3.3 SISTEMA VISIVO

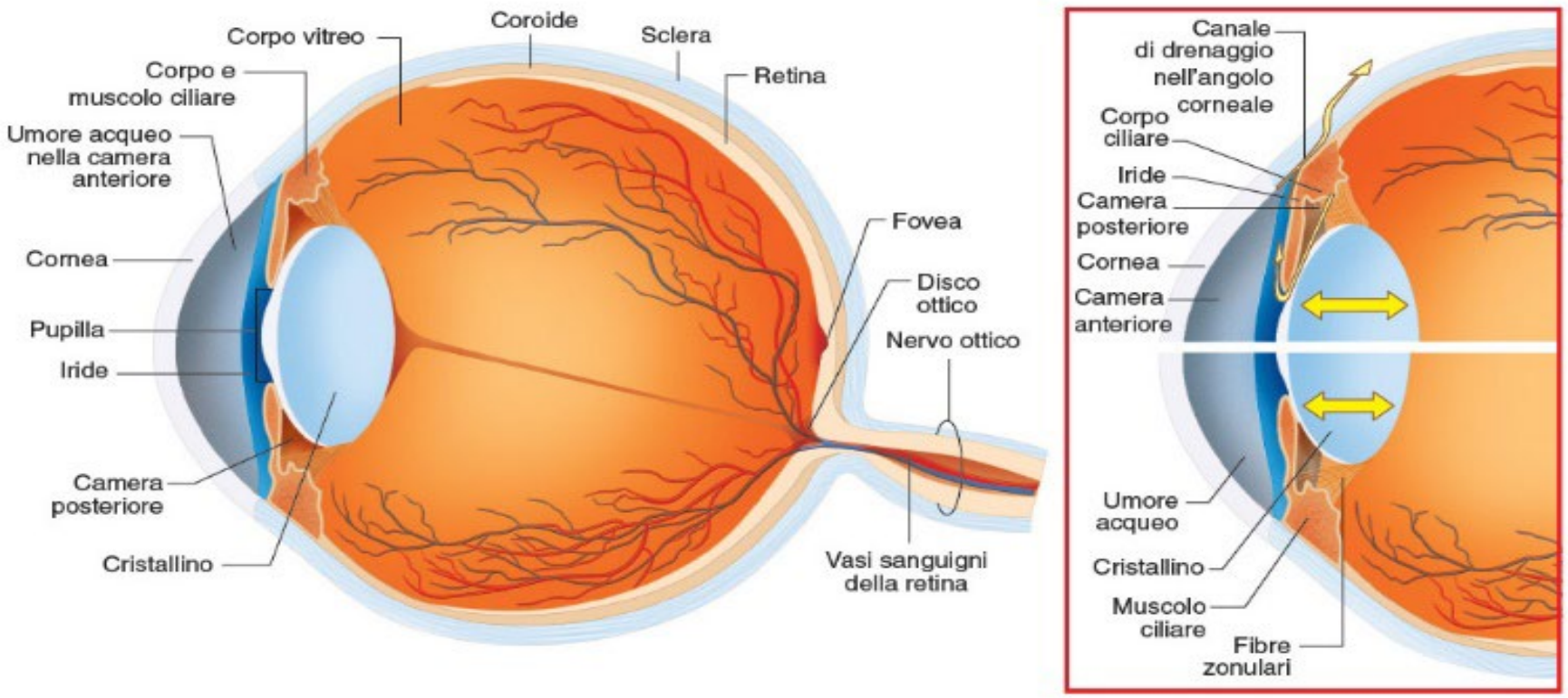


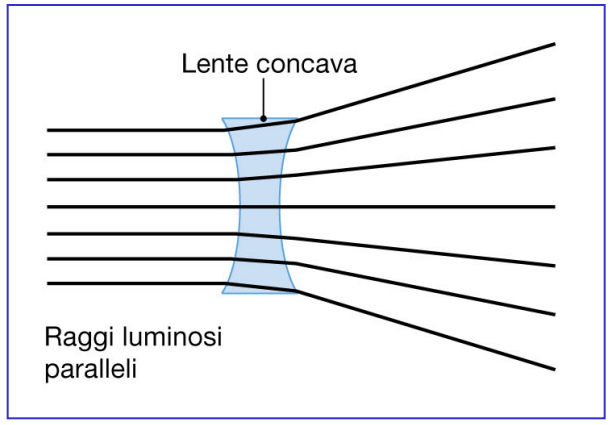
Figura 9.1 Occhio e mezzi ottici. La figura illustra i mezzi ottici (cornea e cristallino) e le strutture oculari accessorie (iride e corpo ciliare). Sono inoltre mostrate le strutture vascolari (coroide, arteria e vena centrale della retina) e nervose (retina, fovea, disco e nervo ottico) alle quali 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.

<u>strato esterno dell'occhio</u>:
cornea, congiuntiva, sclera

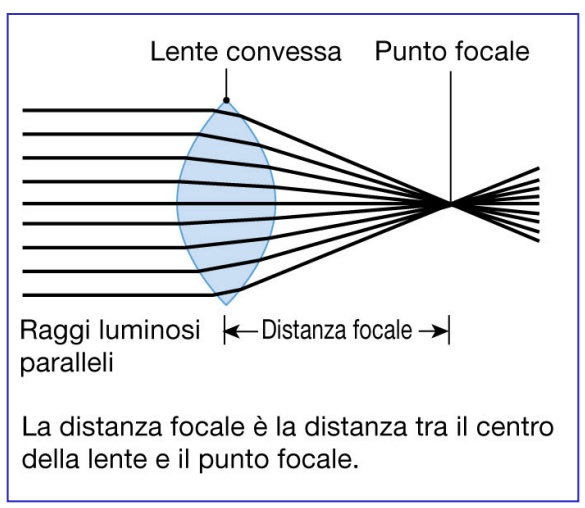
<u>strato intermedio</u>:
iride: (fibre muscolari lisce), regola il diametro della pupilla
coroide: ricca di vasi sanguigni che irrorano gli strati esterni della retina

<u>strato interno</u>:
retina: sulla parete posteriore dell'occhio

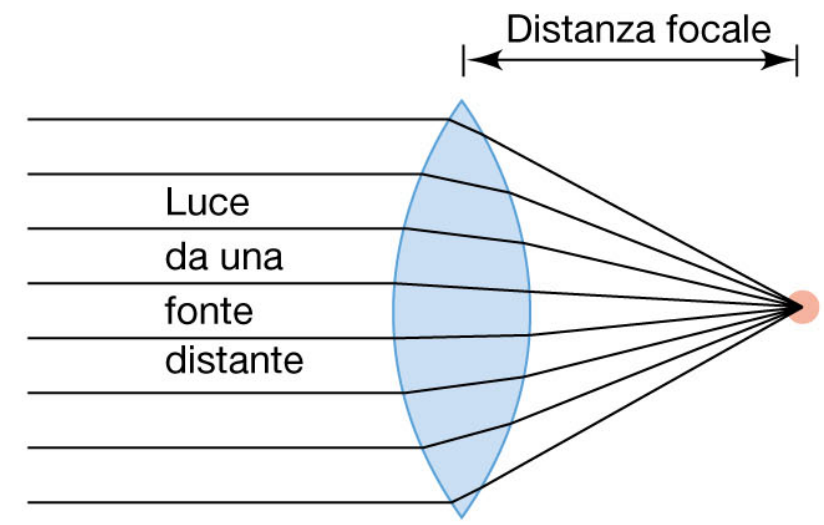
LA LENTE **CONCAVA** FA **DIVERGERE** I RAGGI LUMINOSI

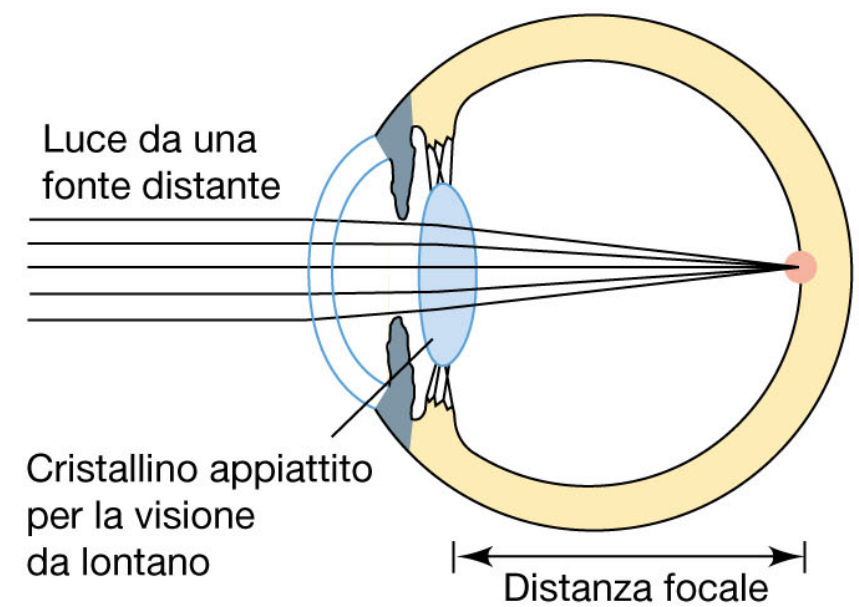


LA LENTE **CONVESSA** FA **CONVERGERE** I RAGGI LUMINOSI



CRISTALLINO





L’accomodazione del cristallino

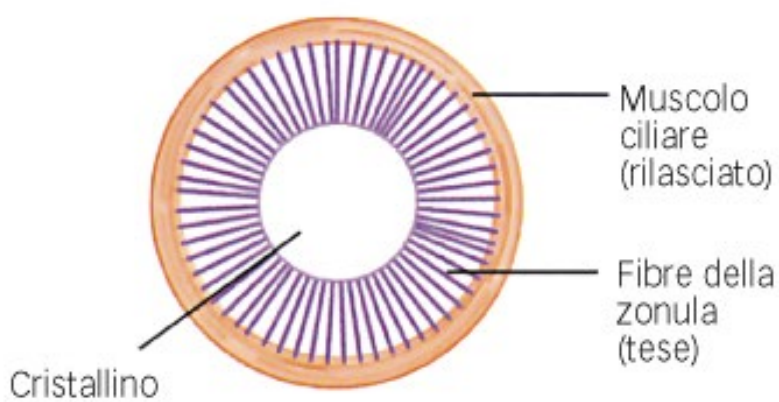
VISIONE DI OGGETTI DISTANTI:

Cristallino piatto con minimo potere rifrattivo.

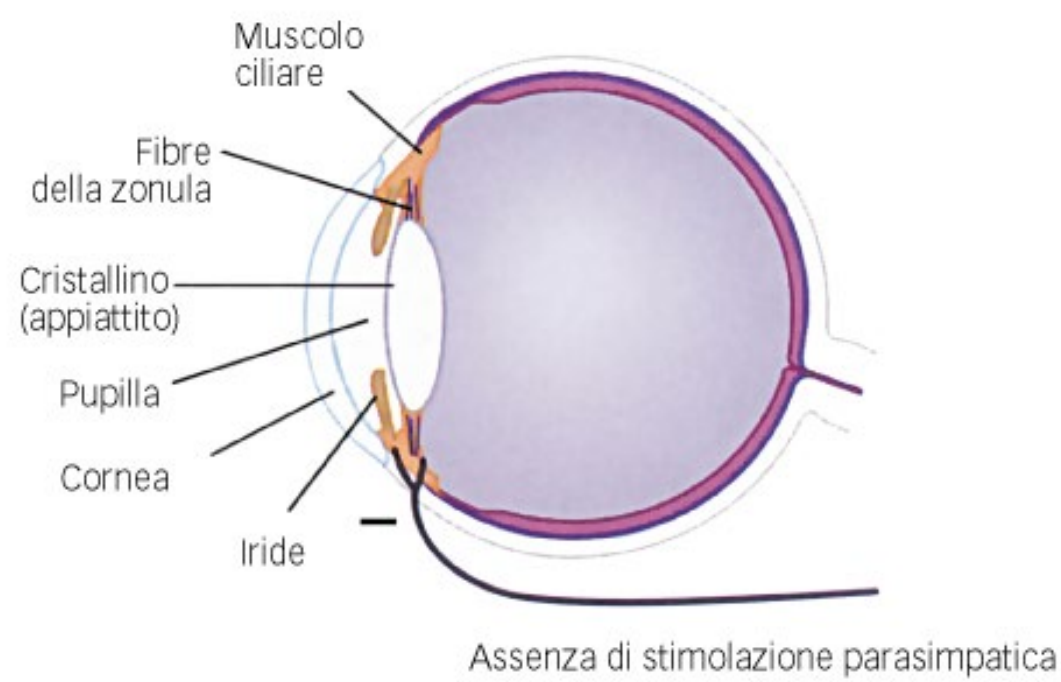
VISIONE DI OGGETTI VICINI:
cristallino arrotondato,
massimo potere rifrattivo.

VISIONE DI OGGETTI DISTANTI

Muscolo ciliare rilasciato, fibre zonula in tensione.

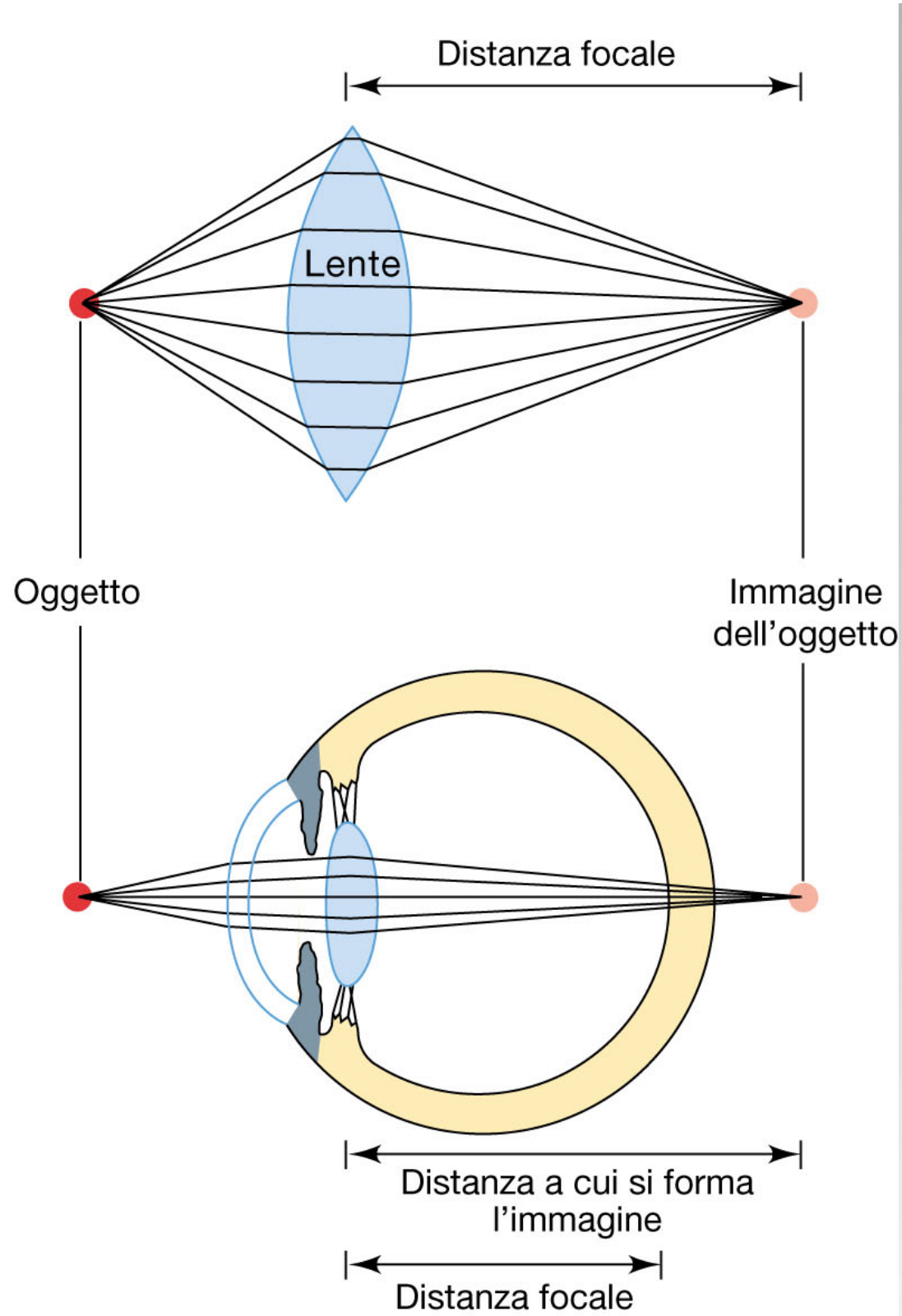


(a) Visione di oggetti distanti



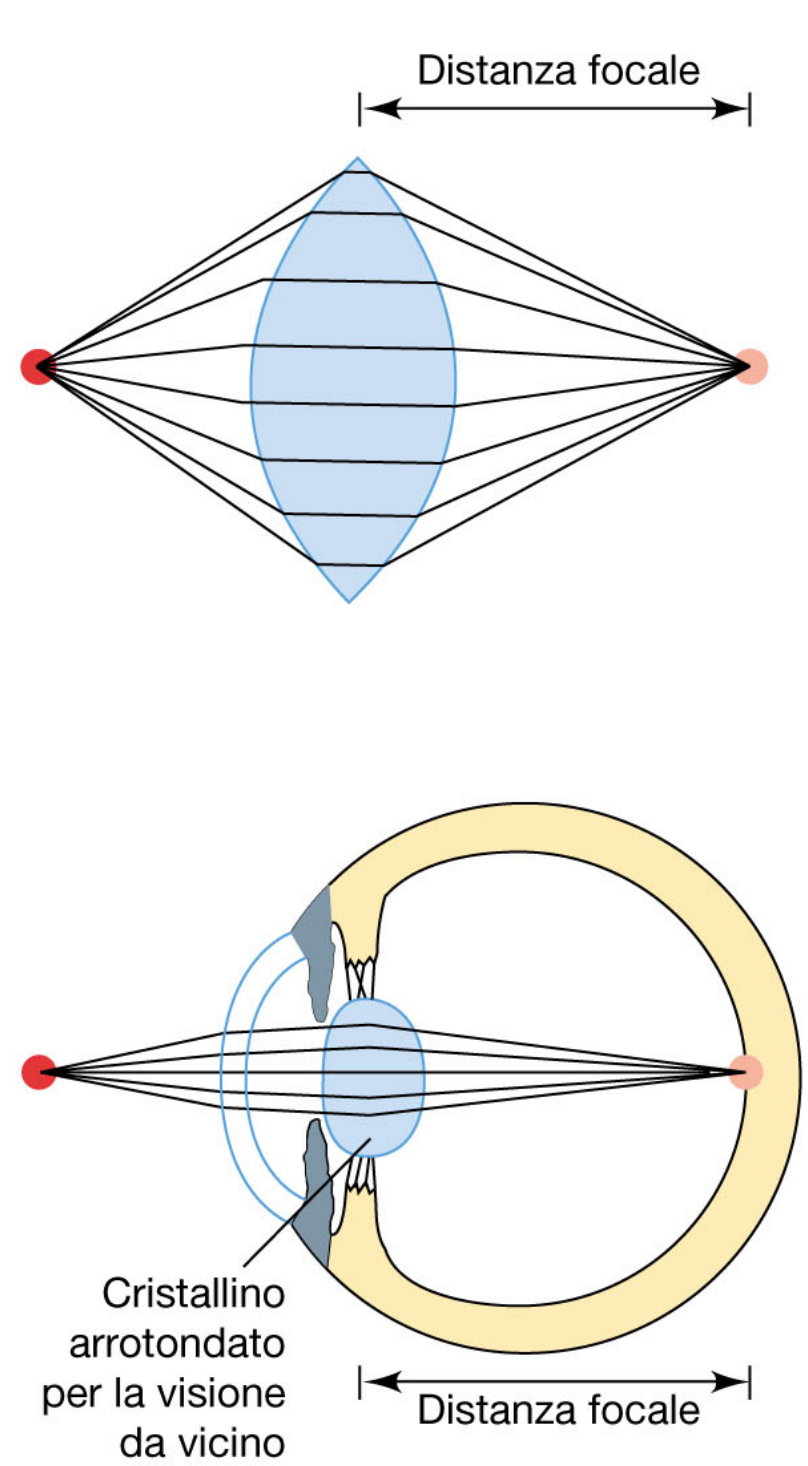
Assenza di stimolazione parasimpatica

OGGETTO IN AVVICINAMENTO

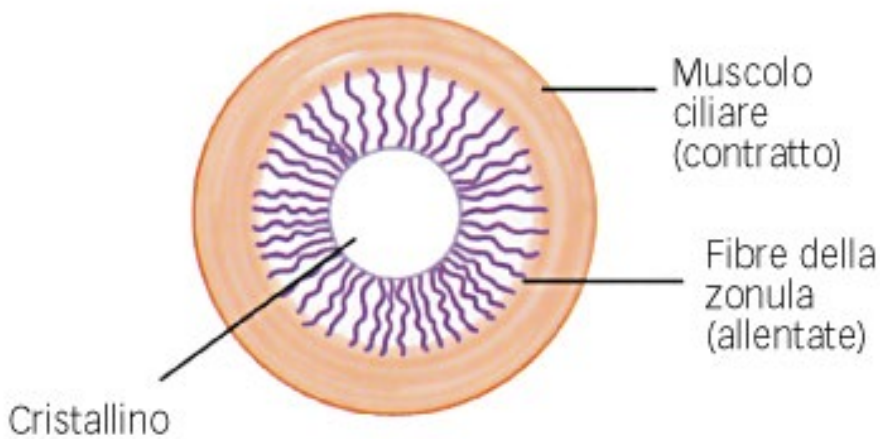


VISIONE DI OGGETTI **VICINI**: **ACCOMODAZIONE DEL CRISTALLINO**.

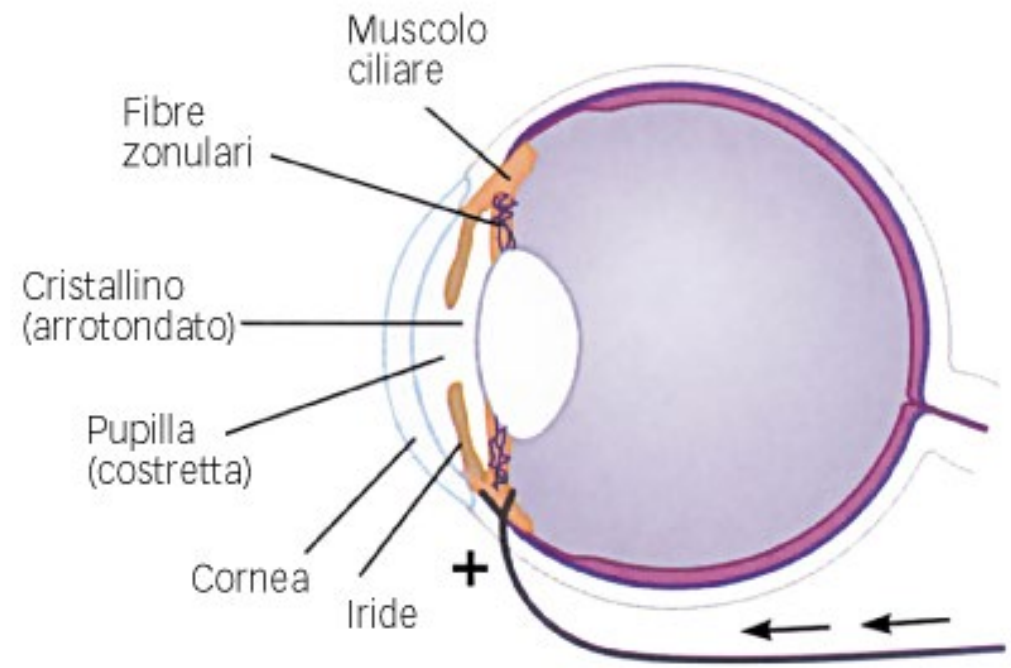
Per mettere a fuoco l'oggetto vicino, il cristallino diventa + convesso. Il cristallino **arrotondato** ha massimo potere rifrattivo ed una distanza focale minore.



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



(b) Accomodazione per la visione da vicino



Stimolazione parasimpatica

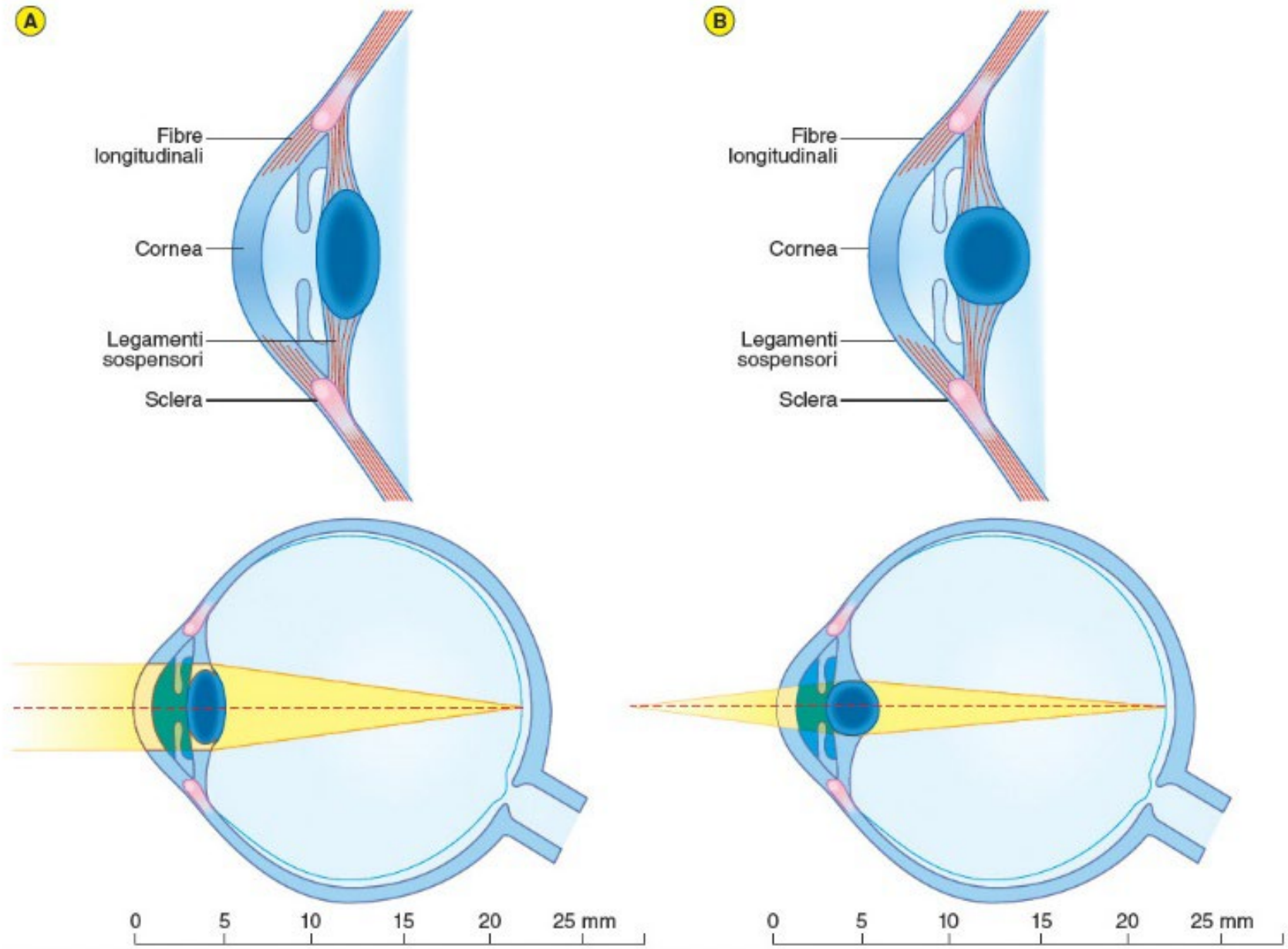
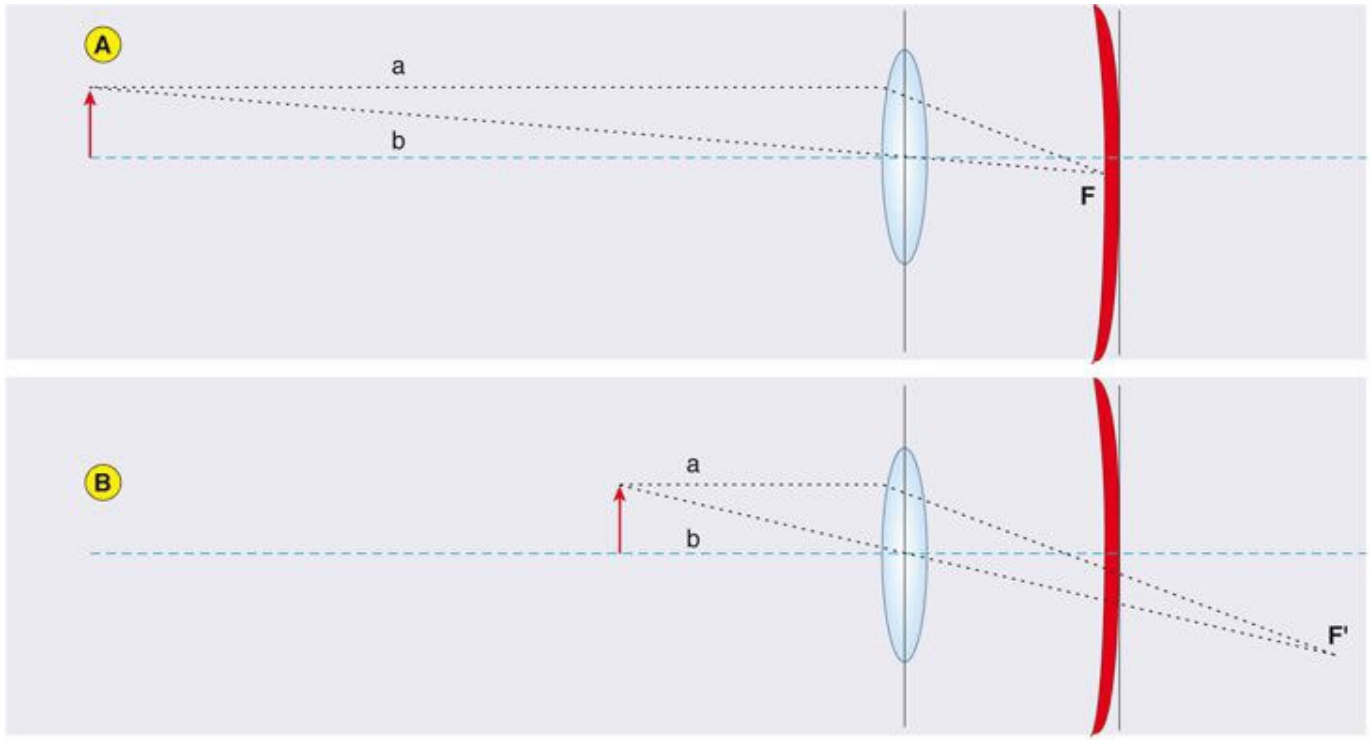


Figura 9.6 Accomodazione. **(A)** La tensione esercitata dai legamenti sospensori sul cristallino contrasta la sua naturale elasticità che porterebbe all'aumento della sua convessità e spessore. **(B)** La contrazione della muscolatura ciliare a decorso circolare causa una riduzione della tensione dei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

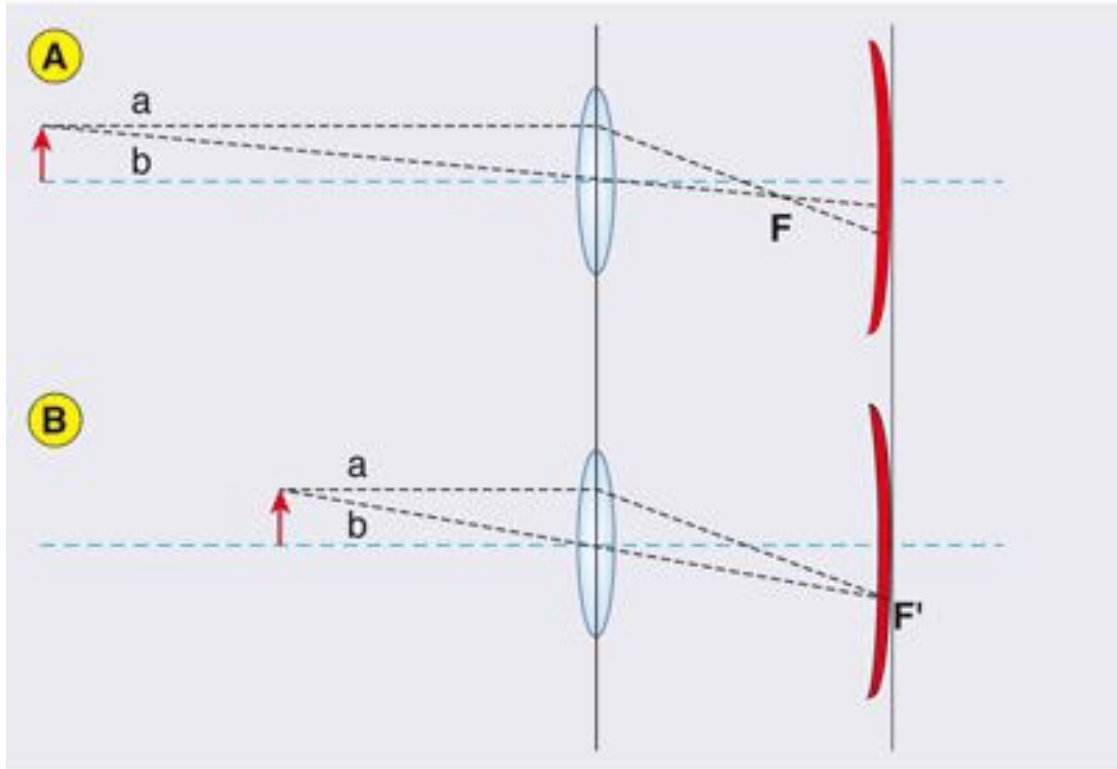
- i centri ottici di cornea e cristallino si trovano sullo stesso asse (sono allineati) pertanto l'occhio si può rappresentare più semplicemente come una **singola lente**



- 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**)

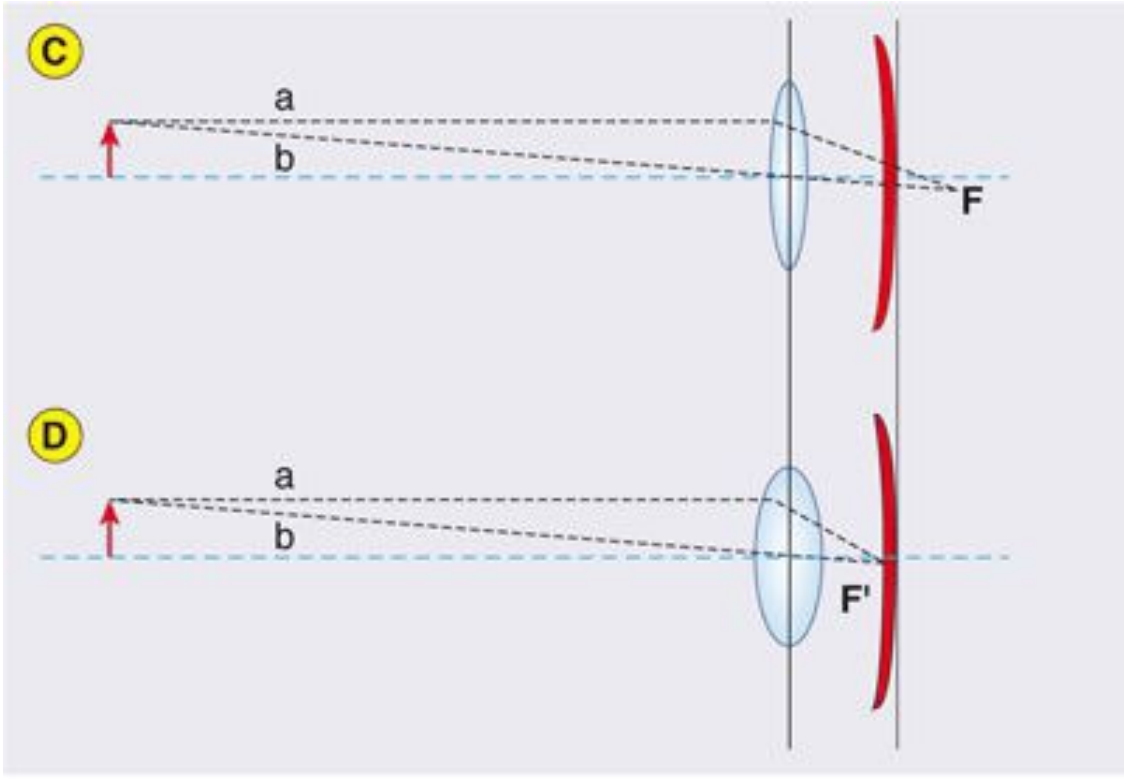
Vizi refrattivi

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

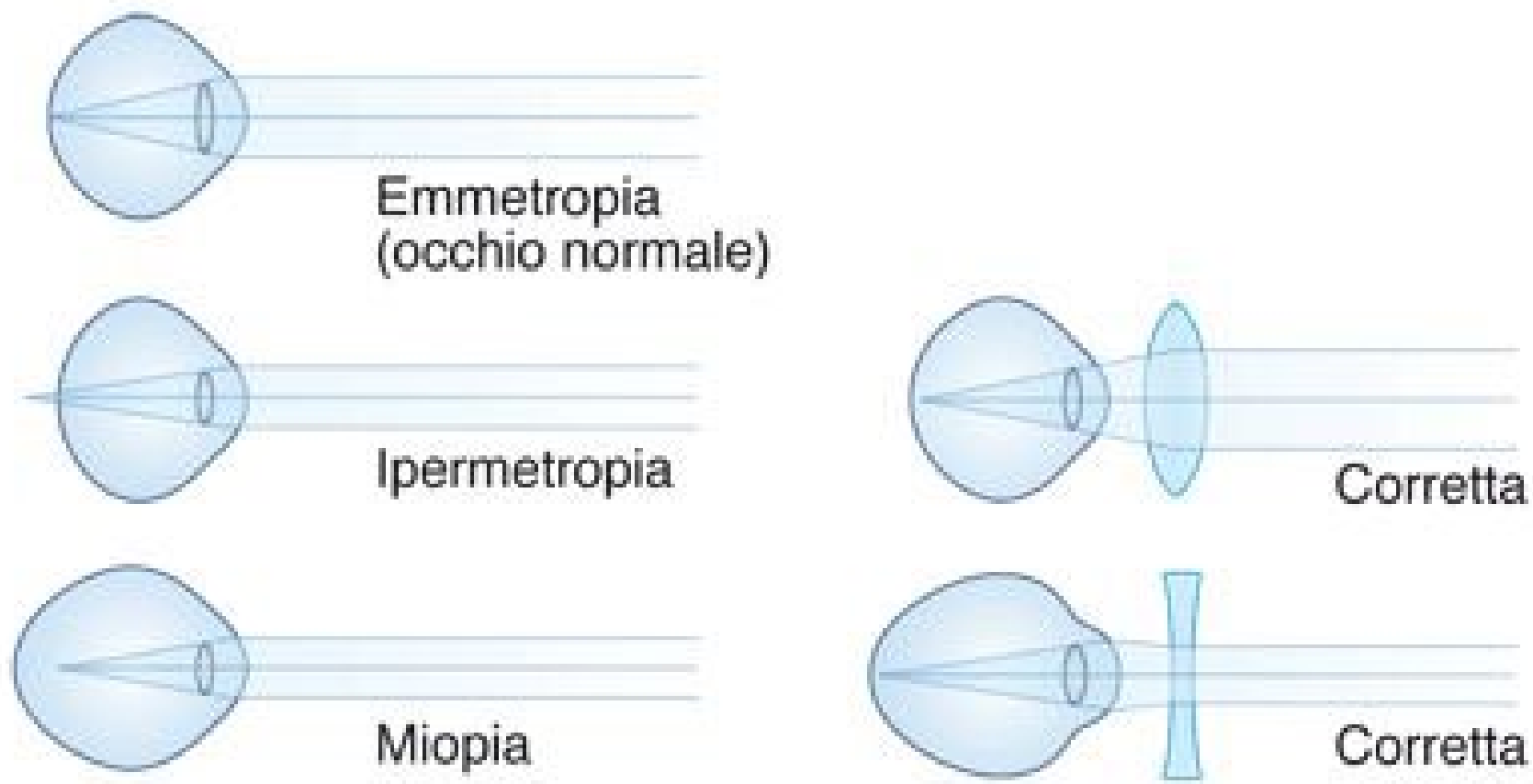
Occhio ipermetrope



- 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

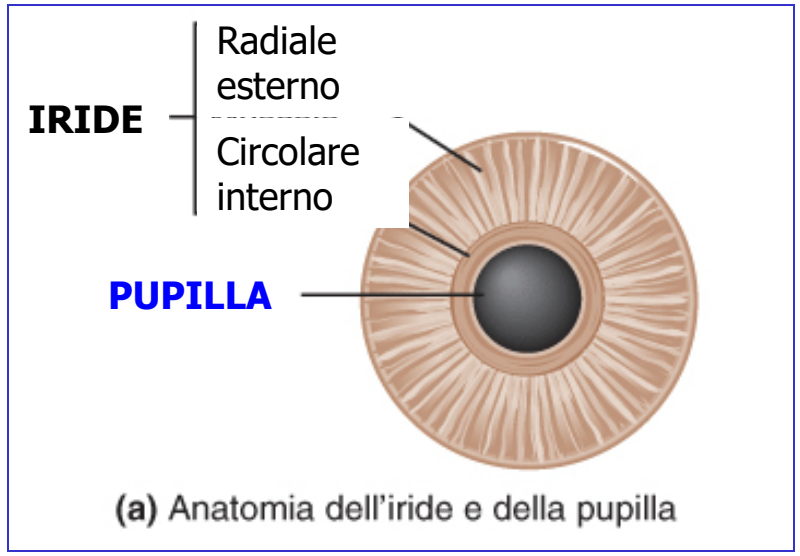
Correzioni dei vizi refrattivi

- 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***

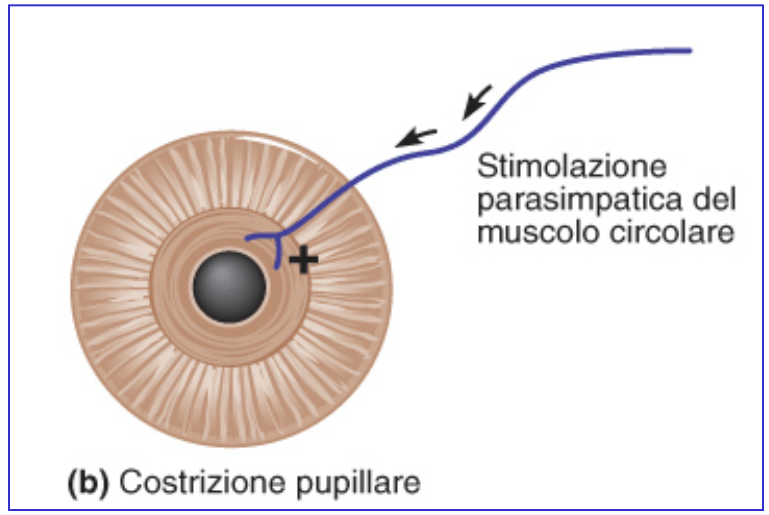
Riflesso pupillare



(a) Anatomia dell'iride e della pupilla

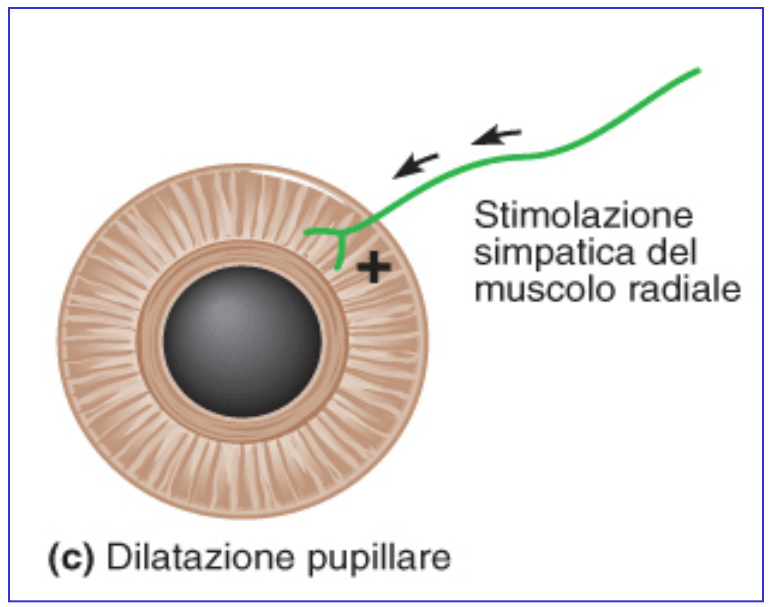
•2 strati di muscolo liscio nell' iride controllano il diametro della pupilla.

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



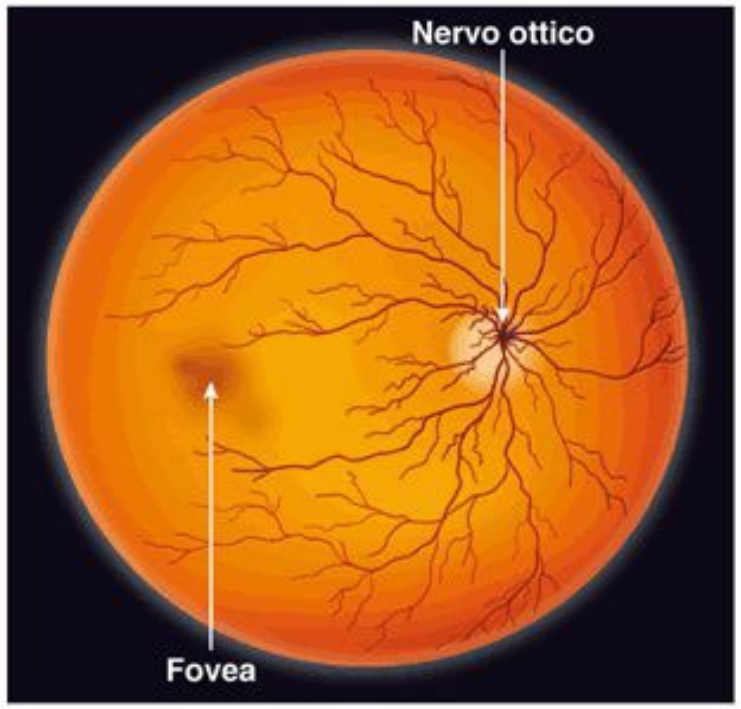
(b) Costrizione pupillare

•La stimolazione **parasimpatica** dello strato circolare: provoca **<u>costrizione</u>**

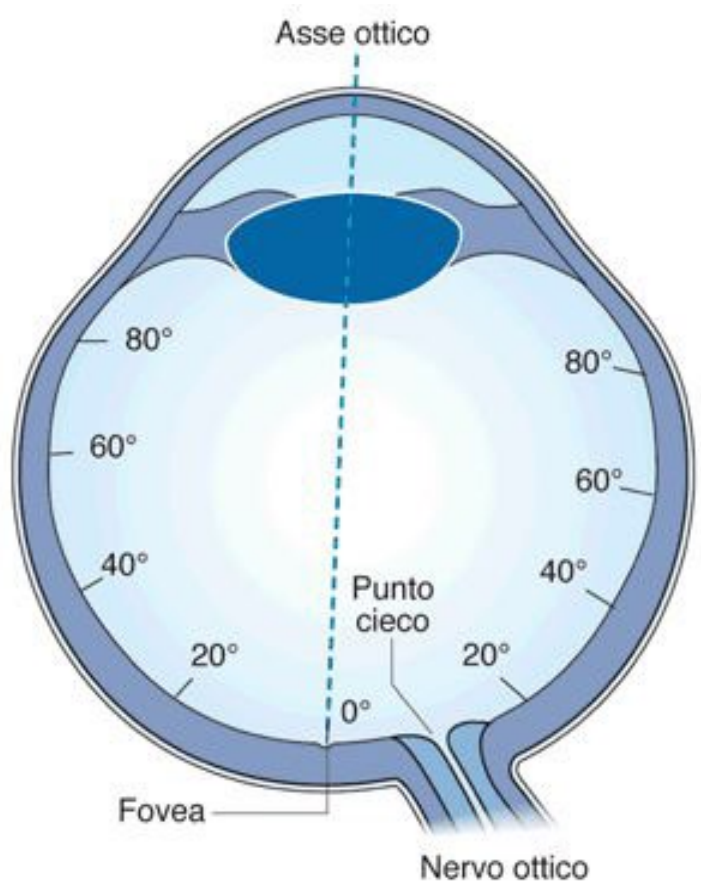


(c) Dilatazione pupillare

•La stimolazione **simpatica** dello strato radiale: provoca **<u>dilatazione</u>**

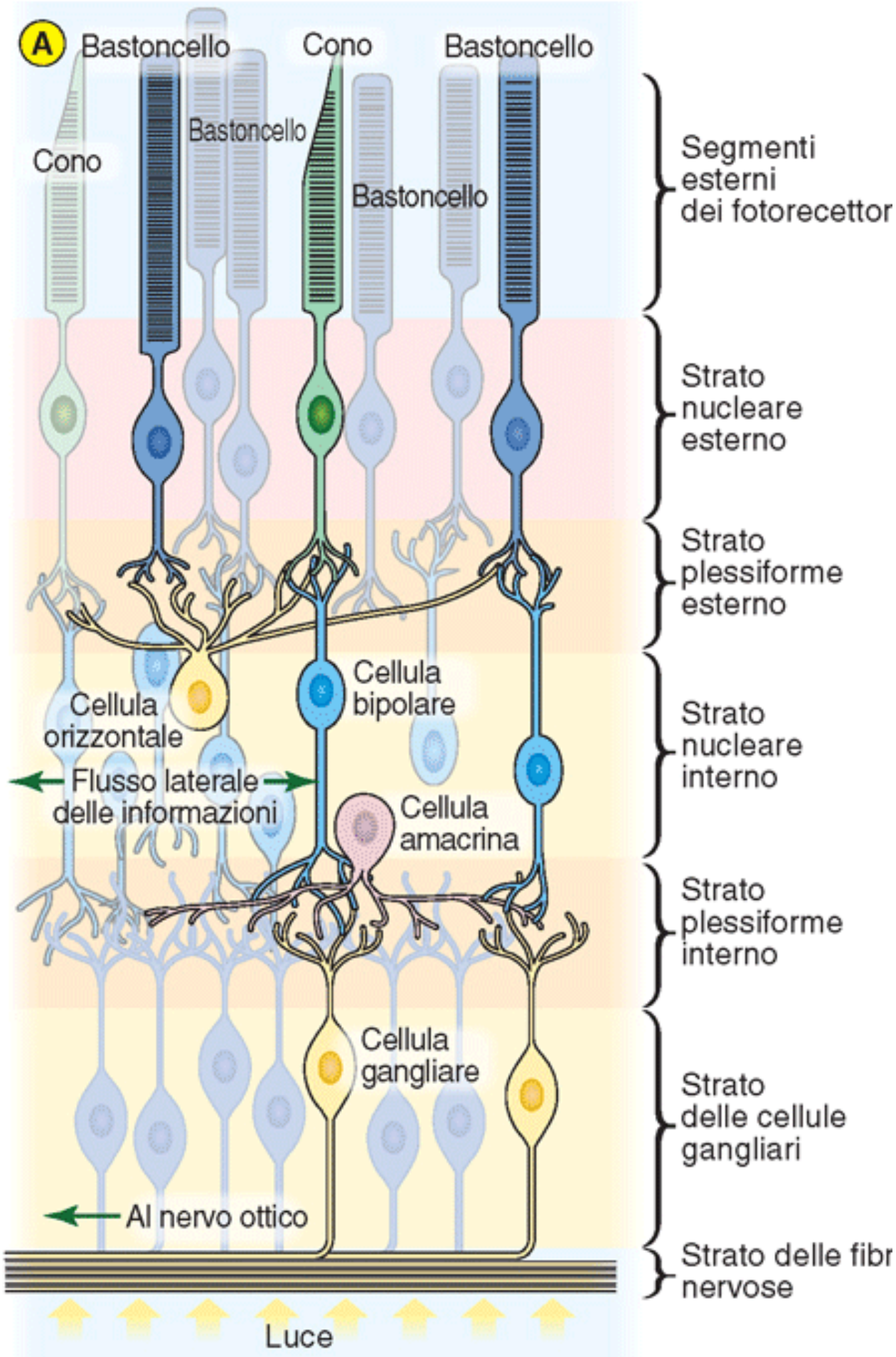


- la ***fovea*** è nel centro della retina in corrispondenza dell'***asse ottico*** dove si forma l'immagine di ciò che fissa l'occhio
- si presenta come una leggera depressione della regione retinica priva di grossi vasi e assoni delle cellule gangliari



- contiene esclusivamente un'***alta densità*** di ***piccoli coni*** (diam. 1.5 μm; *alta acuità visiva*)
- nel resto della retina minori densità di ***coni grandi*** e ***bastoncelli*** (*bassa acuità visiva*)

Struttura della retina



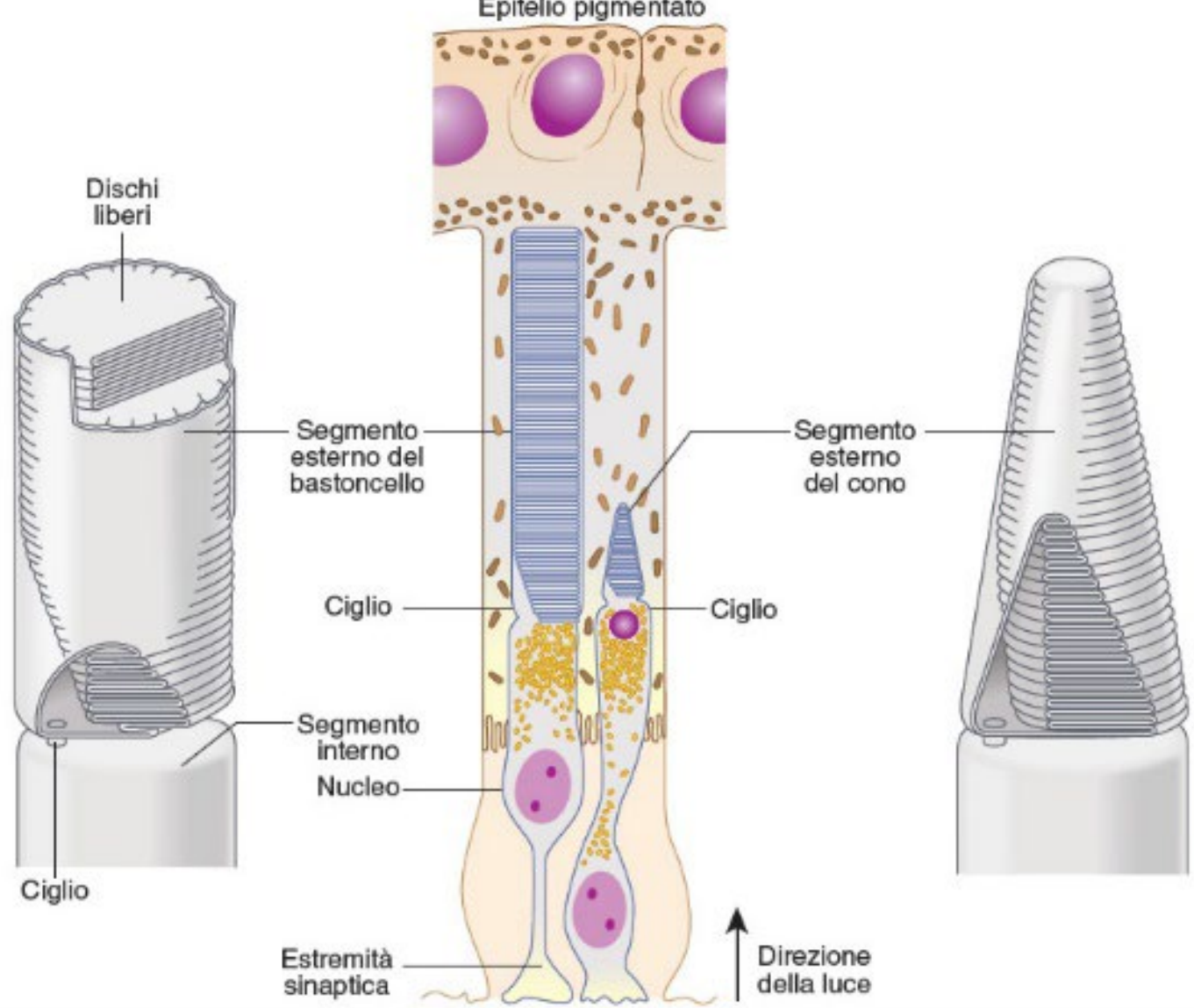
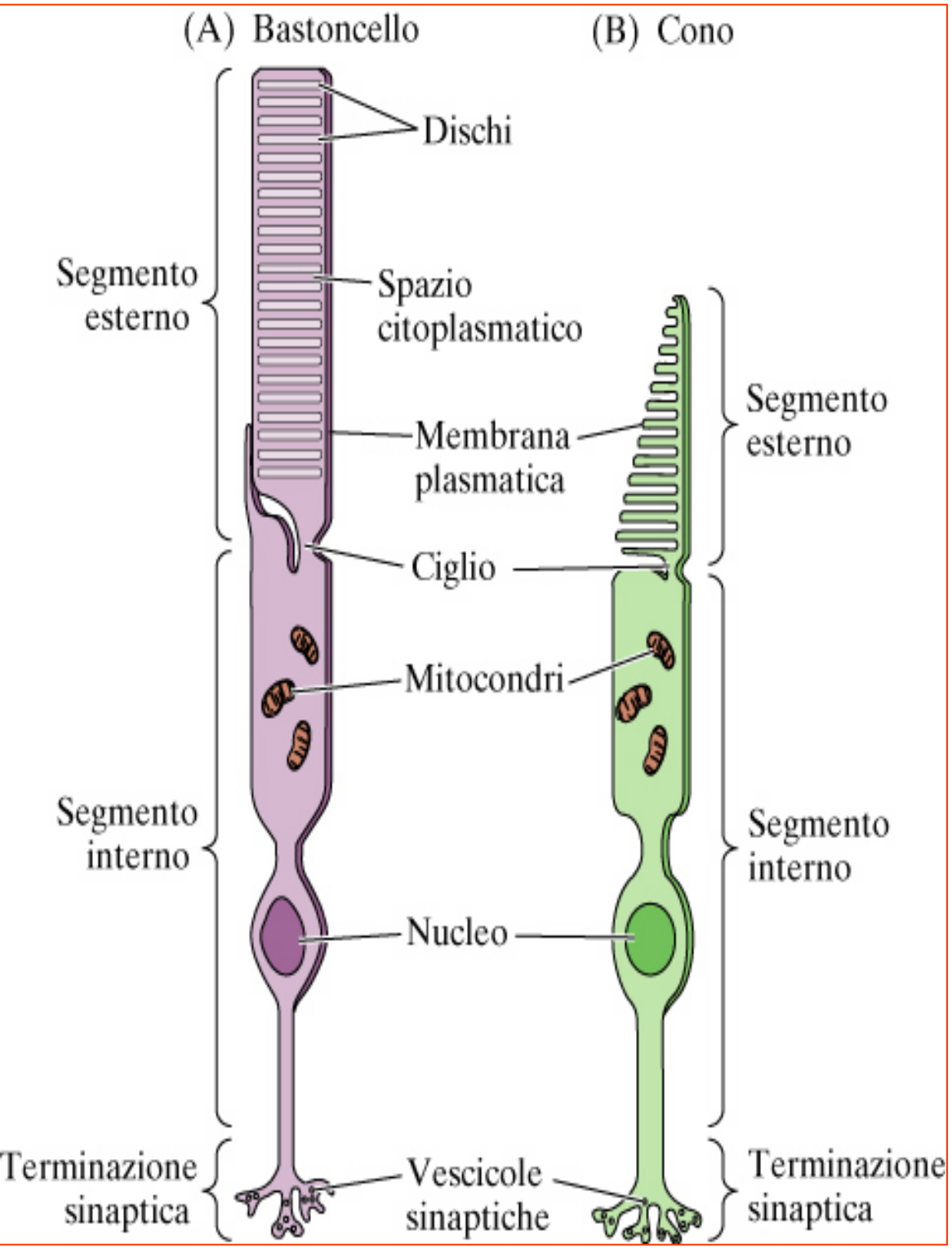


Figura 9.11 Fotorecettori. La morfologia del segmento esterno permette di distinguere facilmente i coni dai bastoncelli. Nei bastoncelli ha una tipica forma cilindrica e contiene numerosi dischi membranosi nei quali sono localizzate le componenti dell'apparato trasduttivo. Il segmento esterno dei coni ha invece una forma conica, non contiene dischi membranosi e le componenti dell'apparato trasduttivo sono distribuite nella membrana plasmatica. I segmenti esterni dei coni e dei bastoncelli sono in contatto con le cellule dell'epitelio pigmentato, a livello del quale avviene la sintesi del retinale 11-*cis*. Nel segmento interno sono presenti numerosi mitocondri, necessari per sostenere l'elevato costo metabolico della fototrasduzione. Il segmento interno e quello esterno sono connessi tramite un ciglio. Nella regione nucleare viene regolata l'espressione dei geni coinvolti nella funzione dei fotorecettori. La morfologia del terminale sinaptico, connesso alla regione nucleare tramite un assone, è diversa nei coni e nei bastoncelli. Il terminale dei bastoncelli è definito sferula, quello dei coni pedicello (vedi anche Fig. 9.15).

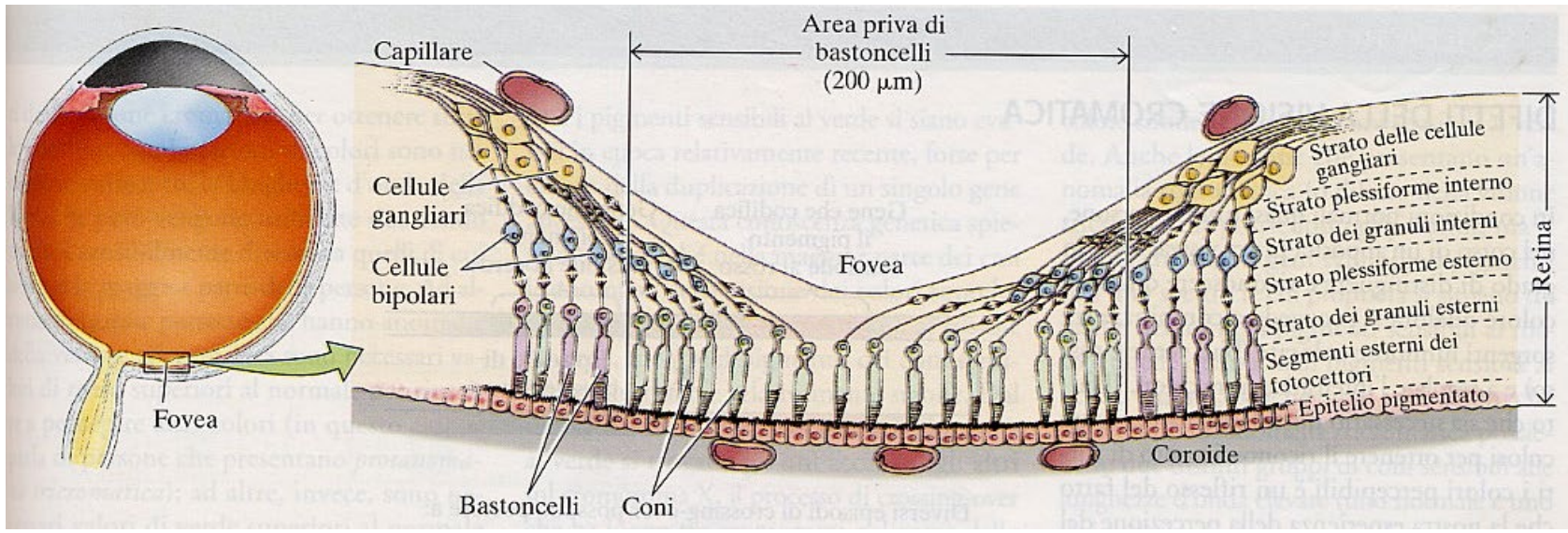
G. Aicardi, V. Carabelli, E. Carbone, R. Maggi
Fisiologia: dalle molecole ai sistemi integrati, III Ed.
EdiSES Edizioni

Coni e bastoncelli: differenze funzionali e morfologiche



BASTONCELLI	CONI
elevata sensibilità: attivati da 1 fotone	**scarsa sensibilità**: attivati da 100 fotoni
bassa risoluzione spaziale (fotopigmento ++)	**alta risoluzione** spaziale (fotopigmento +)
visione scotopica	**visione fotopica**
rodopsina	*3 fotopigmenti*
distribuiti sulla retina ma **non nella fovea**	concentrati nella fovea

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

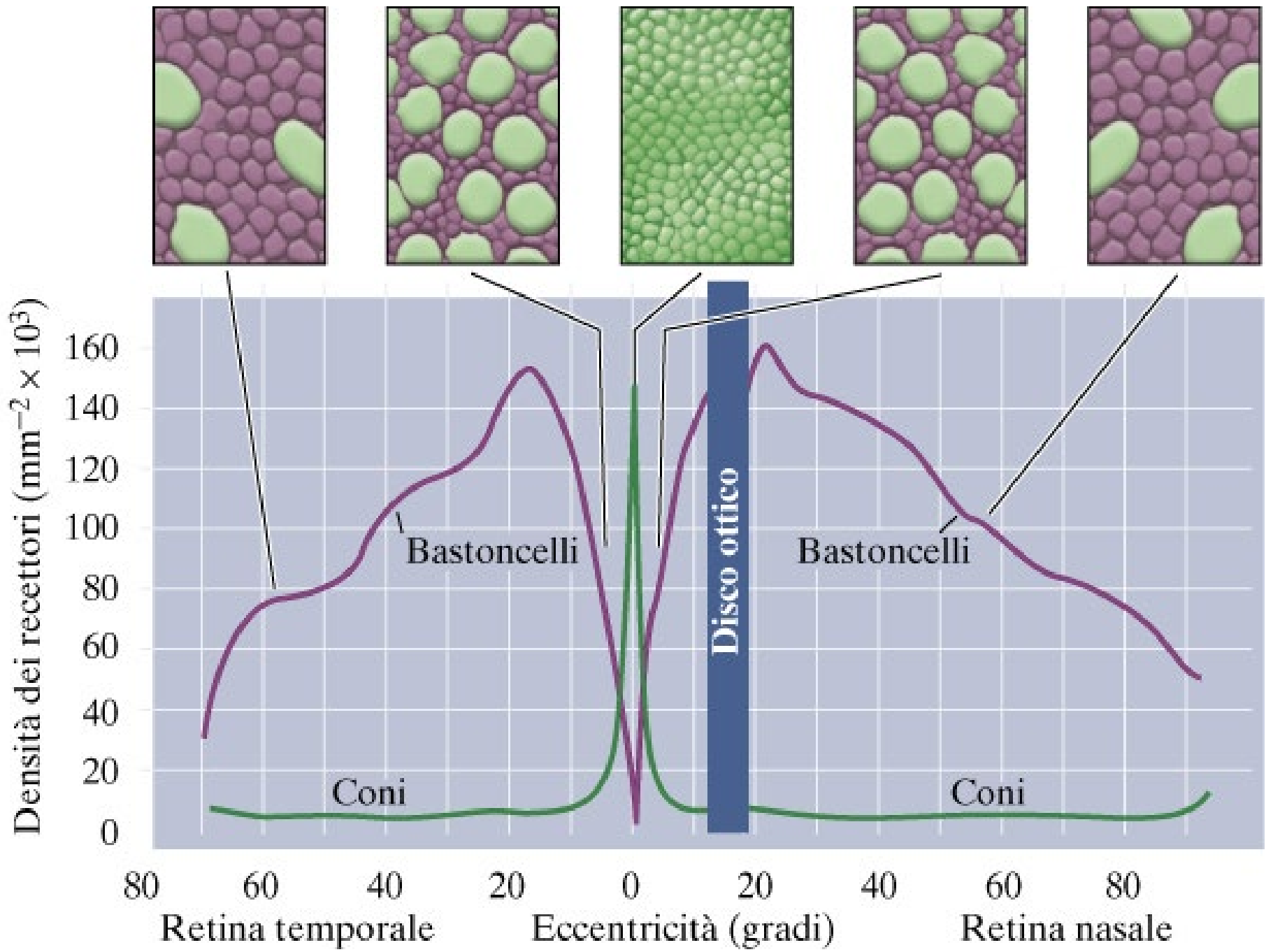


BASTONCELLI: <u>elevato grado di convergenza</u>
-molti bastoncelli convergono su una cellula bipolare
-molte bipolari convergono su una gangliare

CONI: <u>basso grado di convergenza</u>
-un cono contrae sinapsi con una cellula bipolare,
-la bipolare fa sinapsi con una sola gangliare

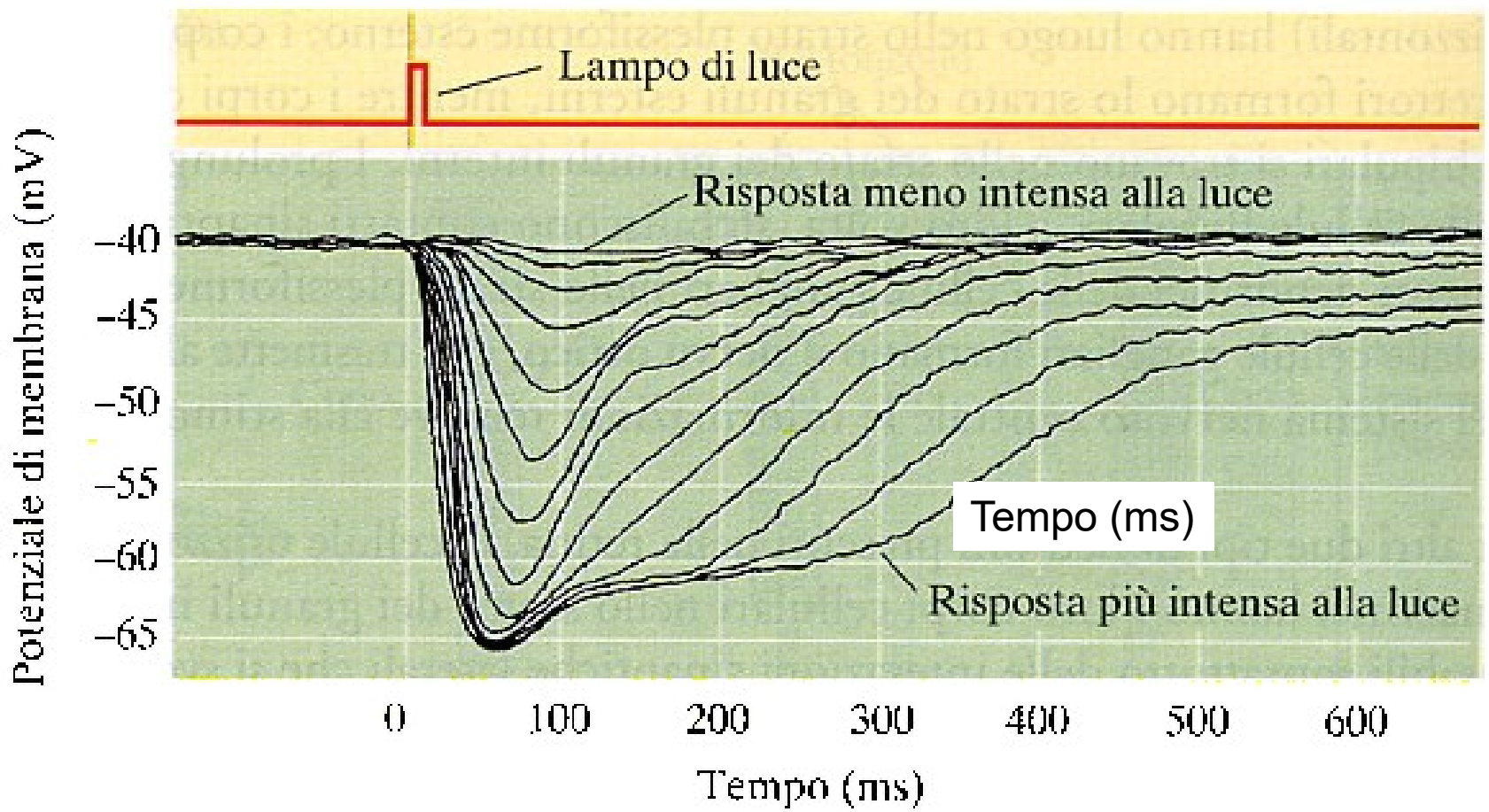
La convergenza dei fotorecettori sulle altre cellule migliora la sensibilità a discapito della risoluzione visiva

Distribuzione dei fotorecettori sulla retina



Come avviene la fototrasduzione

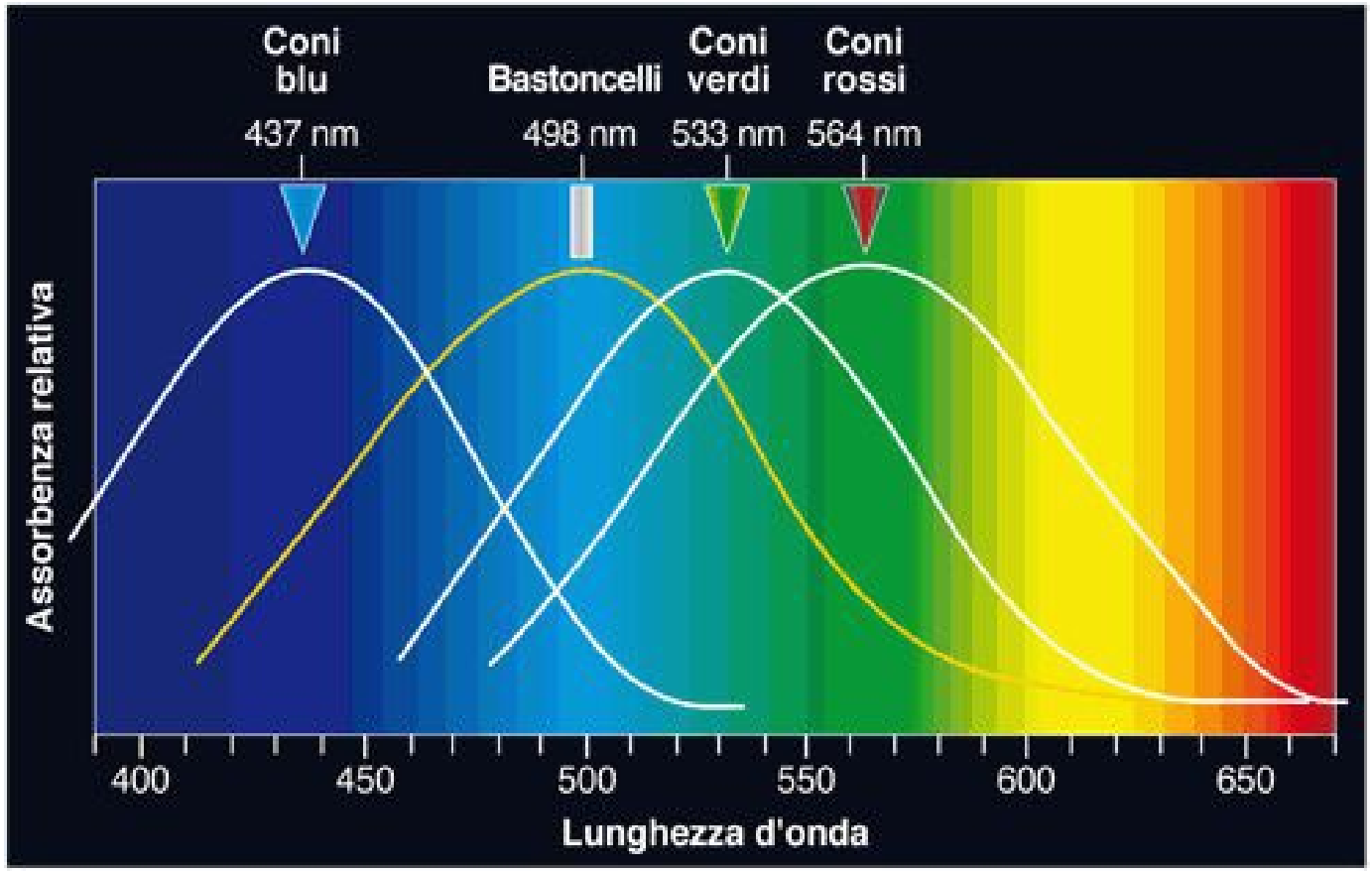
A differenza di altri sistemi sensoriali, nel sistema visivo, lo stimolo (luce) iperpolarizza la membrana del fotorecettore



- **al buio** i fotorecettori sono **depolarizzati** e liberano neurotrasmettitore (glutamato)

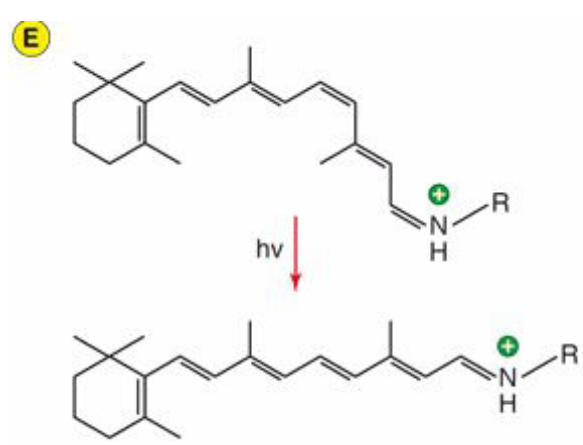
- **alla luce** i fotorecettori sono **iperpolarizzati** e la liberazione di neurotrasmettitore (glutammato) si riduce.

I pigmenti visivi

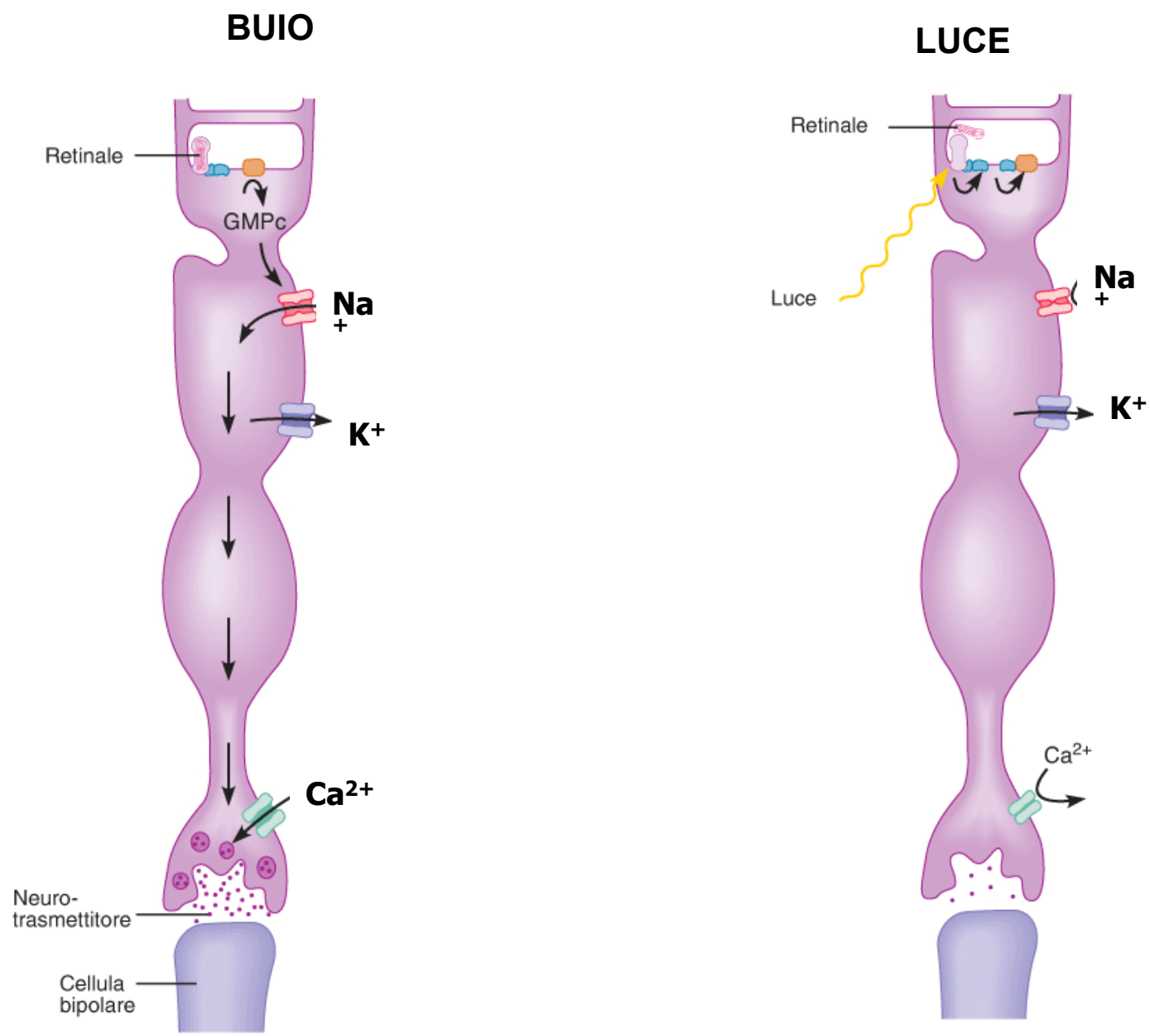


- i pigmenti visivi sono formati da una ***apoproteina*** (***opsina***) e da un cromoforo (***11-cis-retinale***)
- i bastoncelli contengono ***rodopsina***
- i coni contengono tre fotopigmenti, ***opsine dei coni***, ciascuno con uno spettro di assorbimento diverso

- 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*** (*opsina attivata*)



- **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

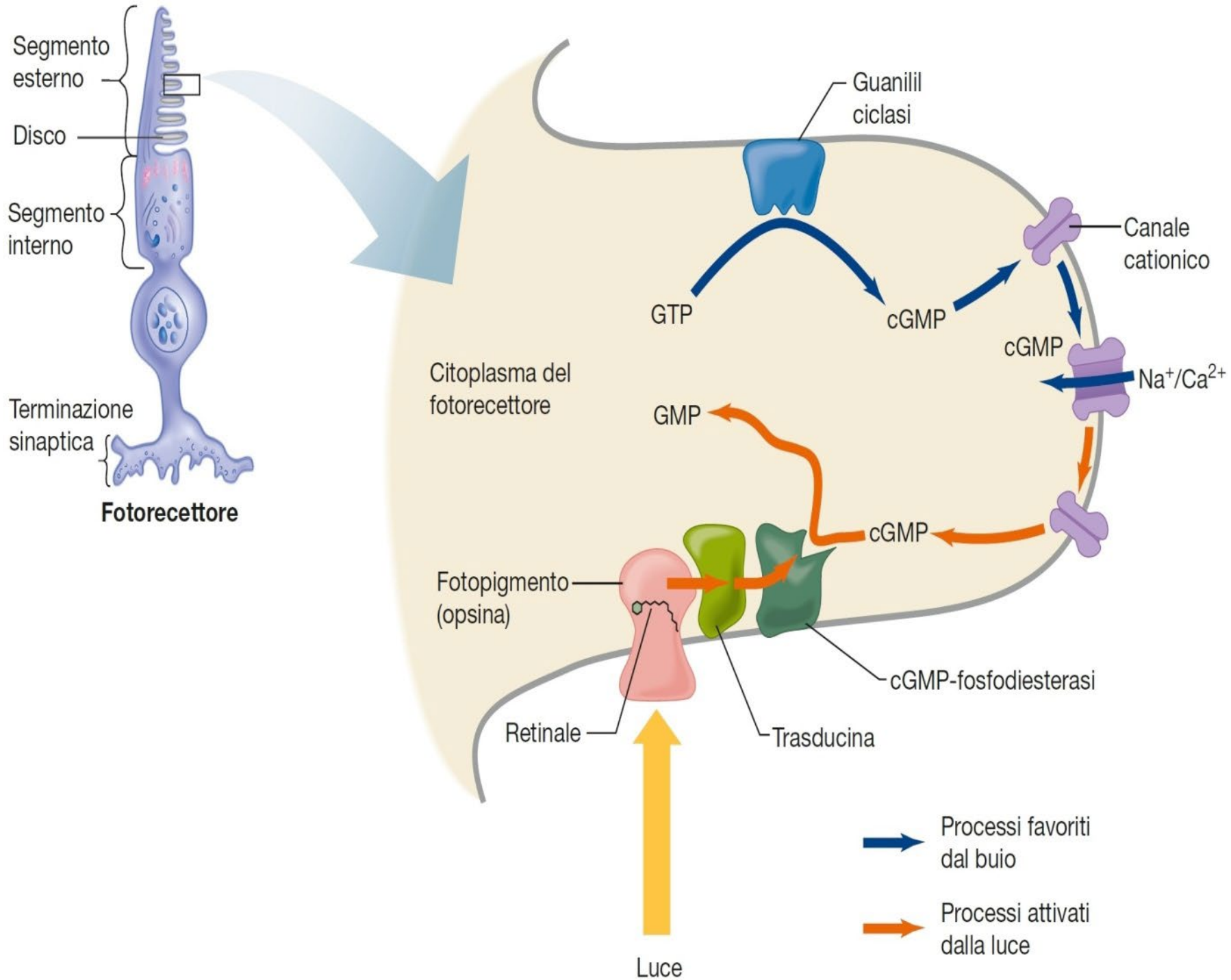


Figura 7.28 Fototrasduzione in un cono. In assenza di stimolo luminoso, il cGMP si lega ai canali cationici e li apre. Quando la luce colpisce il cromoforo (retinale) del fotopigmento, questo cambia conformazione e si dissocia dall'opsina. Come risultato, nella membrana del disco viene stimolata la cGMP-fosfodiesterasi, 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^2,
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 rizione di cGMP porta alla chiusura di circa **230** di 11000 canali regolati da cGMP

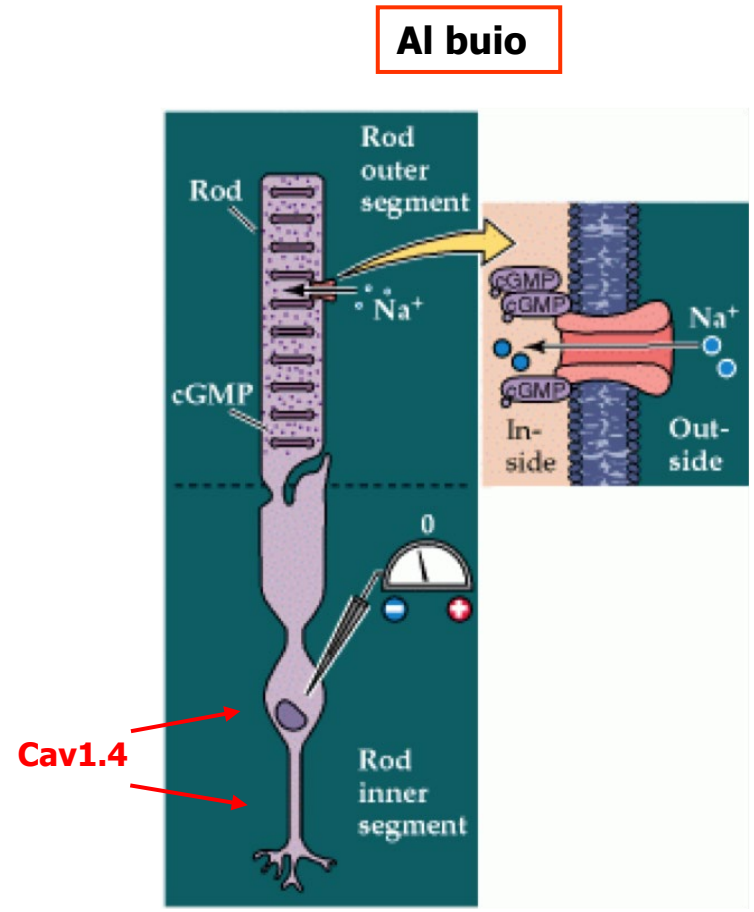
Daltonismo e difetti nella visione dei colori

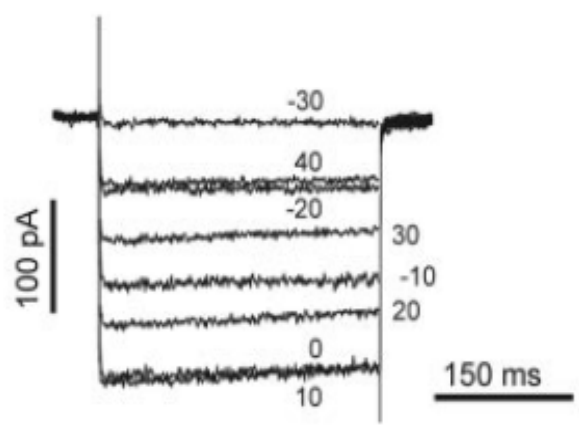
- Difetti relativi ai geni che codificano per le opsine espresse nei coni verdi, rossi e blu.
- Se la mutazione dell'opsina è relativa ai residui aminoacidici che interagiscono con il retinale (cromoforo comune alle opsine), si modifica il picco di assorbimento dei pigmenti visive causando difetti nella visione dei colori e nella capacità di distinguerli.
- Prevalente nei maschi (i geni che codificano per l'opsina sono sul cromosoma X)

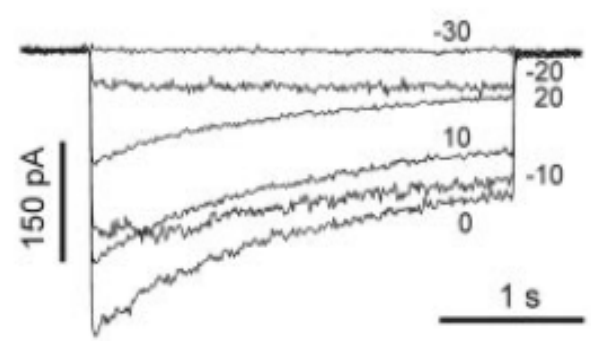
- La perdita complete della visione a colori (acromatopsia) è rara e si manifesta con ridotta acuità visiva, fastidio per la luce.

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

- la subunità α1 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)







E.P. Widmaier, H. Raff, K.T. Strang, *Vander – Fisiologia, seconda ed. italiana*, 2018 978-88-08-28002-2

Casa Editrice Ambrosiana

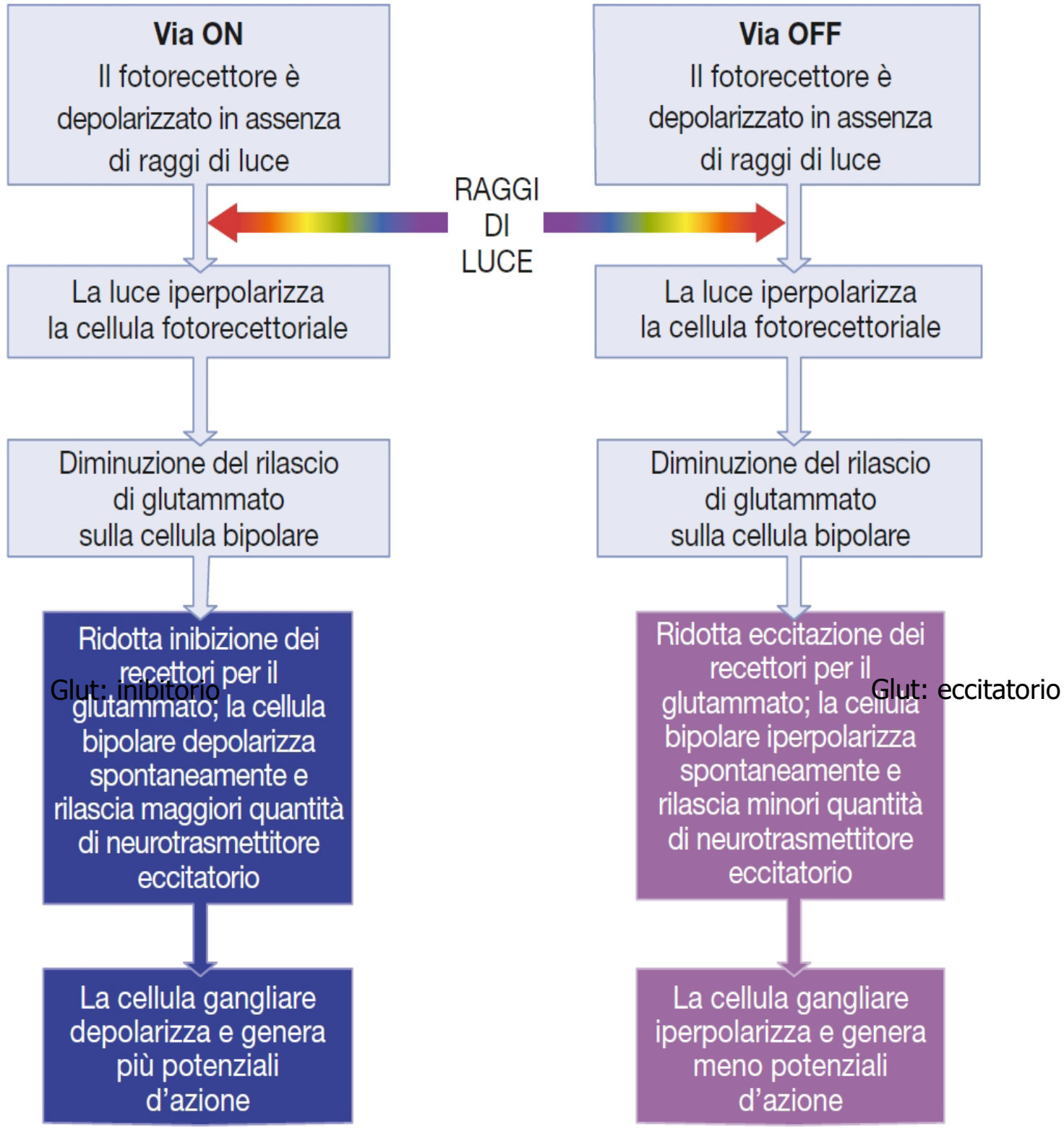


Figura 7.29 Effetti della luce sul signaling nelle cellule gangliari della via ON e della via OFF.

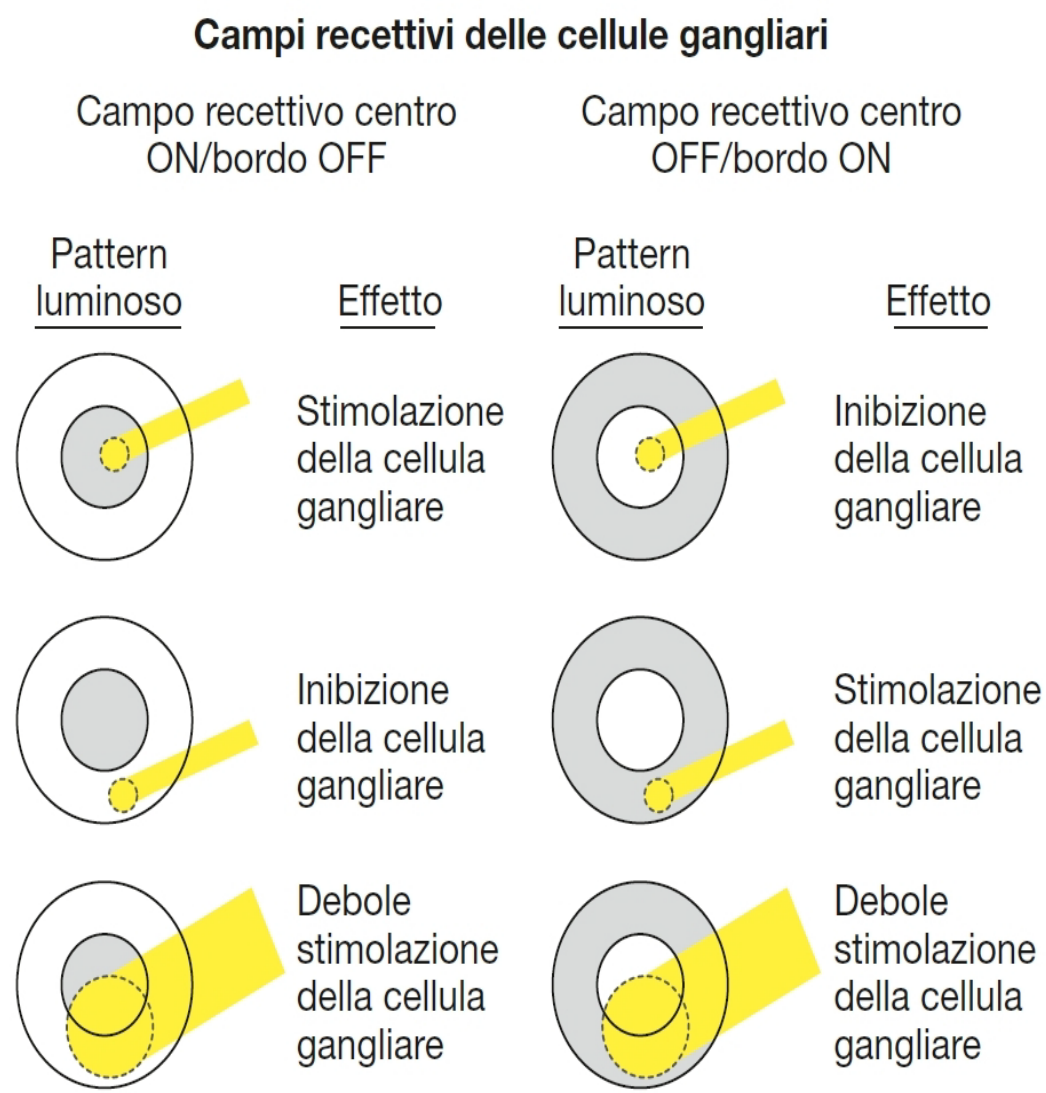
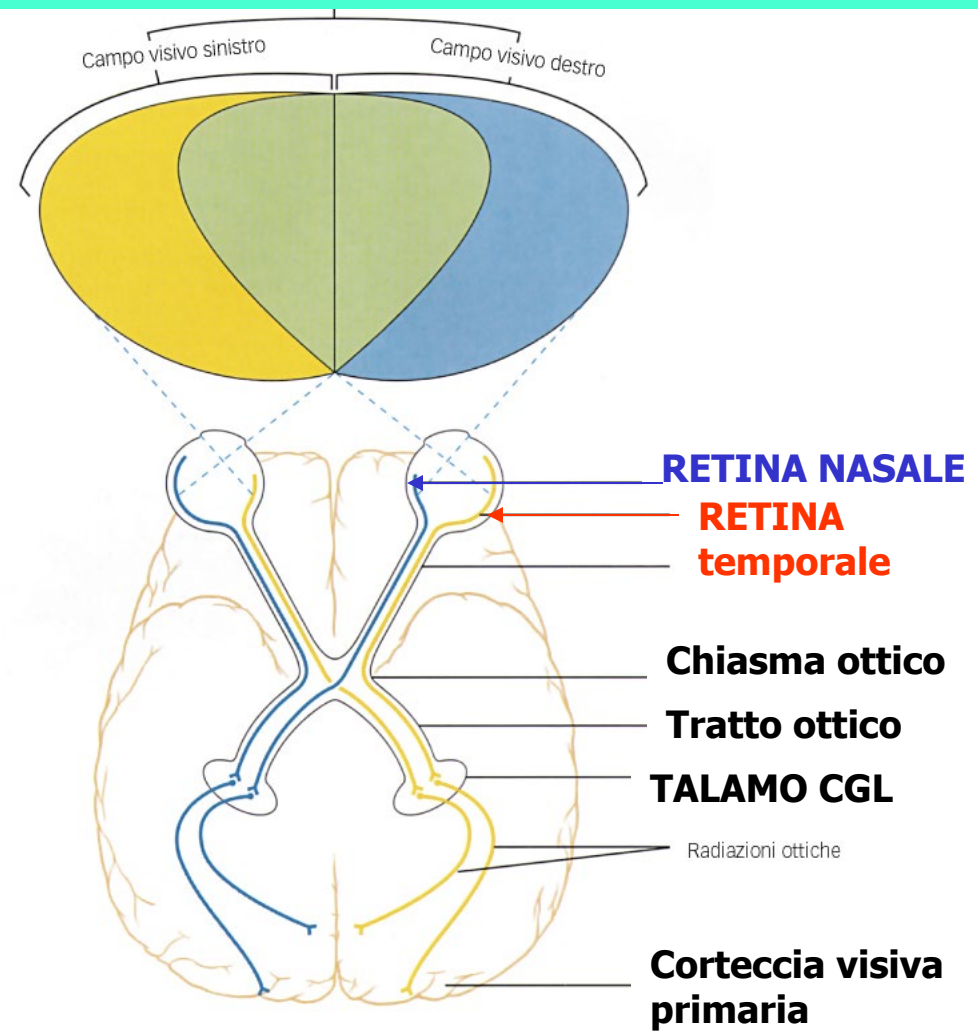


Figura 7.30 Tipi di campi recettivi delle cellule gangliari. Le cellule gangliari centro ON/bordo OFF sono stimolate quando un punto luminoso colpisce il centro del campo recettivo e sono inibite quando la luce colpisce la zona circostante; l'opposto si verifica nelle cellule centro OFF/bordo ON. In 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.

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)