



Prof.ssa Iole Tomassini Barbarossa

Corso di Laurea Magistrale in  
Neuropsicobiologia

Lezioni di Fisiologia sensoriale

E' vietata la copia e la riproduzione dei contenuti e immagini in qualsiasi forma.

E' inoltre vietata la redistribuzione e la pubblicazione dei contenuti e immagini non autorizzate espressamente dall'autore.

# Il sistema visivo

# La percezione visiva è creativa non passiva

Le immagini che noi percepiamo non sono la semplice somma dei singoli elementi dell'oggetto osservato, ma rappresentano in qualche modo l'espressione di come le singole sensazioni vengono organizzate a livello cerebrale





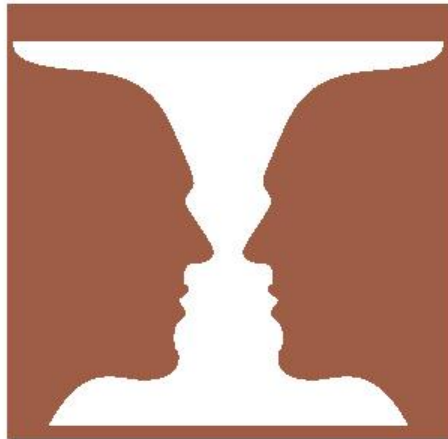
# La percezione visiva è creativa non passiva

Il sistema visivo non si limita a registrare passivamente le proprietà delle immagini, come fa la macchina fotografica.

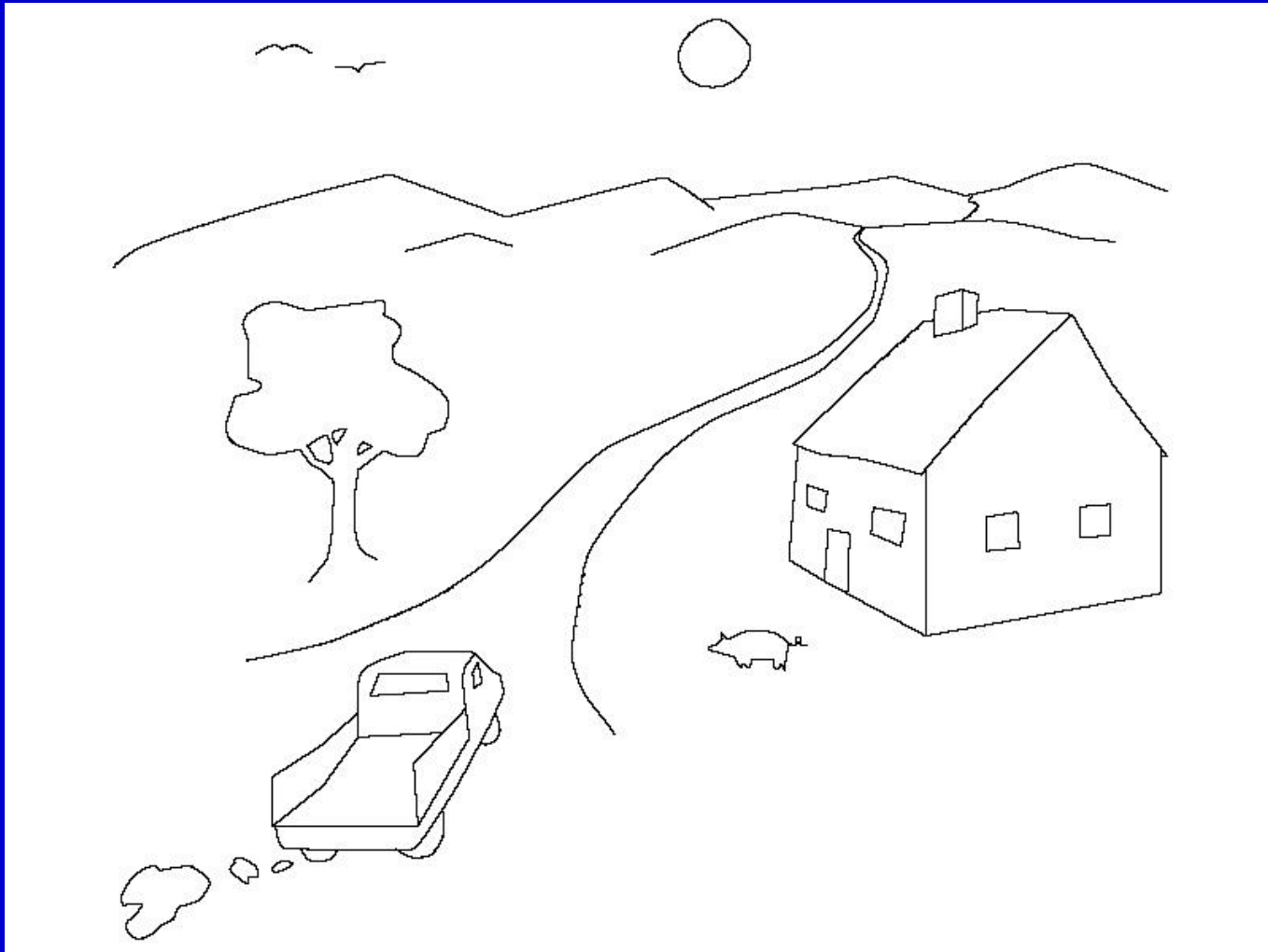
Al contrario, il sistema visivo trasforma stimoli luminosi transitori che vanno a cadere sulla retina nella rappresentazione coerente e stabile di un mondo tridimensionale.

Il cervello è capace di associare parti di uno scenario visivo per farne un oggetto riconoscibile relegando nello sfondo le altre parti dell'immagine.

Tale processo di separazione tra figura e sfondo è continuo e dinamico



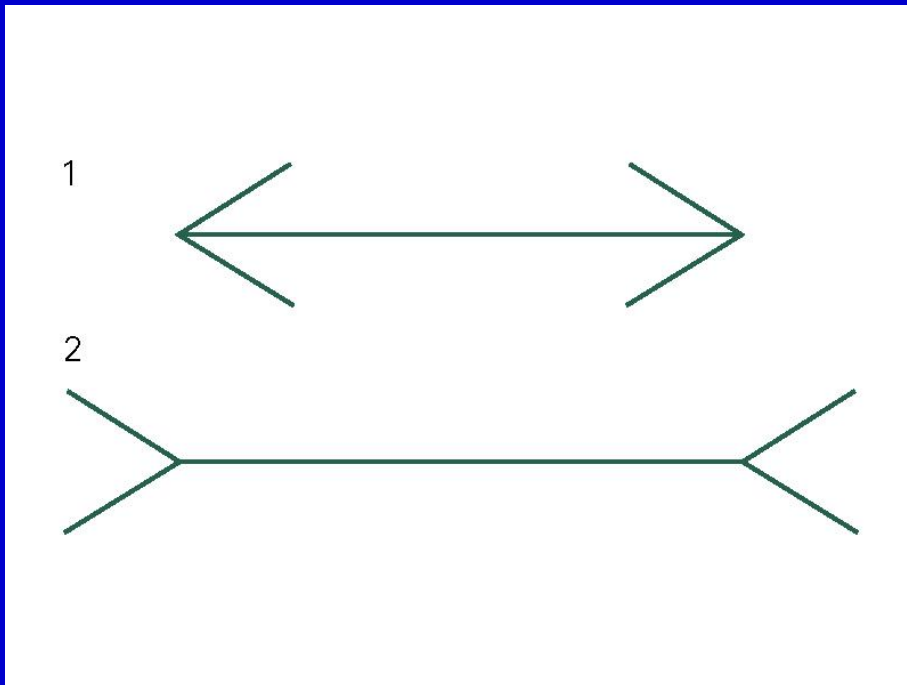
Il cervello è capace di riconoscere chiaramente diversi oggetti anche se ci vengono presentati come schizzi



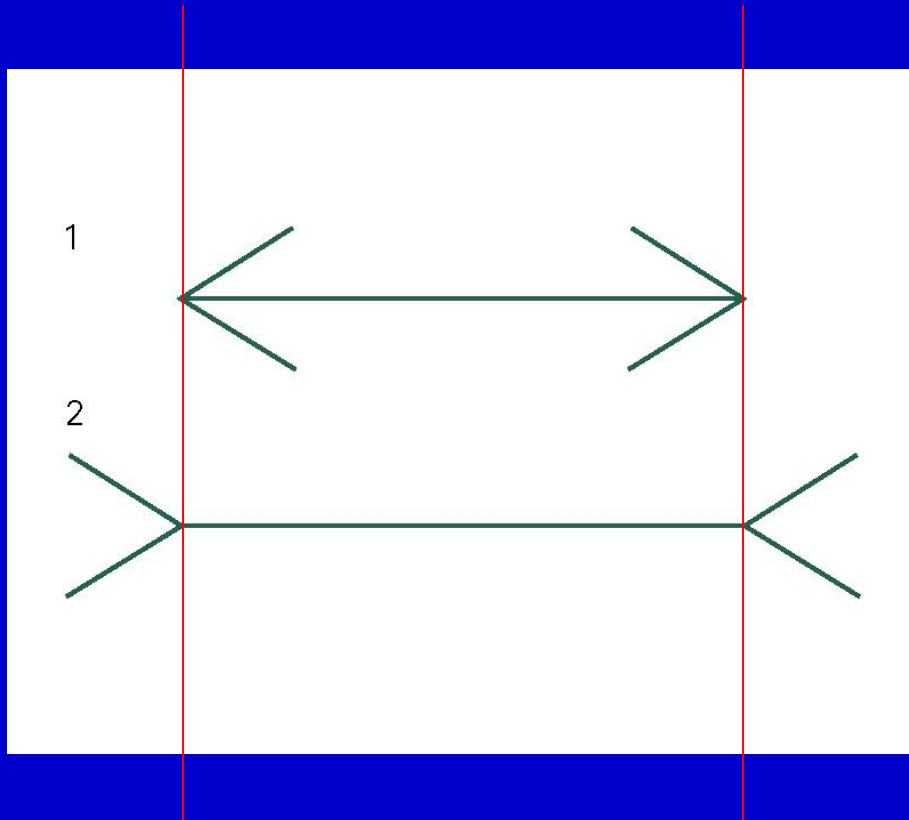
Il sistema nervoso applica alle informazioni sensoriali una serie di assunzioni circa la struttura del mondo visivo

Nell'illusione ottica di Muller-Lyer

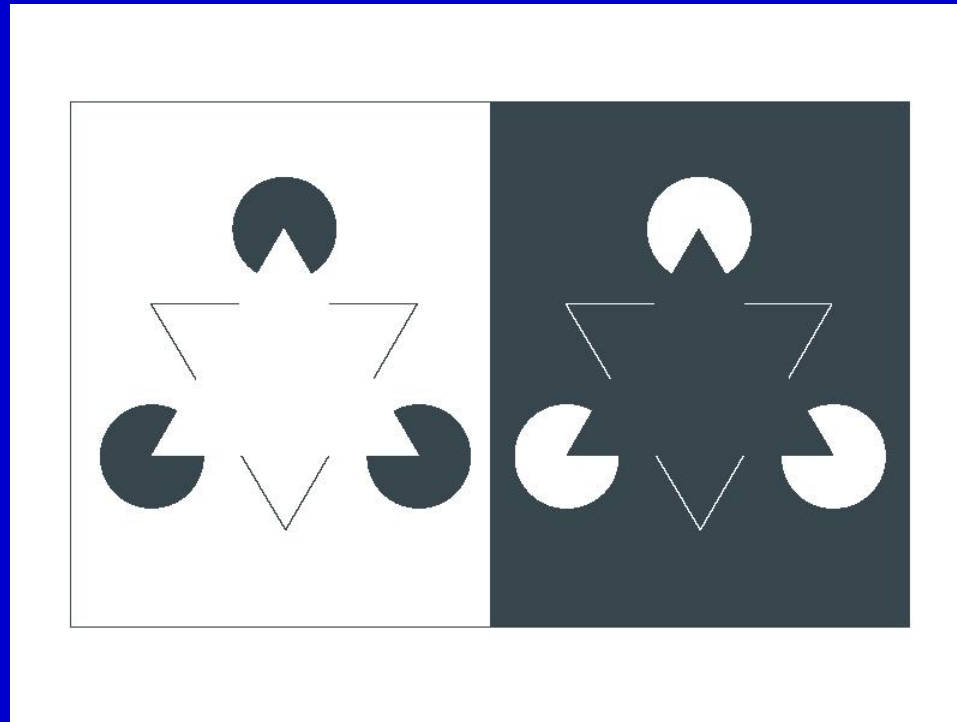
Il cervello usa la sagoma degli oggetti come indice della loro dimensione



Nell'illusione ottica di Muller-Lyer due segmenti che ci appaiono con disuguali sono invece chiaramente uguali



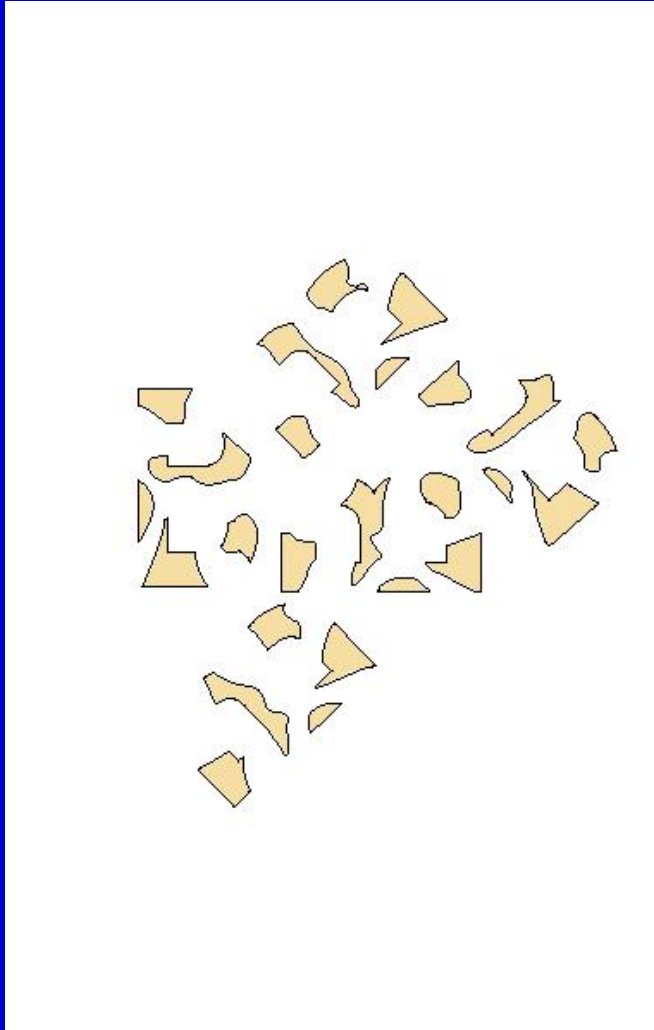
Nel triangolo di Kanizsa noi vediamo l'immagine di un triangolo anche se i contorni del triangolo non esistono e vengono desunti come frammenti di altri oggetti presenti nel disegno



La percezione delle dimensioni di un oggetto dipende da quella degli altri oggetti presenti nel campo visivo

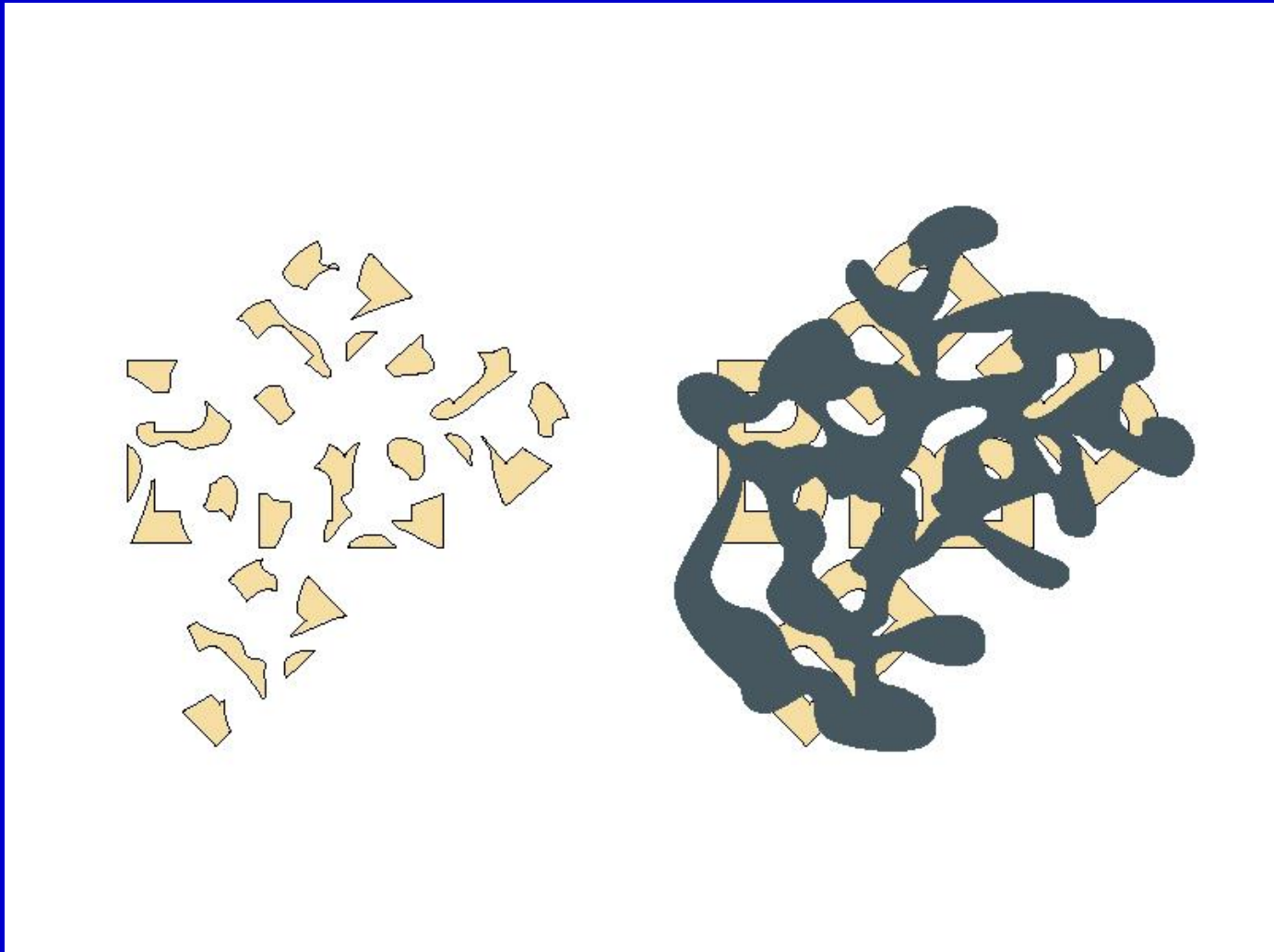


Cosa vediamo?



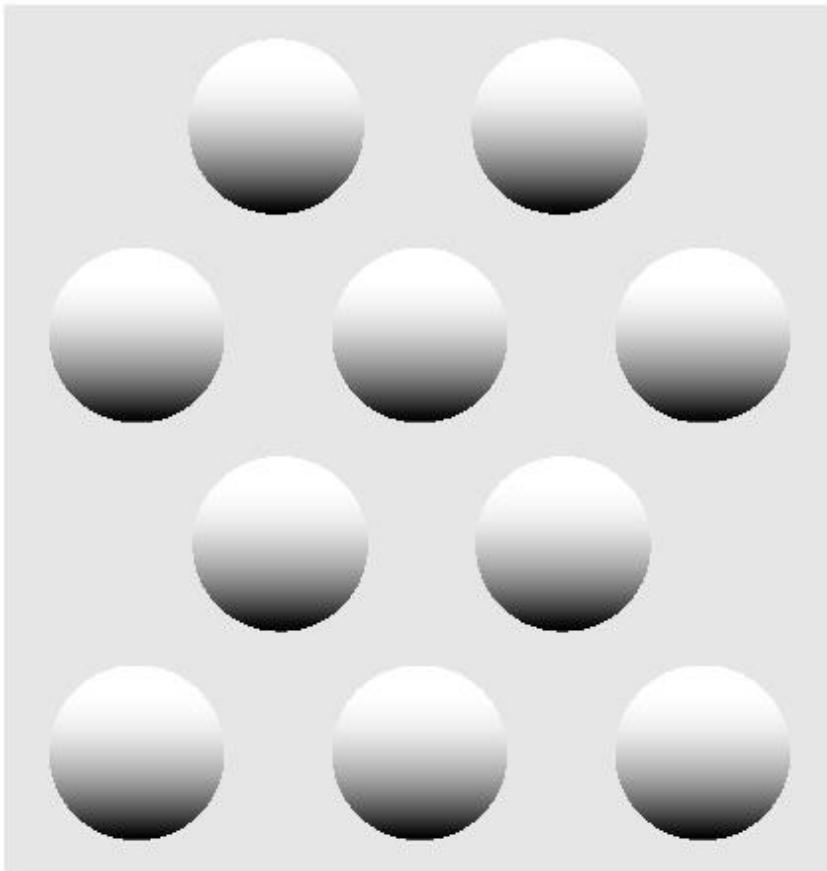
Immaginiamo che questi  
oggetti siano parzialmente  
nascosti da un oggetto più  
vicino a noi

Quando un oggetto ne nasconde parzialmente un altro, noi assumiamo che l'oggetto parzialmente nascosto sia più lontano e costruiamo l'immagine visiva di conseguenza

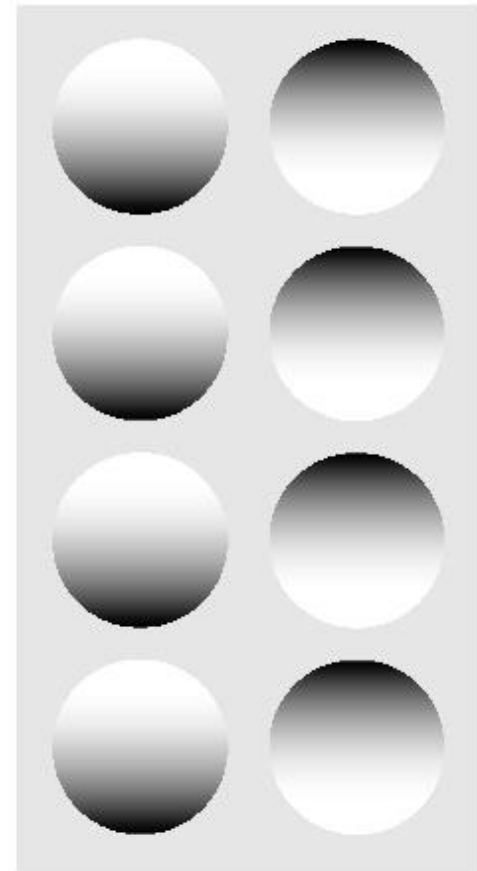


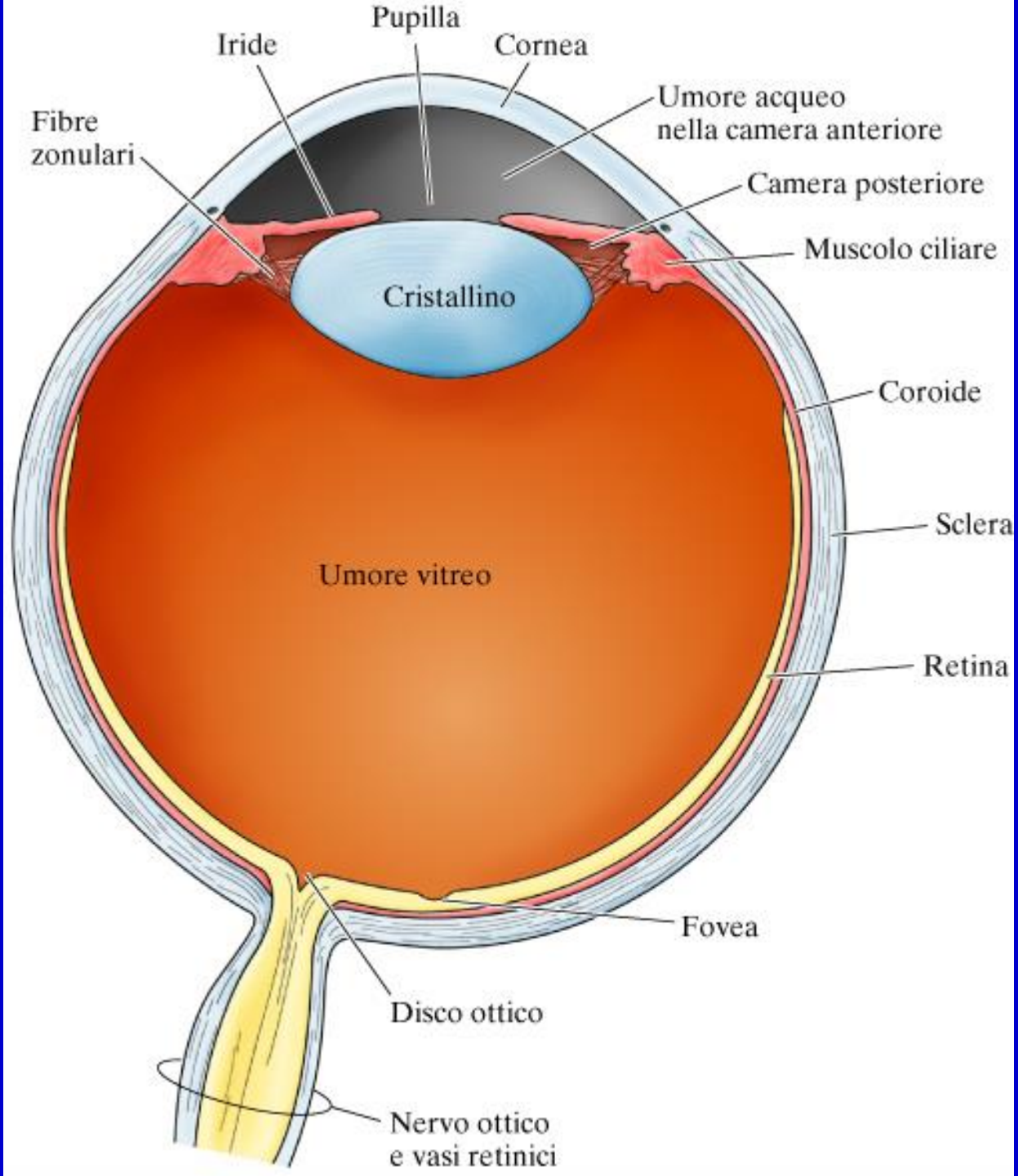
Si tratta di sfere o di cavità? La decisione dipende da quale parte si assume che venga la luce

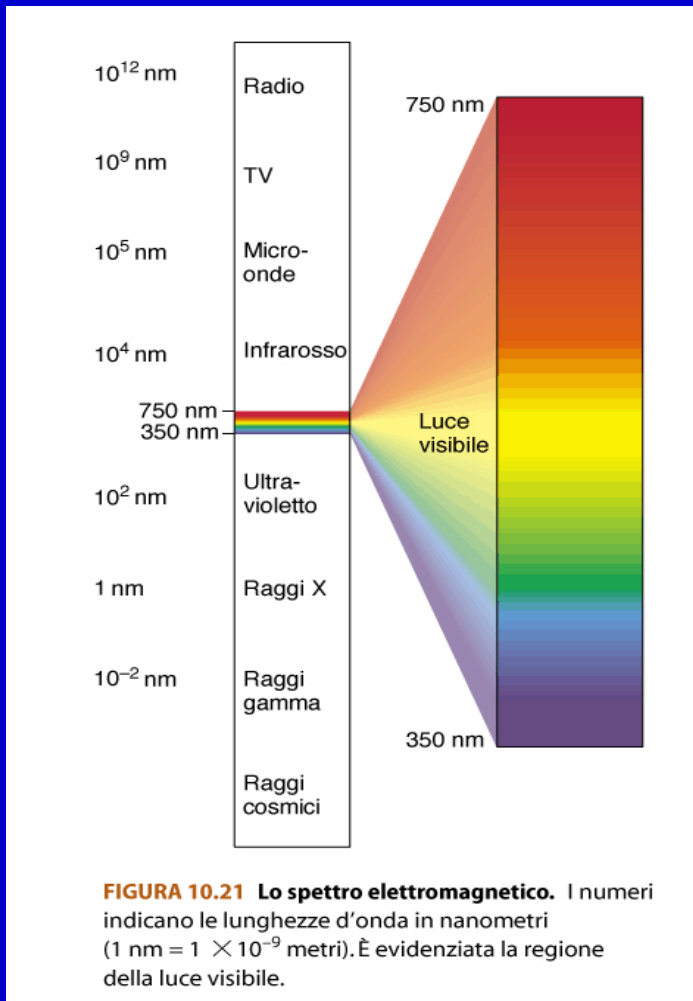
A



B







La luce è una forma di energia costituita da onde elettromagnetiche

La luce visibile dall'occhio umano include onde elettromagnetiche con lunghezza d'onda compresa tra 350 e 750 nm.

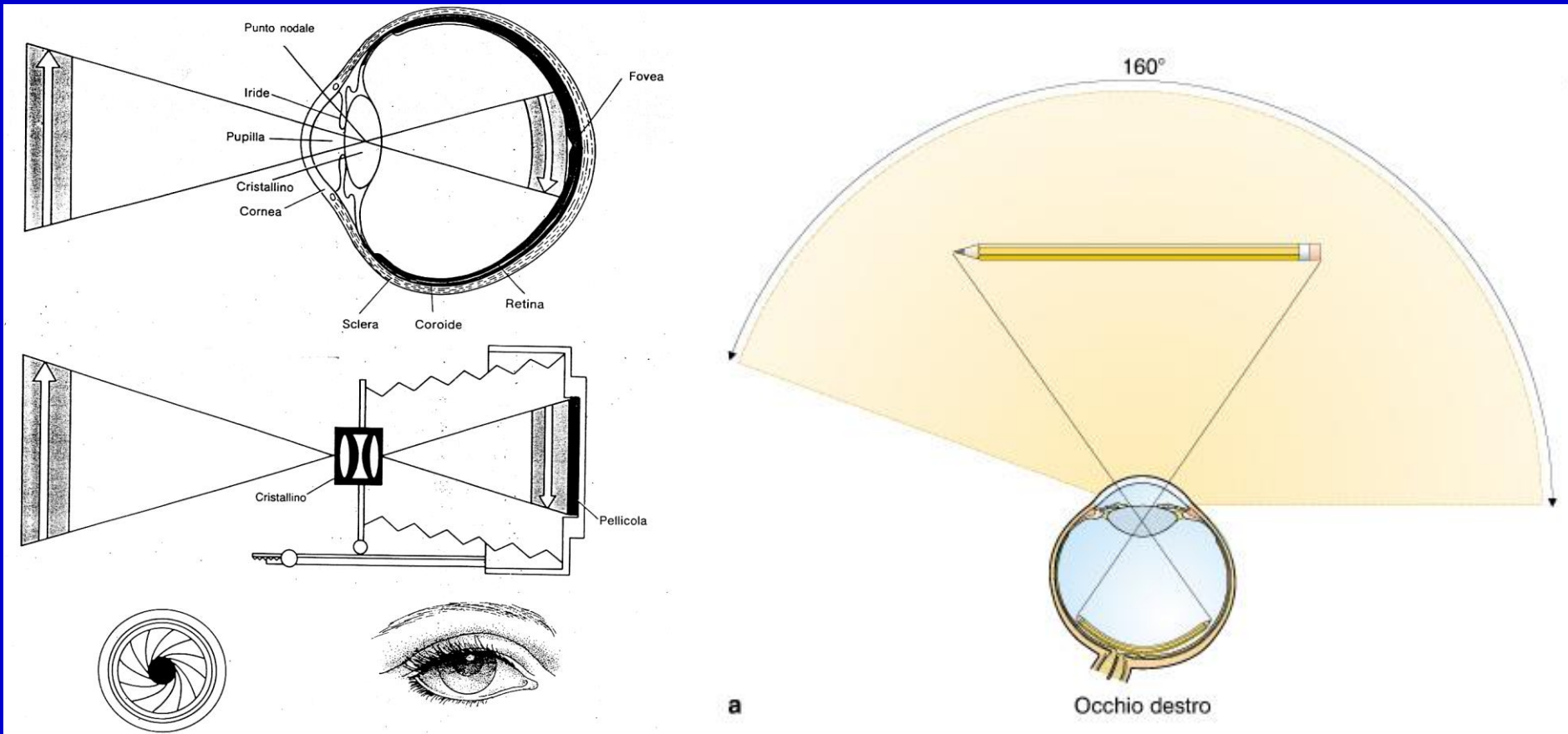
A differenti colori corrispondono diverse lunghezze d'onda.

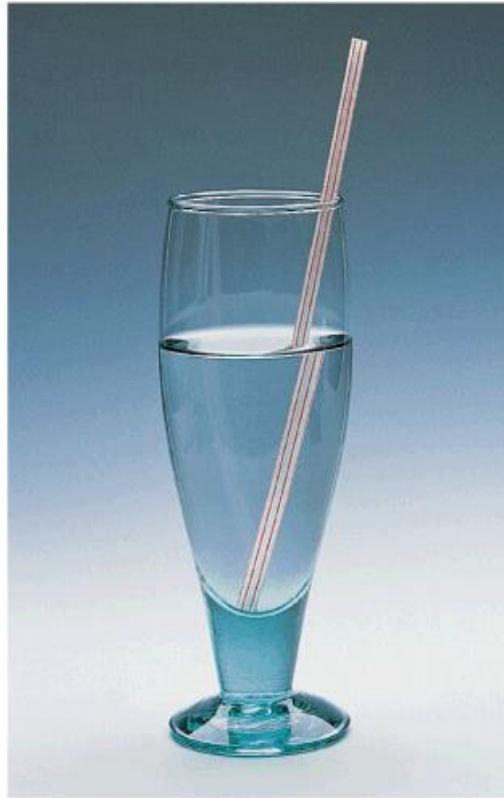
La luce possiede tutte le caratteristiche delle onde tra cui riflessione e rifrazione.

Percepiamo un oggetto verde se riflette la luce con lunghezza d'onda 530 nm. Il nero se l'oggetto assorbe tutte le lunghezze d'onda. Il bianco quando sono riflesse tutte le onde luminose.

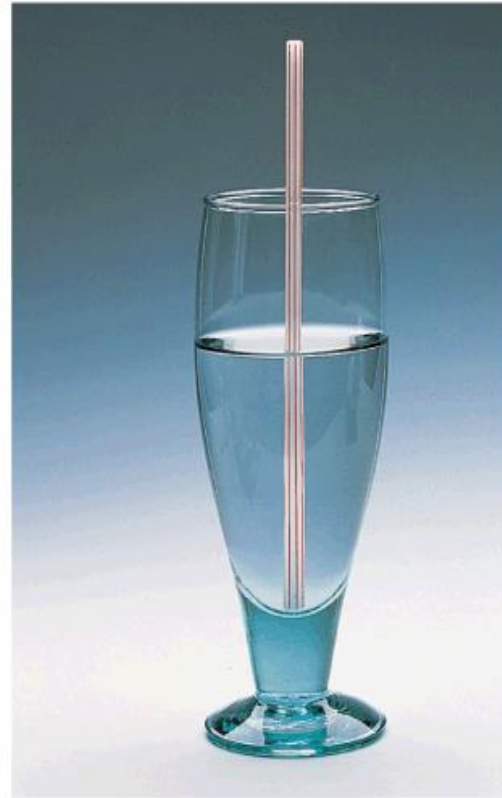
**Il sistema diottrico dell'occhio** è costituito da un insieme di lenti proiettano che sulla retina un'immagine invertita e rimpicciolita del mondo visivo.

Lenti: **cornea, cristallino e corpo vitreo.**





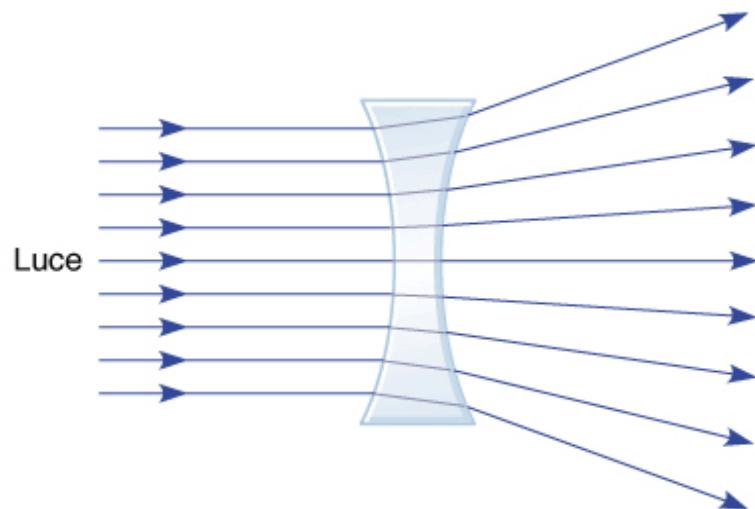
(a)



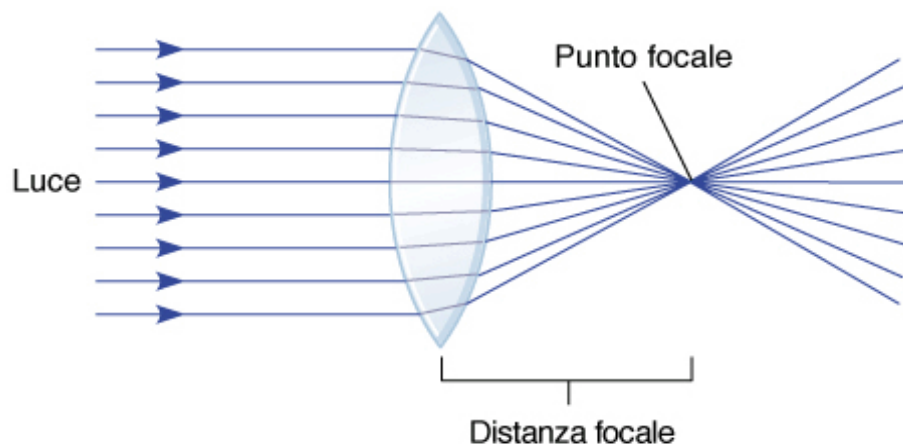
(b)

**FIGURA 10.22** Rifrazione dei raggi luminosi che passano attraverso mezzi differenti.

La rifrazione è importante nella visione perché dagli oggetti alla retina la luce deve passare attraverso aria, cornea, cristallino, umore acqueo e vitreo

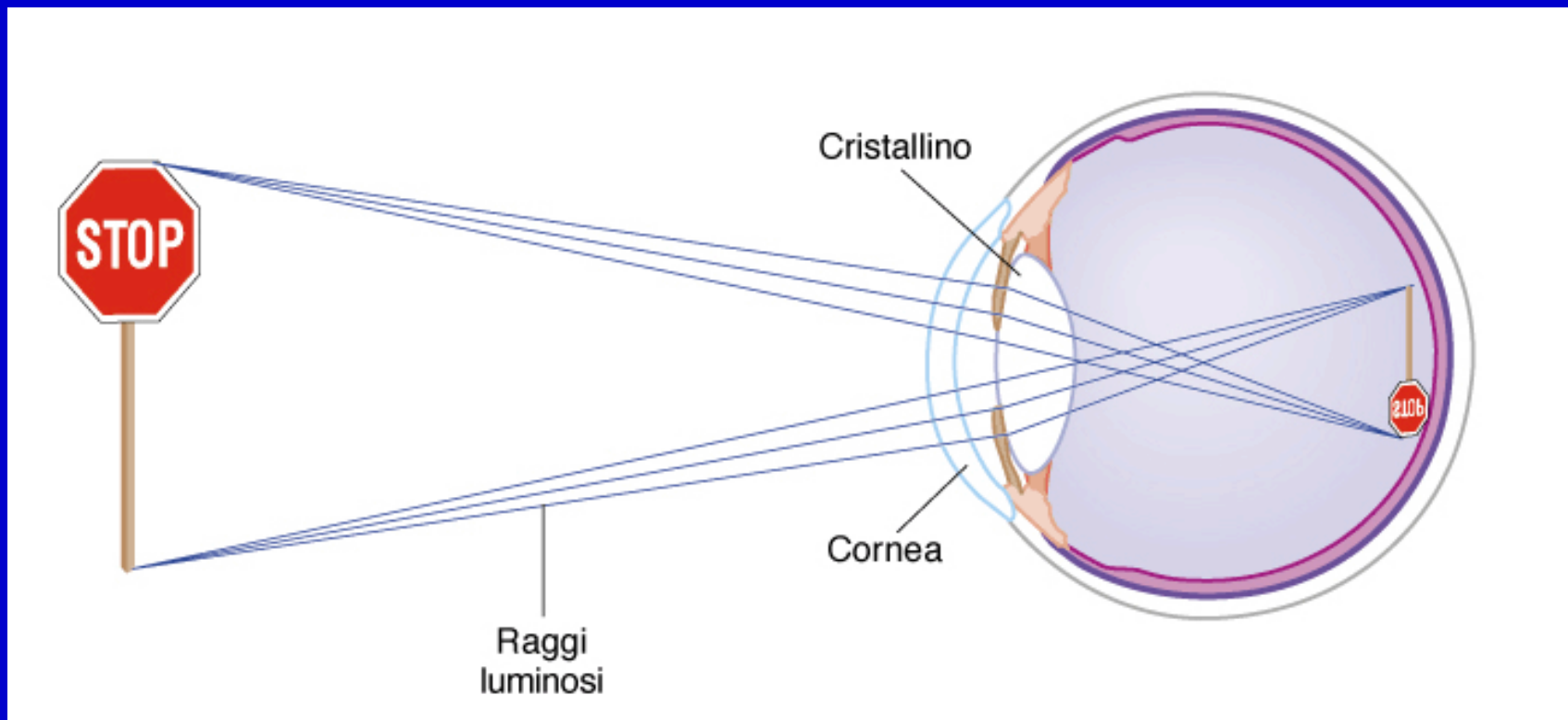


(a) Superficie concava

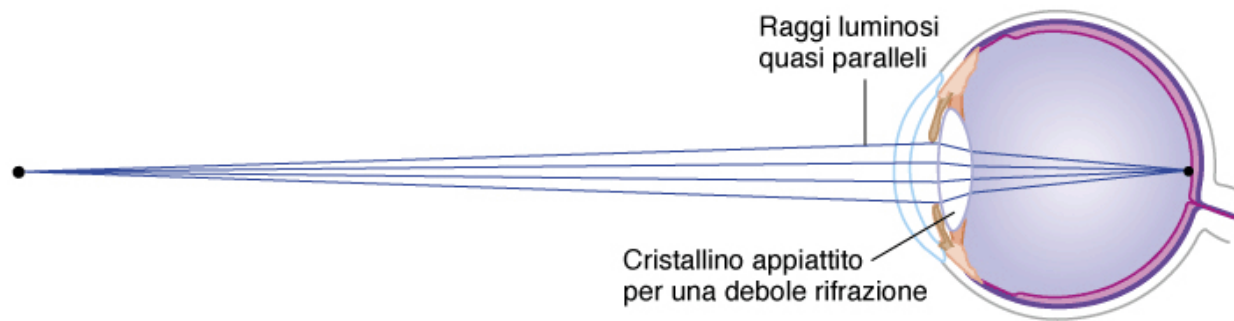


(b) Superficie convessa

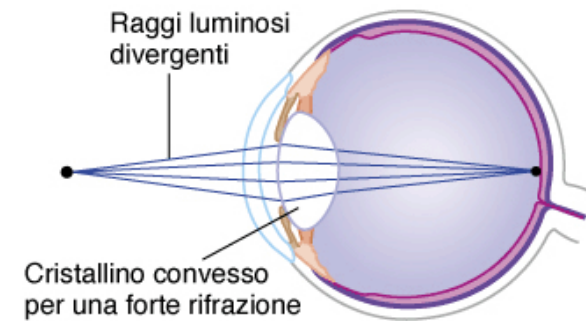
**FIGURA 10.23** Rifrazione dei raggi luminosi che passano attraverso superfici curve. (a) Le superfici concave provocano la divergenza dei raggi. (b) Le superfici convesse provocano la convergenza dei raggi in un punto focale. La distanza tra l'asse maggiore di una lente convessa e il punto focale viene definita distanza focale.



**FIGURA 10.24 Rifrazione dei raggi luminosi nell'occhio.** Un determinato punto del campo visivo viene messo a fuoco su un singolo punto della retina. La rifrazione dei raggi luminosi quando passano attraverso la cornea e il cristallino fa sì che l'immagine venga proiettata sulla retina invertita e capovolta.



(a) Visione di un oggetto da lontano

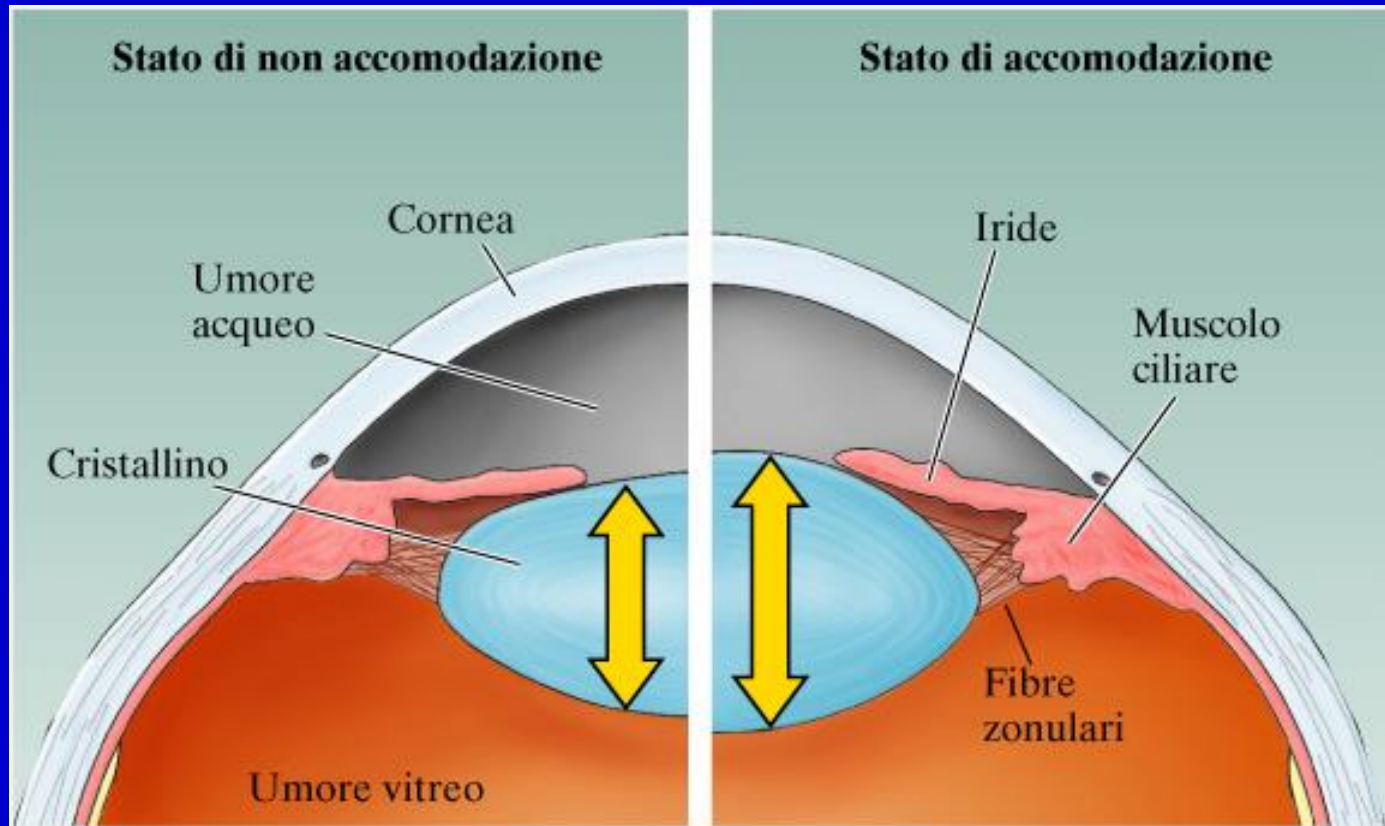


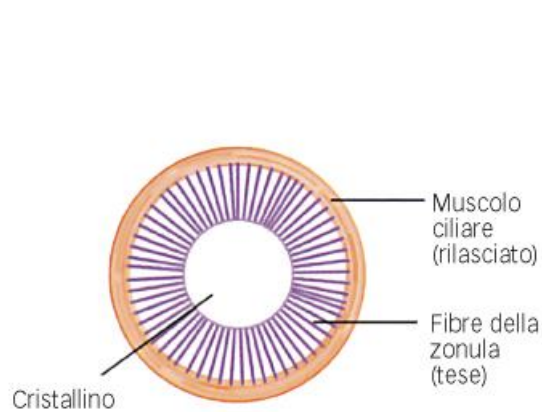
(b) Visione di un oggetto da vicino

**FIGURA 10.25 Focalizzazione della luce proveniente da sorgenti vicine e lontane.** (a) I raggi luminosi riflessi da un oggetto distante raggiungono il cristallino decorrendo in maniera parallela gli uni agli altri. Un cristallino relativamente piatto (debole) è sufficiente a far convergere i raggi luminosi sulla retina. (b) I raggi luminosi riflessi da un oggetto vicino raggiungono il cristallino divergendo gli uni dagli altri. Per farli convergere sulla retina, è necessario un cristallino più rotondo (forte).

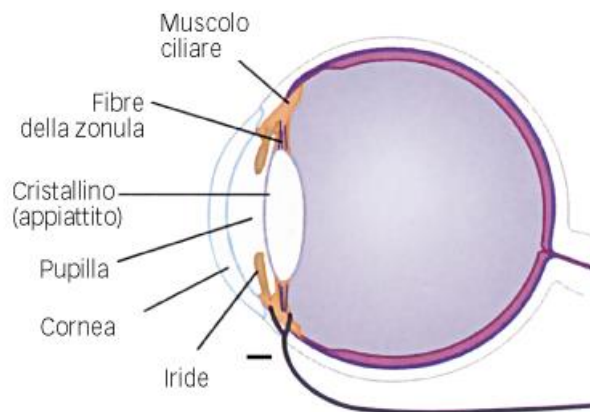
**Accomodazione:** capacità di modificare il potere diottrico in modo da consentire la messa a fuoco sulla retina di immagini poste a diversa distanza.

Potere di accomodazione: 14 diottrie

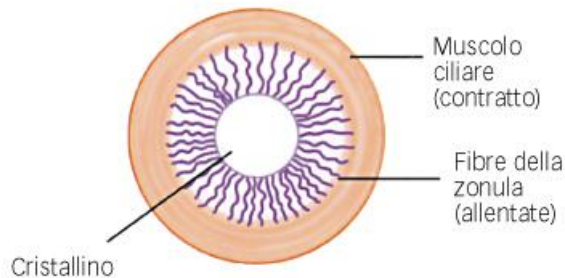




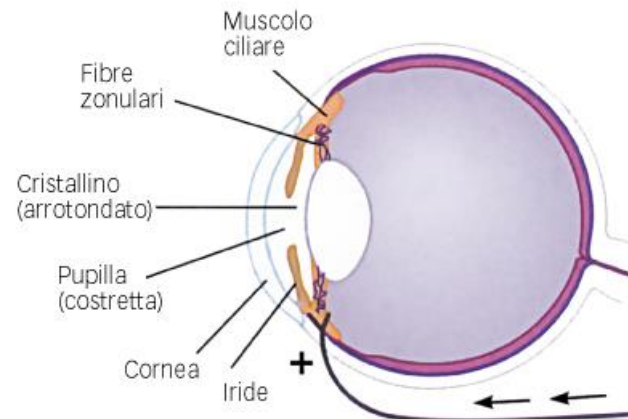
**(a)** Visione di oggetti distanti



Assenza di stimolazione parasimpatica



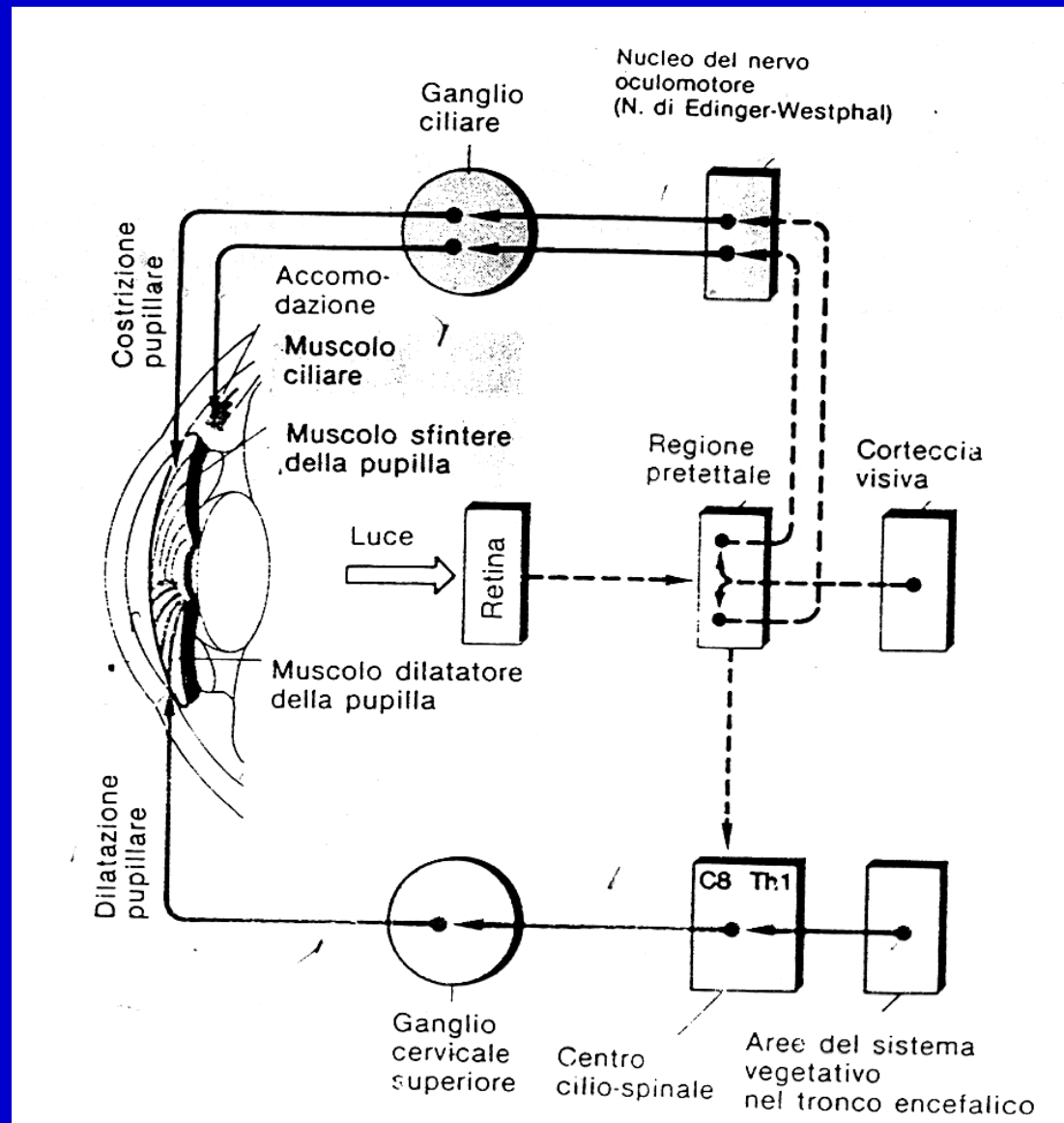
**(b)** Accomodazione per la visione da vicino

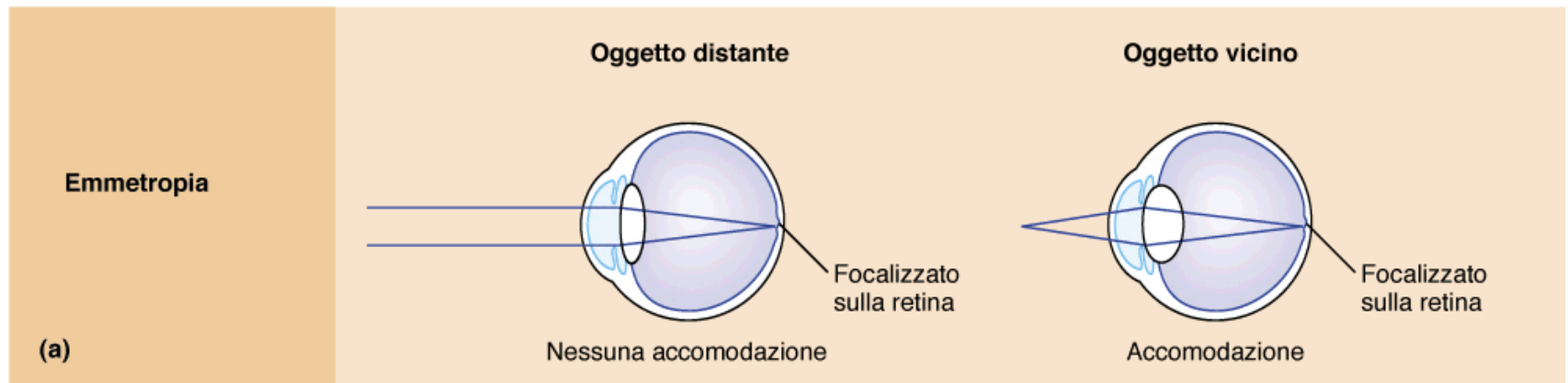


Stimolazione parasimpatica

La regolazione della messa a fuoco avviene per meccanismo nervoso riflesso che coinvolge fibre nervose del sistema nervoso autonomo

# Regolazione nervosa della messa a fuoco





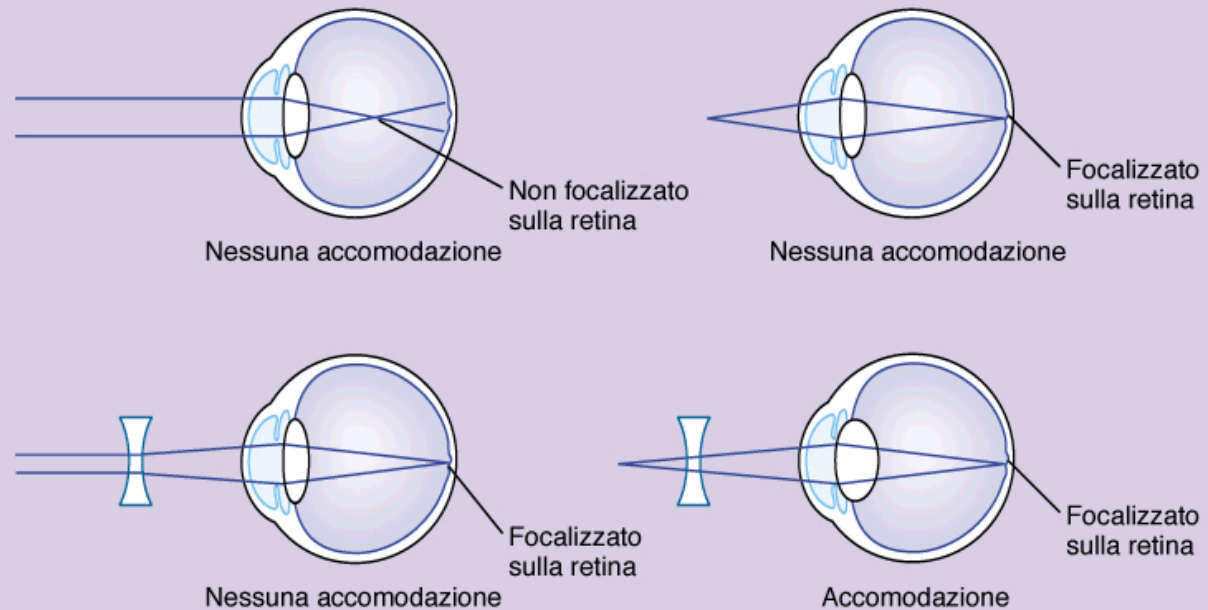
**FIGURA 10.27 Emmetropia, miopia e ipermetropia.** (a) Nella emmetropia, o visione normale, gli oggetti distanti vengono messi a fuoco sulla retina senza accomodazione e gli oggetti vicini vengono messi a fuoco grazie all'accomodazione.

## Miopia

(Cristallino troppo forte per la lunghezza del bulbo oculare)

La miopia viene corretta con lenti concave (che riducono il potere di rifrazione)

(b)



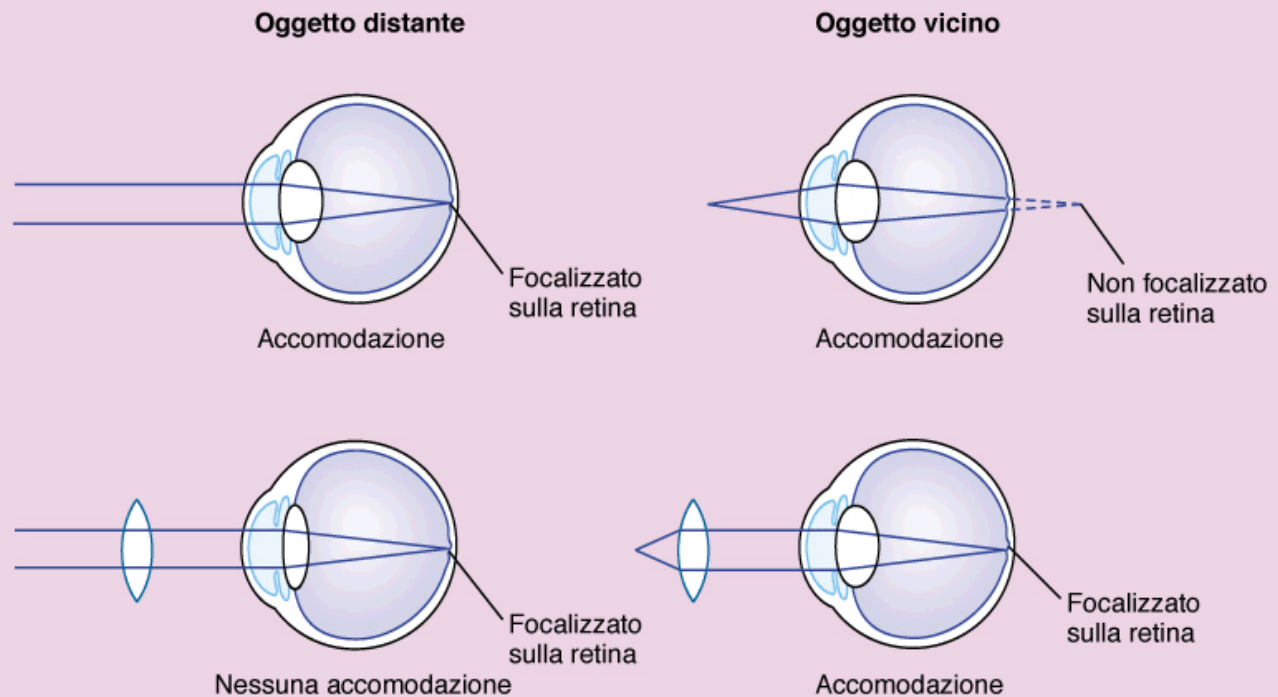
grazie all'accomodazione. **(b)** Nella miopia, il potere diottrico del cristallino (o della cornea) è troppo forte per la lunghezza dell'occhio. Gli oggetti vicini vengono messi a fuoco senza accomodazione e gli oggetti distanti vengono messi a fuoco su un piano anteriore alla retina. La miopia può essere corretta utilizzando lenti concave per far divergere i raggi di luce prima che entrino nell'occhio.

## Ipermetropia

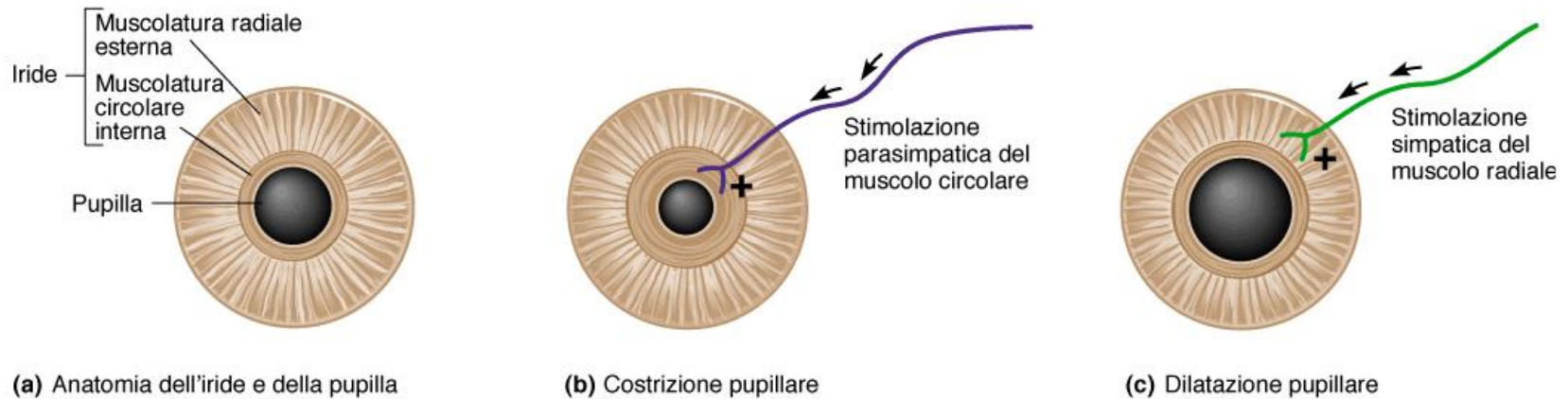
(Cristallino troppo debole per la lunghezza del bulbo oculare)

L'ipermetropia viene corretta con lenti convesse (che aumentano il potere di rifrazione)

(c)

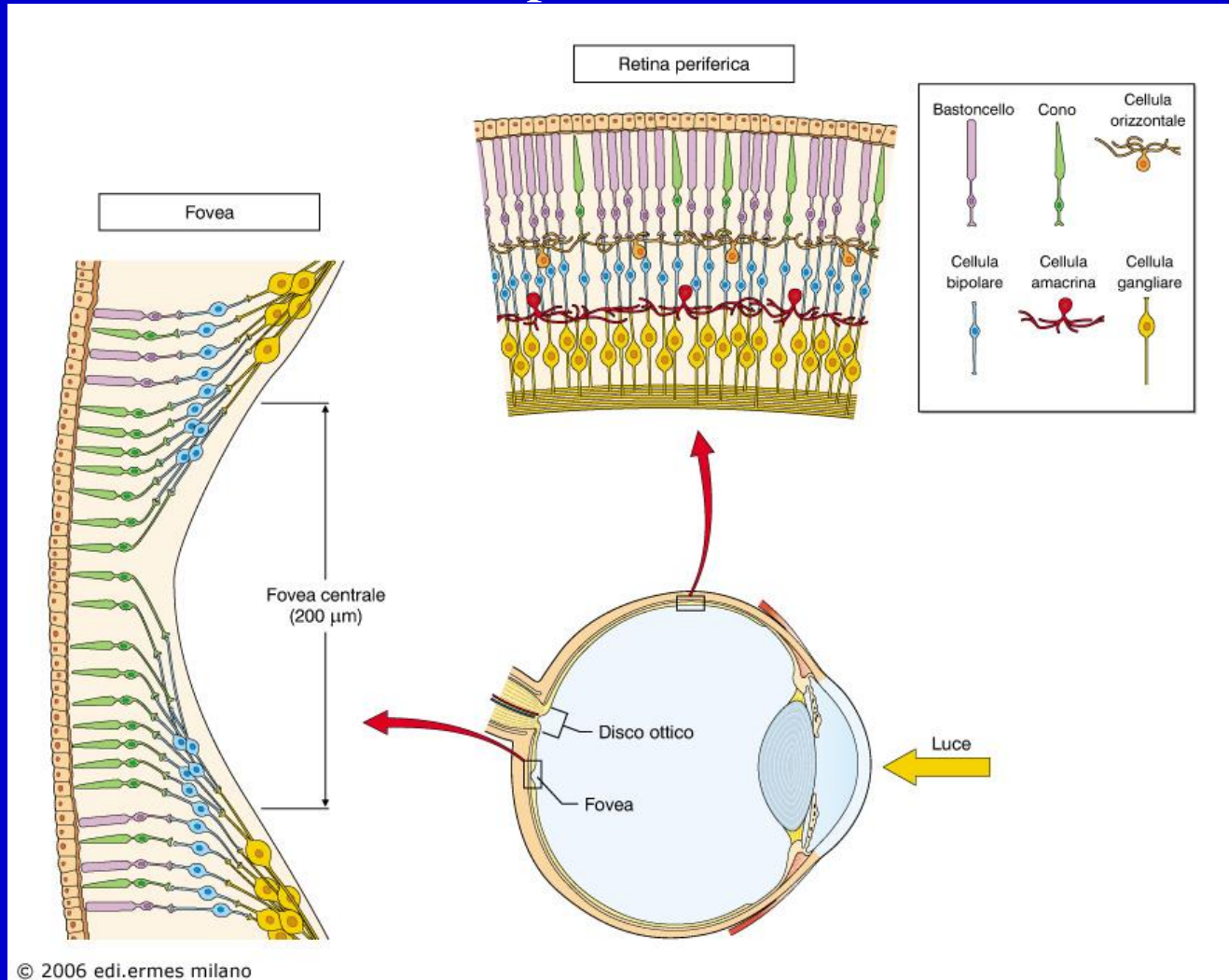


(c) Nell'ipermetropia, il potere diottrico del cristallino (o della cornea) è troppo debole per la lunghezza dell'occhio. Gli oggetti distanti vengono messi a fuoco grazie all'accomodazione e gli oggetti vicini vengono messi a fuoco su un piano posteriore alla retina, anche in questo caso con accomodazione. L'ipermetropia può essere corretta utilizzando delle lenti convesse che fanno convergere i raggi di luce al loro arrivo sulla superficie della cornea, aumentando l'effetto della convergenza dell'occhio.



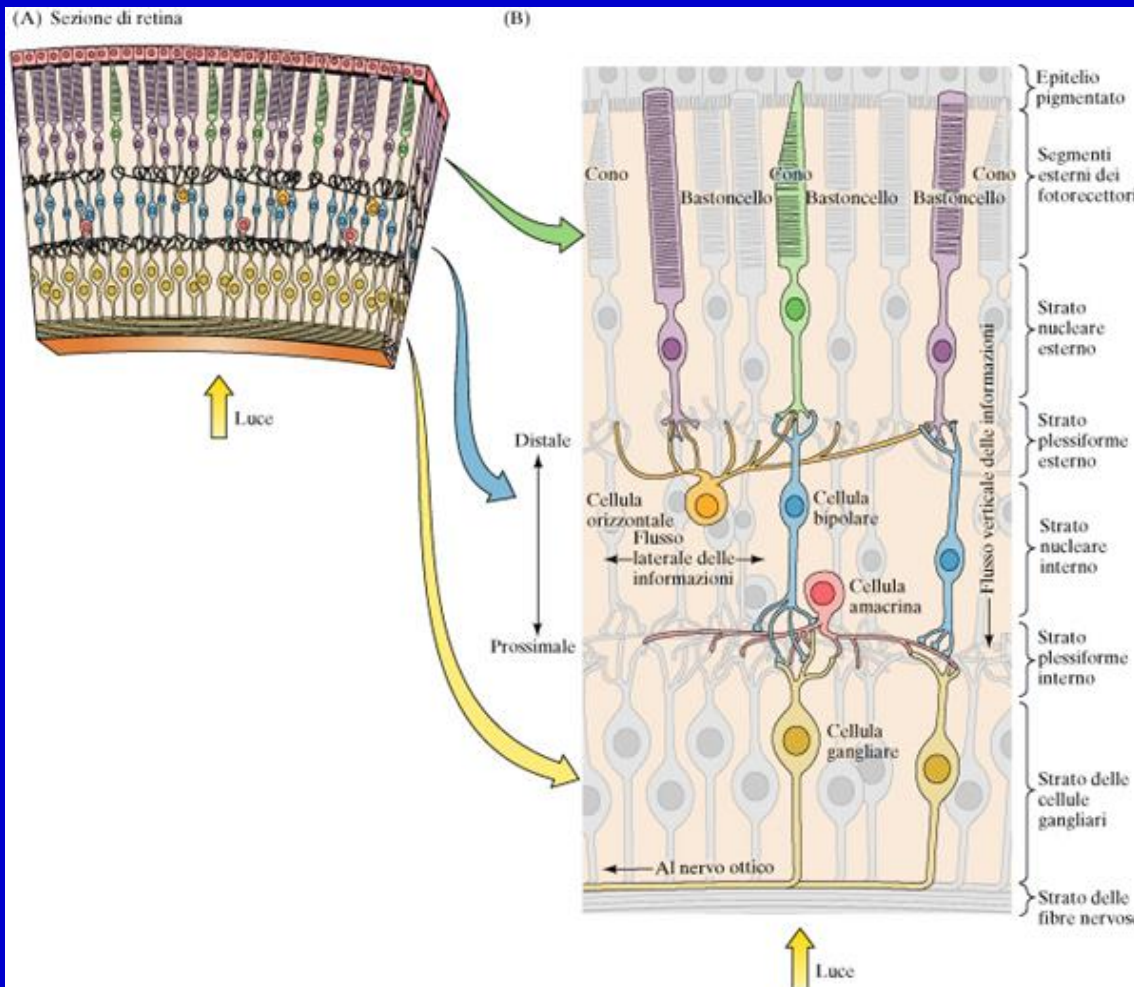
**FIGURA 10.28 Regolazione della quantità di luce che entra nell'occhio.** (a) L'iride, che è formata da due strati di muscolatura liscia, uno strato interno circolare ed uno strato esterno radiale, controlla il diametro della pupilla. Il diametro della pupilla determina la quantità di luce che entra nell'occhio. (b) Costrizione pupillare provocata dalla stimolazione parasimpatica dello strato muscolare circolare dell'iride. (c) Dilatazione della pupilla provocata dalla stimolazione simpatica dello strato muscolare radiale dell'iride.

**La retina** costituisce la parte fotosensibile dell'occhio e contiene un circuito neuronale complesso, il cui compito è quello di trasformare le immagini ottiche proiettate sui fotorecettori in segnali nervosi utilizzabili dai centri nervosi superiori



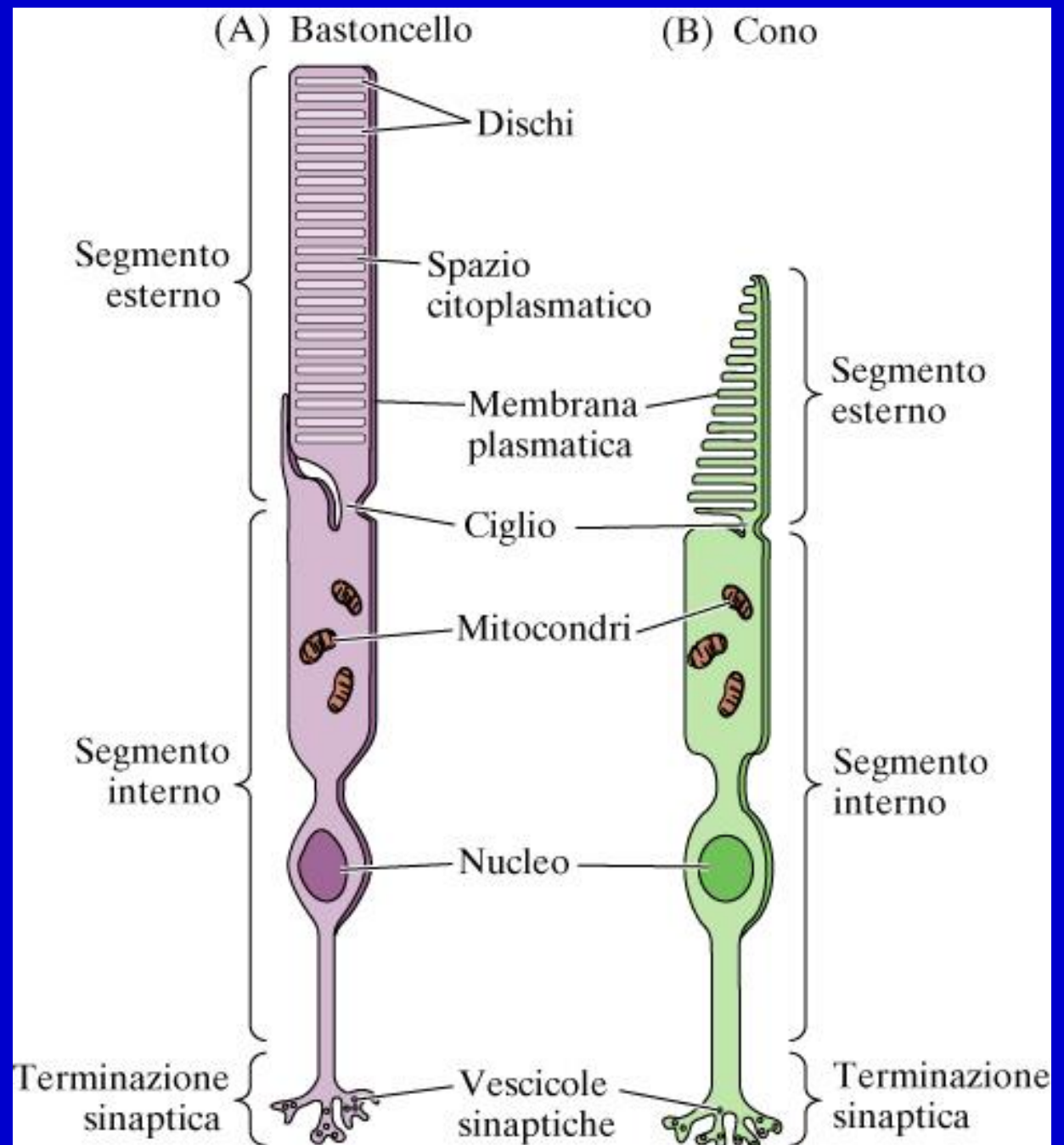
# La retina

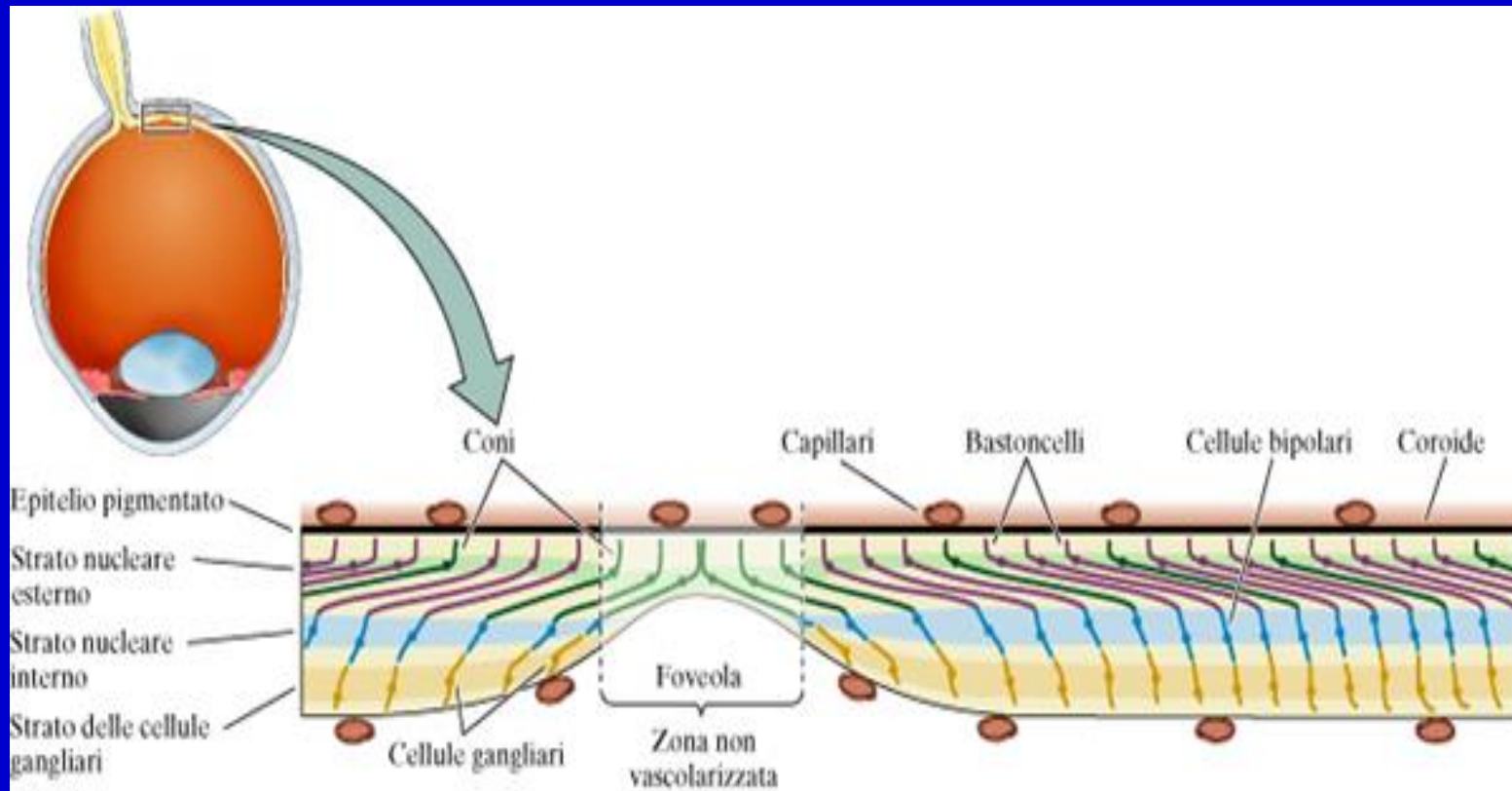
Una catena di tre tipi di neuroni **fotorecettore**, **cellula bipolare** e **cellula gangliare**, costituisce la via più diretta per il trasferimento della informazione visiva al cervello.



Le **cellule orizzontali** e le **cellule amacrine** mediano le interazioni laterali a livello degli strati plessiforme esterno ed interno.

# I Fotorecettori



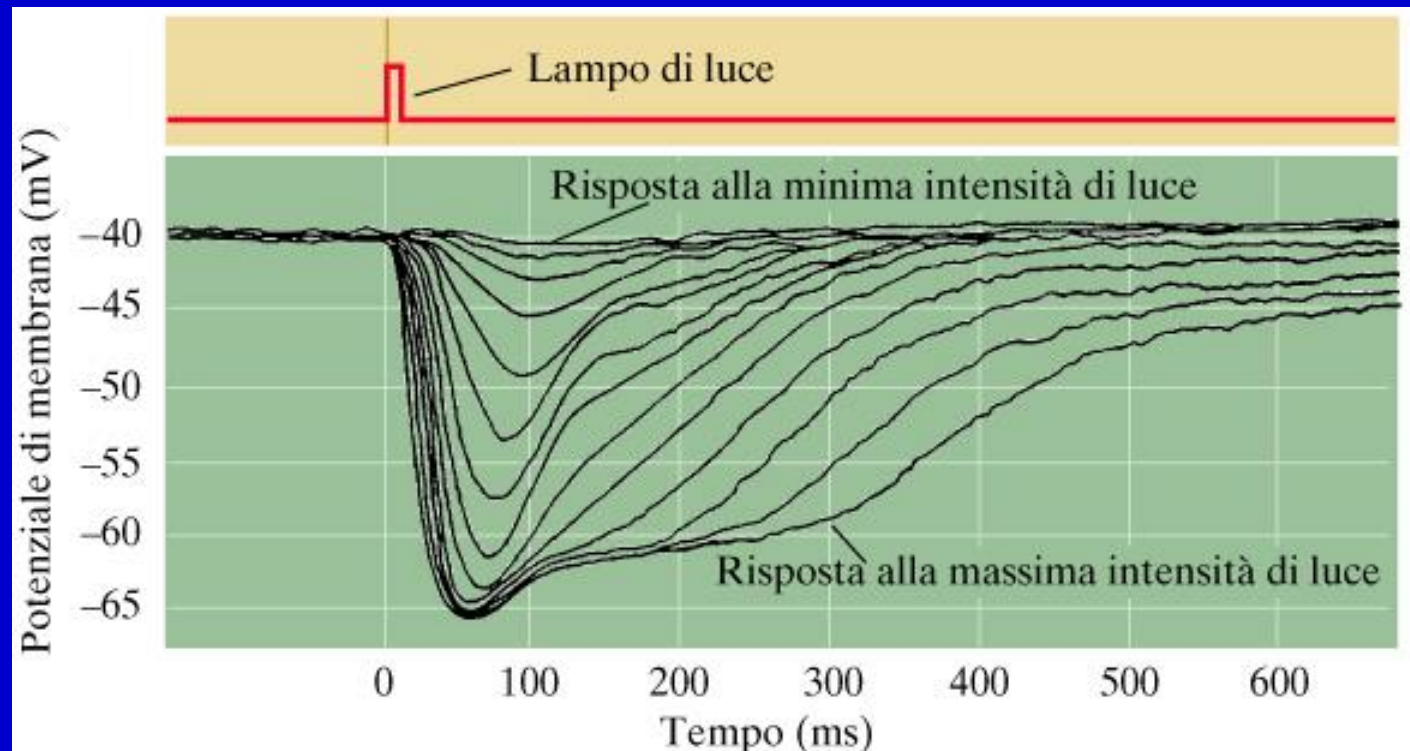


Gli strati cellulari e i vasi sanguigni, sovrapposti nelle regioni circostanti della retina, nella fovea sono sovrapposti lateralmente in modo che i raggi luminosi subiscano una minima dispersione prima di colpire i segmenti esterni dei coni localizzati nella parte centrale della fovea o foveola.

La luce che colpisce un fotorecettore porta alla iperpolarizzazione della membrana cellulare.

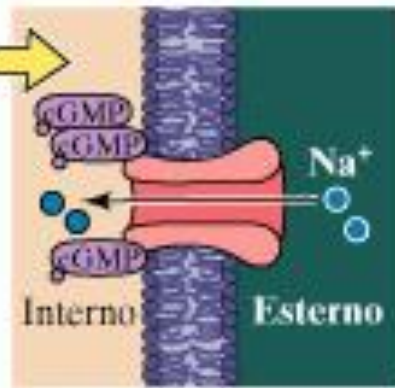
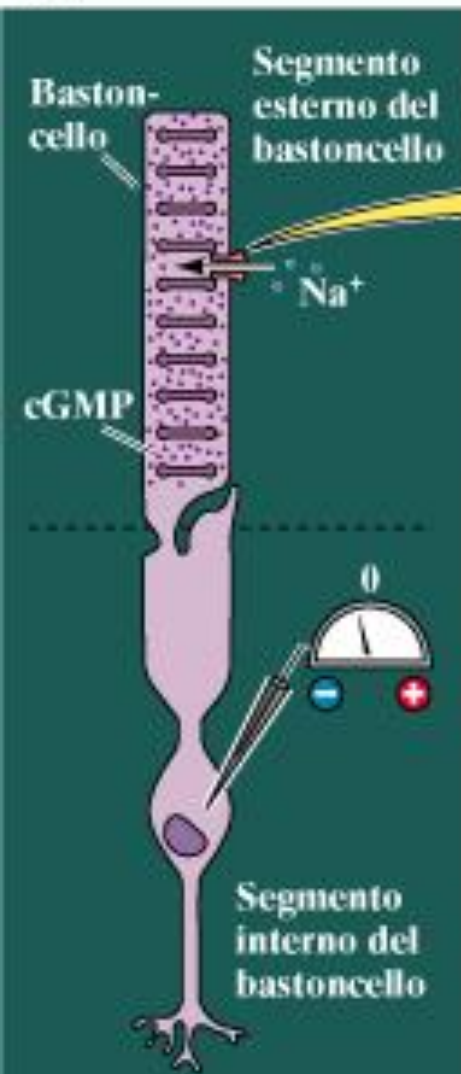
Al buio il recettore si trova in uno stato di parziale depolarizzazione (potenziale di membrana circa  $-40$  mV).

Uno stimolo luminoso di intensità progressiva determina una iperpolarizzazione progressiva che giunge a saturazione a circa  $-65$  mV



I canali ionici cGMP-dipendenti presenti nella membrana del segmento esterno sono responsabili dei cambiamenti indotti dalla luce sull'attività elettrica dei fotorecettori

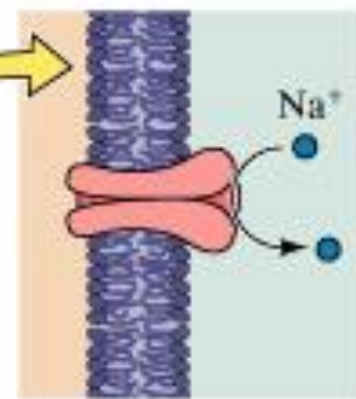
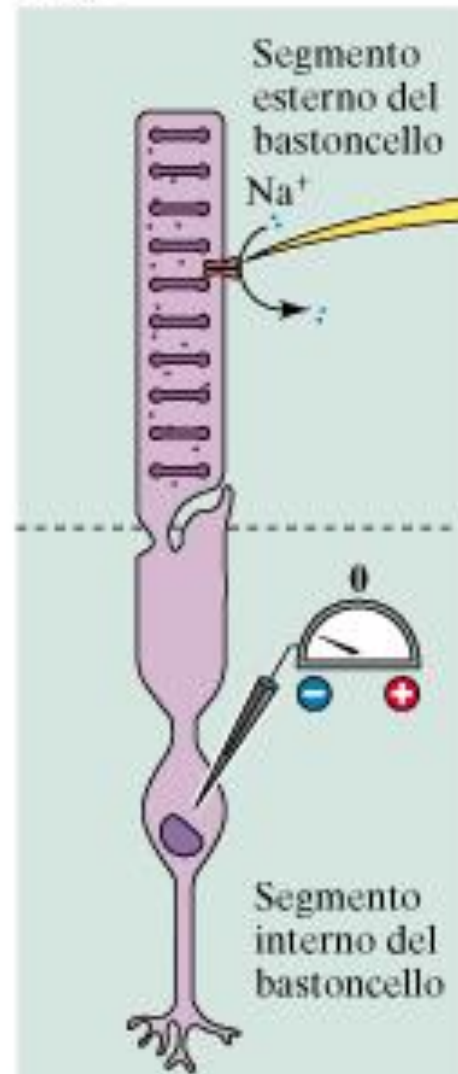
Buio



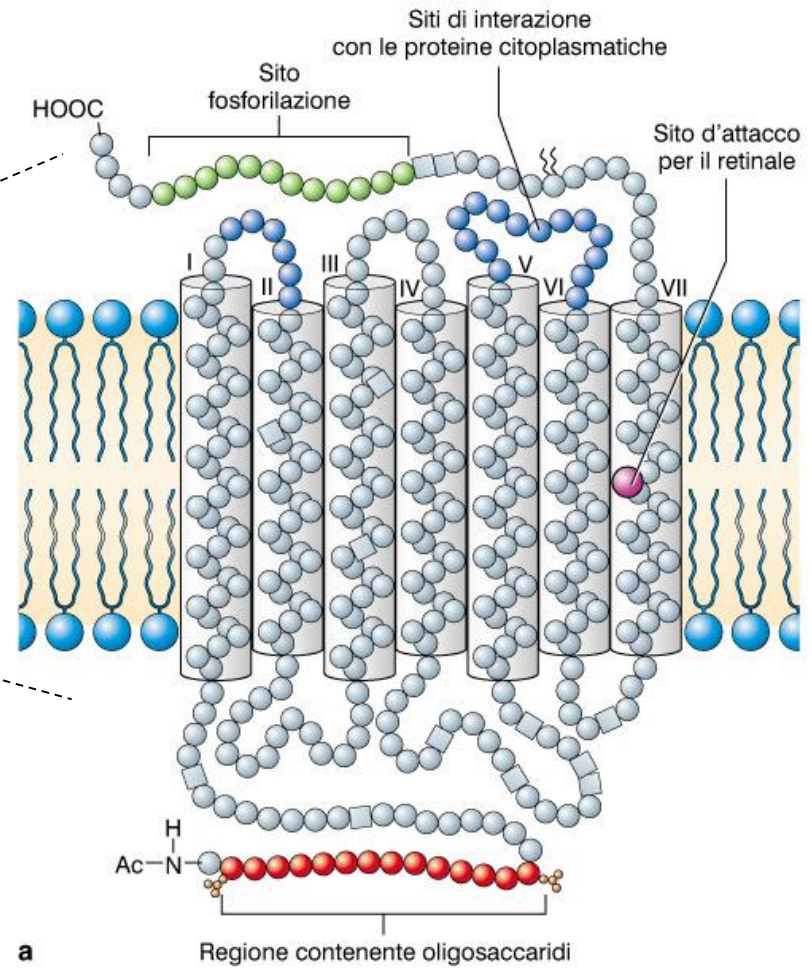
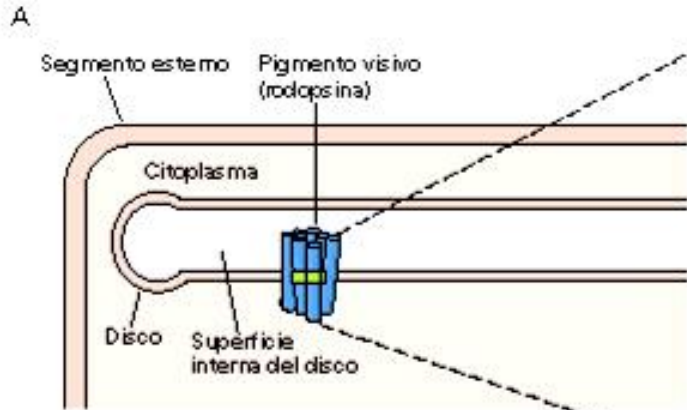
livelli elevati di cGMP

cGMP si lega ai canali di membrana permeabili al Na mantenendoli aperti e permettendo così al sodio di entrare e depolarizzare la membrana

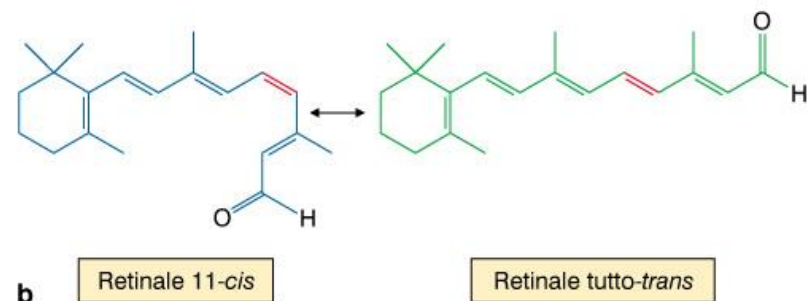
Luce



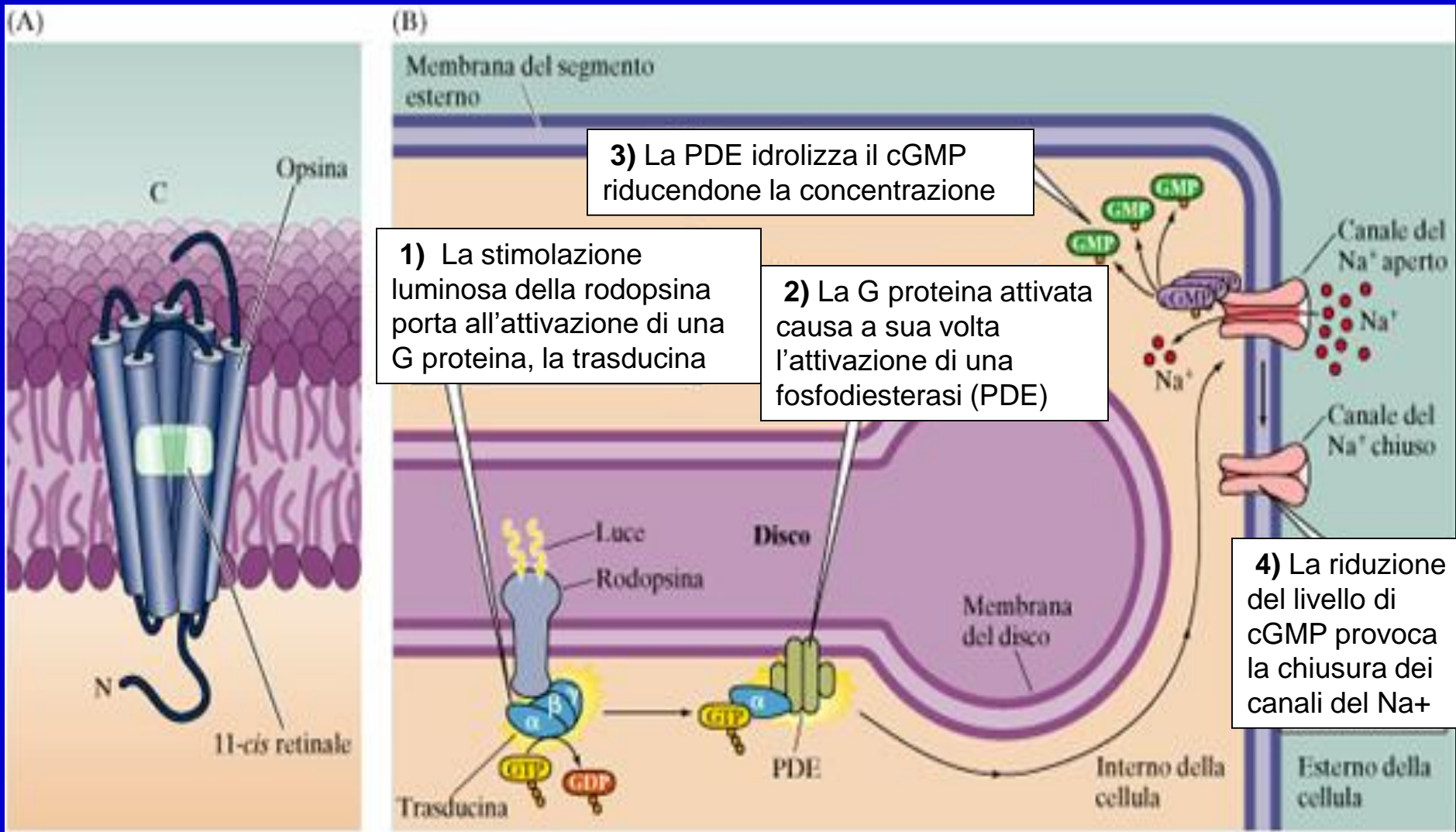
La luce provoca diminuzione dei livelli di cGMP, chiusura dei canali, iperpolarizzazione



**Ricezione** della luce avviene grazie alla presenza nella membrana dei dischi del fotoripigmento



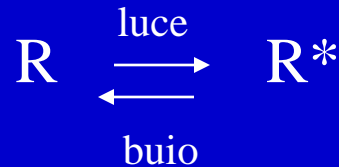
# Fototrasduzione



## Adattamento e sensibilità dei fotorecettori

Il grado di attivazione del fotorecettore in risposta alla luce dipende:

Velocità delle reazioni che portano alla diminuzione di cGMP  
Questa velocità dipende dall'intensità luminosa, ma anche (per la legge dell'azione di massa) dalla concentrazione di pigmento disponibile ad essere attivato



Attivazione è un processo veloce

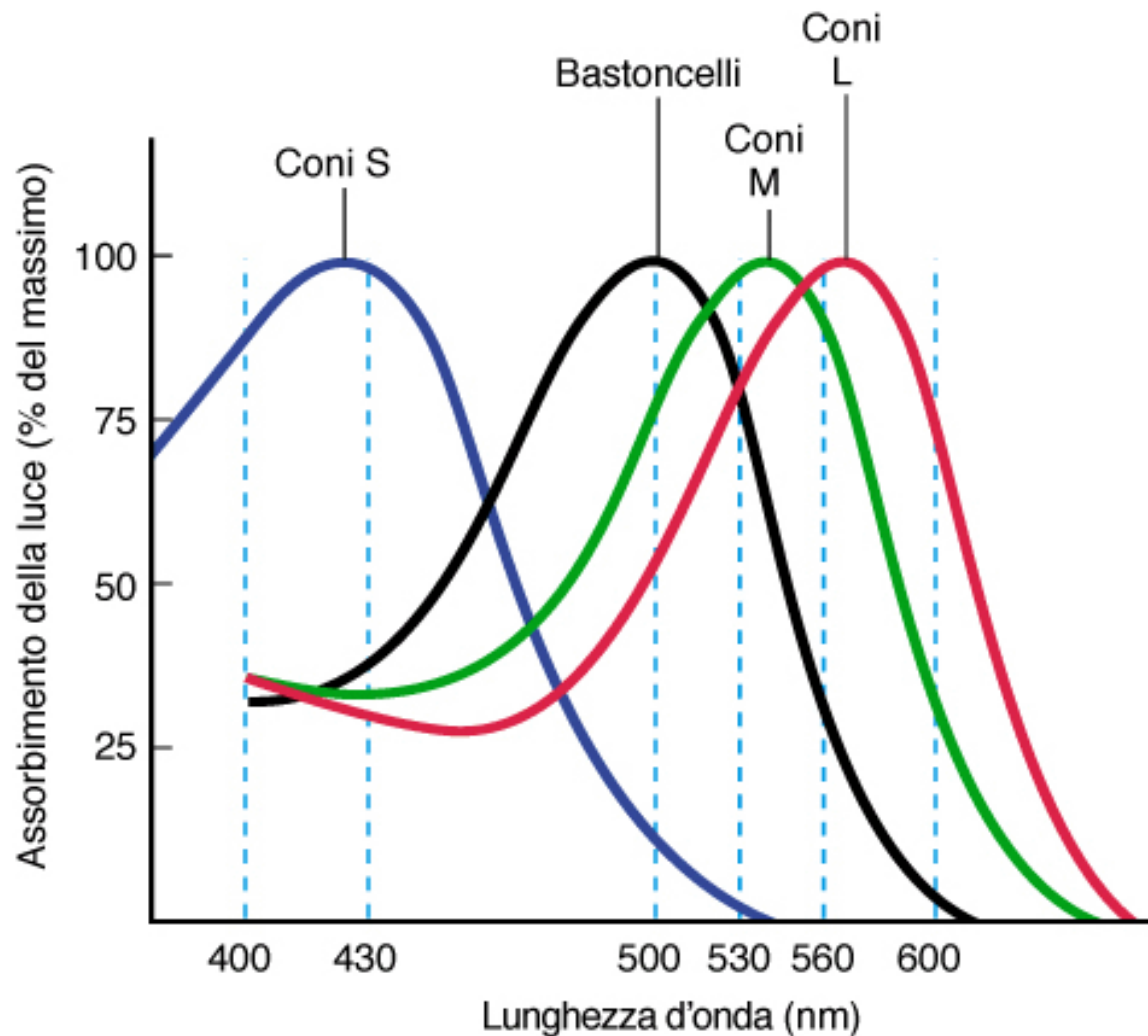
La resintesi del pigmento è molto lenta

I coni e i bastoncelli differiscono per:

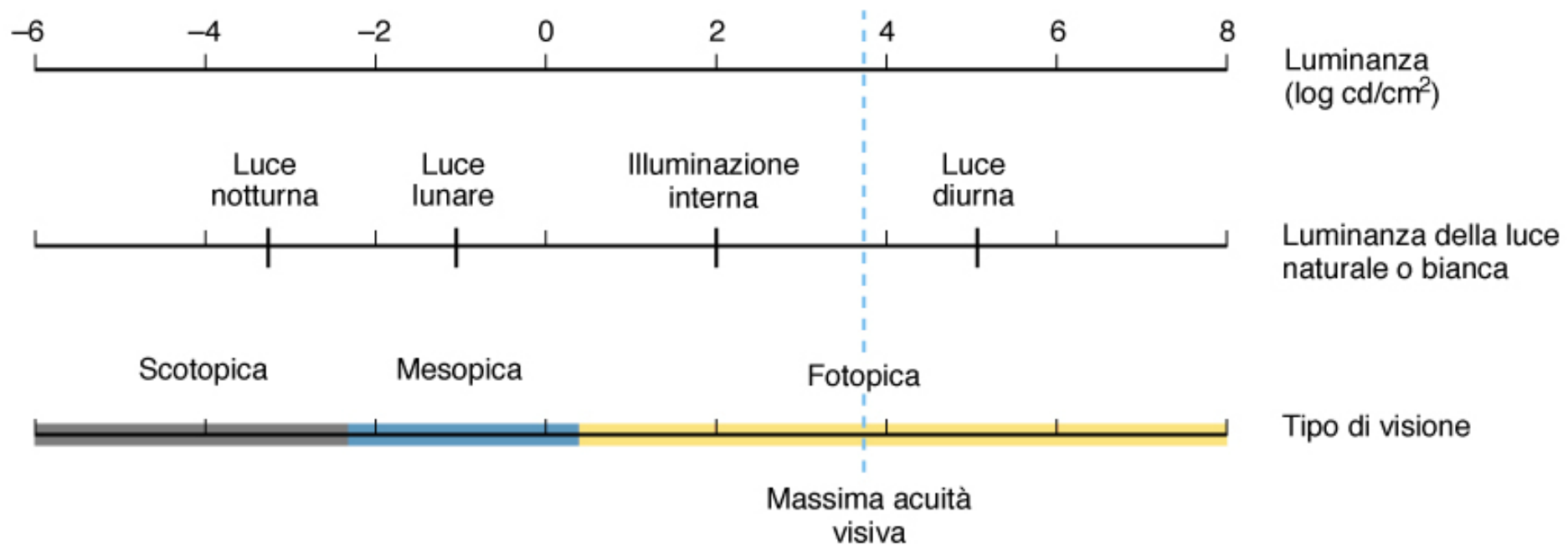
- . la lunghezza d'onda a cui rispondono
- . Per livello di intensità della luce da cui sono attivate
- . Localizzazione nella retina

I bastoncelli possono rispondere a singoli fotoni e sono responsabili della visione scotopica o monocromatica. In presenza di luce intensa sono tutti saturati

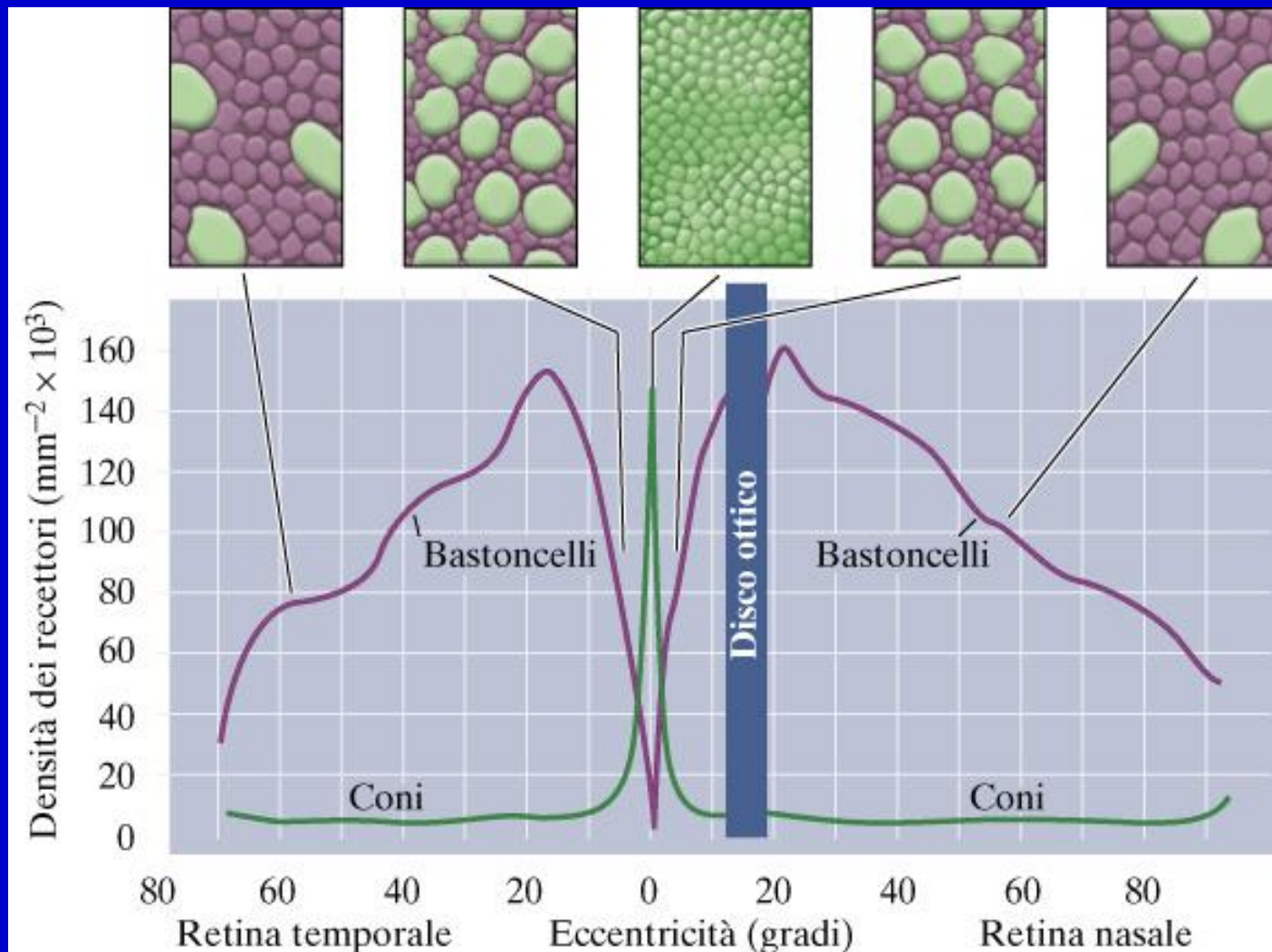
I coni hanno bisogno di maggiori intensità per essere attivati e poichè sono di tre tipi che rispondono a lunghezze d'onda diverse sono responsabili della visione fotopica o a colori



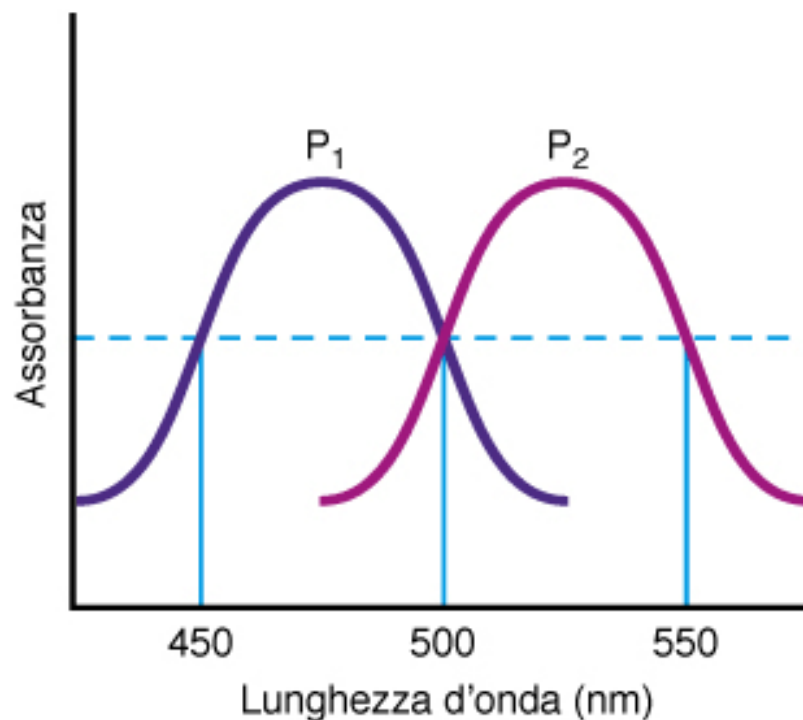
**FIGURA 10.34** Spettri di assorbimento dei diversi fotorecettori. I bastoncelli assorbono la luce di in un ampio ambito di lunghezze d'onda. Gli spettri di assorbimento dei tre diversi tipi di conici si sovrappongono.



**FIGURA 10.35 Sensibilità di coni e bastoncelli.** Nella figura sono mostrati i livelli di luminanza della luce naturale e della normale illuminazione di un ambiente interno e i tipi di visione in queste diverse condizioni. La visione scotopica si ha con la luce notturna e attiva soltanto i bastoncelli, portando a bassa acuità ed immagini in bianco e nero. La visione mesopica si ha con la luce lunare (chiaro di luna) e attiva sia i bastoncelli che i coni. Comunque, sia l'acuità che la visione dei colori sono ridotte. La visione fotopica si ha con alti livelli di luce, che saturano i bastoncelli, e in cui soltanto i coni sono attivi, come negli interni illuminati o con la luce del sole (diurna). La visione fotopica è quella con la più alta acuità e con la visione dei colori.

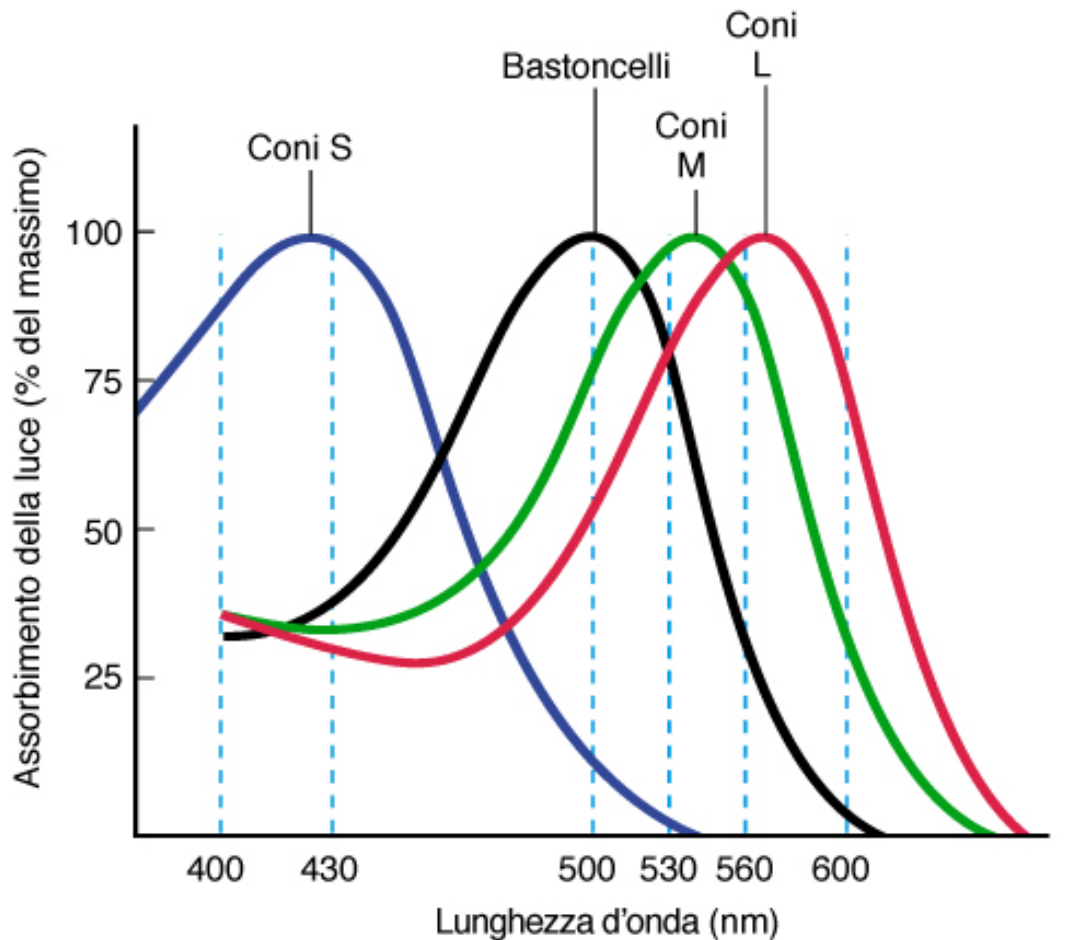


La **densità dei coni** presenta un picco in corrispondenza della fovea, mentre è bassa in tutto il resto della retina. Viceversa la **densità dei bastoncelli** è alta in tutta la retina, ma crolla bruscamente nella fovea.



**FIGURA 10.36 Stato ipotetico se i coni fossero soltanto di due tipi.**

Notate che un cono con le proprietà di  $P_1$  non potrebbe distinguere i colori a 450 nm e 500 nm, perché a queste due lunghezze d'onda ha lo stesso assorbimento. Il cono  $P_2$  non distinguerebbe, per la stessa ragione, i colori a 500 nm e 550 nm. Se fossero presenti entrambi i coni,  $P_1$  e  $P_2$ , essi risponderebbero al colore corrispondente a 500 nm e il cervello dovrebbe essere capace di distinguere il colore integrando le informazioni provenienti da entrambi i coni, piuttosto che basandosi su un cono soltanto.



**Gli spettri di assorbimento dei 3 tipi di coni si sovrappongono parzialmente,**



**Si possono percepire molti colori in base al quadro di attivazione dei 3 tipi di coni**

**Sebbene una data lungh. d'onda possa attivare più di un tipo di cono, i diversi coni rispondono a livelli differenti. Pertanto il cervello è in grado di discriminare differenti colori comparando le risposte dei differenti tipi di coni alle diverse lunghezze d'onda**

**Teoria della opposizione cromatica** afferma che rosso e verde, blu e giallo, bianco e nero sono colori opposti cioè l'attivazione di uno dei due inibisce l'attivazione dell'altro

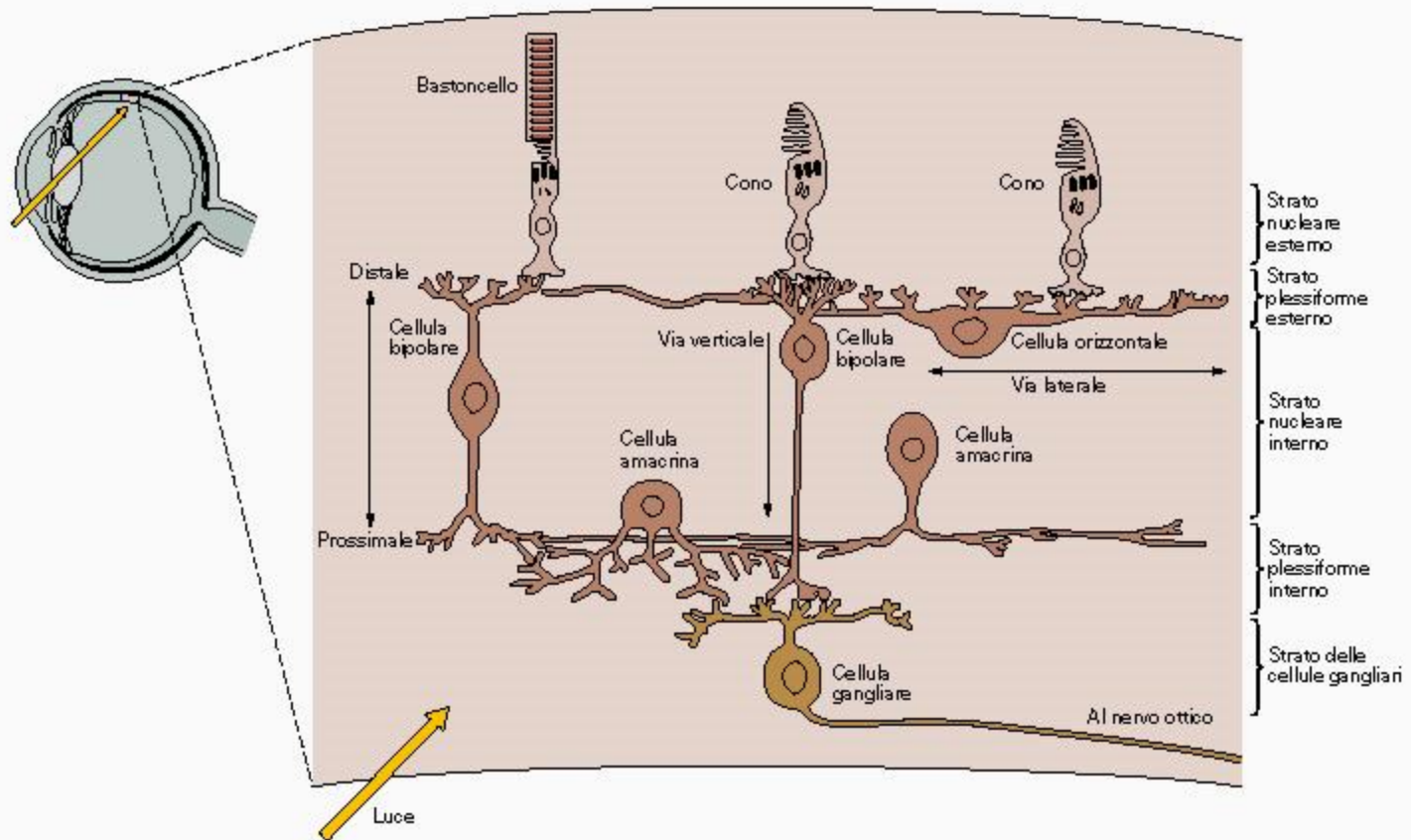
Es. non si può vedere il verde rossastro perché l'attivazione del verde inibisce l'attivazione del rosso, e viceversa.

**La teoria della opposizione cromatica** è spiegata dalle cellule gangliari: quando alcune cellule gangliari sono eccitate dalla presenza di luce rossa nel campo visivo sono inibite da verde nella stessa regione

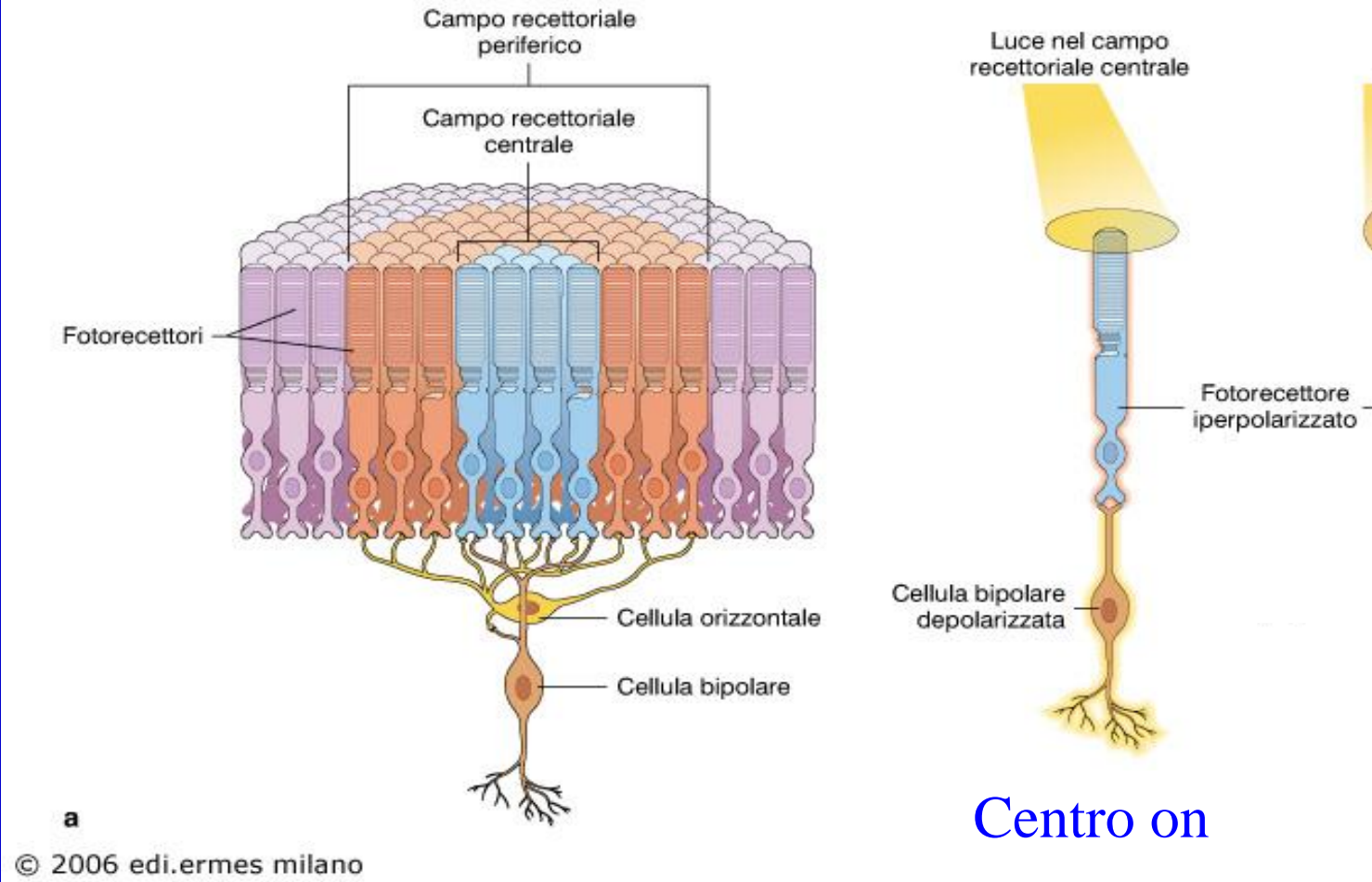
**Teoria della opposizione cromatica** spiega anche l'immagine postuma che ti permette di vedere i colori complementari a causa dell'adattamento ai colori originali



# Rete neuronica retinica

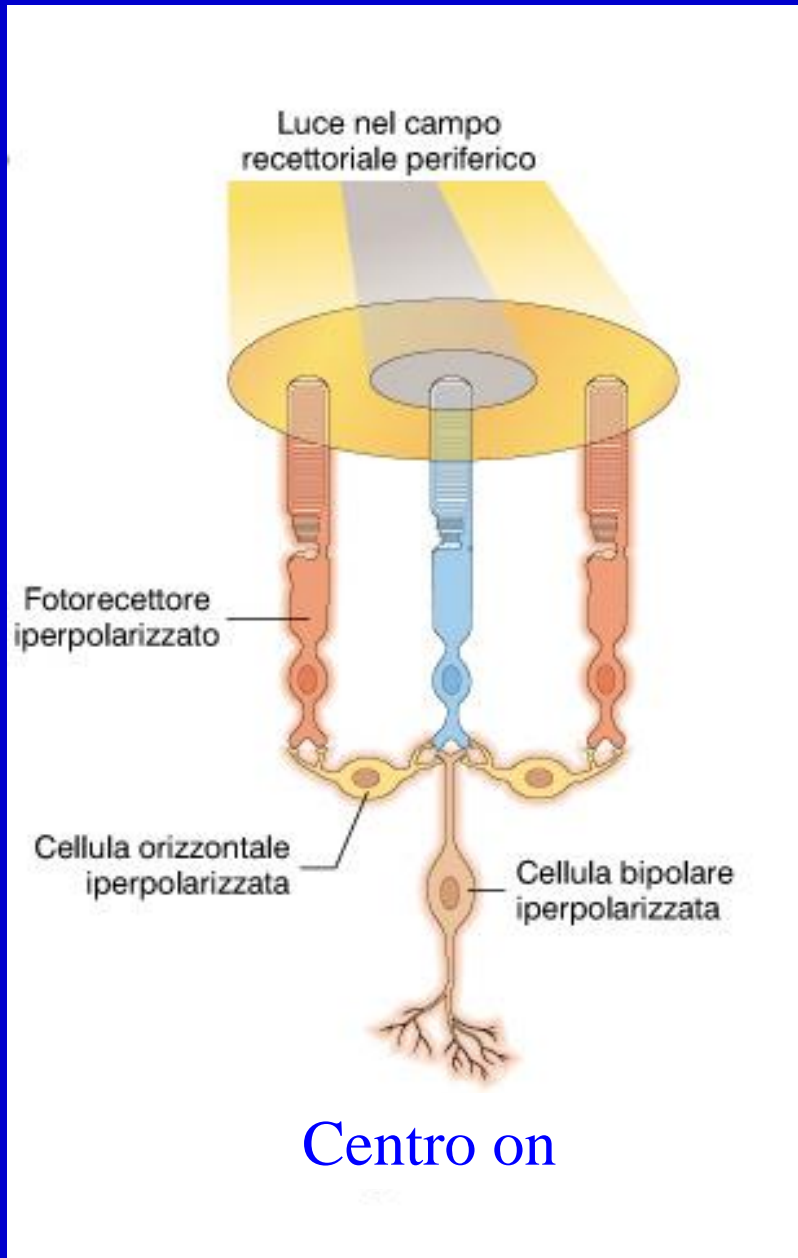


# Cellule bipolari centro on e cellule bipolari centro off

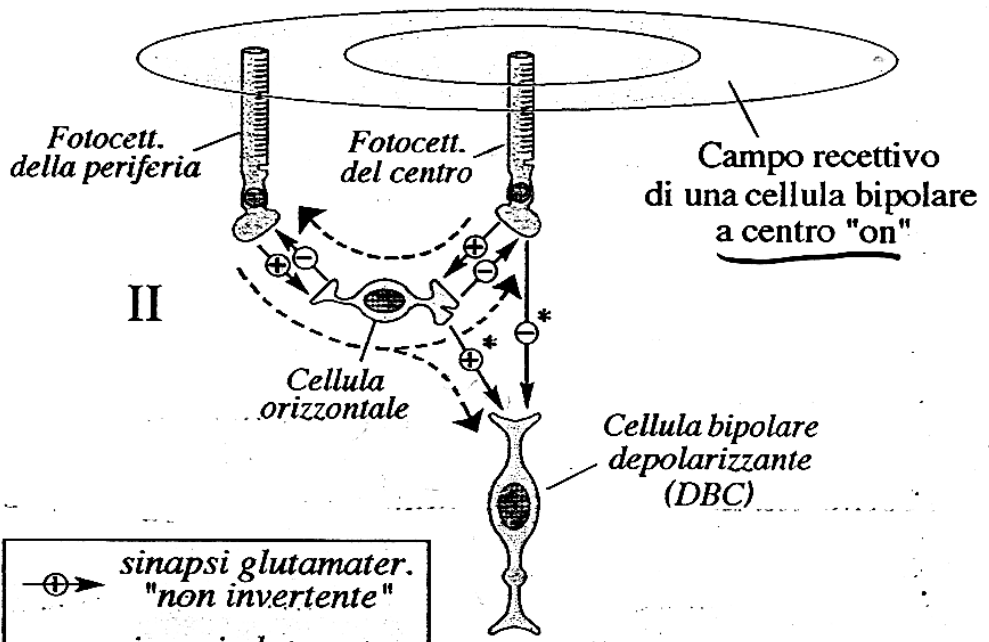
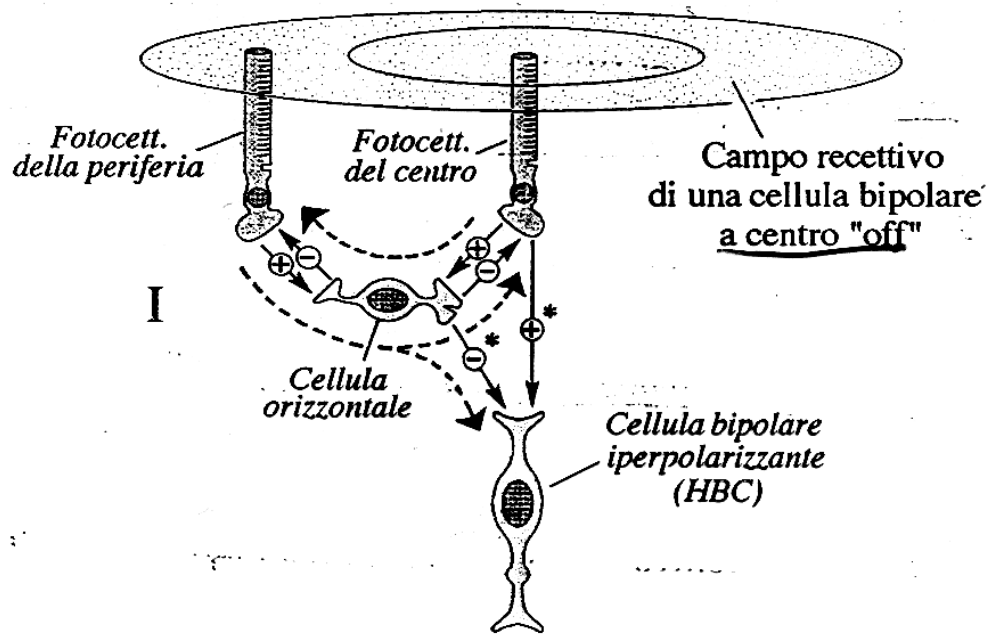


La luce che colpisce il fotorecettore del centro provoca una riduzione della liberazione del neurotrasmettitore che induce effetti opposti nei due tipi di cellule bipolari: le centro on si depolarizzano, mentre le centro off si iperpolarizzano.

## Cellule bipolari centro on e cellule bipolari centro off



Contrariamente a quando la luce colpisce il centro del CR, quando la **luce** colpisce il **fotorecettore della periferia** provoca nelle **centro on iperpolarizzazione**, e nelle **centro off depolarizzazione**.



⊕ → *sinapsi glutamater. "non invertente"*

⊖ → *sinapsi glutamater. "invertente"*

Nelle **sinapsi non invertenti** il glutammato apre canali di tipo **ionotropico** che trasportano nella cellula una corrente entrante (depolarizzante) di  $\text{Na}^+$ .

Nelle **sinapsi invertenti** il glutammato iperpolarizza la cellula mediante 2 possibili meccanismi:

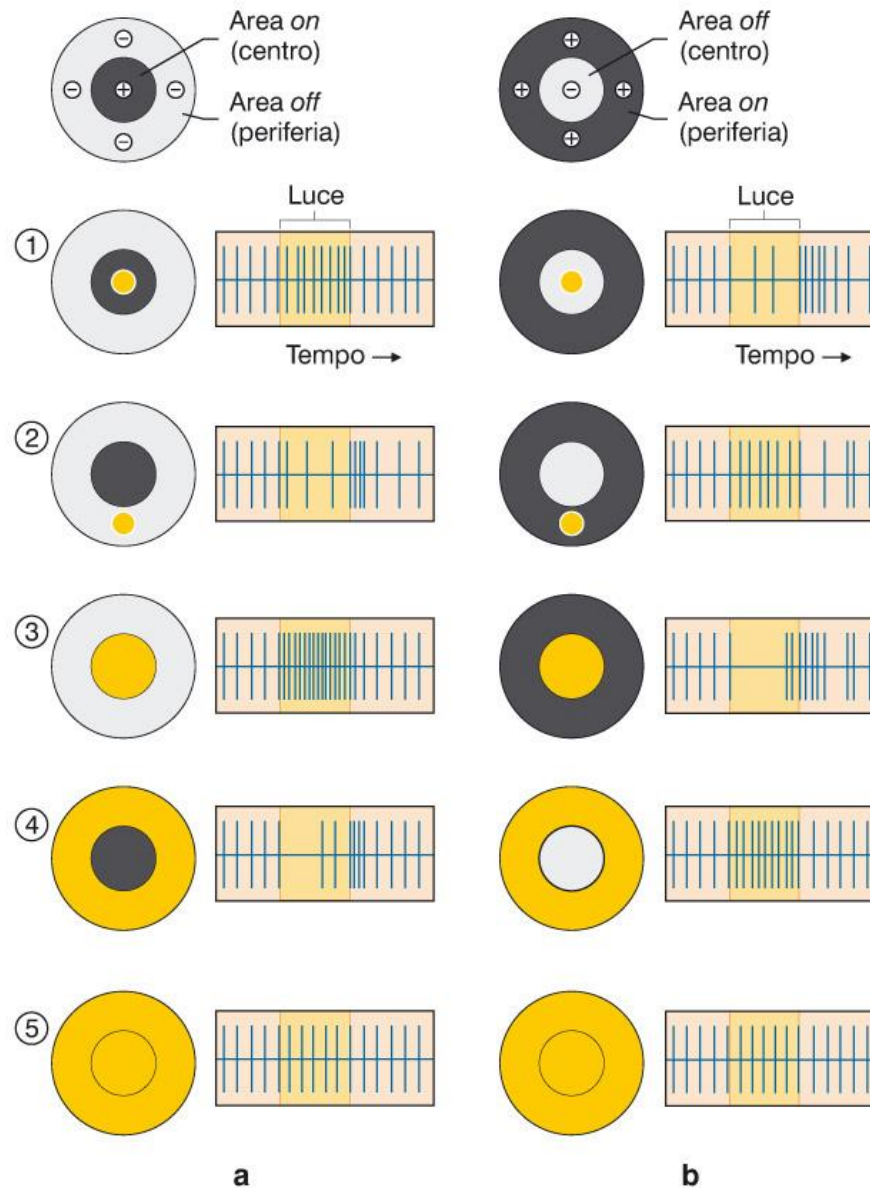
1 Apertura di **canali al  $\text{K}^+$**

2 chiusura di canale **metabotropico** responsabile di corrente entrante al  $\text{Na}^+$

# Cellule Gangliari:

centro on

centro off

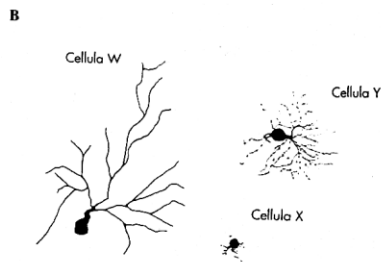
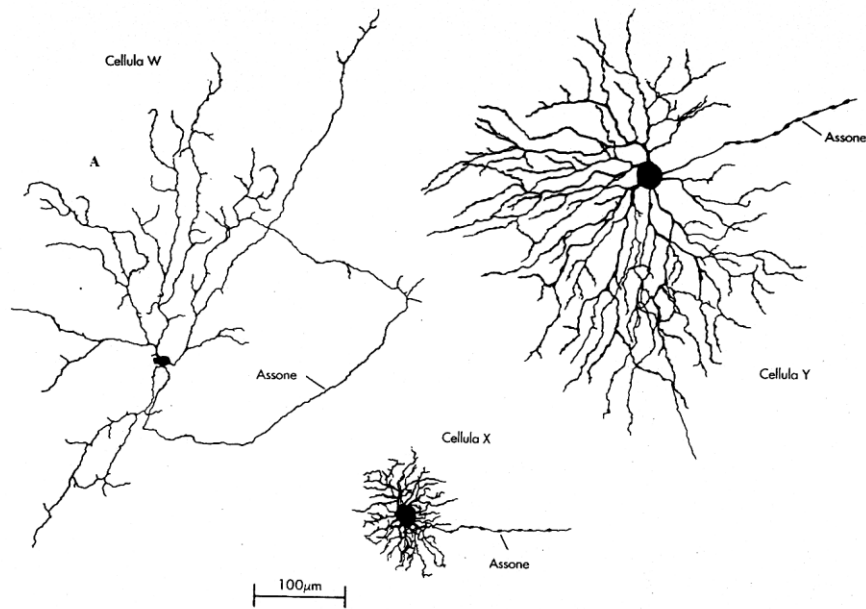


# Dimensioni del campo recettivo

Oltre che elaborare le informazioni relative al contrasto e alle rapide variazioni di illuminazione, il sistema visivo analizza altri aspetti dell'immagine visiva : forma, colore e movimento.

Ogni zona della retina contiene sottogruppi diversi di cellule gangliari funzionalmente distinte, su cui vanno a convergere, attraverso vie disposte in parallelo, segnali provenienti dai medesimi fotorecettori.

**Cellule M:** grandi campi recettivi, estesa arborizzazione dendritica. Rispondono bene a stimoli di grandi dimensioni e la loro frequenza di scarica è in grado di seguire bene variazioni rapide dell'intensità degli stimoli. La loro funzione sembra in rapporto all'analisi delle caratteristiche grossolane degli stimoli luminosi e del loro movimento.

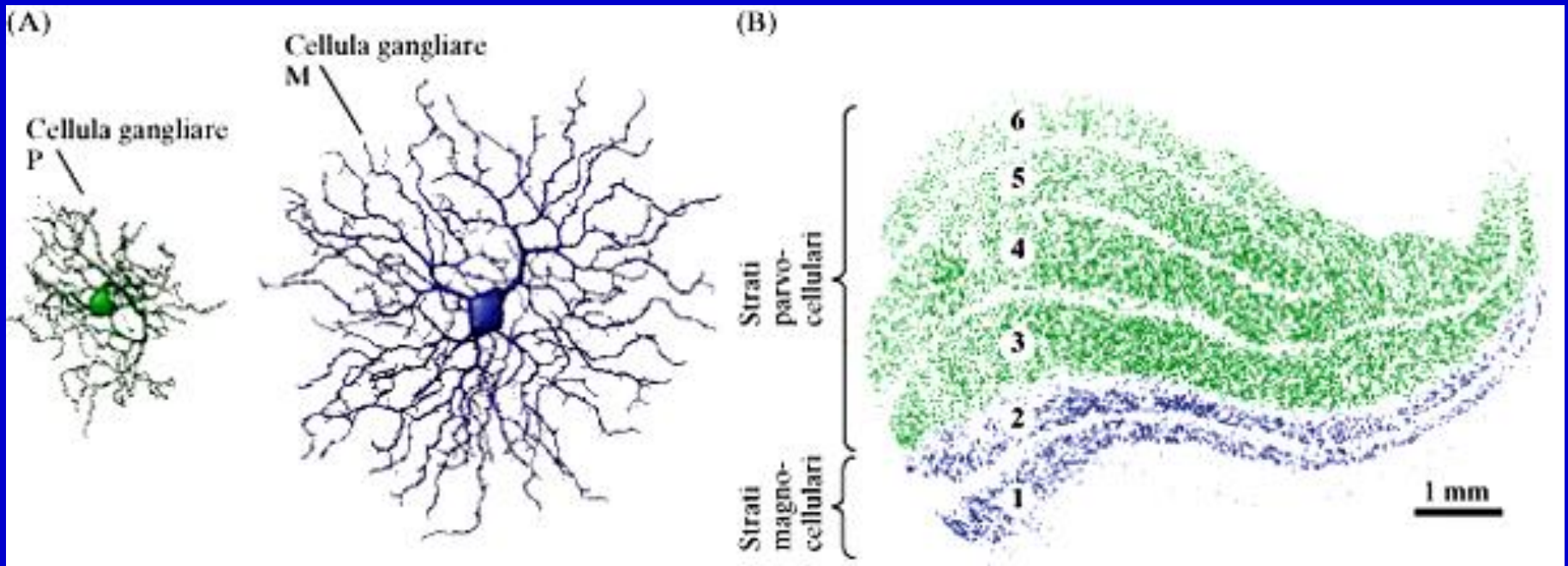


■ FIGURA 9.16 Cellule gangliari X, Y e W. A, retina di gatto; B, retina di scimmia. [A: da Stanford, L.R., Sherman, S.M., «Brain Res.» 297:381, 1984. B: rielaborata da Perry, V.H. et al., «Neuroscience» 12: 1101, 1984, e da Perry, V.H., Cowey, A., «Neuroscience» 12: 1125, 1984].

**Le cellule P:** piccole, CR piccoli, numerose. Danno risposte specifiche alle diverse lunghezze d'onda e sono deputate alla percezione delle forme e dei colori. La loro funzione è legata all'analisi dei fini dettagli dell'immagine.

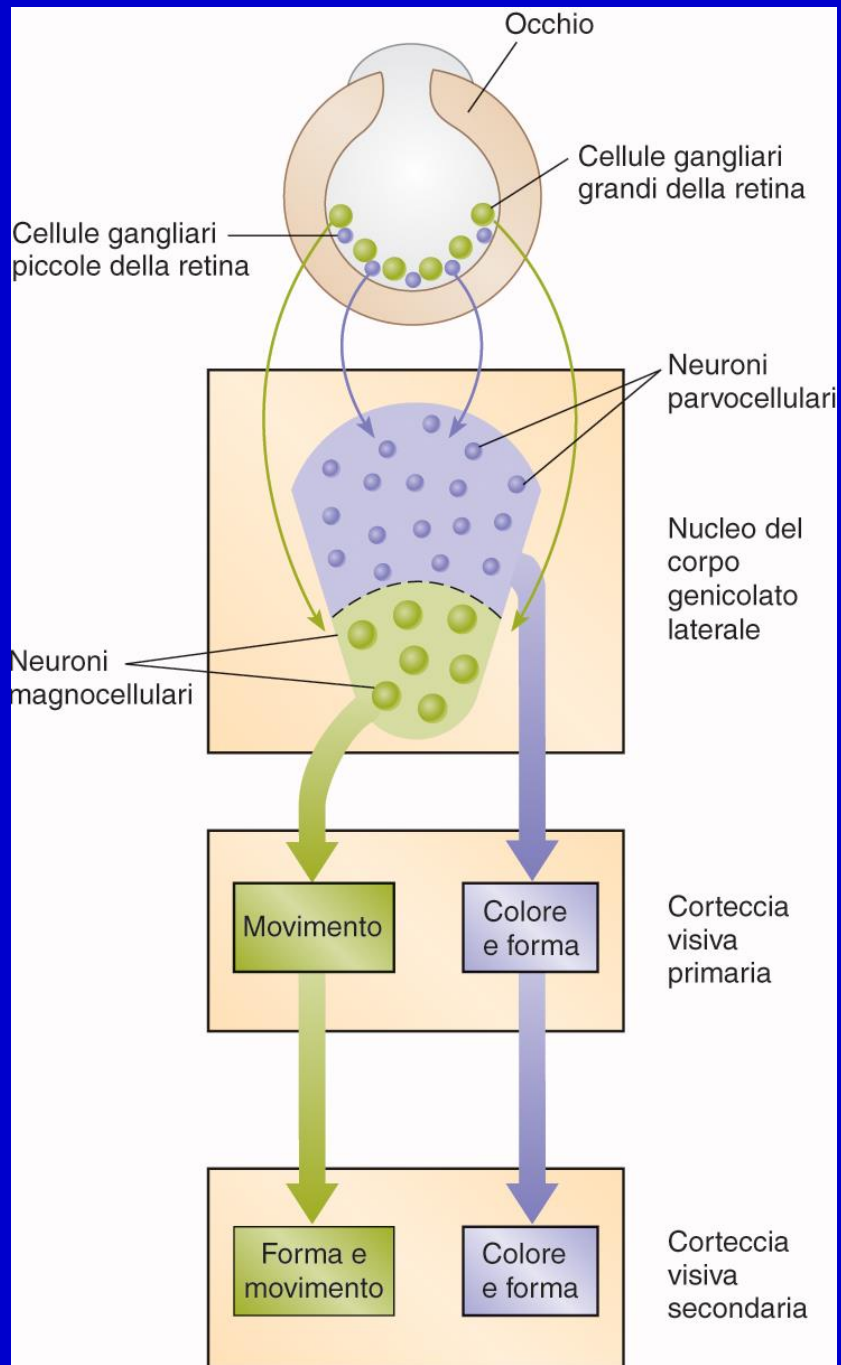
**Cellule W:** rivelano l'intensità globale della luce ambientale



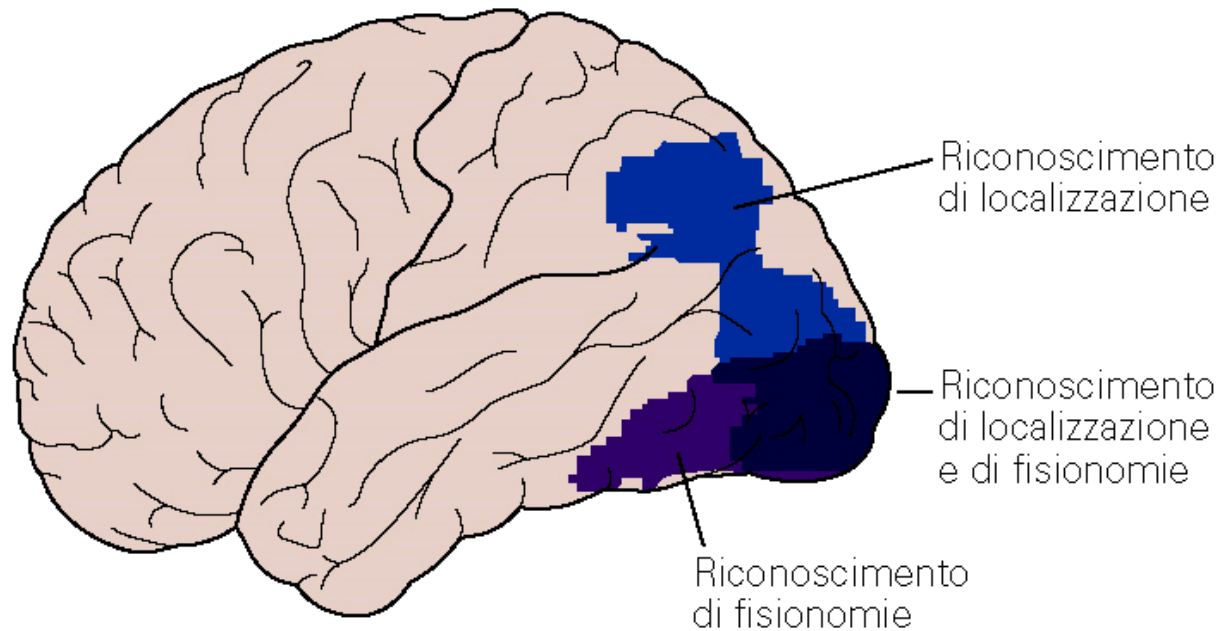


Le cellule M proiettano negli strati magnocellulari del nucleo genicolato laterale.

Le cellule P proiettano agli strati parvocellulari dello stesso.

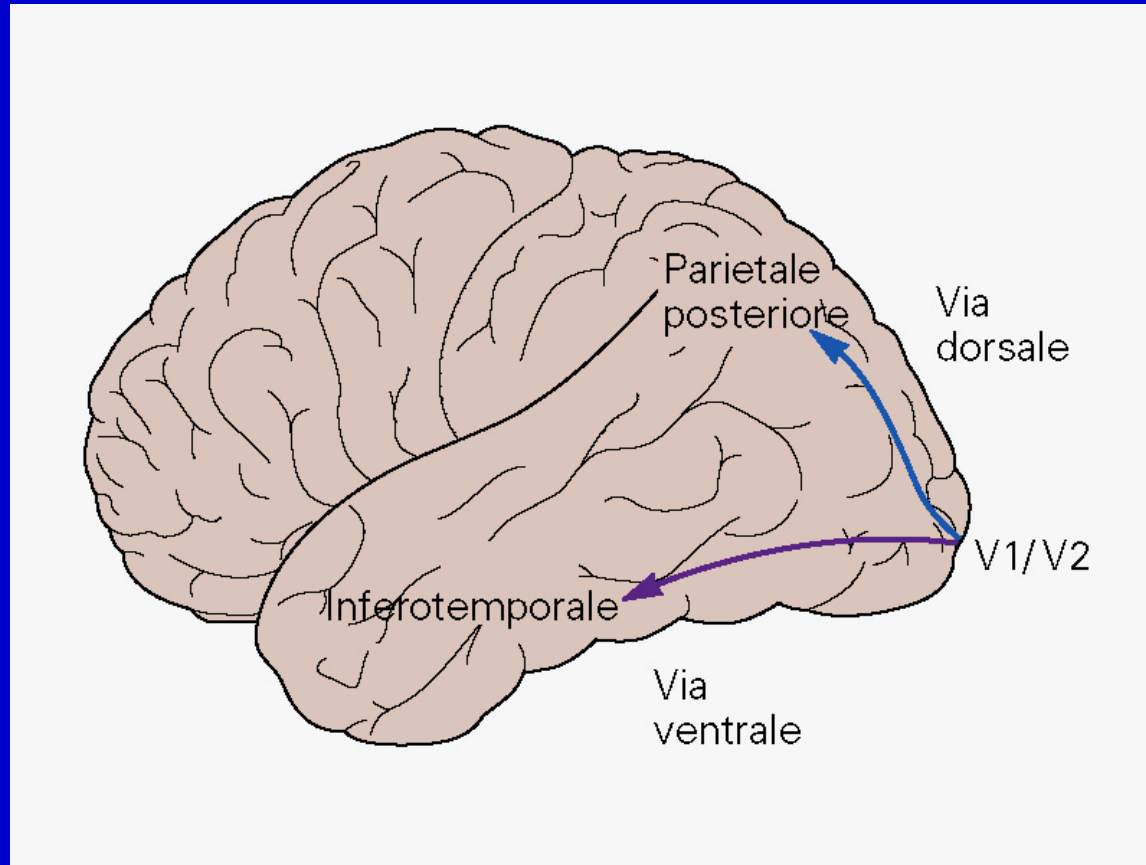


## Are corticali coinvolte nei diversi aspetti della percezione visiva



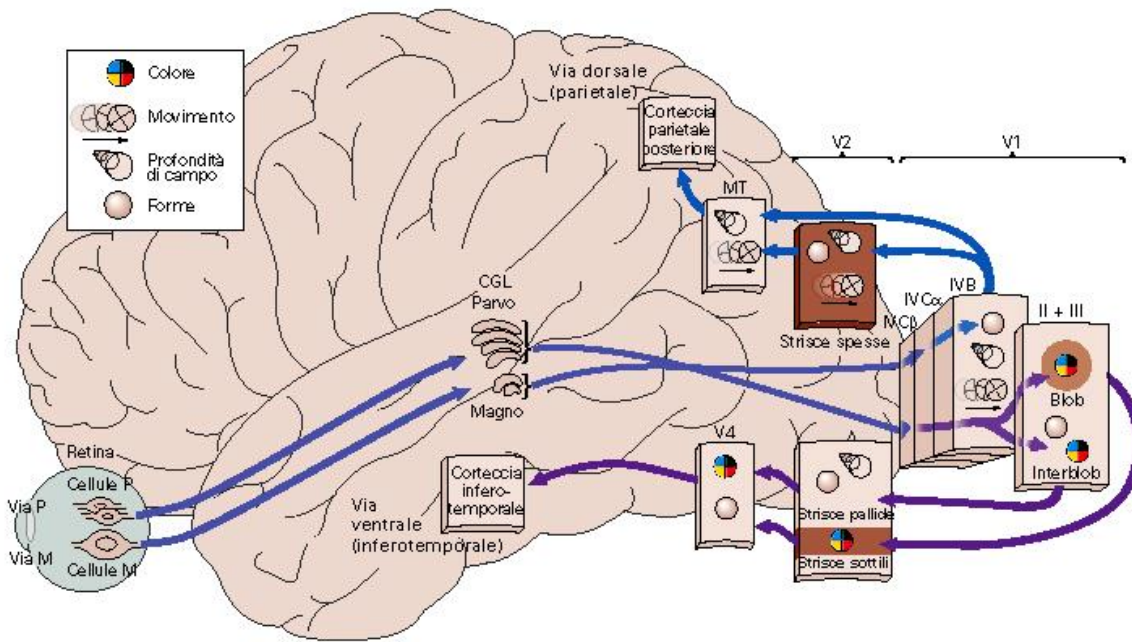
La regione **extrastriata occipitale** interviene nel riconoscimento sia della localizzazione della posizione di un'immagine, sia nel riconoscimento della fisionomia. La **corteccia parietale** superiore è coinvolta nel riconoscimento della localizzazione. La **corteccia occipitotemporale** lo è nel compito del riconoscimento dei volti.

Le stazioni della corteccia cerebrale deputate all'analisi visiva sono organizzate in due vie.



La via dorsale che da V2 raggiunge la corteccia parietale posteriore è devoluta ad analizzare dove sono localizzati gli oggetti.

La via ventrale che da V1 arriva alla inferotemporale, svolge il compito di analizzare *che cosa* l'oggetto rappresenti



Via: Cellule M, Strato magnocellulare CGLT, strato  $IVC\alpha$  corteccia visiva primaria, corteccia parietale posteriore riveste particolare importanza nell'analisi del movimento, del senso di profondità e dei rapporti spaziali.

Via: Cellule P, Strato parvocellulare CGLT, strato  $IVC\beta$  corteccia visiva primaria, corteccia inferotemporale sembra particolarmente devoluta all'analisi delle forme e dei colori.

**Di seguito titolo, autore e editore delle fonti da cui sono state prese le immagini e i video mostrati durante le lezioni di fisiologia come supporto didattico :**

Fisiologia, Stanfield - German, Edises

Fisiologia, Silverthorn, Ambrosiana

Fisiologia, Berne – Levy, Ambrosiana

Fisiologia generale e umana, Rhoades- Pflanzner, Piccin

Physiology Animations, versione 2.2.07 Argosy  
Publishing, Inc., 2007-20017