- sono corretti con lenti che aggiungono o tolgono le diottrie necessarie per portare a fuoco l'immagine sulla retina



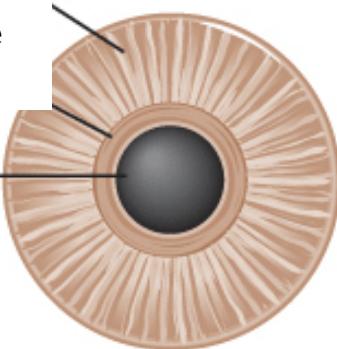
- l'**ipermetropia** è corretta con lenti **convesse**
- la **miopia** è corretta con lenti **concave**

Riflesso pupillare

IRIDE

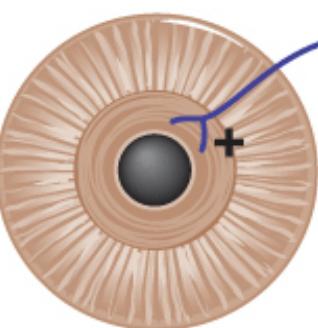
Radiale
esterno

Circolare
interno



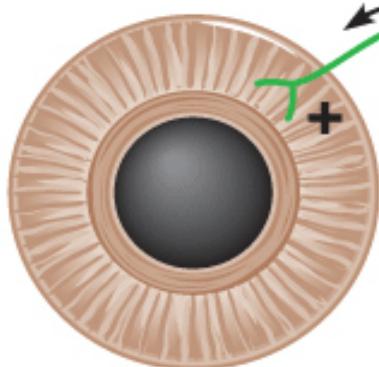
(a) Anatomia dell'iride e della pupilla

• 2 strati di muscolo liscio nell' iride controllano il diametro della pupilla.



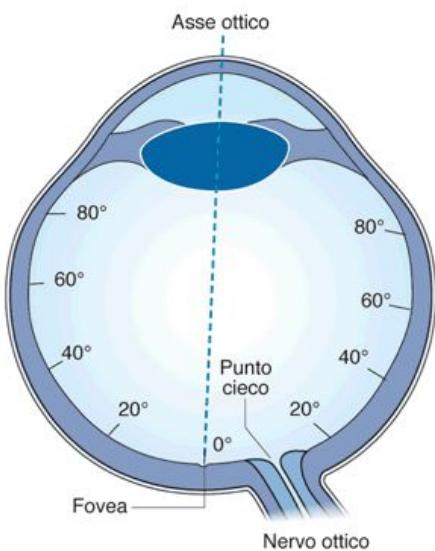
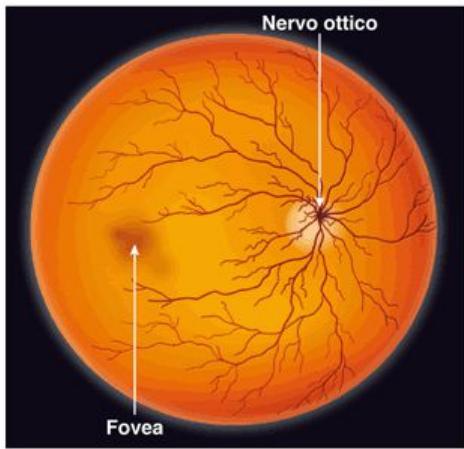
(b) Costrizione pupillare

• La stimolazione **parasimpatica** dello strato circolare: **costrizione**



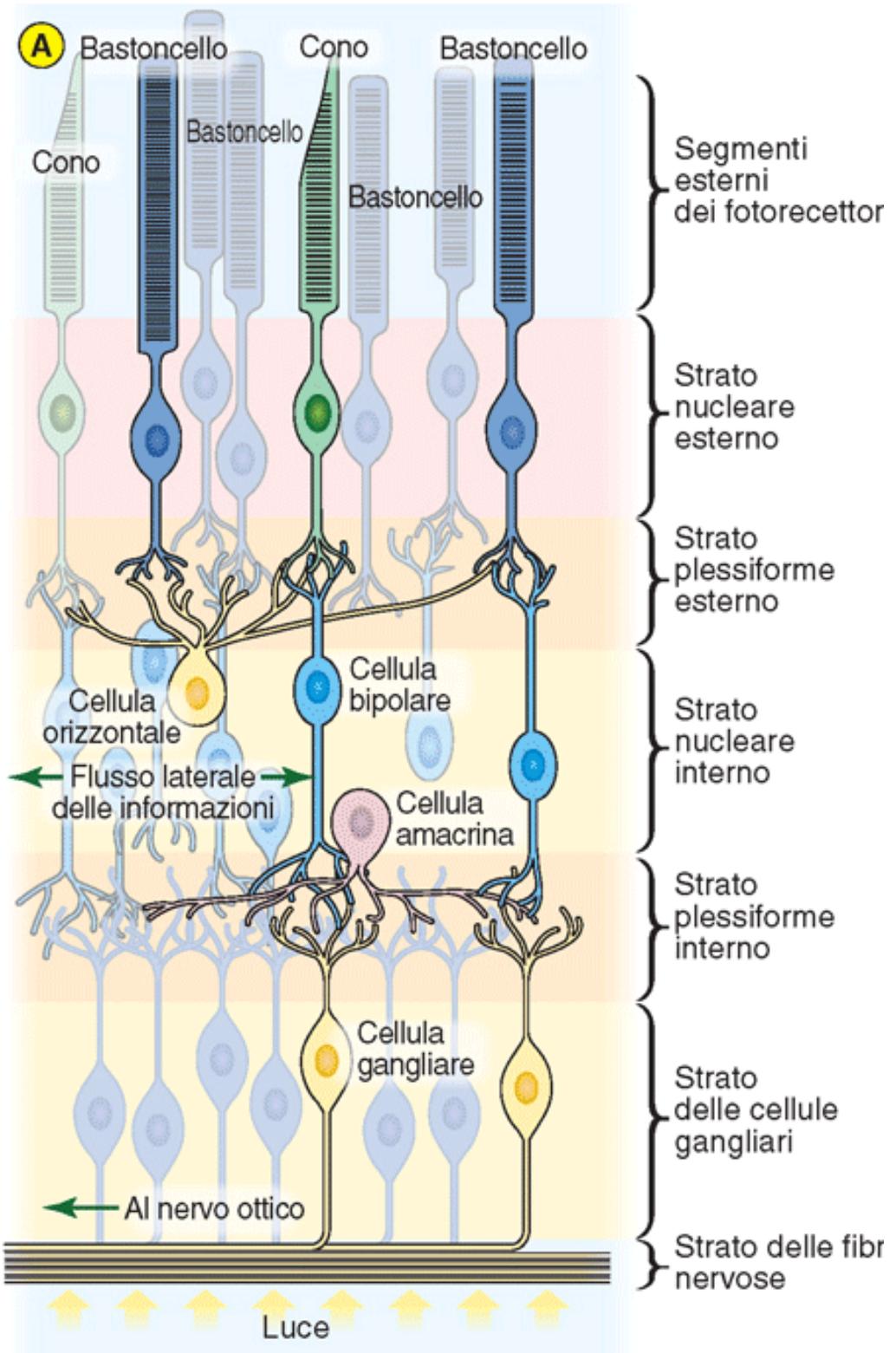
(c) Dilatazione pupillare

• La stimolazione **simpatica** dello strato radiale: **dilatazione**

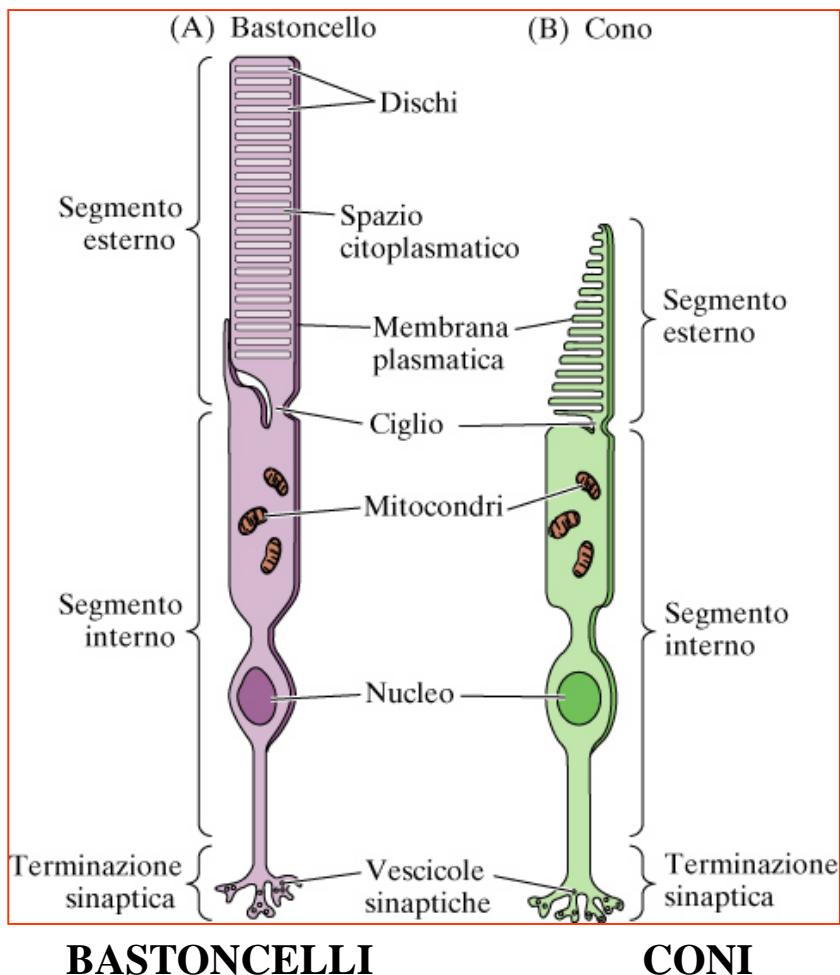


- la **fovea** è nel centro della retina in corrispondenza dell'**asse ottico** dove si forma l'immagine di ciò che fissa l'occhio
- si presenta come una leggera depressione della regione retinica priva di grossi vasi e assoni delle cellule gangliari
- contiene esclusivamente un'**alta densità** di **piccoli coni** (diam. $1.5 \mu\text{m}$; **alta acuità visiva**)
- nel resto della retina minori densità di **coni grandi** e **bastoncelli** (**bassa acuità visiva**)

• Struttura della retina



- **Coni e bastoncelli: differenze funzionali e morfologiche**



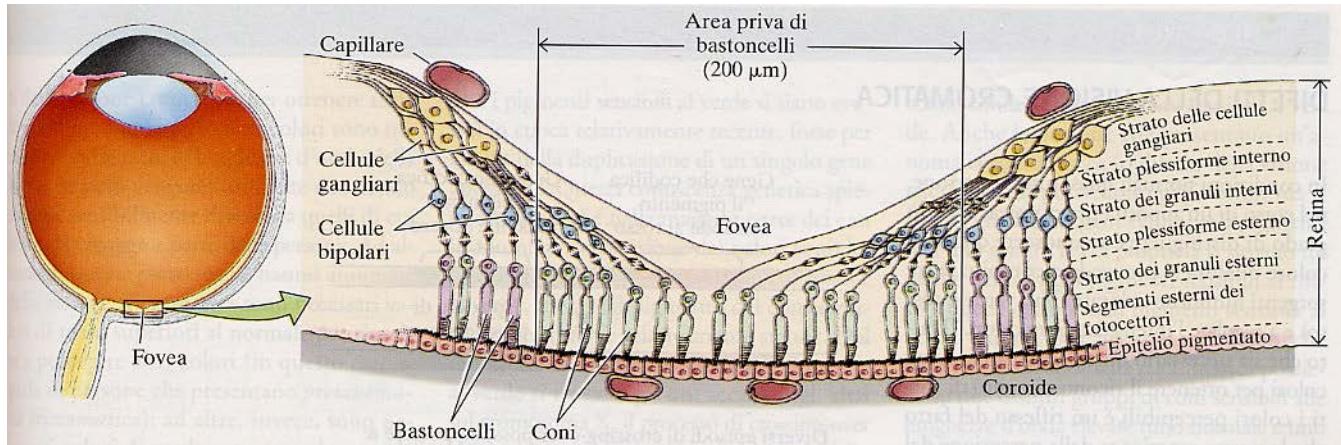
BASTONCELLI

CONI

- **elevata sensibilità:**
attivati da 1γ
- **bassa risoluzione** spaziale
(fotopigmento ++)
- **visione scotopica**
- ***rodopsina***
- distribuiti sulla retina
ma **non nella fovea**

- **scarsa sensibilità:**
attivati da 100γ
- **alta risoluzione** spaziale
(fotopigmento +)
- **visione fotopica**
- **3 fotopigmenti**
concentrati nella
fovea

La diversa convergenza dei fotorecettori (coni e bastoncelli) sulle altre cellule della retina



BASTONCELLI: elevato grado di convergenza

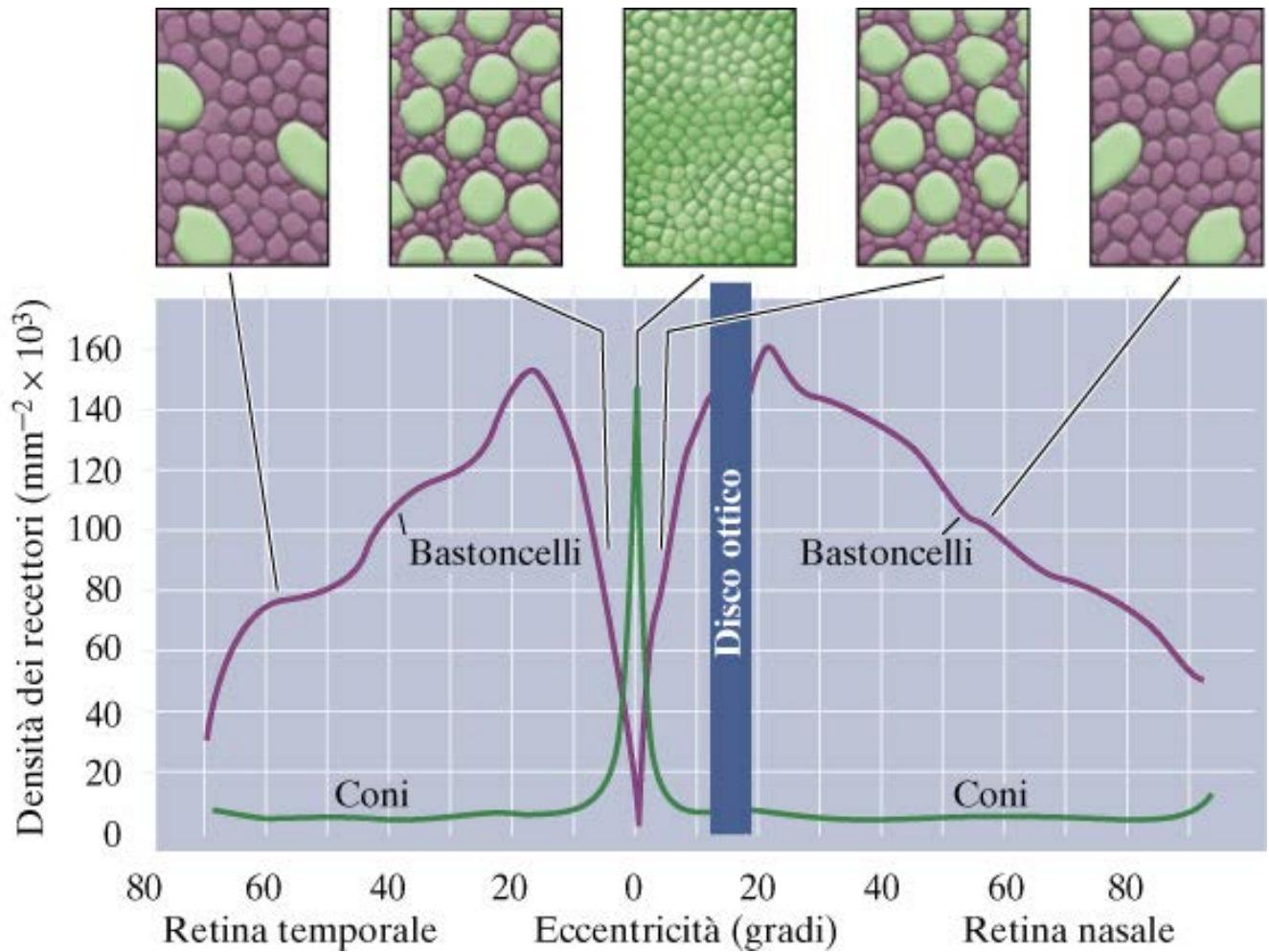
- molti bastoncelli convergono su una cellula bipolare
- molte bipolari convergono su una gangliare

CONI: basso grado di convergenza

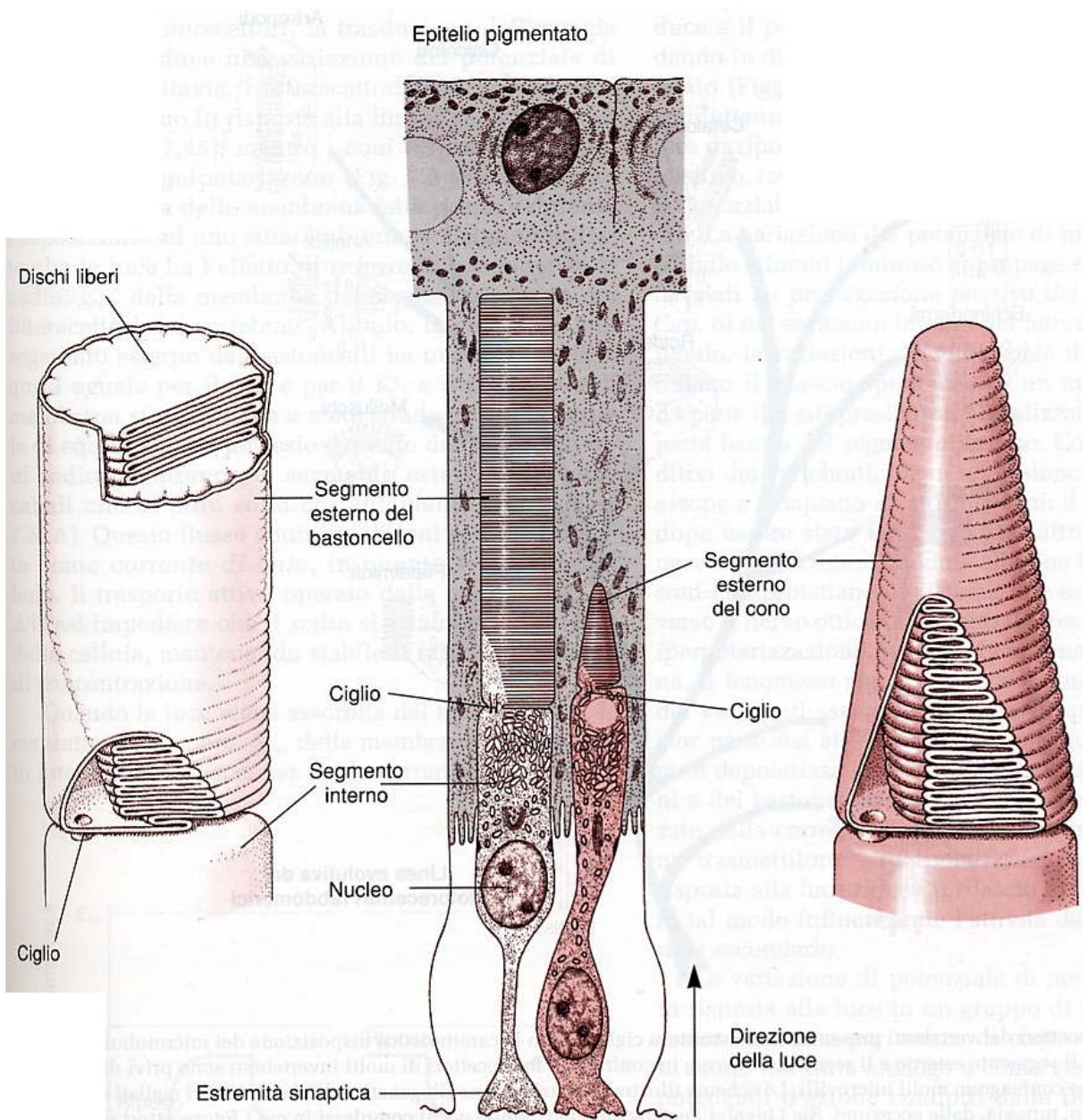
- un cono contrae sinapsi con una cellula bipolare,
- la bipolare fa sinapsi con una sola gangliare

La convergenza dei fotorecettori sulle altre cellule migliora la sensibilità a discapito della risoluzione visiva

Distribuzione dei fotorecettori sulla retina

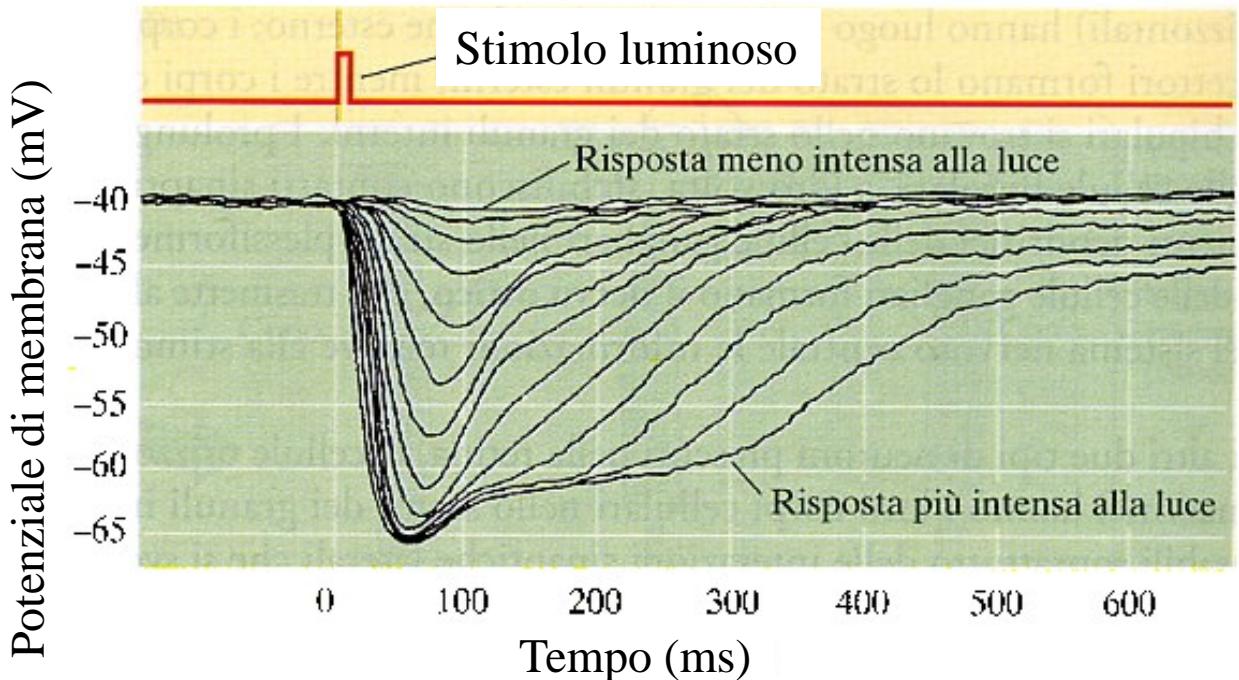


Il segmento esterno dei fotorecettori



- Come avviene la fototrasduzione

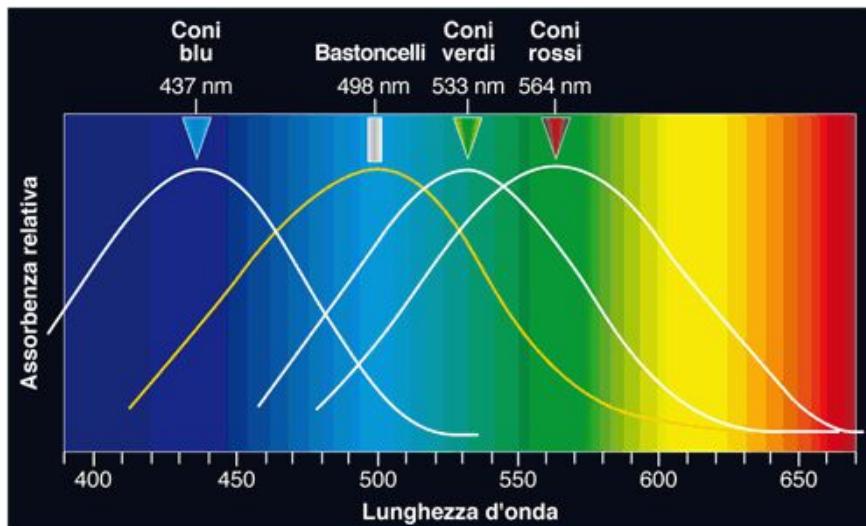
a differenza degli altri sistemi sensoriali, **LA LUCE IPERPOLARIZZA** la membrana del fotorecettore



- al buio i fotorecettori sono **depolarizzati** e liberano neurotrasmettore (glutamato)
- alla luce i fotorecettori sono **iperpolarizzati** e la liberazione di neurotrasmettore (glutamato) si riduce.

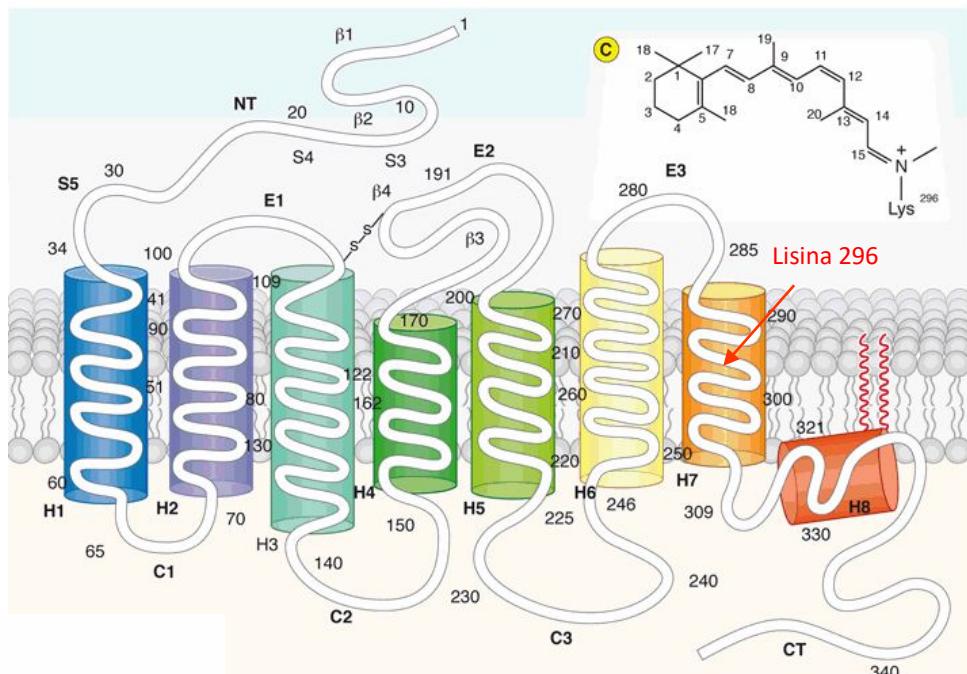
I pigmenti visivi

- i pigmenti visivi sono formati da una **apoproteina (opsina)** e da un cromoforo (**11-cis-retinale**)

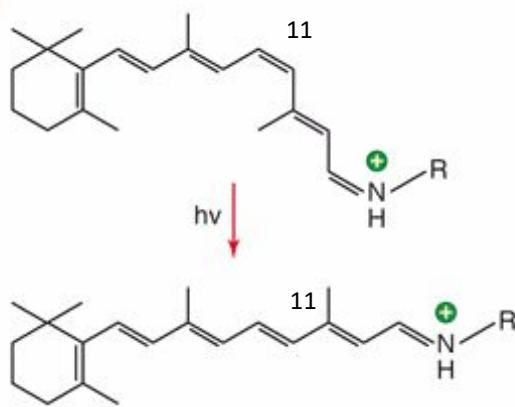


- i bastoncelli contengono **rodopsina**
- i coni contengono tre fotopigmenti, **opsine dei coni**, ciascuno con uno spettro di assorbimento diverso

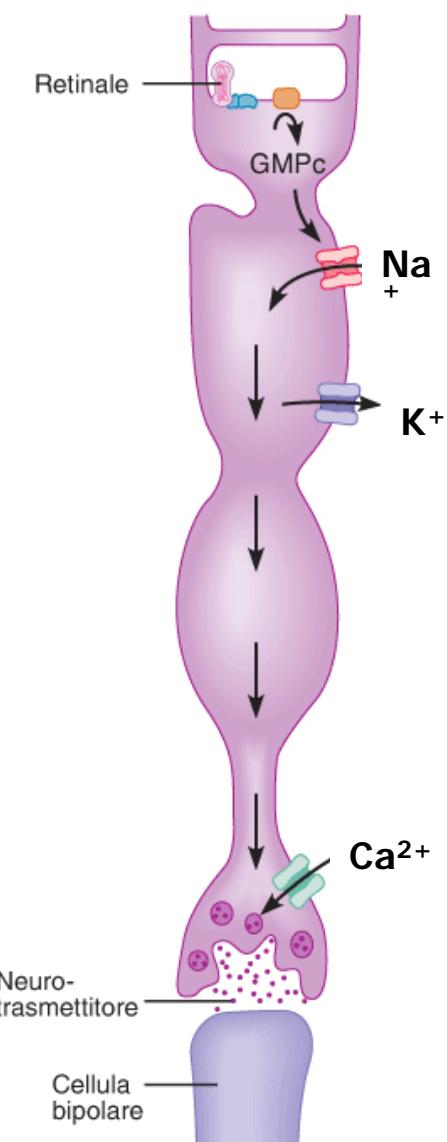
- le **opsine** sono proteine di membrana a 7 α -eliche transmembranali funzionalmente legate a proteine G



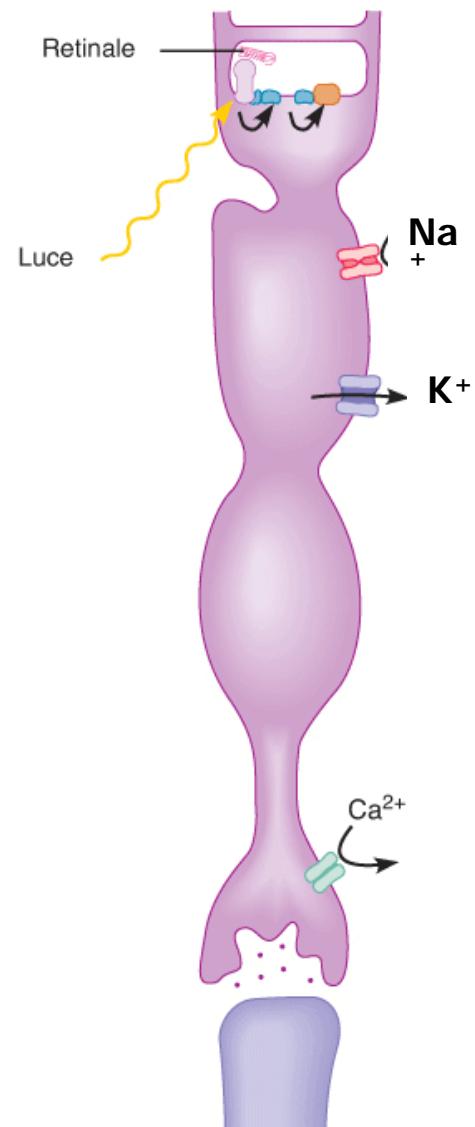
- l'assorbimento di un fotone sul cromoforo innesca una rapida reazione fotochimica di isomerizzazione del doppio legame in posizione 11 dalla forma **11-cis** a **all-trans** porta alla formazione di **metarodospina II** (¹⁹opsina attivata)



BUIO



LUCE



- sul segmento esterno dei fotorecettori ci sono canali permeabili al Na⁺, aperti dal cGMP
- al buio: cGMP elevato: canali Na⁺ aperti: ingresso di ioni positivi, depolarizzazione
- alla luce: cGMP diminuisce, canali Na⁺ chiusi, ripolarizzazione

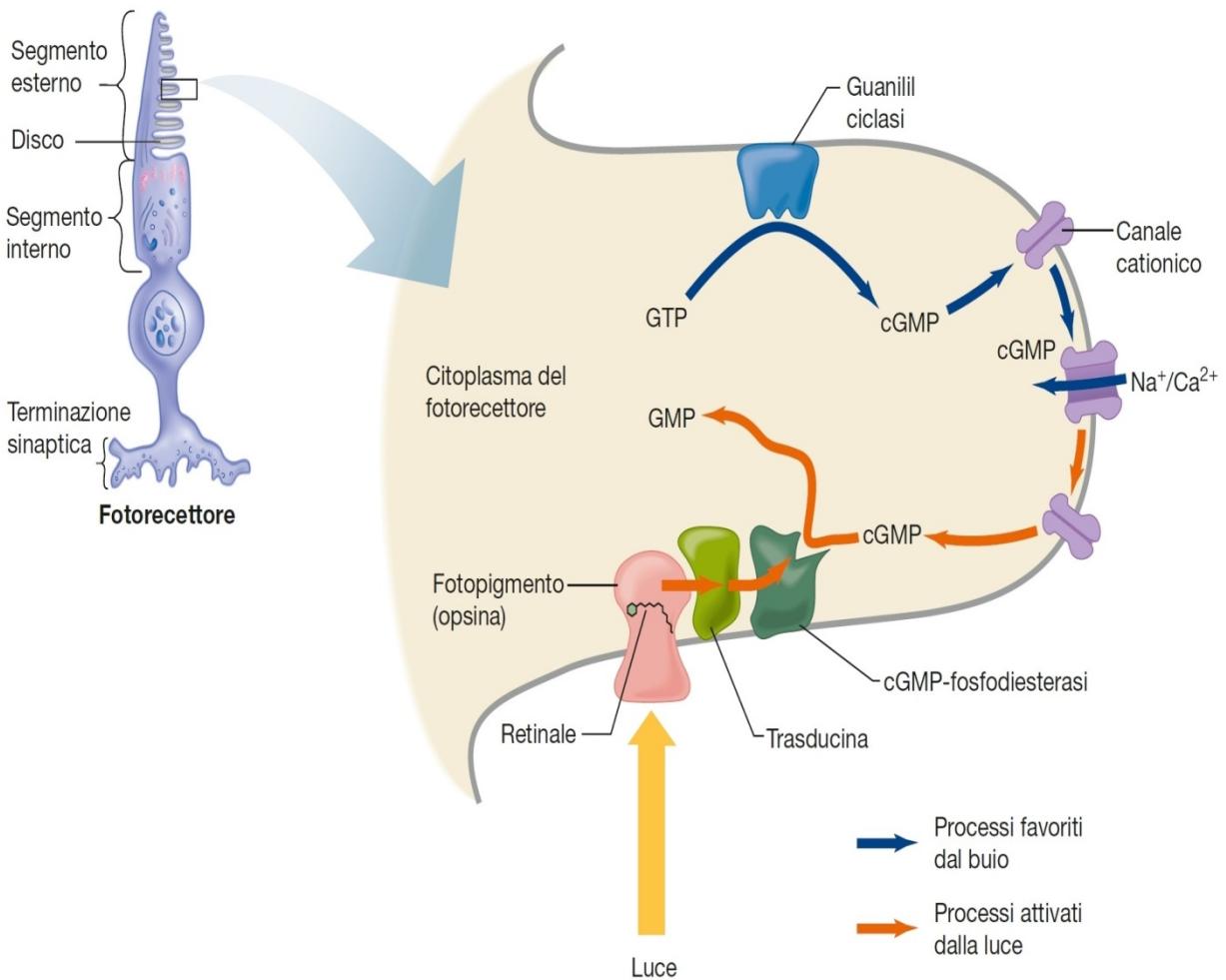


Figura 7.28 Fototrasduzione in un cono. In assenza di stimolo luminoso, il cGMP si lega ai canali cationici e li apre. Quando la luce colpisce il cromoforo (retinale) del fotopigmento, questo cambia conformazione e si dissocià dall'opsina. Come risultato, nella membrana del disco viene stimolata la cGMP-fosfodiesterasi, che riduce il cGMP e quindi chiude i canali cationici. Per semplificare, le proteine sono raffigurate ampiamente disperse nella membrana. In effetti, tutte queste proteine sono densamente raggruppate all'interno della membrana discale del cono. La fototrasduzione nei bastoncelli è essenzialmente identica, tranne che per il fatto che i dischi membranosi sono interamente compresi nel citosol della cellula (Figura 7.27) e i canali ionici cGMP-dipendenti sono sulla membrana superficiale anziché sulle membrane discali.

QUANTA RODOPSINA è CONTENUTA IN UN BASTONCELLO?

1 bastoncello contiene **10⁹** molecole di rodopsina
(circa 30000 molecole/micrometro²,
Ovvero 1 molecola ogni 60 lipidi)

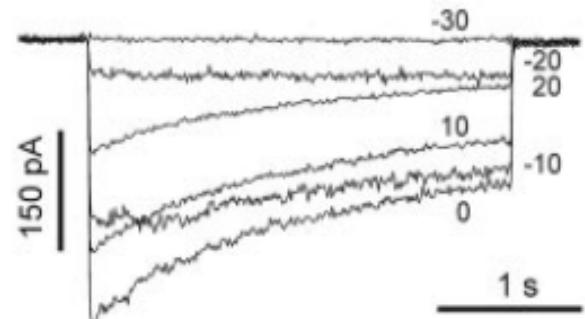
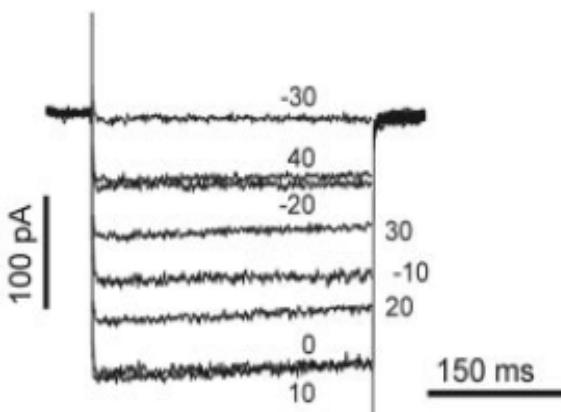
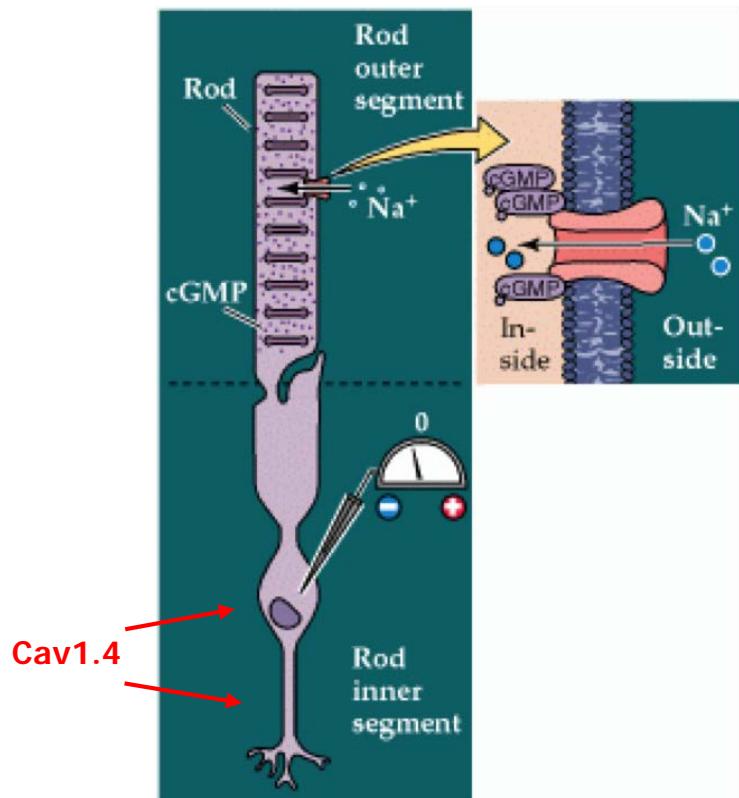
QUANTO VIENE AMPLIFICATO IL SEGNALE DI 1 FOTONE?

1 fotone attiva 1 molecola di rodopsina che attiva **700 trasducine** in circa 100 ms.
Tramite le PDE, un singolo fotone causa l'drolisi di circa 1400 cGMP la razione di cGMP porta alla chiusura di circa **230** di 11000 canali regolati da cGMP

I canali del Ca^{2+} di tipo L (Cav1.4) controllano il rilascio di neurotrasmettore dal fotorecettore

- la subunità $\alpha 1$ di Cav1.4 (*CACNA1F*) è altamente espressa nelle sinapsi dei fotorecettori (coni e bastoncelli), cellule bipolari e gangliari
- Cav1.4 sostiene gli influssi di Ca^{2+} presinaptici al buio quando il fotorecettore è depolarizzato
- il canale si attiva da -40 mV e si inattiva molto lentamente
- possiede una debole inattivazione Ca^{2+} -dipendente (CDI)

Al buio



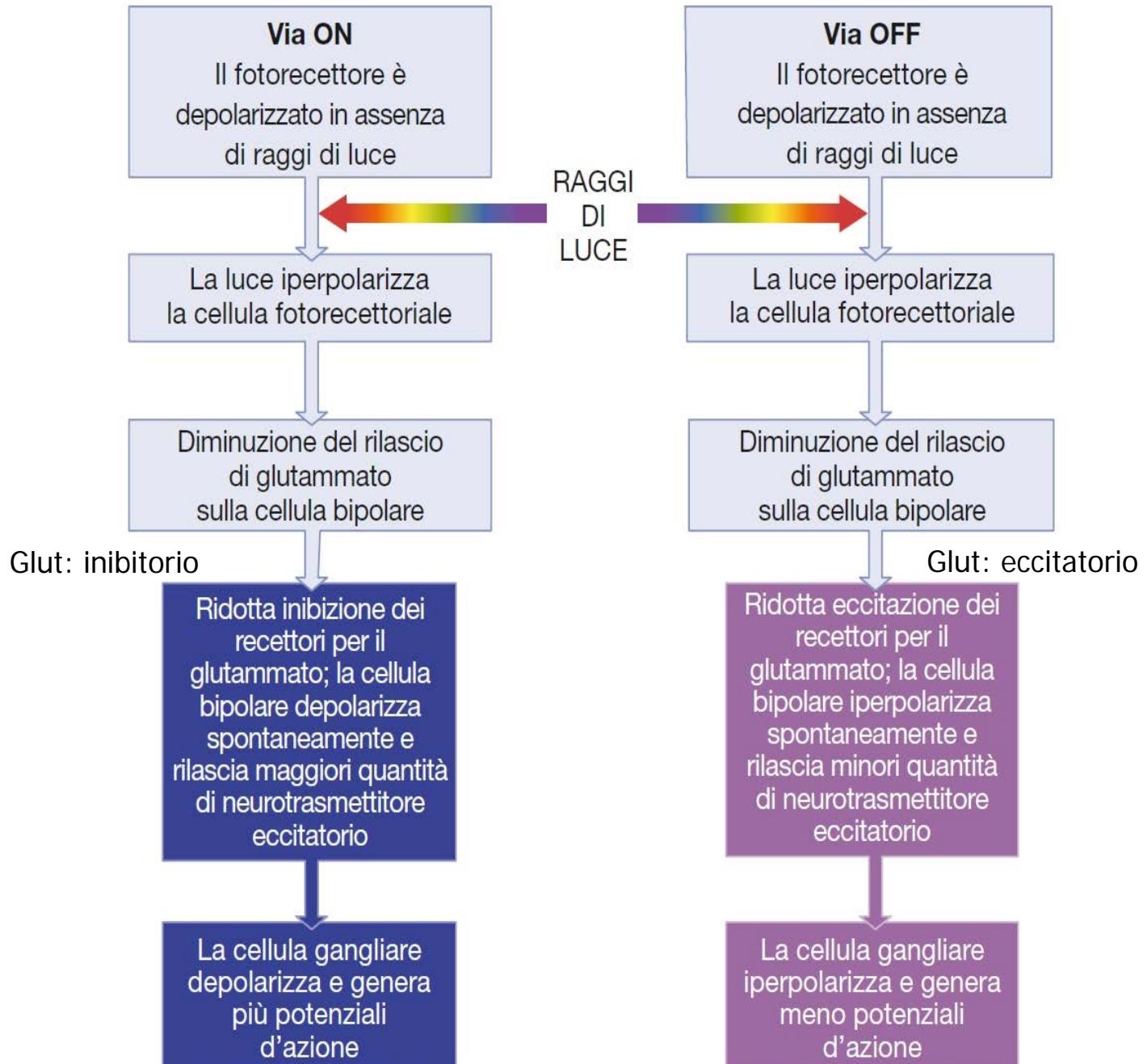


Figura 7.29 Effetti della luce sul signaling nelle cellule gangliari della via ON e della via OFF.

Campi recettivi delle cellule gangliari

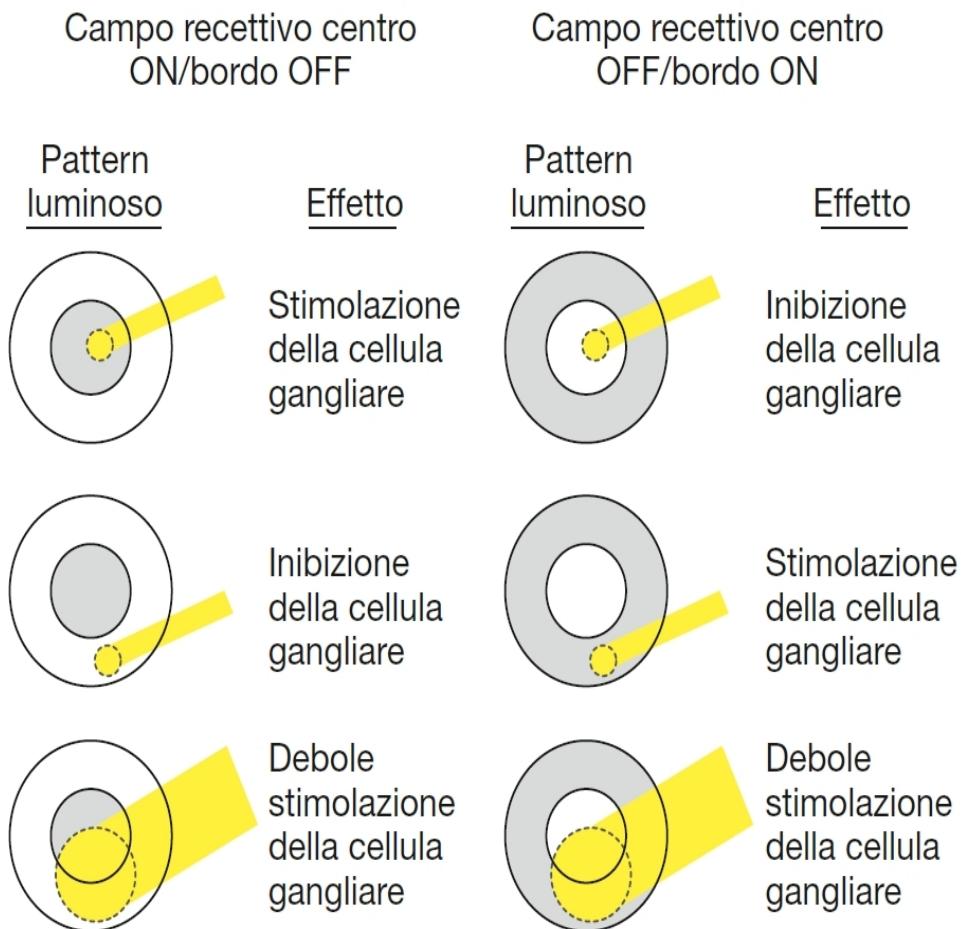
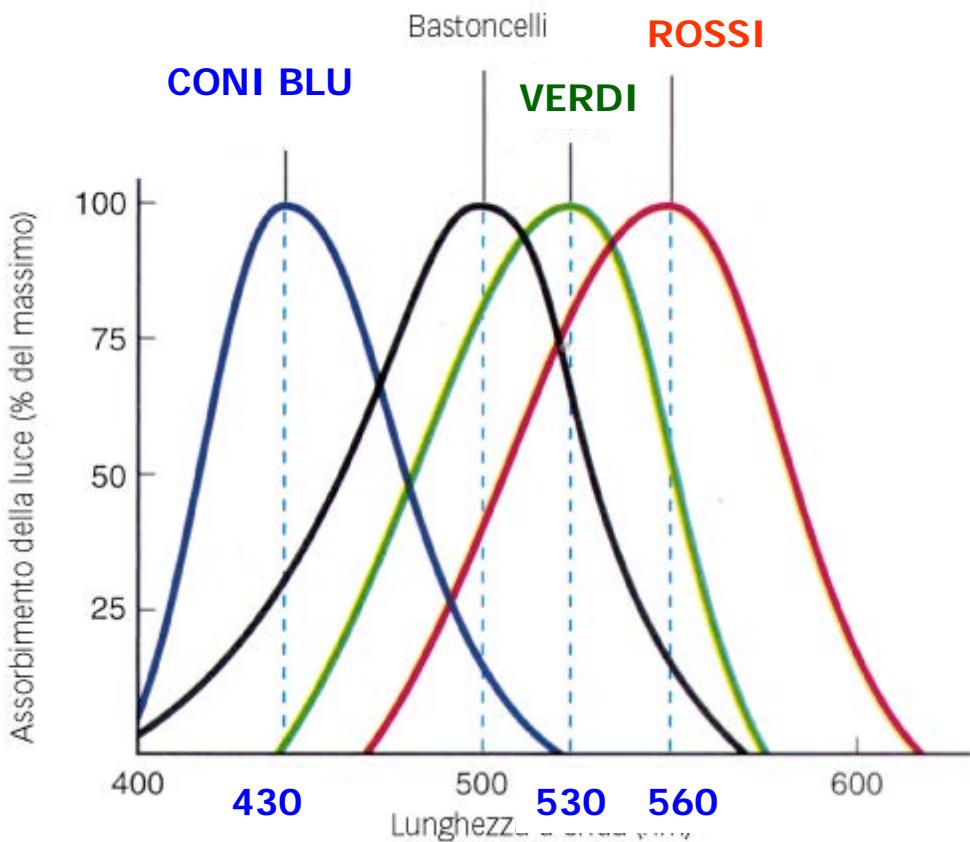


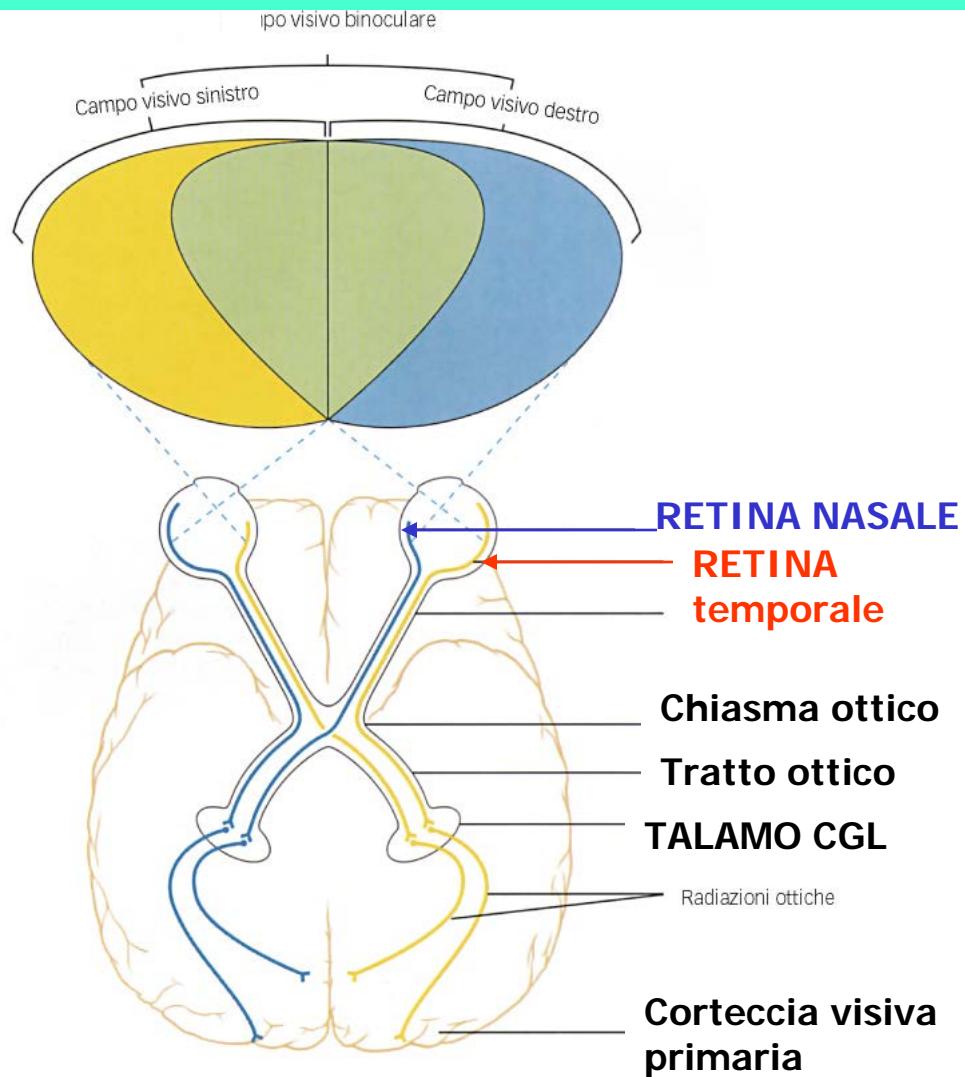
Figura 7.30 Tipi di campi recettivi delle cellule gangliari. Le cellule gangliari centro ON/bordo OFF sono stimolate quando un punto luminoso colpisce il centro del campo recettivo e sono inibite quando la luce colpisce la zona circostante; l'opposto si verifica nelle cellule centro OFF/bordo ON. In entrambi i casi, la luce che colpisce entrambe le regioni dà luogo a un'attivazione intermedia a causa di modulazioni contrastanti. Questo è un esempio d'inibizione laterale che incrementa l'identificazione dei margini di uno stimolo visivo, migliorando così l'acuità visiva.

SPETTRI DI ASSORBIMENTO DEI FOTOPIGMENTI PRESENTI SULLA RETINA UMANA



- coni e bastoncelli trasmettono informazioni relative alla λ della luce in funzione al tipo di fotopigmento che contengono
- i bastoncelli contengono **RODOPSINA**
- i coni contengono tre fotopigmenti, **OPSINE DEI CONI**, ciascuno con uno spettro di assorbimento diverso.

• Le vie visive centrali



Il 60% degli assoni delle cellule gangliari si incrociano nel **chiasma ottico**, il 40% procede ipsilateralmente. Superato il chiasma procedono nel **tratto ottico** da cui raggiungono diverse strutture:

- **NUCLEO GENICOLATO LATERALE** (talamo)
→ **CORTECCIA VISIVA PRIMARIA**
- **NUCLEO DEL PRETETTO** (coordinazione del riflesso pupillare)
- **COLLICOLO SUPERIORE** (coordina i movimenti della testa e degli occhi)
- **NUCLEO SOPRACHIASMATICO** (ipotalamo) (cicli sonno-veglia)