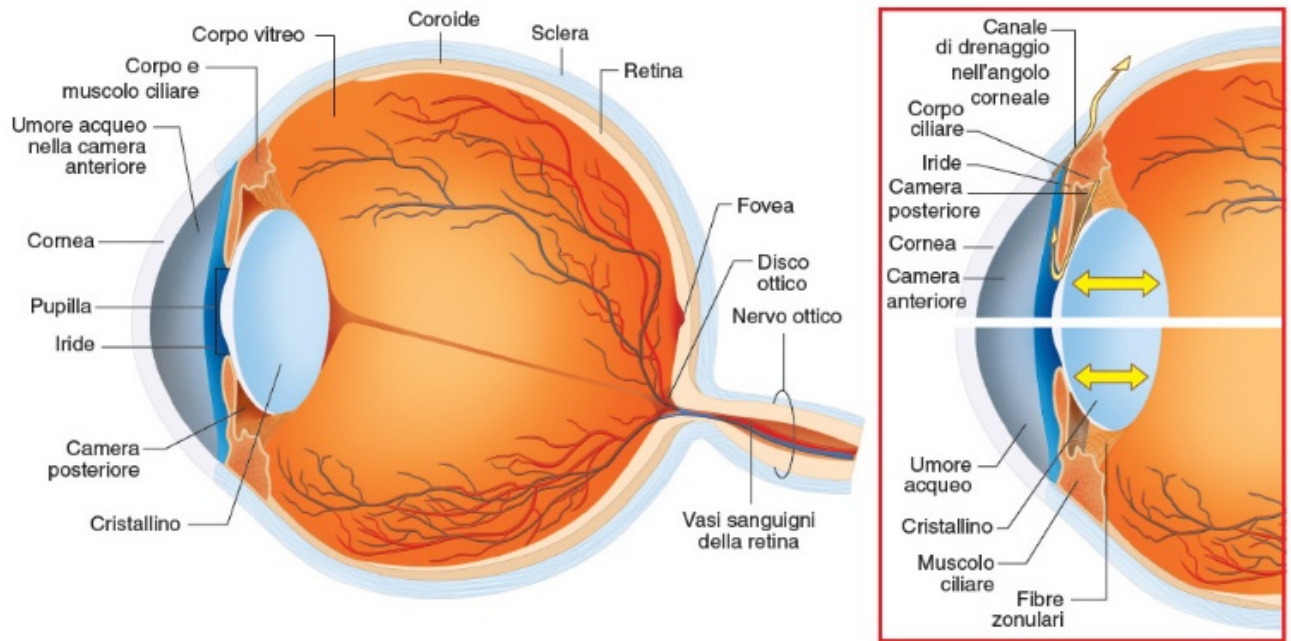


## CAPITOLO 3.3 SISTEMA VISIVO



**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:

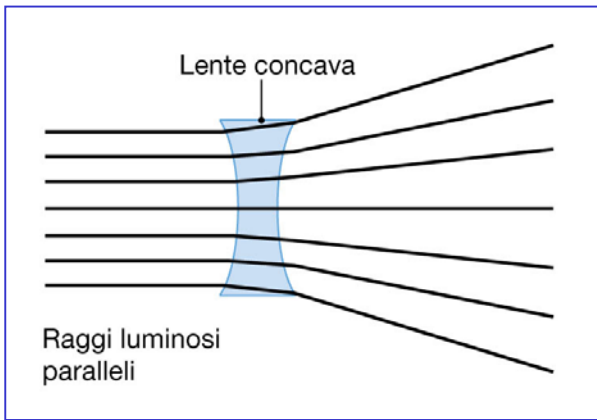
**cornea, congiuntiva, sclera**

strato intermedio:

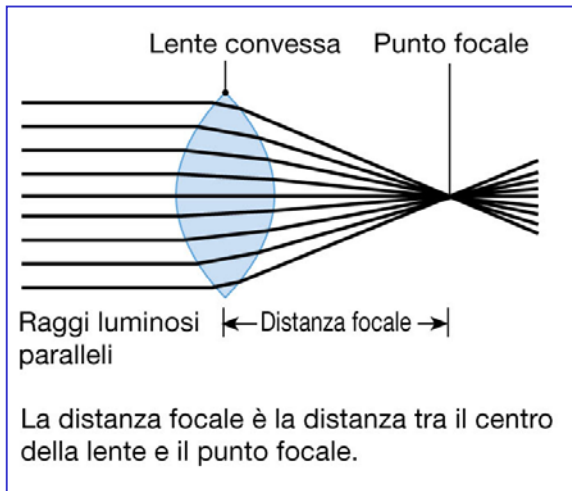
**iride:** (fibre muscolari lisce), regola il diametro della pupilla **coroide:** ricca di vasi sanguigni che irrorano gli strati esterni della retina

strato interno:

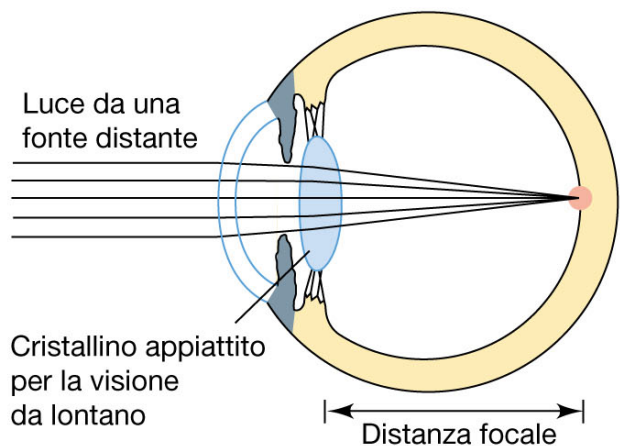
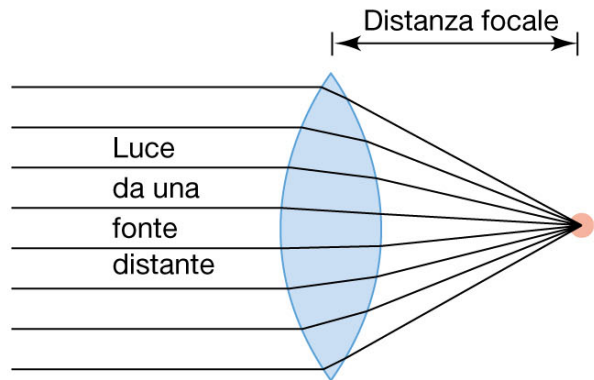
**retina:** sulla parete posteriore dell'occhio



**LA LENTE CONCAVA FA DIVERGERE I RAGGI LUMINOSI**



**LA LENTE CONVESSA FA CONVERGERE I RAGGI LUMINOSI**



# L'accomodazione del cristallino

## VISIONE DI OGGETTI DISTANTI:

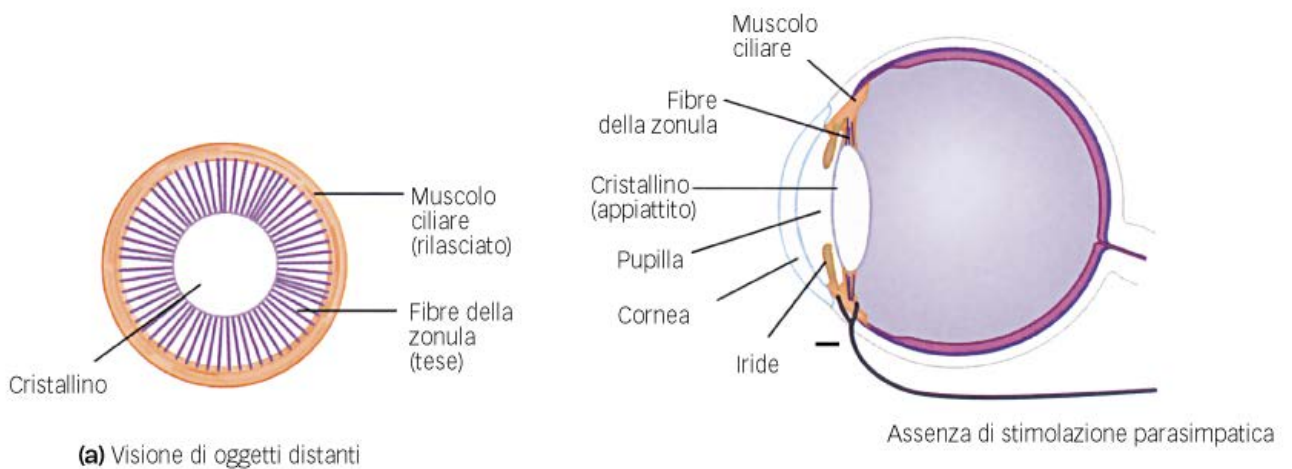
Cristallino piatto con minimo potere rifrattivo.

## VISIONE DI OGGETTI VICINI:

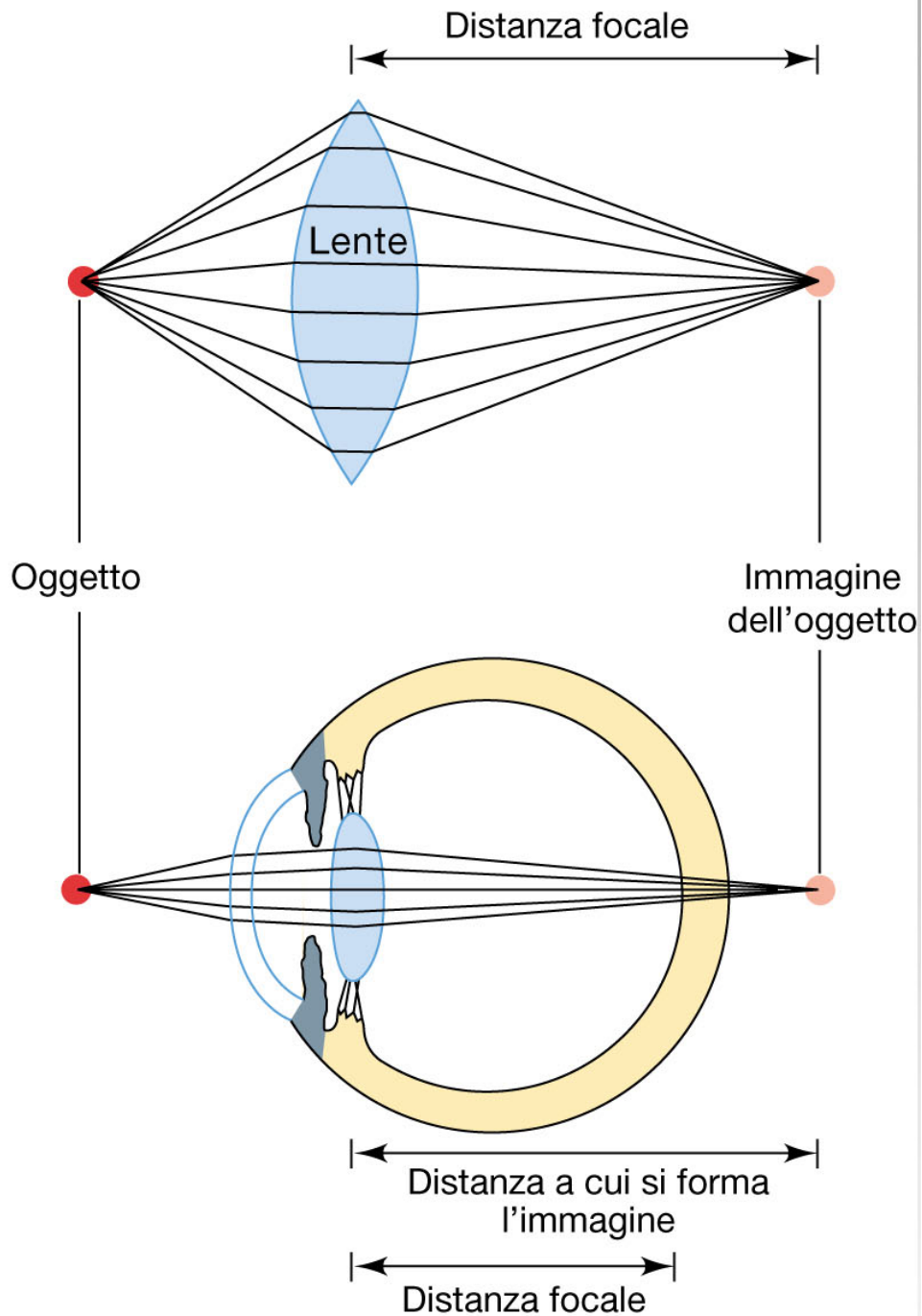
cristallino arrotondato, massimo potere rifrattivo.

## VISIONE DI OGGETTI DISTANTI

Muscolo ciliare rilasciato, fibre zonula in tensione.

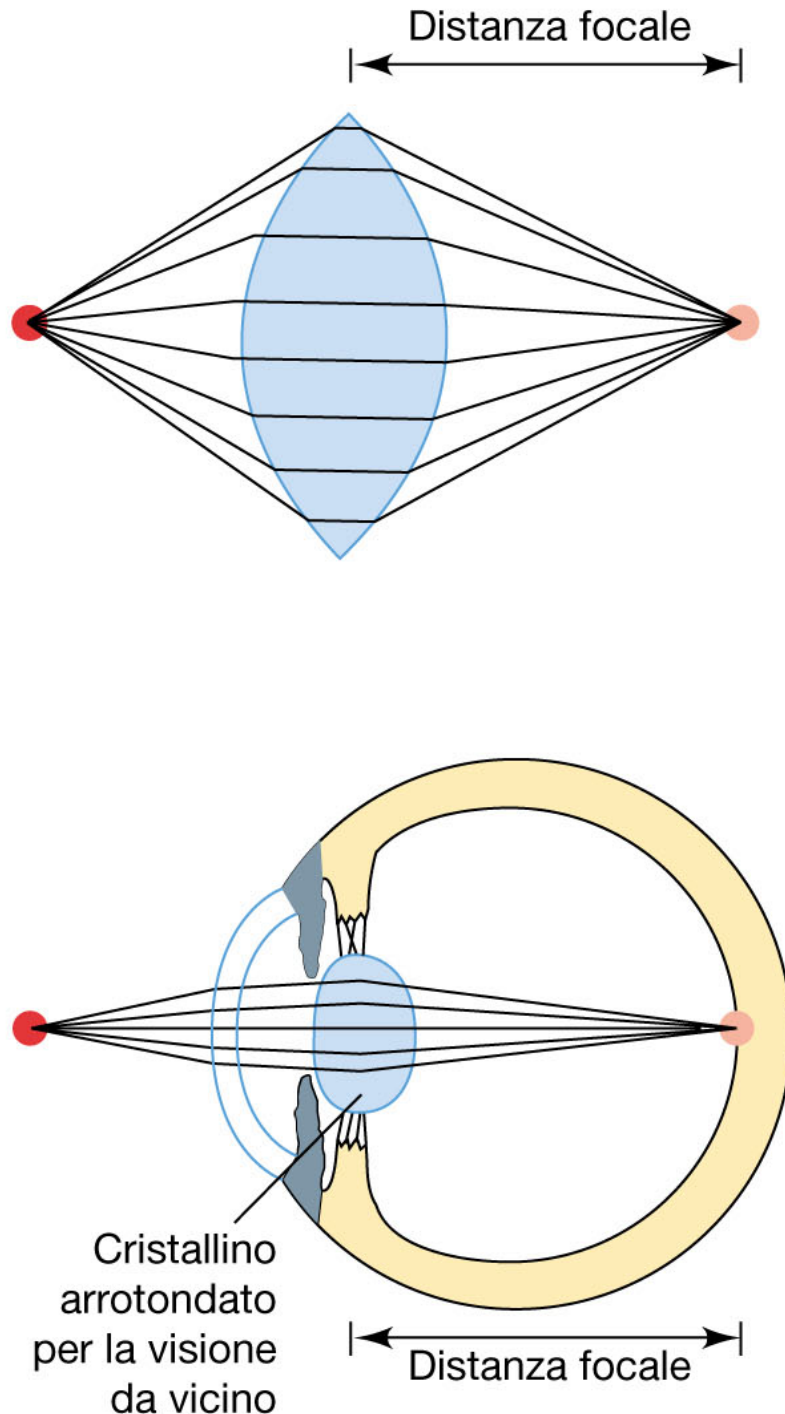


# OGGETTO IN AVVICINAMENTO

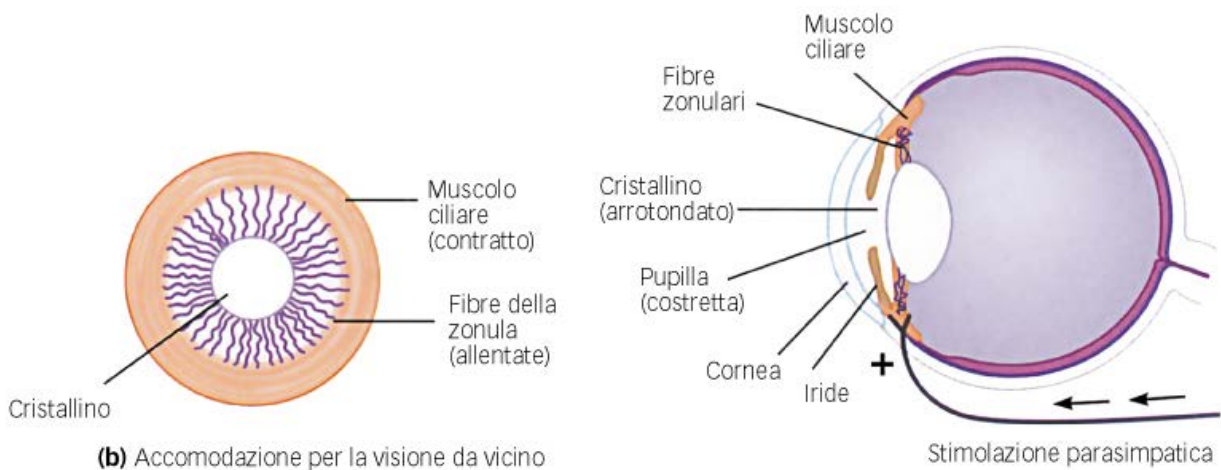


## VISIONE DI OGGETTI VICINI: ACCOMODAZIONE DEL CRISTALLINO.

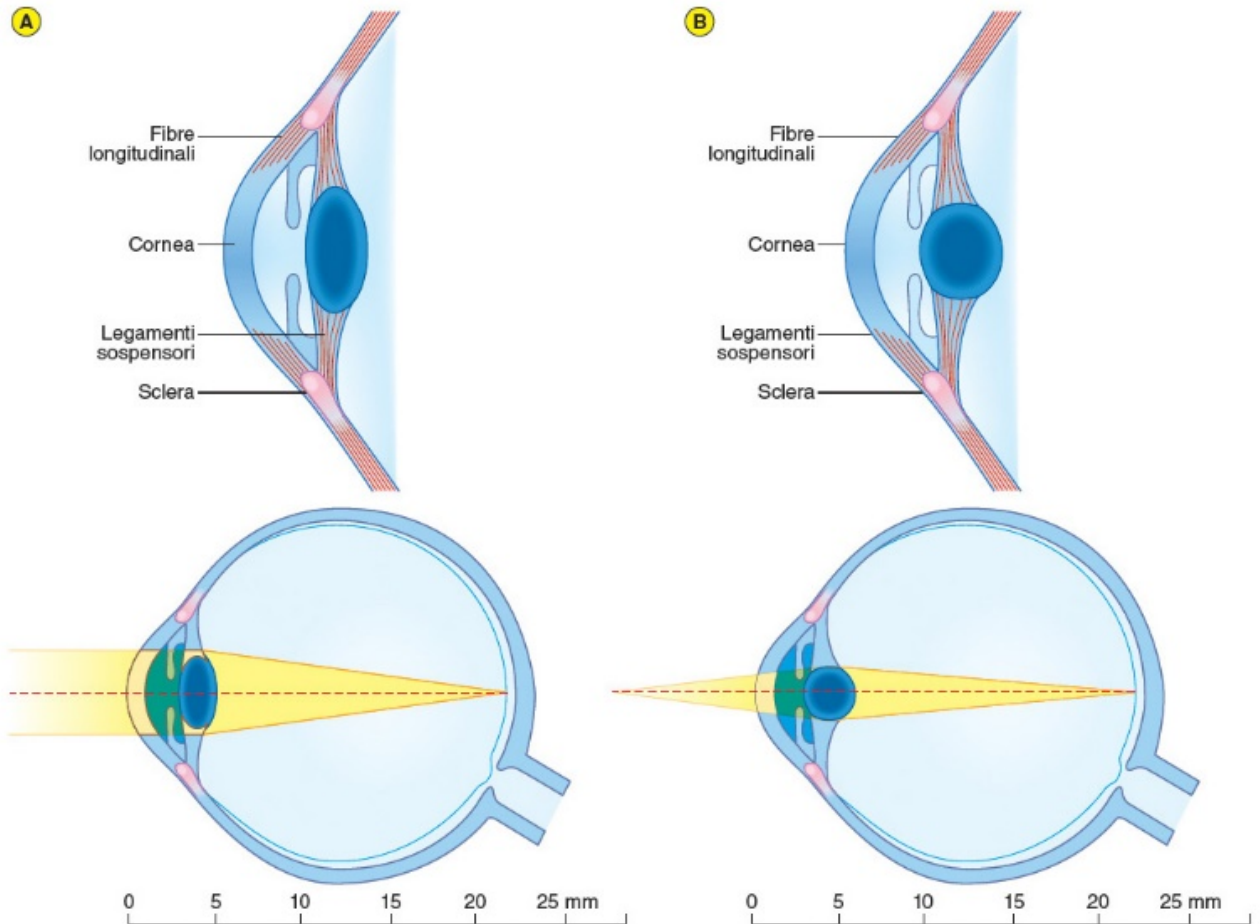
Per mettere a fuoco l'oggetto vicino, il cristallino diventa + convesso. Il cristallino **arrotondato** ha massimo potere rifrattivo ed una distanza focale minore.



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



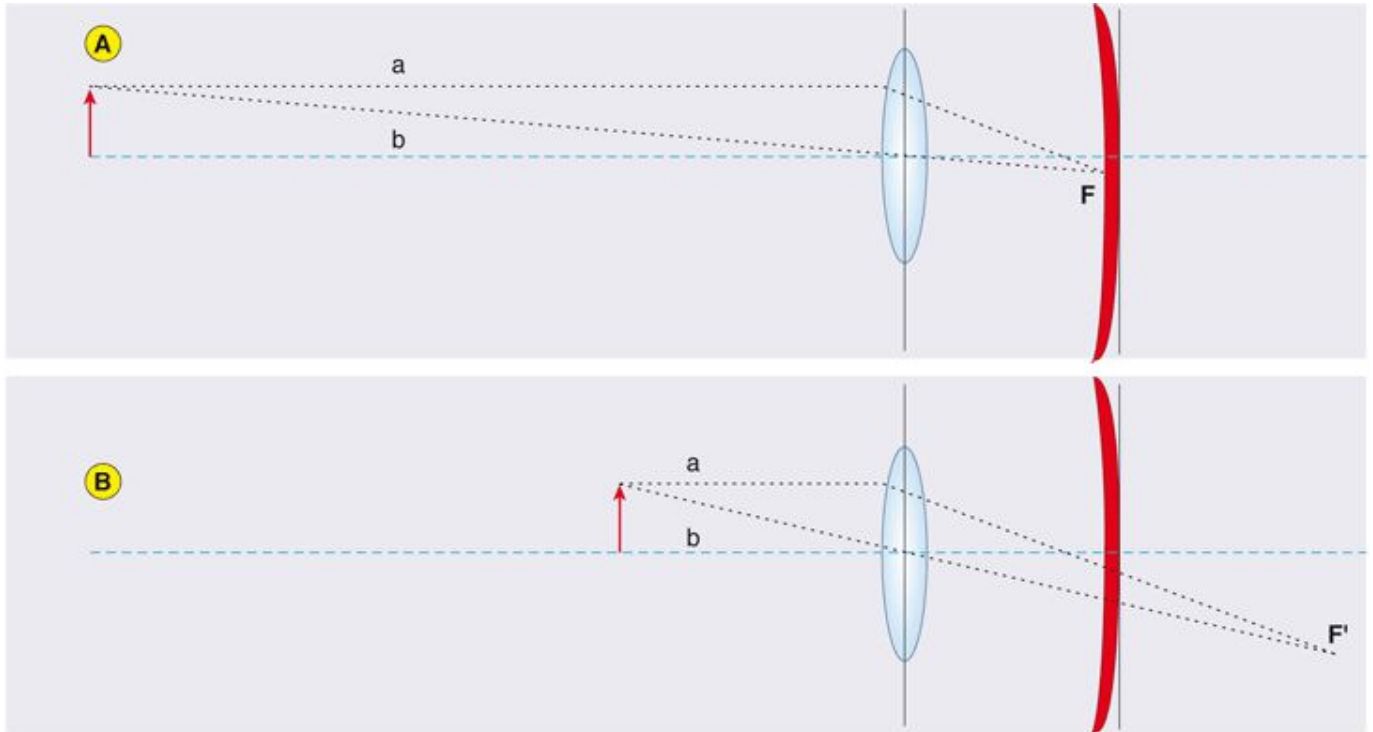




**Figura 9.6** Accomodazione. (A) La tensione esercitata dai legamenti sospensori sul cristallino contrasta la sua naturale elasticità che porterebbe all'aumento della sua convessità e spessore. (B) La contrazione della muscolatura ciliare a decorso circolare causa una riduzione della tensione dei legamenti 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*

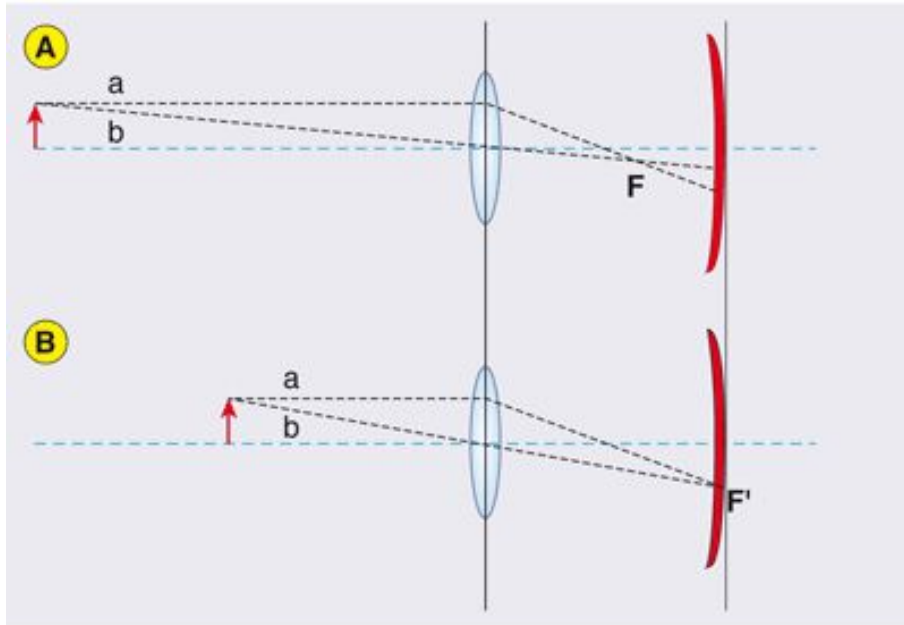


- nell'occhio normale (cristallino appiattito), oggetti lontani (oltre 6 metri) sono messi a fuoco sulla retina
- la *retina* è a 17 mm del centro del cristallino con un potere di rifrazione di 58 diottrie
- in assenza di accomodamento, gli oggetti più vicini di 6 metri formano l'immagine oltre la retina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



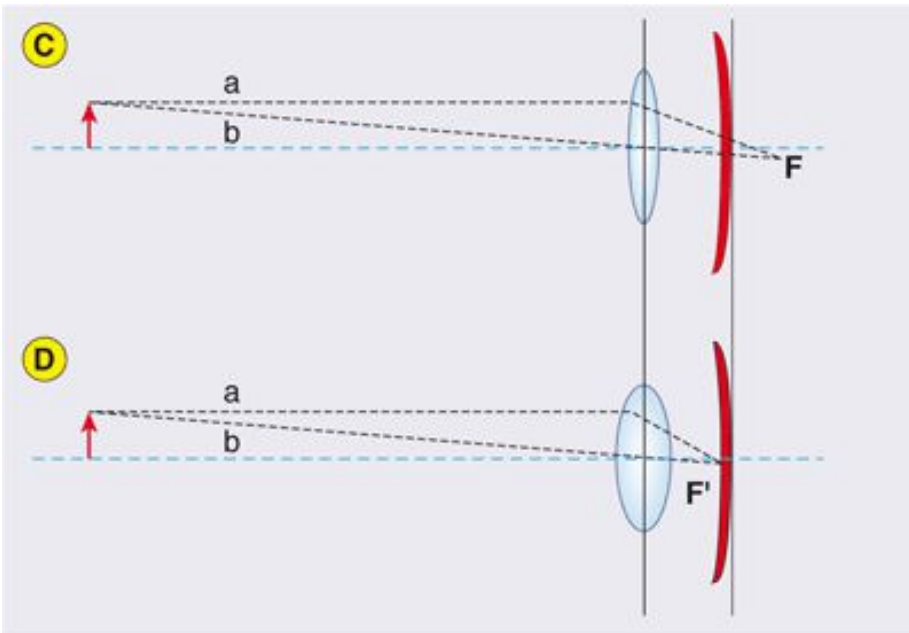
# Vizi refrattivi

## Occhio miope



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

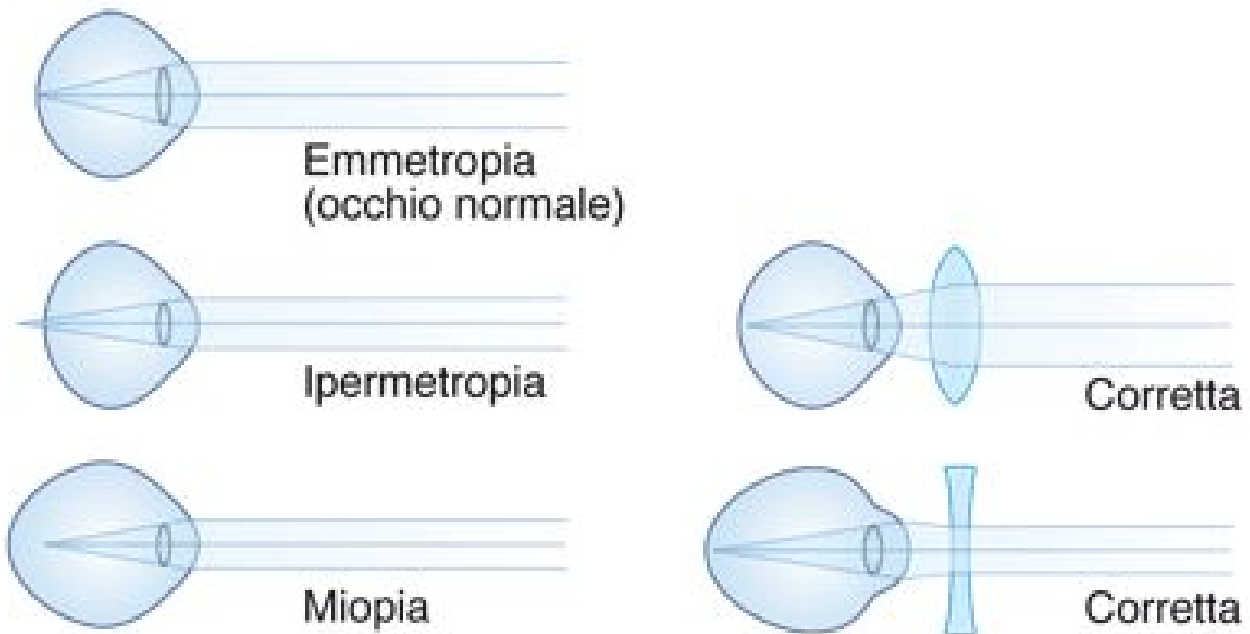
## Occhio ipermetrope



- 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

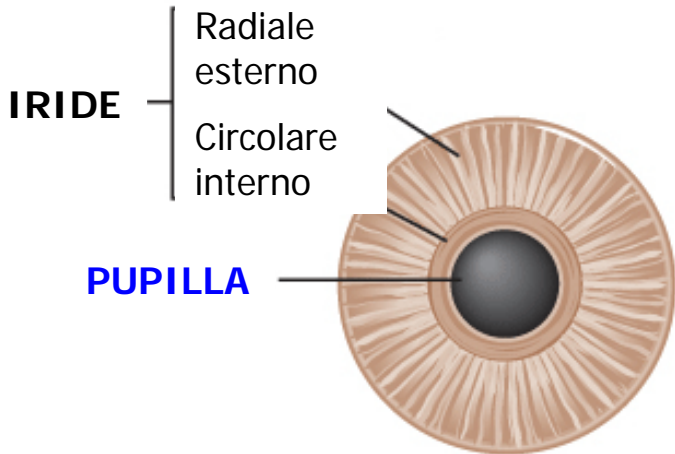
## Correzioni dei vizi refrattivi

- 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**

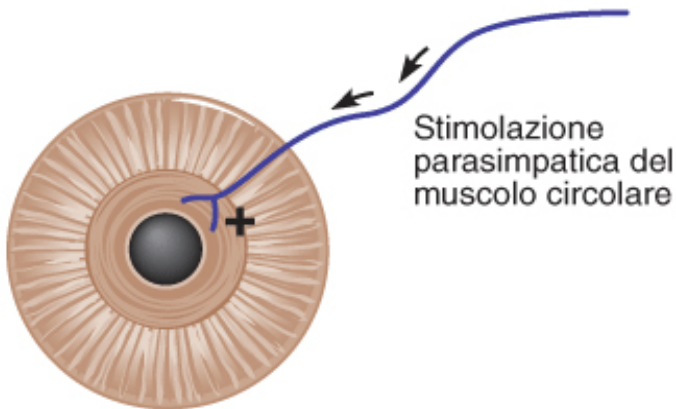
# Riflesso pupillare



(a) Anatomia dell'iride e della pupilla

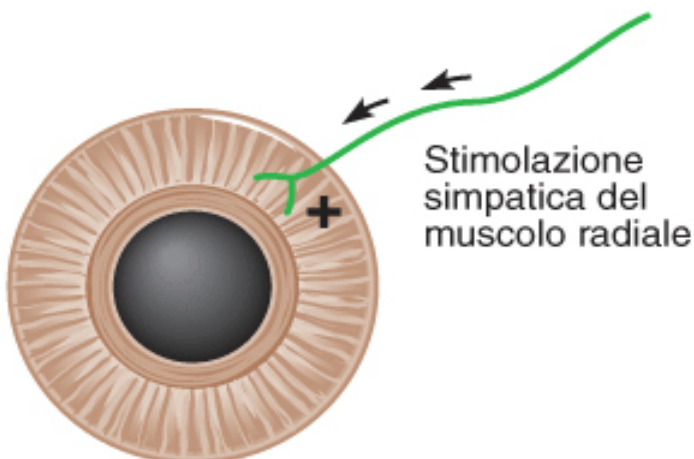
- 2 strati di muscolo liscio nell'iride controllano il diametro della pupilla.

- Il diametro della pupilla regola la quantità di luce che entra nell'occhio



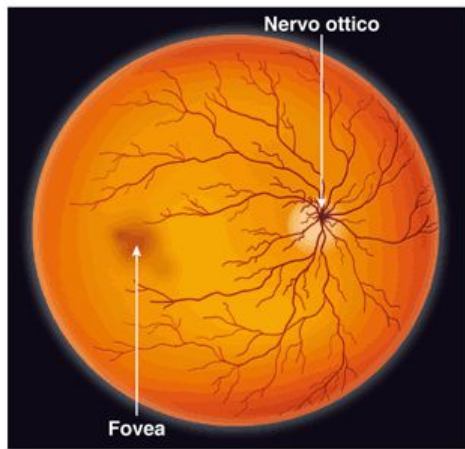
(b) Costrizione pupillare

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

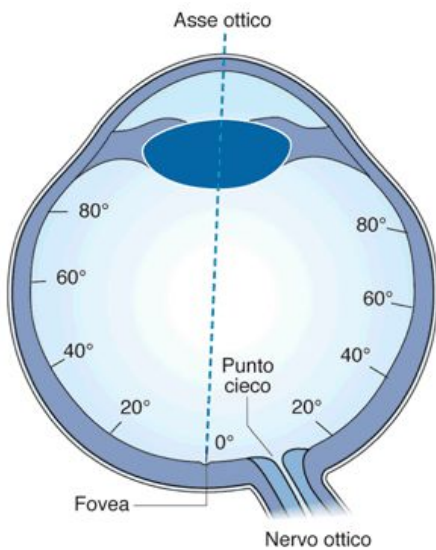


(c) Dilatazione pupillare

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

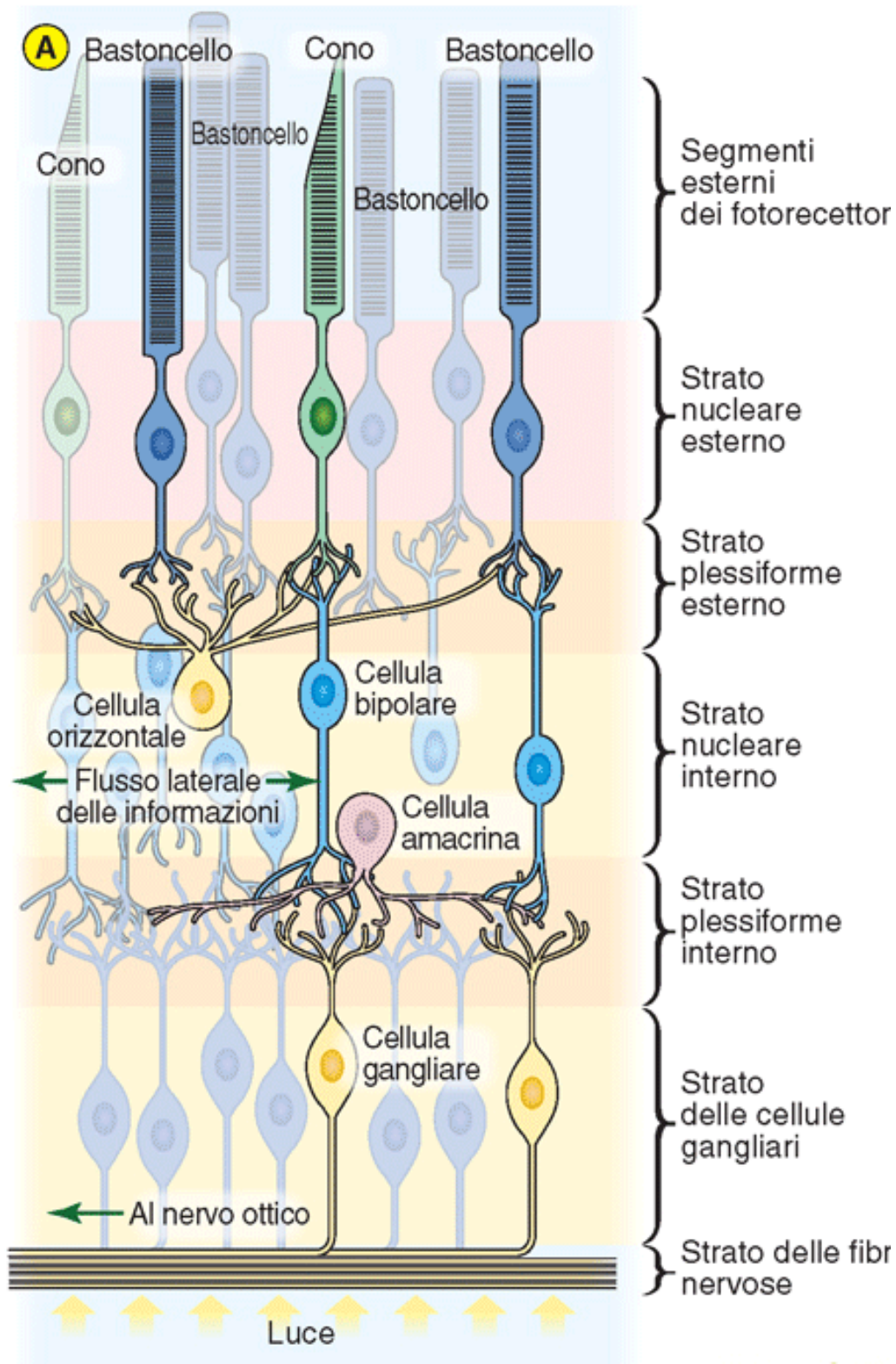


- la **fovea** è nel centro della retina in corrispondenza dell'**asse ottico** dove si forma l'immagine di ciò che fissa l'occhio
- si presenta come una leggera depressione della regione retinica priva di grossi vasi e assoni delle cellule gangliari

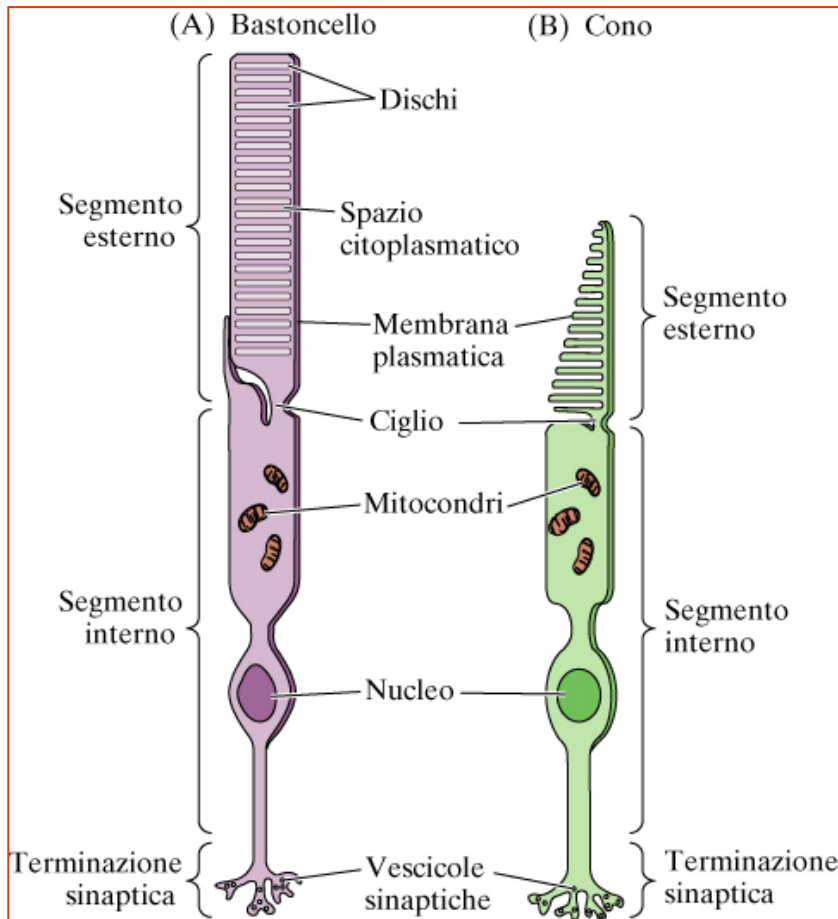


- contiene esclusivamente un'**alta densità di piccoli coni** (diam. 1.5  $\mu\text{m}$ ; *alta acuità visiva*)
- nel resto della retina minori densità di **coni grandi e bastoncelli** (*bassa acuità visiva*)

- Struttura della retina



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



## BASTONCELLI

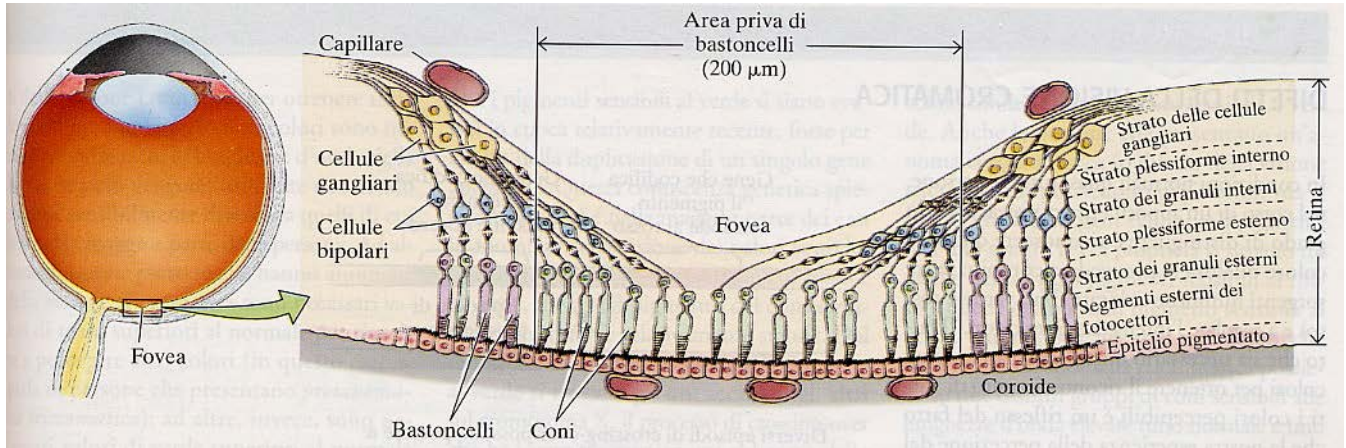
## CONI

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

- **scarsa sensibilità:**  
attivati da 100  $\gamma$
- **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

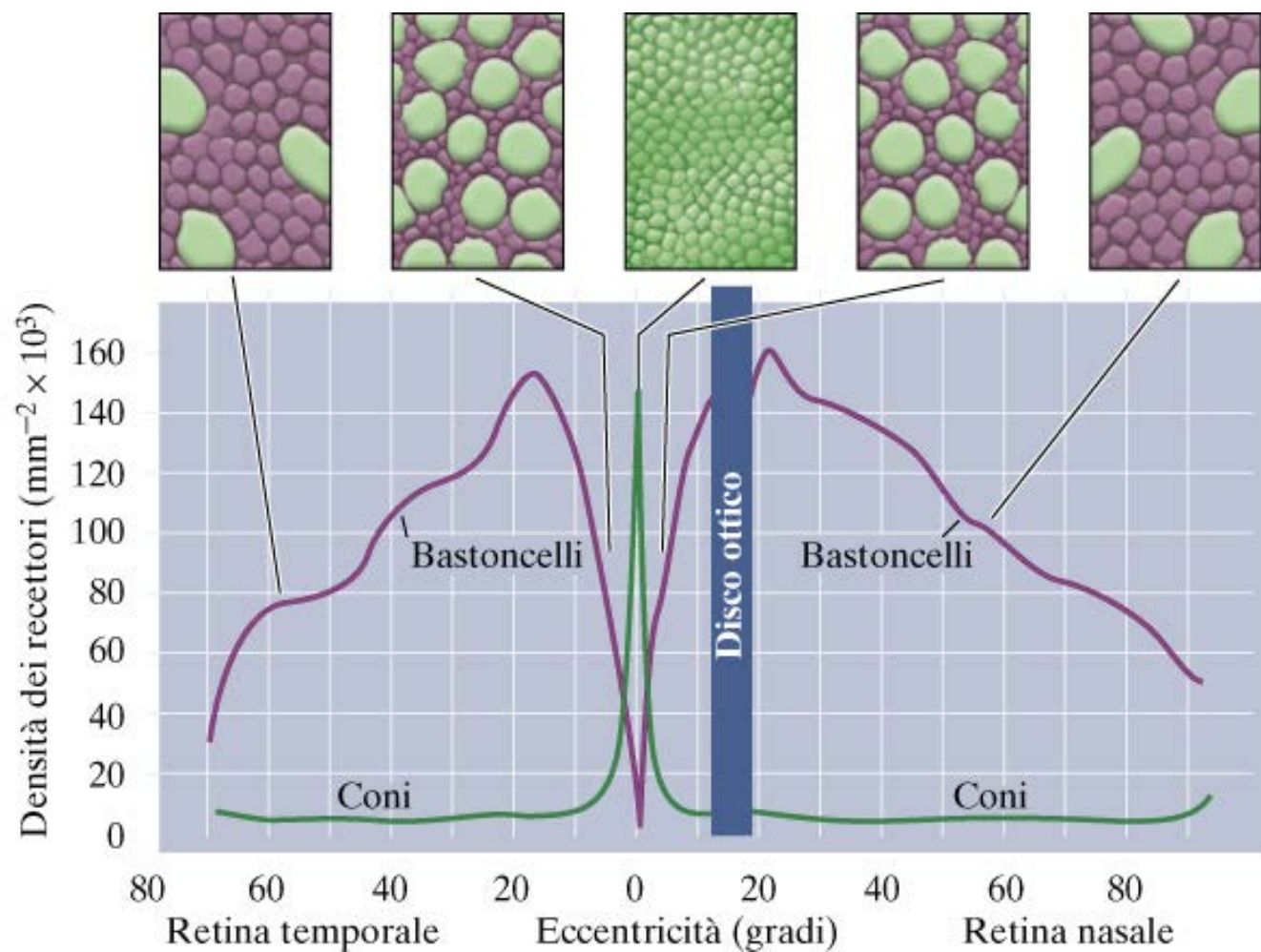
- molti bastoncelli convergono su una cellula bipolare
- molte bipolari convergono su una gangliare

## **CONI:** basso grado di convergenza

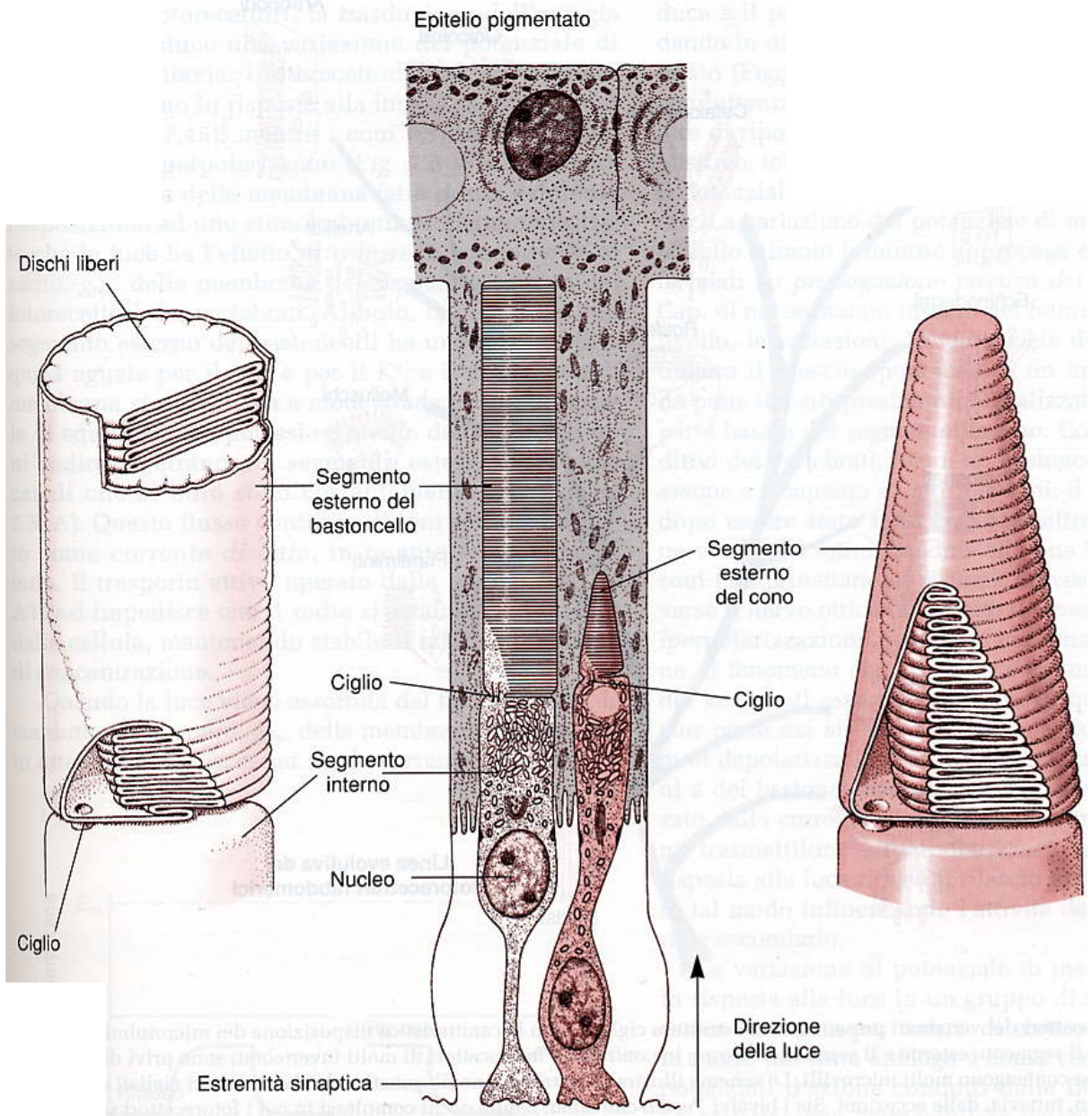
- un cono contrae sinapsi con una cellula bipolare,
- la bipolare fa sinapsi con una sola gangliare

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

## Distribuzione dei fotorecettori sulla retina



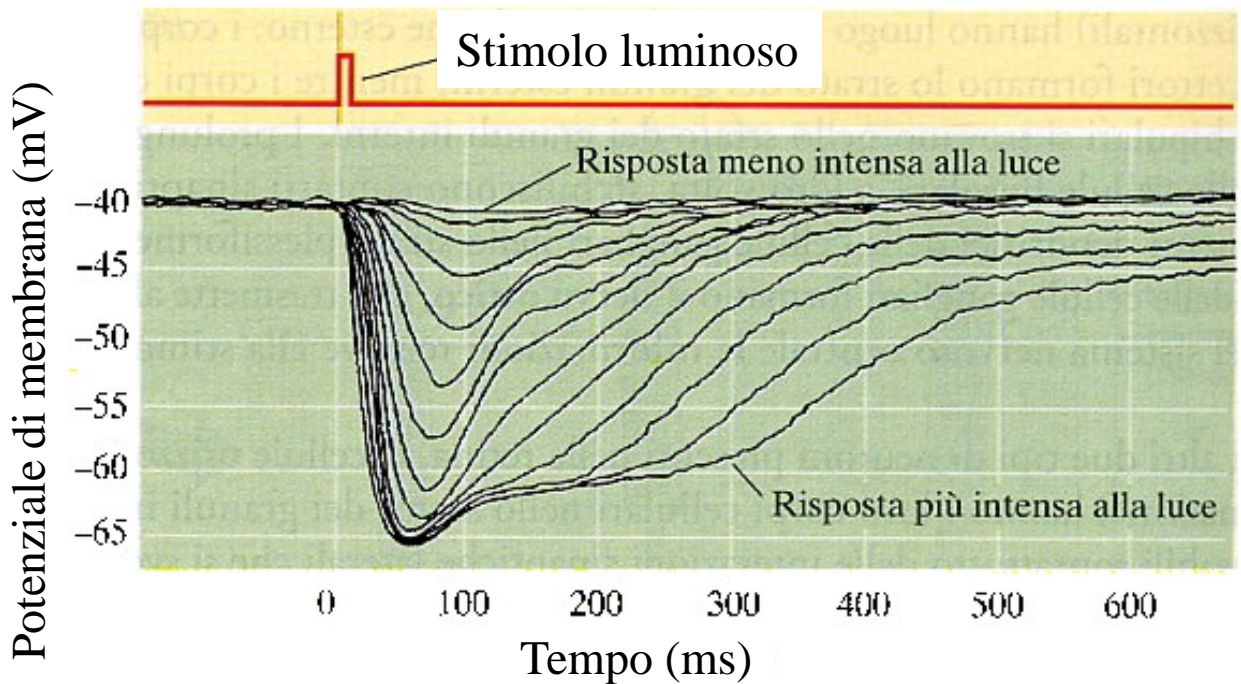
# Il segmento esterno dei fotorecettori





- Come avviene la fototrasduzione

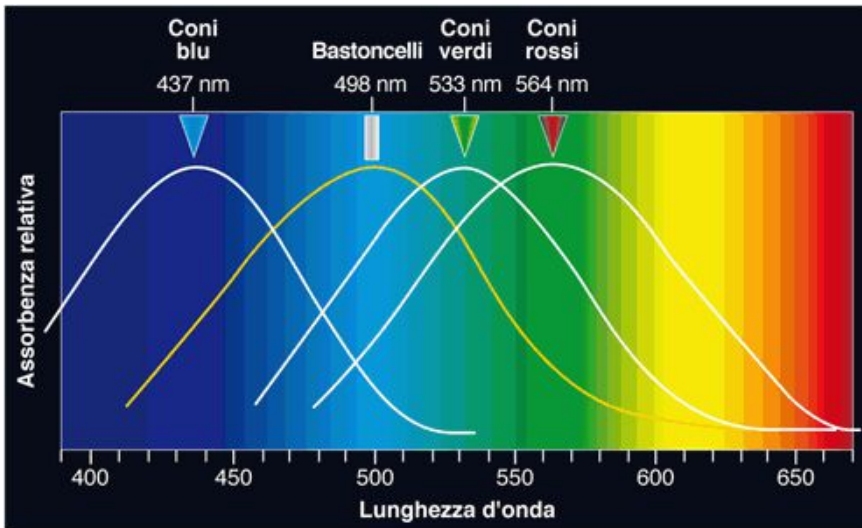
a differenza degli altri sistemi sensoriali, **LA LUCE** **IPERPOLARIZZA** la membrana del fotorecettore



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

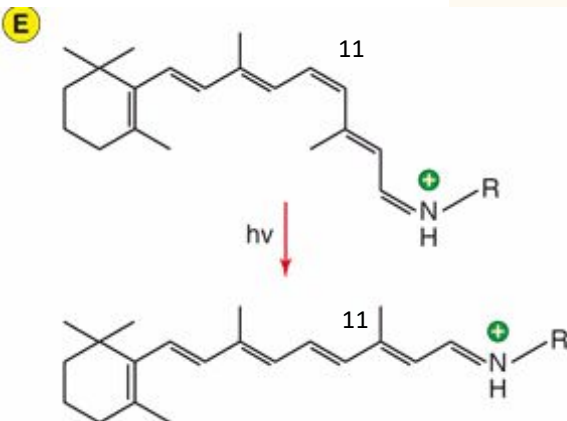
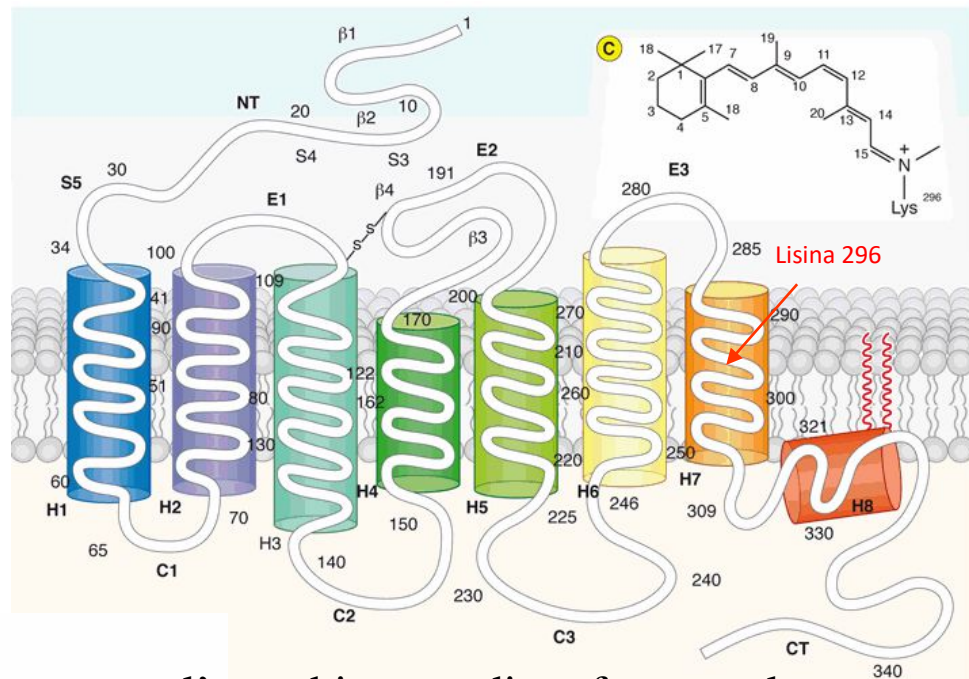
# I pigmenti visivi

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



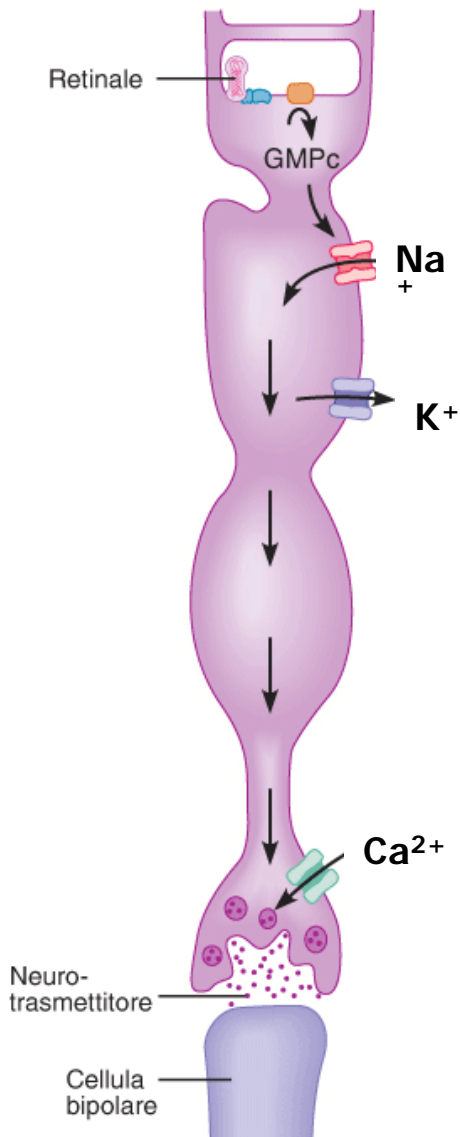
- i bastoncelli contengono **rodopsina**
- i coni contengono tre fotopigmenti, **opsine dei coni**, ciascuno con uno spettro di assorbimento diverso

- le **opsine** sono proteine di membrana a 7  $\alpha$ -eliche funzionalmente legate a proteine G

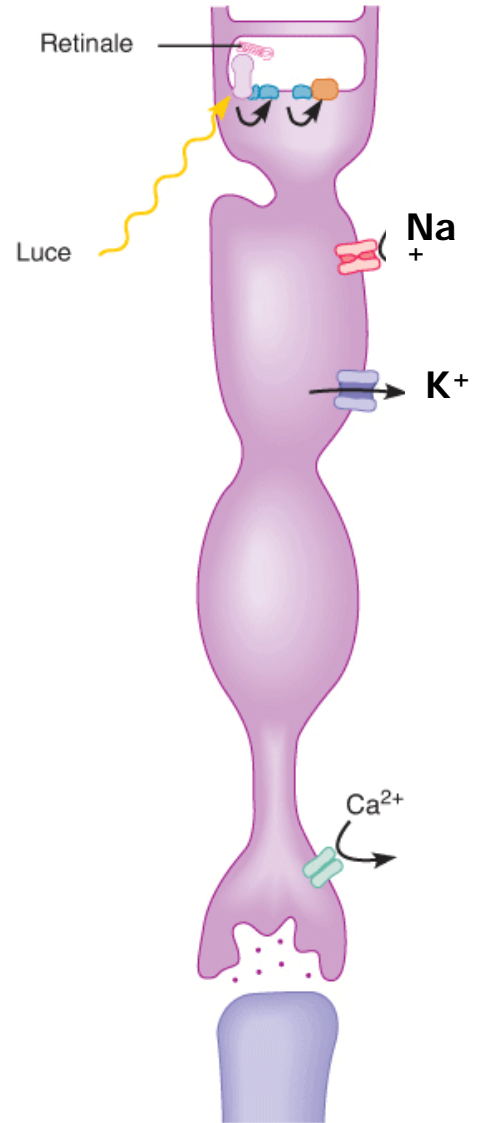


- l'assorbimento di un fotone sul cromoforo innesca una rapida reazione fotochimica di isomerizzazione del doppio legame in posizione 11 dalla forma **11-cis** a **all-trans** porta alla formazione di **metarodopsina II** (**opsina attivata**)

## BUIO

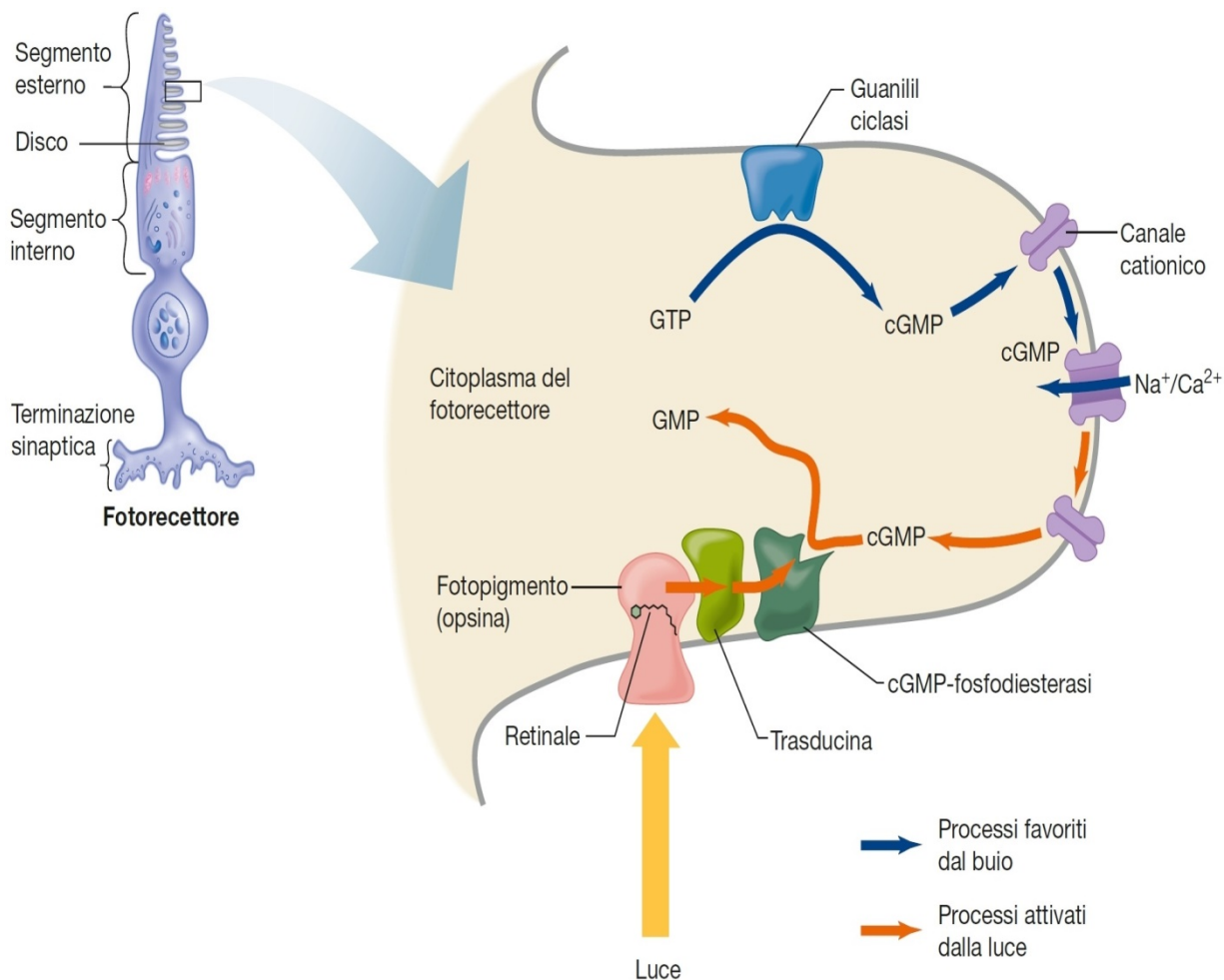


## LUCE



- **sul segmento esterno dei fotorecettori ci sono canali permeabili al  $\text{Na}^+$ , aperti dal cGMP**
- **al buio:** cGMP elevato: canali  $\text{Na}^+$  aperti: ingresso di ioni positivi, depolarizzazione
- **alla luce:** cGMP diminuisce, canali  $\text{Na}^+$  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 dissocia 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  **$10^9$**  molecole di rodopsina  
(circa 30000 molecole/micrometro<sup>2</sup>,  
Ovvero 1 molecola ogni 60 lipidi)

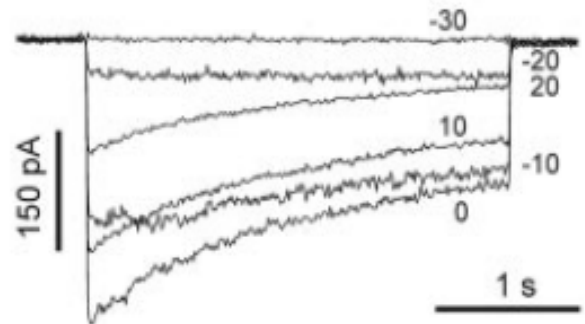
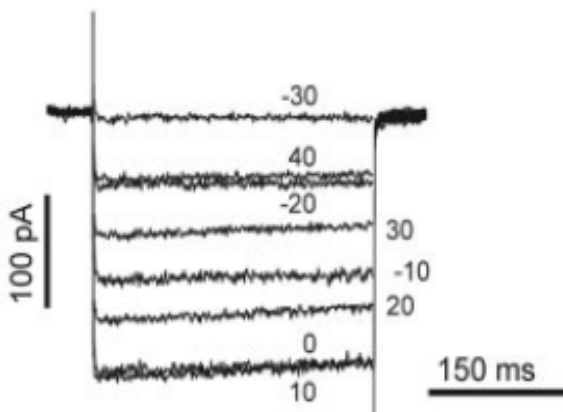
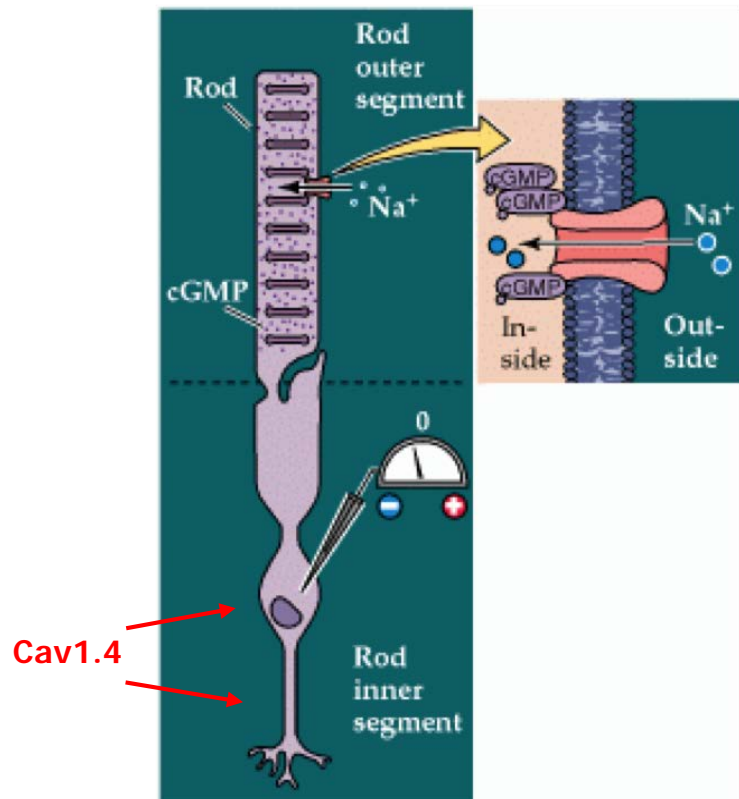
## QUANTO VIENE AMPLIFICATO IL SEGNALE DI 1 FOTONE?

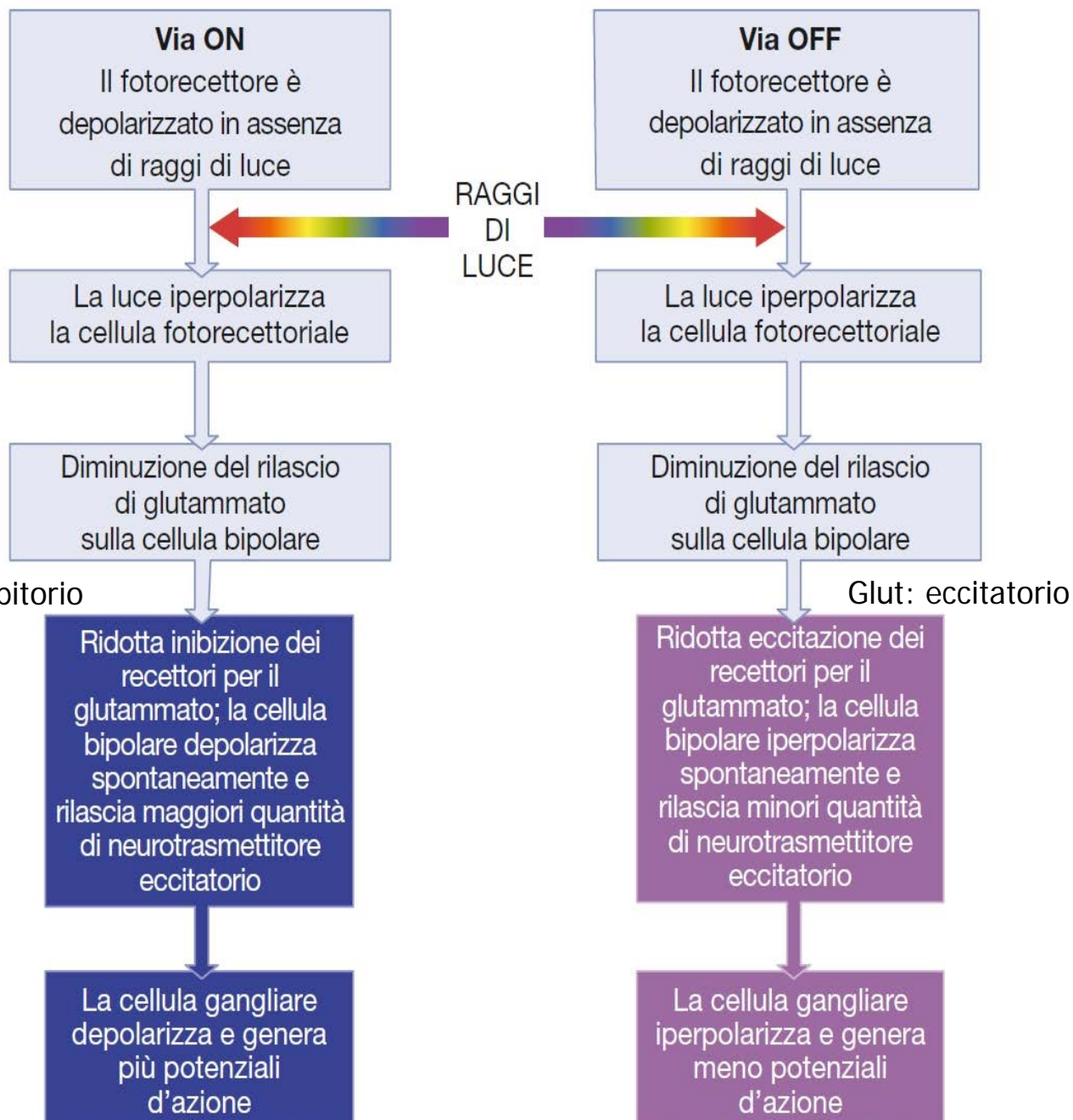
**1 fotone** attiva 1 molecola di rodopsina che attiva **700 trasducine** in circa 100 ms.  
Tramite le PDE, un singolo fotone causa l'idrolisi di circa 1400 cGMP la riduzione di cGMP porta alla chiusura di circa **230** di 11000 canali regolati da cGMP

# I canali del $\text{Ca}^{2+}$ di tipo L (Cav1.4) controllano il rilascio di neurotrasmettitore 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  $\text{Ca}^{2+}$  presinaptici al buio quando il fotorecettore è depolarizzato
- il canale si attiva da -40 mV e si inattiva molto lentamente
- possiede una debole inattivazione  $\text{Ca}^{2+}$  - dipendente (CDI)

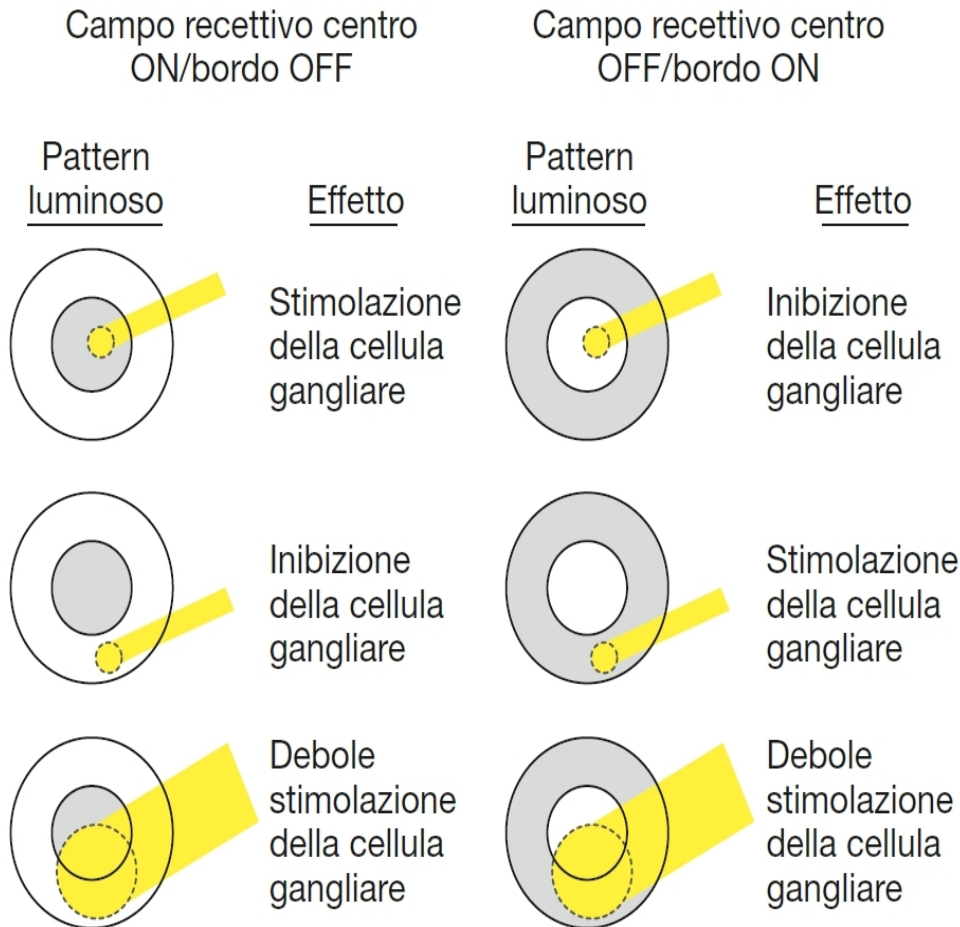
Al buio





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

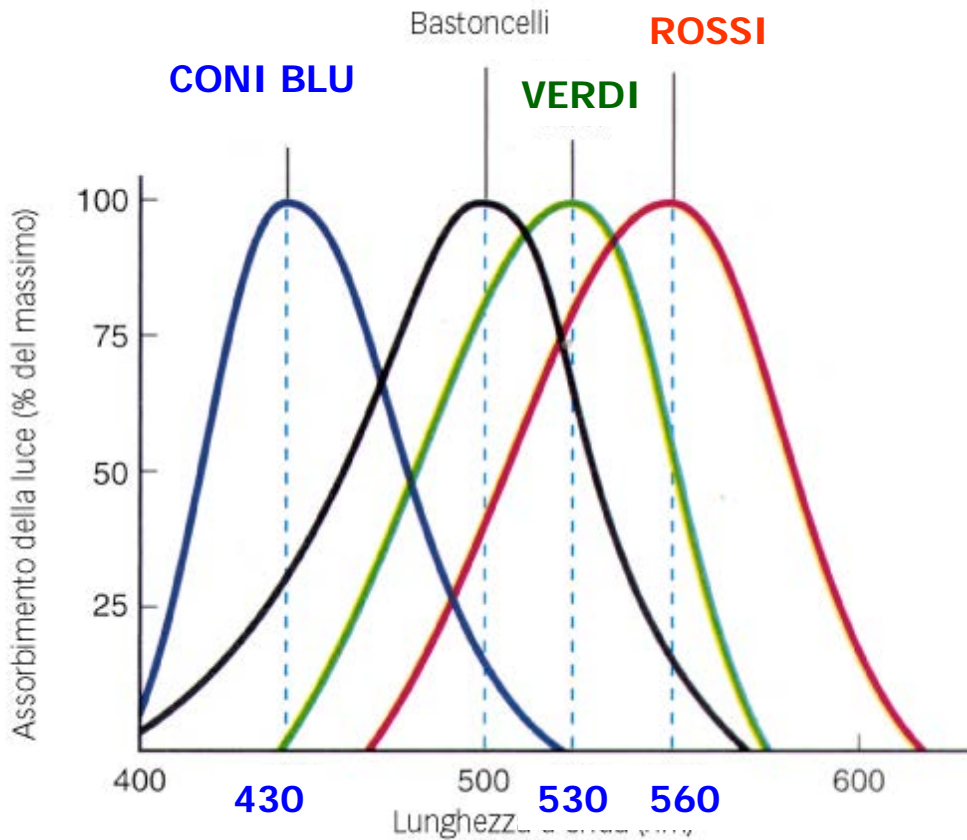
## Campi recettivi delle cellule gangliari



**Figura 7.30** Tipi di campi recettivi delle cellule gangliari. Le cellule gangliari centro ON/bordo OFF sono stimulate 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.



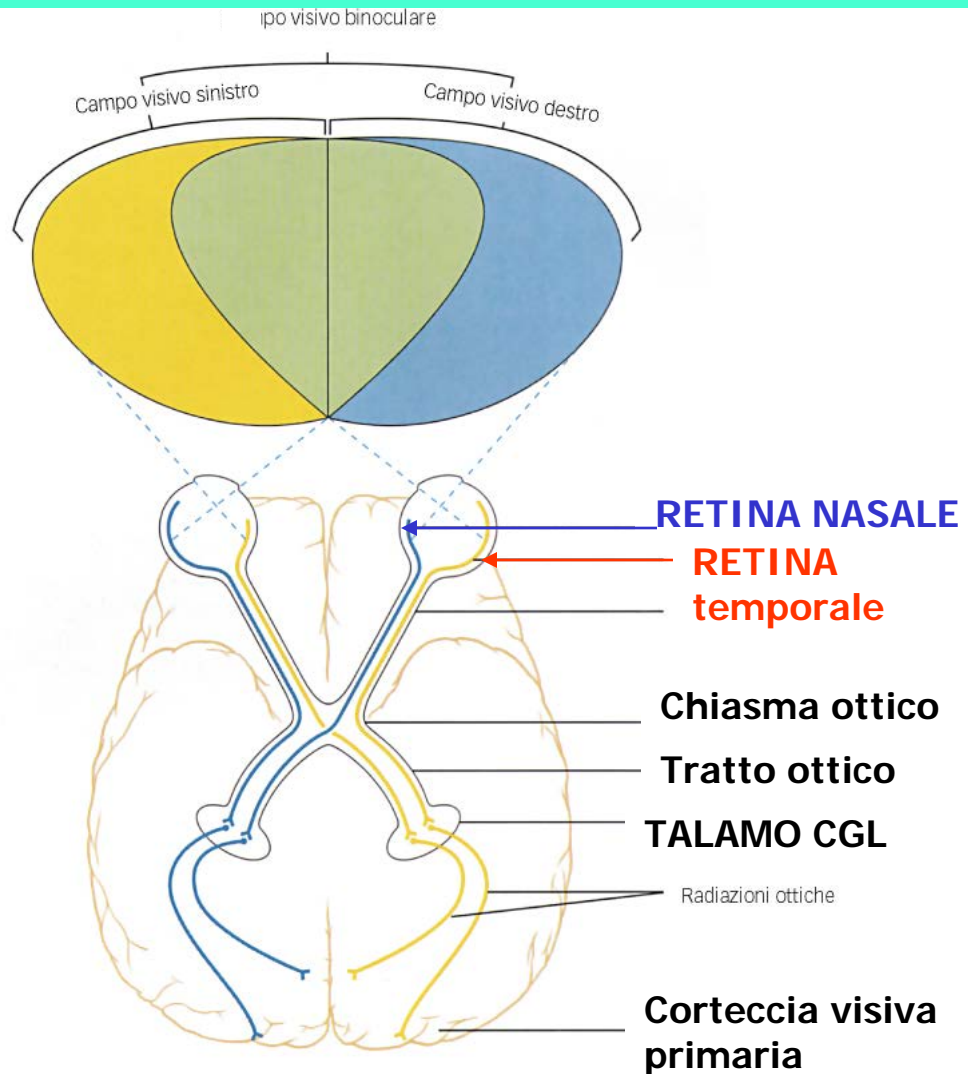
## SPETTRI DI ASSORBIMENTO DEI FOTOPIGMENTI PRESENTI SULLA RETINA UMANA



- coni e bastoncelli trasmettono informazioni relative alla  $\lambda$  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)