



**UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TRIESTE**



Dipartimento di
Scienze della vita



Corso di Laurea Magistrale in Medicina e Chirurgia

Corso di FISILOGIA UMANA

a.a. 2025-26

NEUROFISIOLOGIA 1

Sistema Sensoriale II

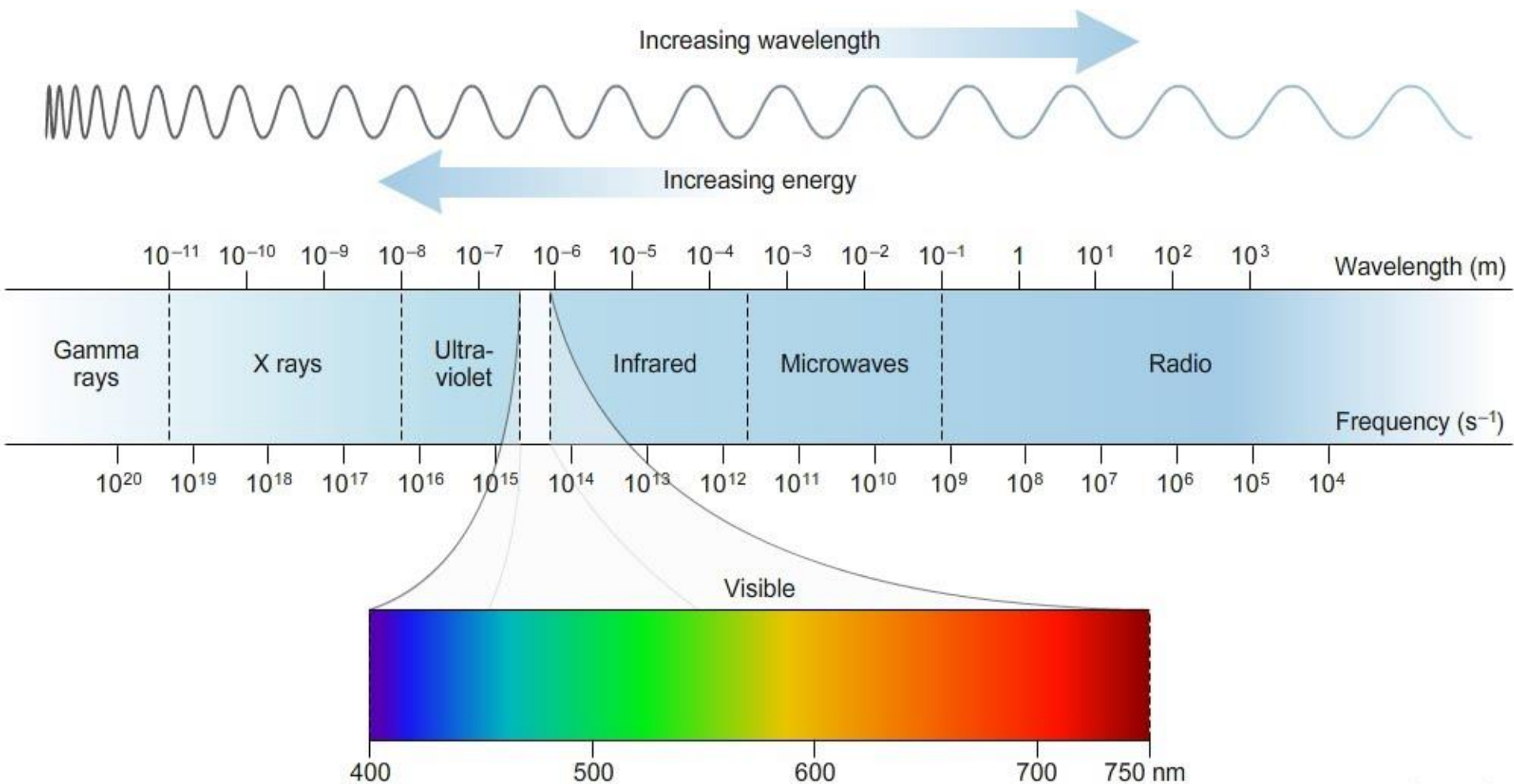
Vista

Lorenzo Cingolani
lcingolani@units.it

PROGRAMMA DETTAGLIATO

- **Principi ottici della visione:** Lenti concave / convesse; rifrazione e lunghezza focale.
- **L'occhio:** Struttura; ottica applicata all'occhio; accomodazione, difetti di rifrazione, acuità e profondità visiva; fluidi intraoculari.
- **Recettori e funzione nervosa della retina:** Struttura della retina; coni e bastoncelli; fototrasduzione, ciclo visivo rodopsina-retinale, adattamento luce-buio; visione a colori.
- **Circuiti neurali della retina:** Cellule gangliari; codifica di luminosità, contrasto e colore.
- **Vie centrali della visione:** Via primaria e secondaria; struttura e organizzazione della corteccia visiva primaria; vie successive a V1.

Electromagnetic spectrum

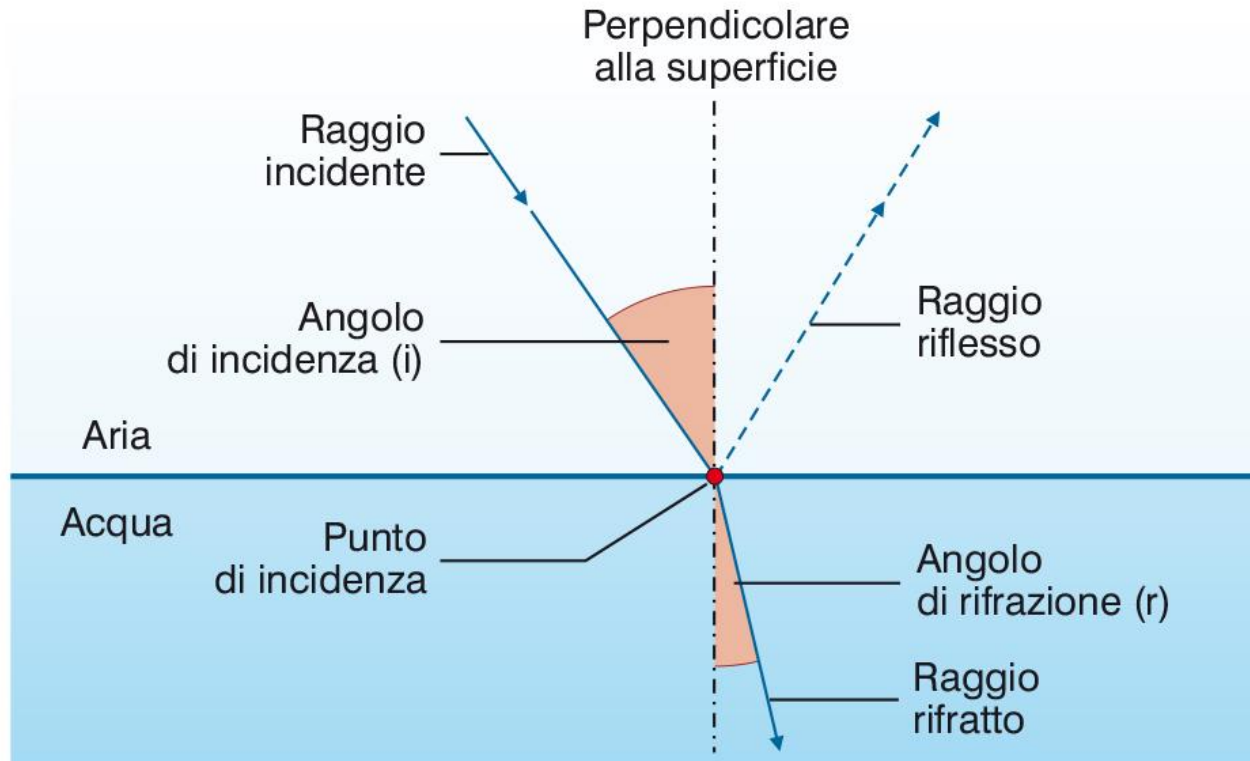


Rifrazione

- Il rapporto tra il seno dell'angolo di incidenza (i) e il seno dell'angolo di rifrazione (r) è costante ed è uguale al rapporto tra l'indice di rifrazione (n) del secondo mezzo e quello del primo

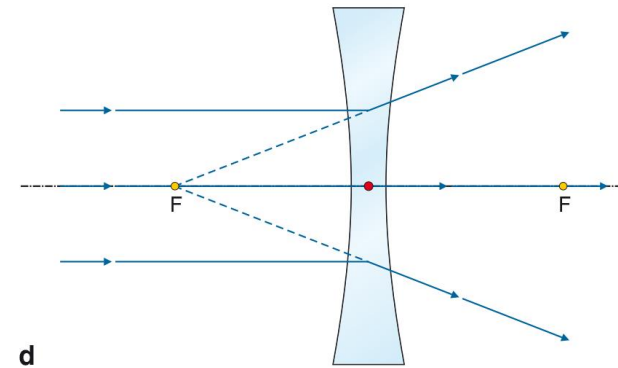
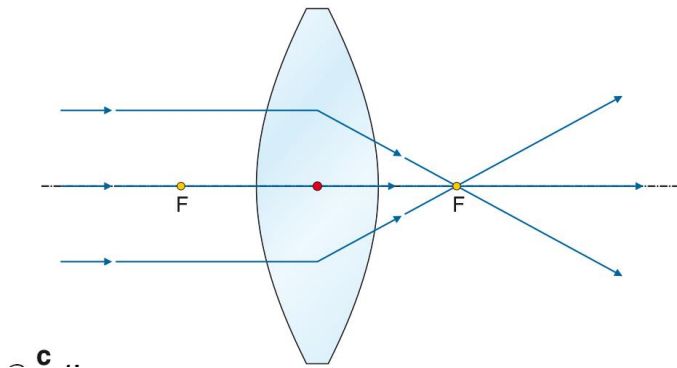
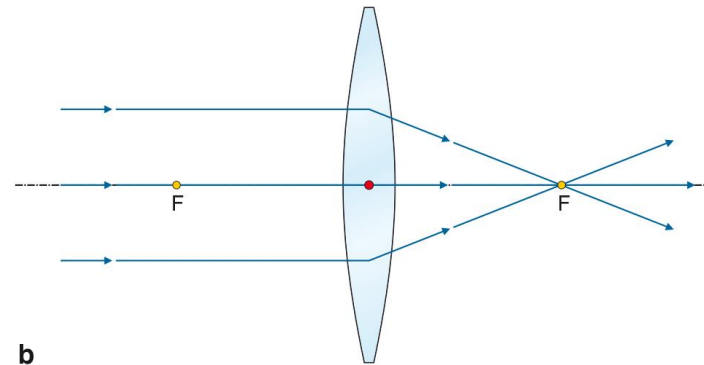
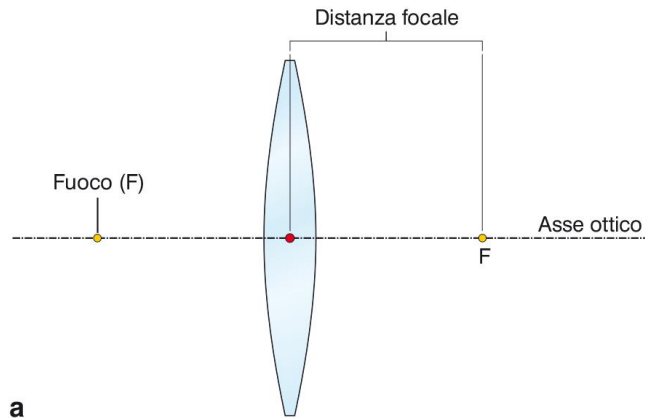
$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$n = \frac{c}{v}$$



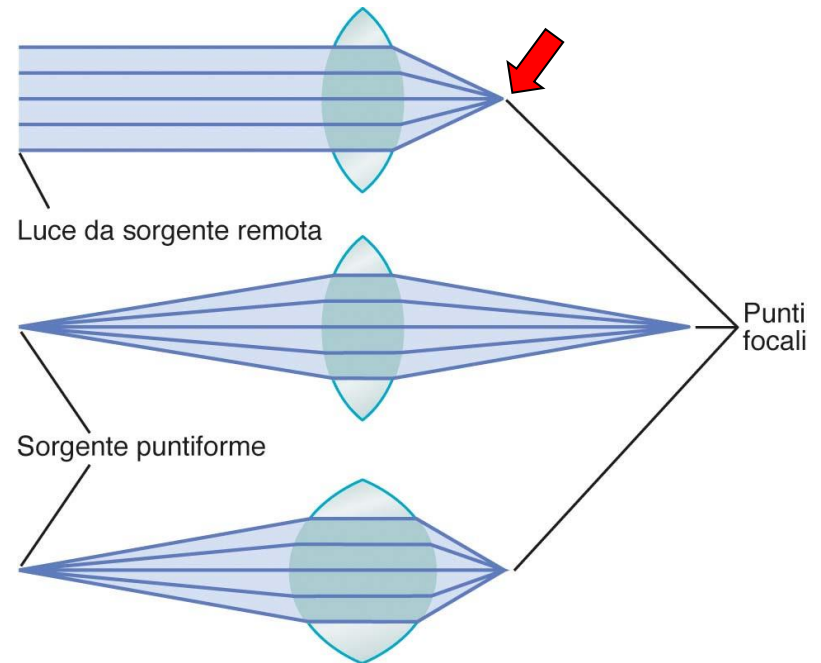
Lenti

- **Lenti convesse (più spesse al centro) sono convergenti:** i raggi luminosi che colpiscono la lente sono rifratti (i) all'ingresso della lente e (ii) all'uscita della lente. I raggi luminosi paralleli all'asse ottico convergono nel **fuoco**
- **Maggiore è lo spessore della lente convessa, minore è la distanza focale**
- Lenti concave (meno spesse al centro) sono divergenti

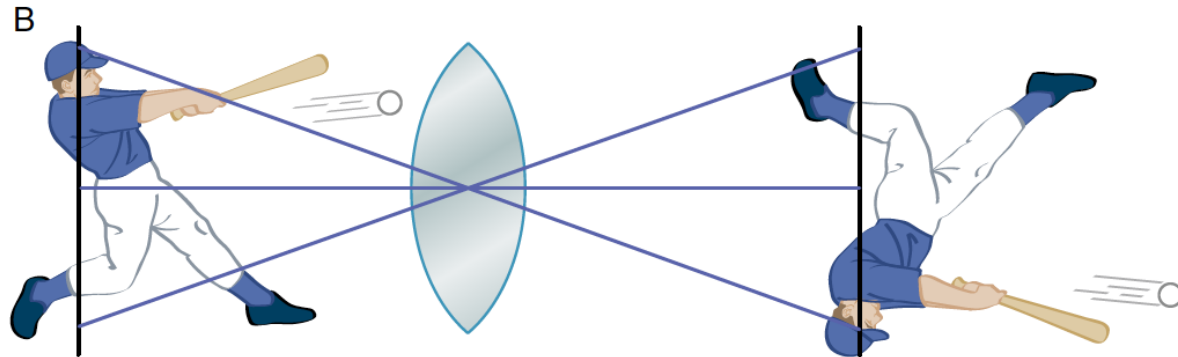
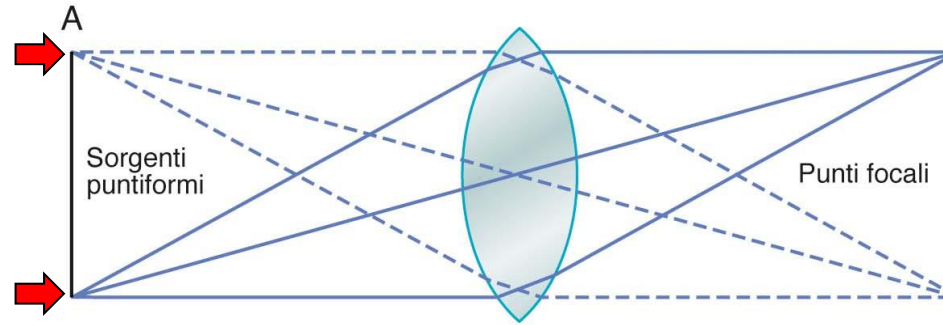


Punto di convergenza

- La lunghezza focale / il punto di convergenza sono determinati da:
 - La distanza della sorgente luminosa: più la sorgente è vicina più i raggi in arrivo sono divergenti → il punto di convergenza sarà più lontano
 - La curvatura della lente: una lente convessa a curvatura maggiore mette a fuoco in un punto più vicino.

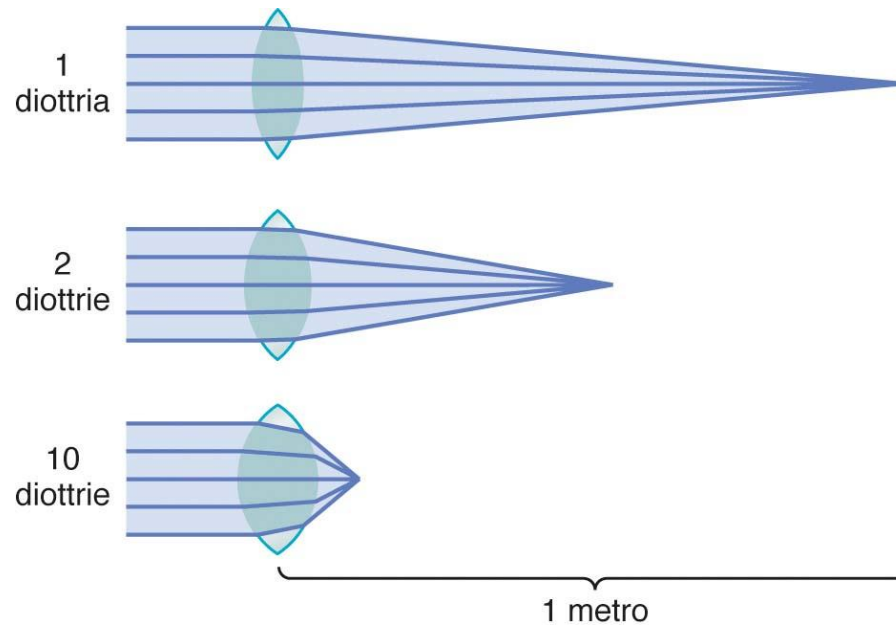


Formazione delle immagini attraverso una lente convergente



- Ogni **punto sorgente** viene messo a fuoco in un **punto focale distinto** al di là della lente.
- I **raggi che attraversano il centro** della lente **mantengono approssimativamente la stessa direzione**
- Ogni **immagine** è formata da un insieme di punti sorgente, ciascuno con il proprio punto focale **allineato al centro ottico**.
- Il risultato è un'**immagine rovesciata**:
 - **sopra** ↔ **sotto**
 - **destra** ↔ **sinistra**

Diottrie

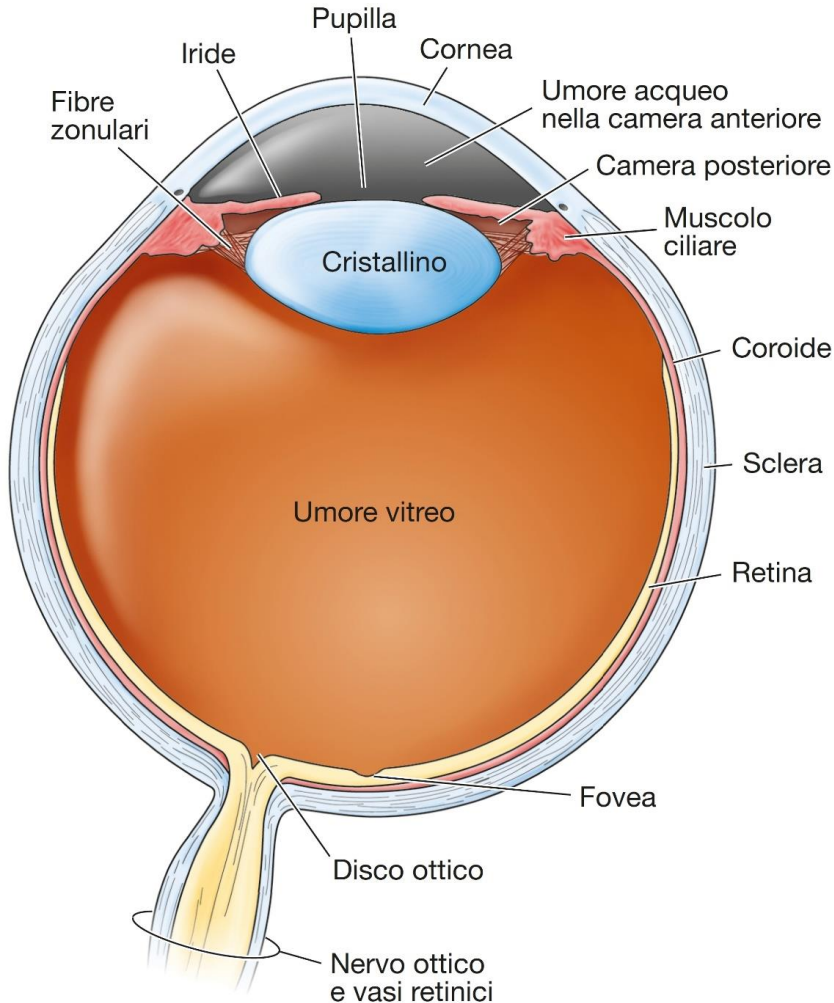


- La **capacità di rifrazione** si misura in **diottrie**.
- **Definita come il reciproco della distanza focale espressa in metri**
 - Una lente convessa che fa convergere raggi di luce paralleli in un punto a distanza di 1 m ha una capacità di rifrazione di 1 diottria.
 - $0.5 \text{ m} \rightarrow 2 \text{ diottrie}$; (rifrazione doppia)
 - $10 \text{ cm} \rightarrow 10 \text{ diottrie}$

PROGRAMMA DETTAGLIATO

- **Principi ottici della visione:** Lenti concave / convesse; rifrazione e lunghezza focale.
- **L'occhio:** Struttura; ottica applicata all'occhio; accomodazione, difetti di rifrazione, acuità e profondità visiva; fluidi intraoculari.
- **Recettori e funzione nervosa della retina:** Struttura della retina; coni e bastoncelli; fototrasduzione, ciclo visivo rodopsina-retinale, adattamento luce-buio; visione a colori.
- **Circuiti neurali della retina:** Cellule gangliari; codifica di luminosità, contrasto e colore.
- **Vie centrali della visione:** Via primaria e secondaria; struttura e organizzazione della corteccia visiva primaria; vie successive a V1.

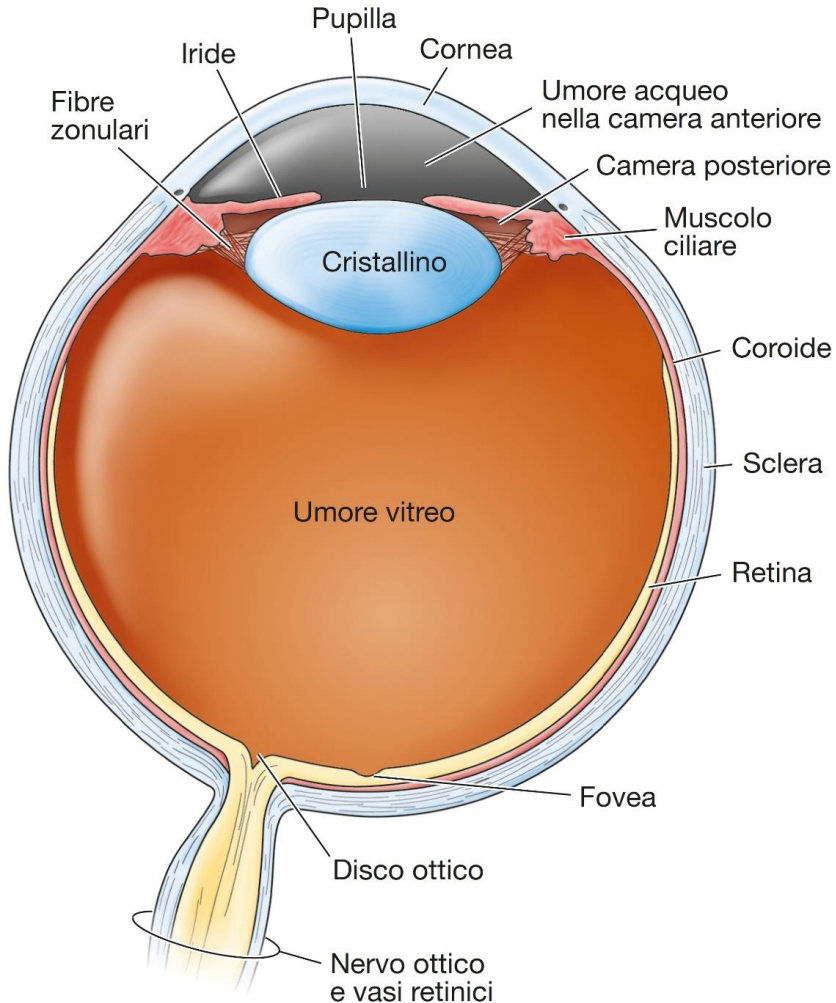
Anatomia dell'occhio



L'occhio è una sfera piena di liquido racchiusa da **tre strati di tessuto**

- **Retina** (strato interno): contiene **neuroni fotosensibili** che trasmettono i segnali visivi ai centri superiori del cervello
- **Tratto uveale** (strato intermedio): formato da tre strutture continue:
 - **Coroide**: ricca rete capillare che **nutre i fotorecettori**; contiene **melanina**, che assorbe la luce.
 - **Corpo ciliare**: anello di tessuto con
 - parte **muscolare** → regola la **messa a fuoco del cristallino**
 - parte **vascolare (processi ciliari)** → produce il **liquido dell'occhio anteriore**.
 - **Iride**: parte **colorata** dell'occhio visibile attraverso la cornea; contiene **muscoli antagonisti** che regolano il **diametro della pupilla**.
- **Sclera** (strato esterno): tessuto **fibroso e resistente**, di colore bianco.
 - Nella parte anteriore diventa la **cornea**, **trasparente**, che permette il **passaggio della luce** all'interno dell'occhio.

Anatomia dell'occhio



- La luce che attraversa la cornea entra nella **camera anteriore**, che è piena di **umore acqueo**, liquido a funzione nutritiva prodotto dal corpo ciliare.
- L'umore acqueo è continuamente prodotto e sostituito. Difetti nel drenaggio dell'umore acqueo causano il **glaucoma** (elevata pressione intraoculare) con riduzione di rifornimento di sangue all'occhio.
- Tra cristallino e retina c'è una sostanza gelatinosa, l'**umore vitreo**, la cui funzione è quella di mantenere la forma dell'occhio, contiene anche cellule ad attività fagocitica → **'mosche volanti'** (accumulo di scorie) se l'attività fagocitaria non è ottimale



Glaucoma terminale



Glaucoma avanzato



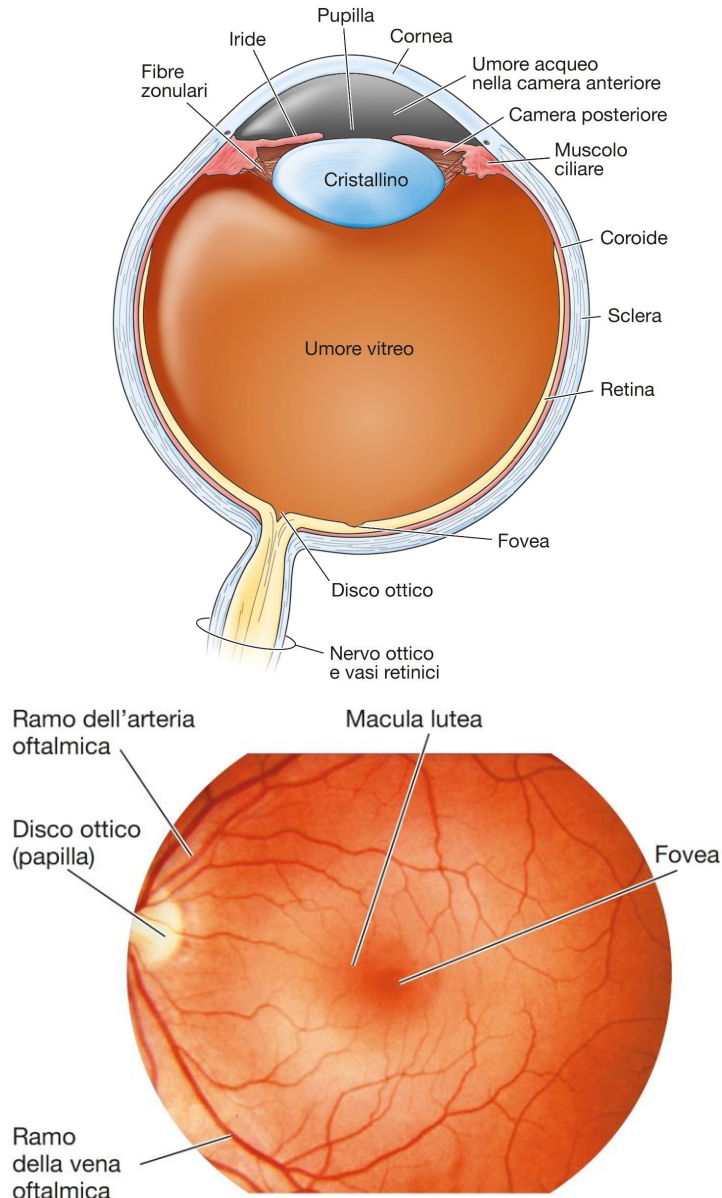
Glaucoma iniziale



Visione normale

Anatomia dell'occhio

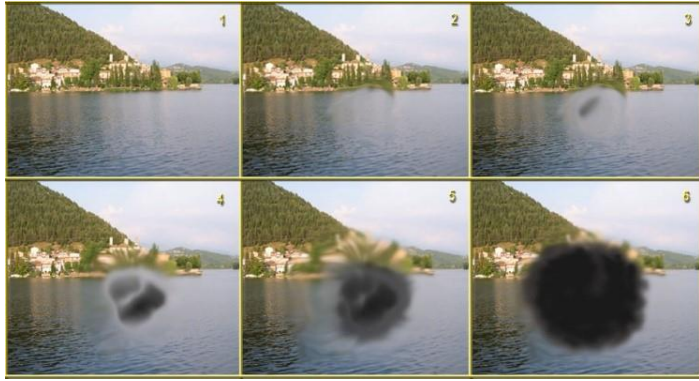
Con l'**oftalmoscopio** si può osservare la superficie della retina o fondo



- **Vasi sanguigni** (arterie e vene) si distribuiscono sulla superficie interna della retina, originando dall'**arteria e vena oftalmiche**
- Questi entrano ed escono dall'occhio attraverso il **disco ottico (papilla ottica)**, una zona biancastra
 - che è anche il punto di uscita degli **assoni retinici** che formano il **nervo ottico**
 - **assenza di fotorecettori** → **punto cieco fisiologico**.
 - **Un rigonfiamento del disco ottico è un indicatore della pressione intracranica**

Anatomia dell'occhio

Con l'**oftalmoscopio** si può osservare la superficie della retina o fondo



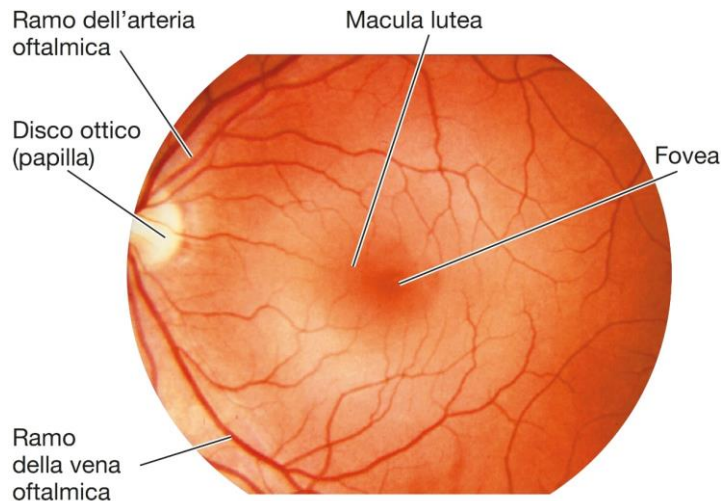
➤ **Vasi sanguigni** (arterie e vene) si distribuiscono sulla superficie interna della retina, originando dall'**arteria e vena oftalmiche**

➤ Questi entrano ed escono dall'occhio attraverso il **disco ottico (papilla ottica)**, una zona biancastra

- che è anche il punto di uscita degli **assoni retinici** che formano il **nervo ottico**

- **assenza di fotorecettori** → **punto cieco fisiologico**.

- **Un rigonfiamento del disco ottico è un indicatore della pressione intracranica**



➤ La **macula lutea** (≈ 3 mm) contiene **pigmento giallo (xantofilla)** che filtra i raggi UV

- sede della **massima acuità visiva** → **fovea**

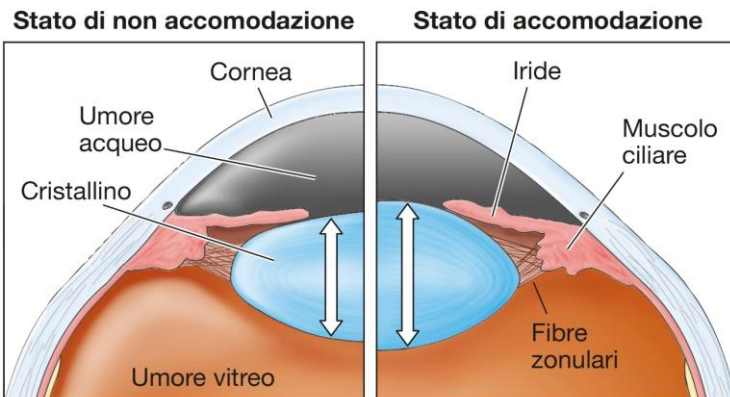
- **danno maculare** (es. **degenerazione maculare senile**) compromette gravemente la visione

Formazione delle immagini sulla retina

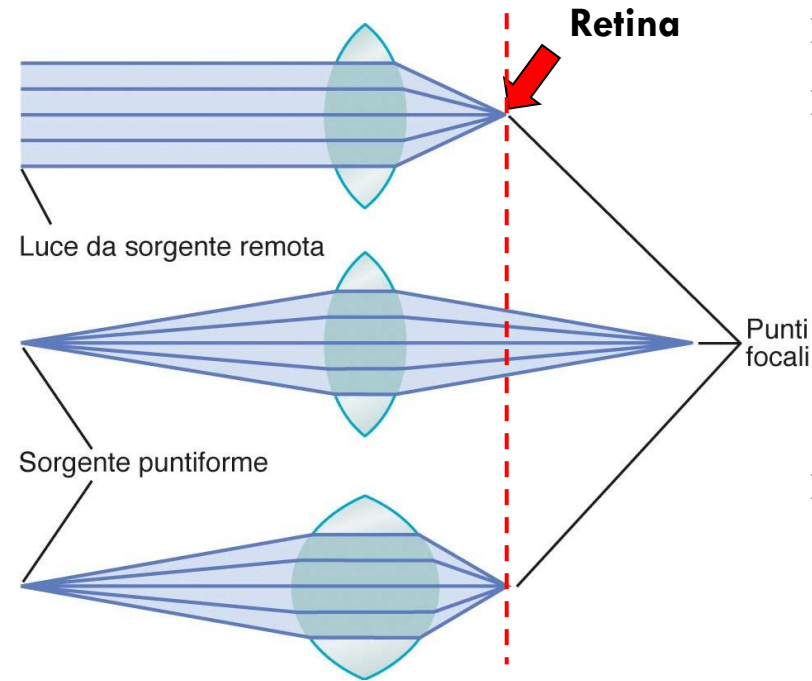
Visione con cataratta



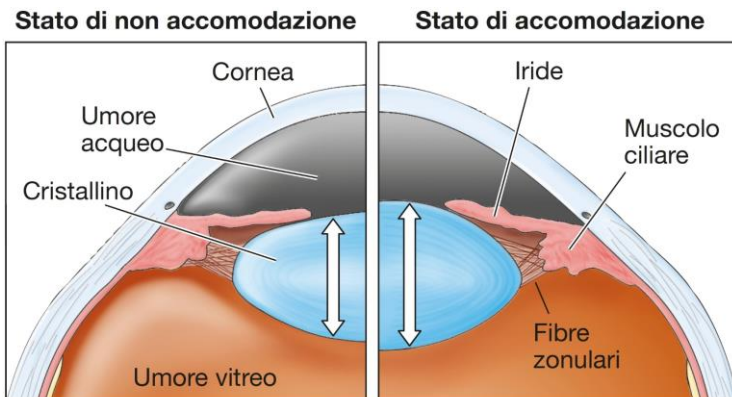
- **Visione normale** → richiede **cornea e cristallino trasparenti**.
- **Alterazioni** della loro composizione → **perdita di trasparenza** → **deficit visivi**.
 - **Cataratta**: opacità del cristallino → causa **~50% dei casi di cecità** nel mondo; comune dopo i **70 anni**.
 - **Chirurgia** → può **ripristinare la visione** nella maggior parte dei casi.
- **Cornea e cristallino** rifrangono la luce per **mettere a fuoco sulla retina**:
 - **Cornea**: responsabile della maggior parte della rifrazione
 - **Cristallino**: rifrazione **regolabile** per oggetti a diverse distanze (**accomodazione**)
 - **Oggetti lontani** → cristallino **piatto**, minore rifrazione
 - **Oggetti vicini** → cristallino **più spesso**, maggiore rifrazione
 - Meccanismo:
 - **Fibre zonulari** tirano il cristallino → lo appiattiscono;
 - **Muscolo ciliare** (a sfintere) si contrae → cristallino si **arrotonda** per la visione da vicino.



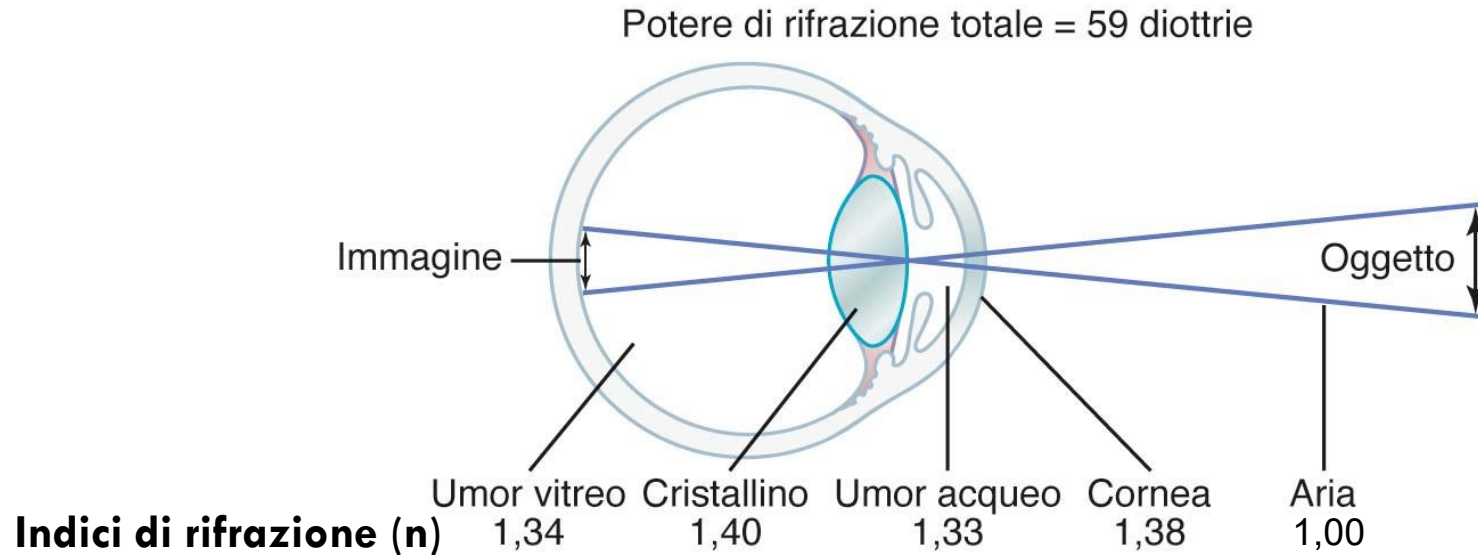
Formazione delle immagini sulla retina



- **Visione normale** → richiede **cornea e cristallino trasparenti**.
- **Alterazioni** della loro composizione → **perdita di trasparenza** → **deficit visivi**.
 - **Cataratta**: opacità del cristallino → causa **~50% dei casi di cecità** nel mondo; comune dopo i **70 anni**.
 - **Chirurgia** → può **ripristinare la visione** nella maggior parte dei casi.
- **Cornea e cristallino** rifrangono la luce per **mettere a fuoco sulla retina**:
 - **Cornea**: responsabile della maggior parte della rifrazione
 - **Cristallino**: rifrazione **regolabile** per oggetti a diverse distanze (**accomodazione**)
 - **Oggetti lontani** → cristallino **piatto**, minore rifrazione
 - **Oggetti vicini** → cristallino **più spesso**, maggiore rifrazione
 - Meccanismo:
 - **Fibre zonulari** tirano il cristallino → lo appiattiscono;
 - **Muscolo ciliare** (a sfintere) si contrae → cristallino si **arrotonda** per la visione da vicino.

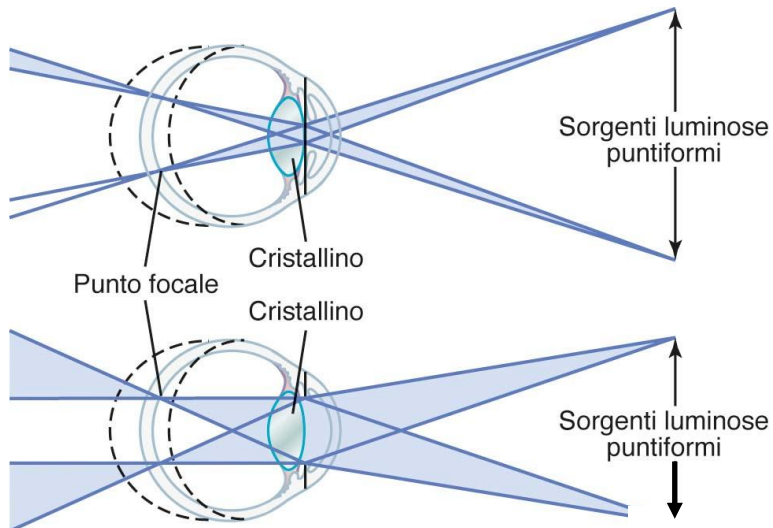
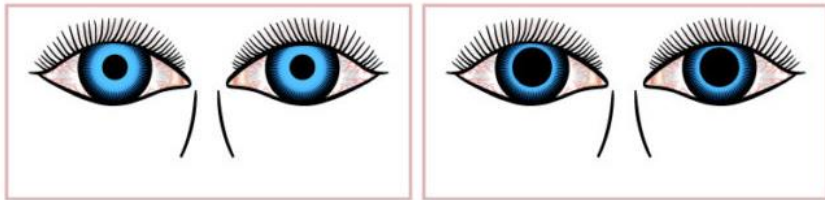


Formazione delle immagini sulla retina



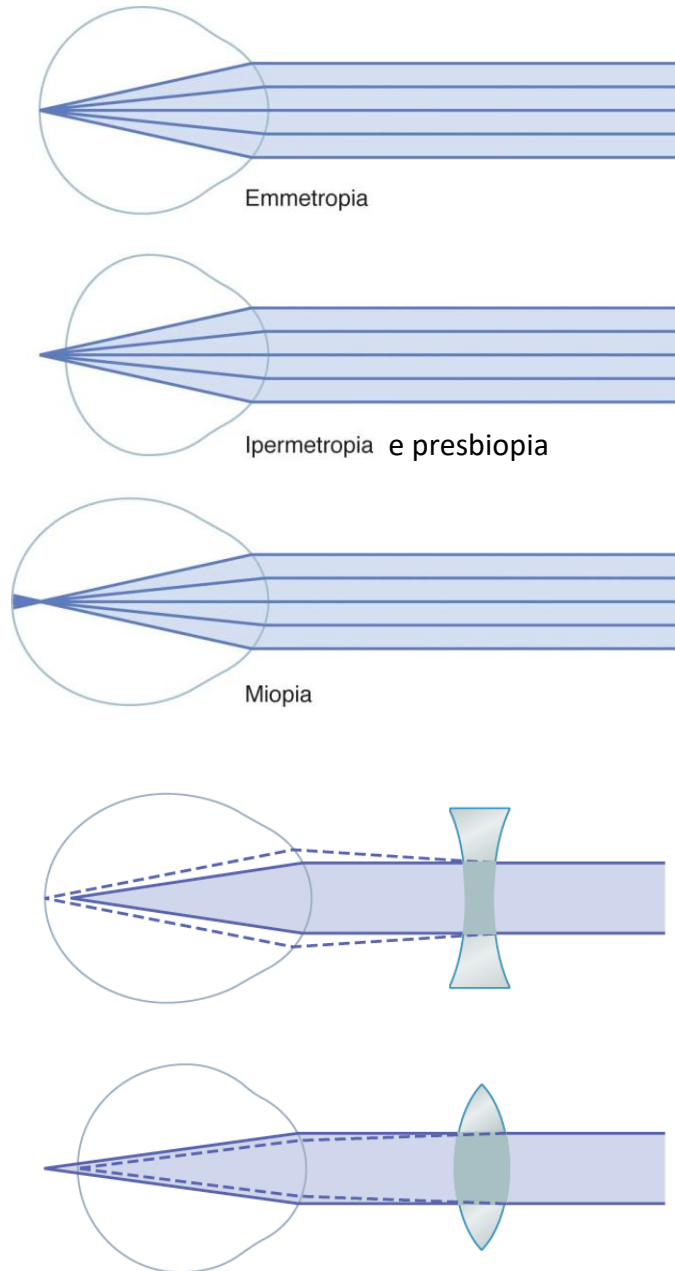
- L'occhio presenta **4 superfici di rifrazione**:
aria-cornea, cornea-umore acqueo, umore acqueo-cristallino, cristallino-umore vitreo
- **Cornea**: principale potere rifrattivo perchè grande differenza indice di rifrazione con l'aria con l'aria
- **'Occhio ridotto'**: modello semplificato rappresentato da una **lente unica**:
 - Piano principio della lente: **17 mm davanti alla retina**
 - **Lunghezza focale: 17 mm (59 diottrie)**, quando il cristallino è accomodato per visione lontana
- Le **immagini** sulla retina sono **invertite** (alto-basso, destra-sinistra), ma il **cervello le rielabora** restituendo la percezione corretta.

Diametro pupillare



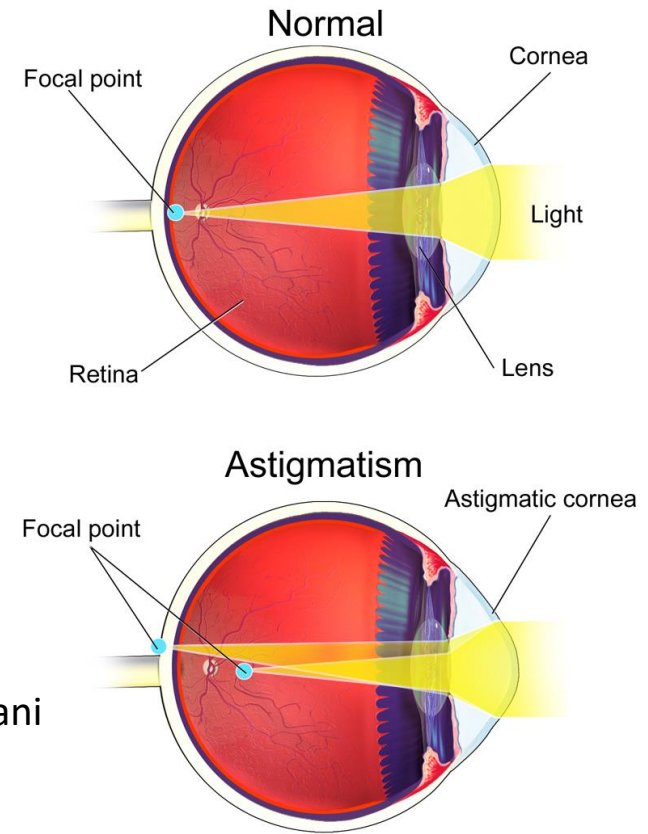
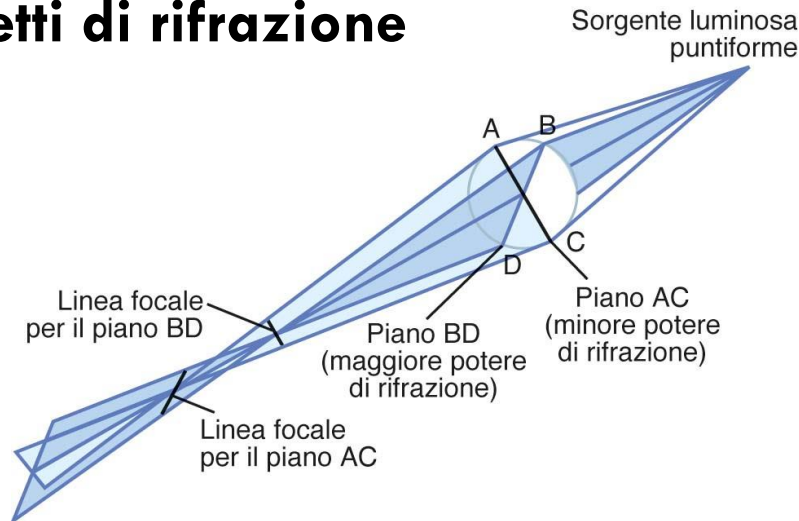
- La **dimensione della pupilla** contribuisce alla **chiarezza delle immagini** sulla retina
 - controllata dai muscoli dell'iride
 - nell'uomo può variare da 1,5 a 8 mm, la quantità di luce varia di 30x
- Le immagini oculari, come quelle di una fotocamera, sono soggette a **aberrazioni sferiche e cromatiche**, che riducono la nitidezza.
- **Ridurre il diametro pupillare:**
 - passano **solo i raggi centrali**, che sono **meno soggetti ad aberrazioni**
 - **aumenta la profondità di campo**: gli oggetti a distanze diverse proiettano immagini **più simili e meno sfocate**
- Tuttavia, una **pupilla troppo piccola** riduce la **quantità di luce** che raggiunge la retina → in condizioni di **bassa luminosità** la visione è limitata dai pochi fotoni disponibili.

Difetti di rifrazione



- **Emmetropia** (visione normale): quando raggi paralleli provenienti da oggetti lontani sono messi perfettamente a fuoco sulla retina con i muscoli ciliari completamente rilassati.
- **Ipermetropia** (difficoltà a vedere da vicino): occhio troppo corto o sistema di rifrazione debole (difetto congenito o anatomico). I raggi non sono rifratti abbastanza dal cristallino rilassato, e l'immagine è messa a fuoco al di là della retina. **Correzione: lente convessa**
- **Presbiopia** (difficoltà a vedere da vicino): **difetto acquisito con l'età** (dai 40–45 anni in poi), dovuto alla **perdita di elasticità del cristallino**, che **riduce l'accomodazione**. L'occhio non riesce più ad aumentare la curvatura del cristallino per mettere a fuoco gli oggetti vicini. **Correzione: lente convessa**
- **Miopia** (difficoltà a vedere da lontano): occhio troppo lungo o sistema di rifrazione eccessivo. Raggi troppo rifratti, immagine a fuoco davanti alla retina. **Correzione: lente concava**

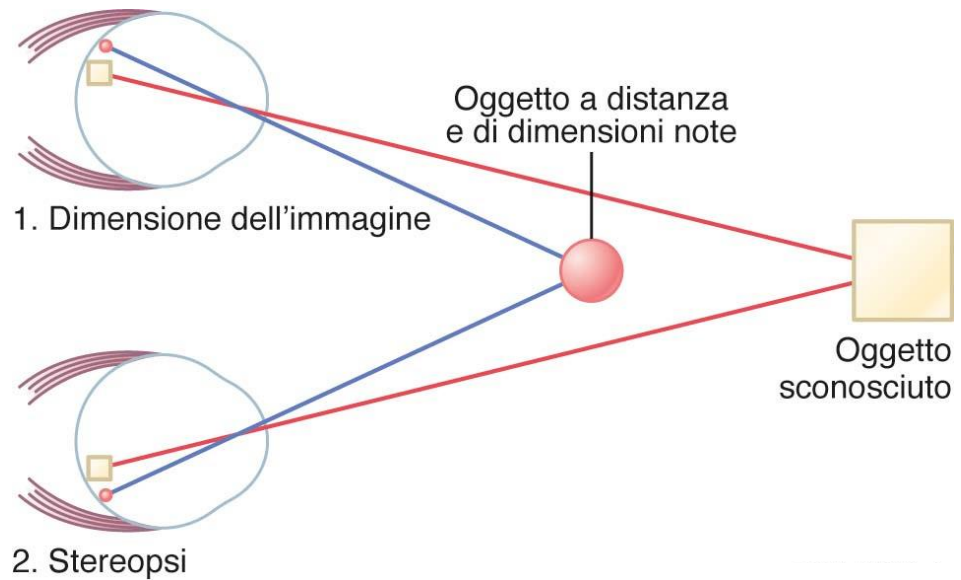
Difetti di rifrazione



Astigmatismo

- I raggi luminosi vengono messi a fuoco a **distanze diverse** in piani perpendicolari tra loro.
- Causa più comune: **cornea "a uovo"**, più curva in un asse che nell'altro → la **rifrazione è diversa** nei due assi → **immagine distorta o sfocata**.
- Si corregge con **lenti** che bilanciano la diversa curvatura.

Visione tridimensionale



La visione tridimensionale è percepita grazie a diversi **indizi visivi**:

- **Dimensione apparente** di oggetti noti:
se conosciamo la grandezza reale (es. una persona $\approx 1,80$ m), il cervello **stima la distanza** in base alla **dimensione dell'immagine retinica**.
- **Parallasse di movimento**: muovendo la testa, **gli oggetti vicini si spostano di più** nel campo visivo rispetto a quelli lontani.
- **Stereopsi (visione binoculare)**: ciascun occhio riceve un'immagine **leggermente diversa**; il cervello **confronta le due immagini** per calcolare la **distanza relativa** degli oggetti
 - se la disparità è grande \rightarrow l'oggetto è **vicino**
 - se la disparità è piccola \rightarrow l'oggetto è **lontano**

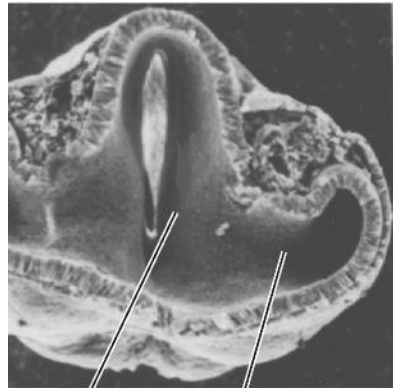
Riassumendo



- Le **lenti concave e convesse** si caratterizzano per **indice di rifrazione** e **lunghezza focale**.
- Le **strutture anatomiche dell'occhio** permettono di **mettere a fuoco l'immagine** sulla **retina**.
- **Accomodazione del cristallino** e **diametro pupillare** regolano la **messa a fuoco** a diverse distanze.
- I **difetti di rifrazione** (miopia, ipermetropia, astigmatismo, presbiopia) causano i **principali disturbi visivi**.

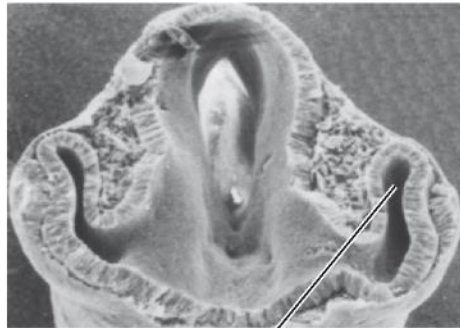
La retina è parte del SNC

(A) Embrione di 4 mm



Ventricolo Vescicola ottica

(B) Embrione di 4,5 mm



Calice ottico

(C) Embrione di 5 mm



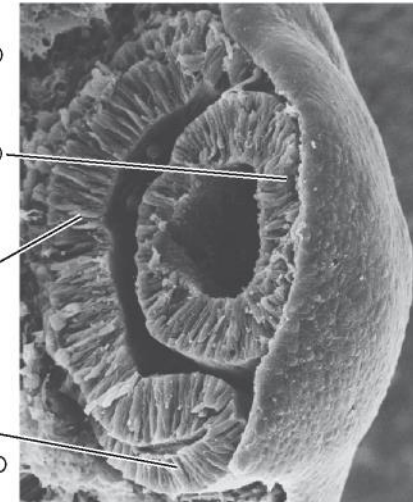
Abbozzo
del
cristallino

Cristallino

Retina

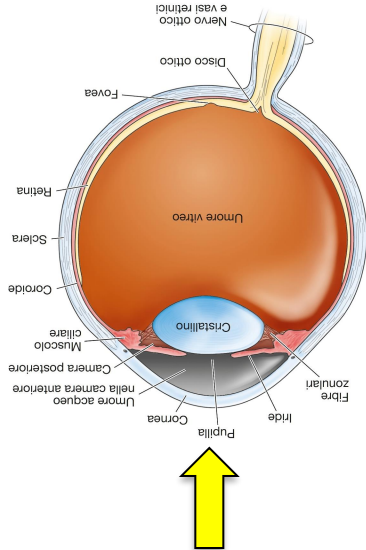
Epitelio
pigmentato

(D) Embrione di 7 mm

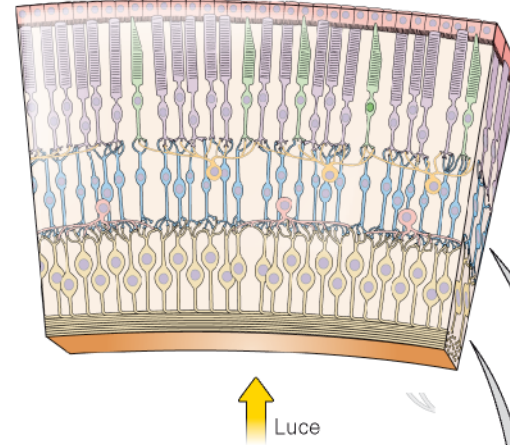


Nonostante la sua posizione periferica, la retina — la parte neurale dell'occhio — è in realtà una componente del sistema nervoso centrale. Durante lo sviluppo, la retina si forma come una protrusione del diencefalo, chiamata vescicola ottica.

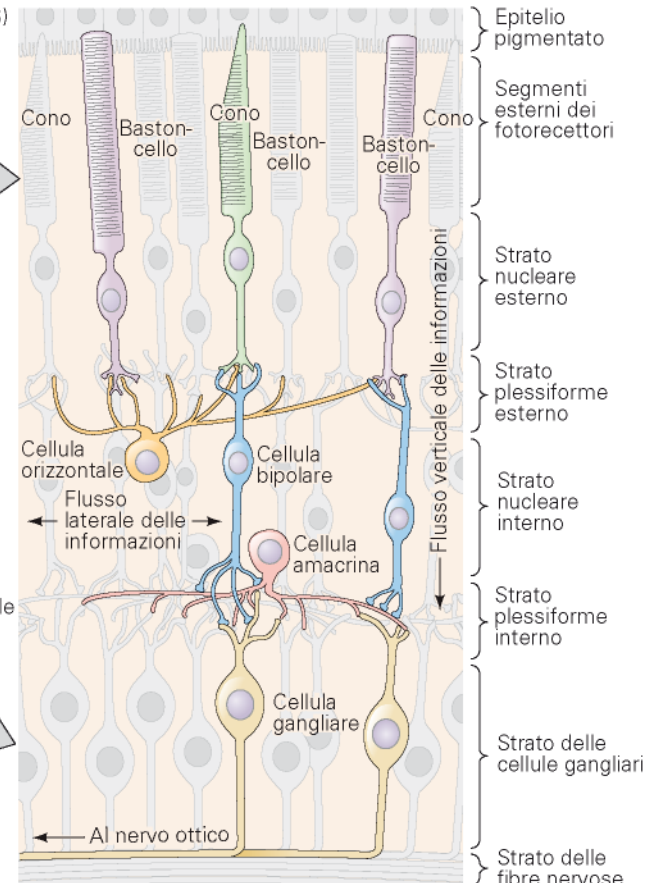
I circuiti retinici



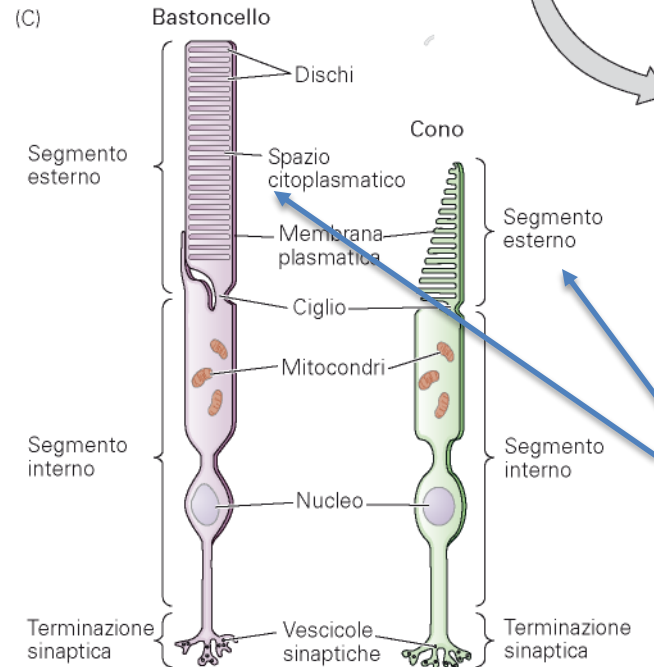
(A) Sezione di retina



(B)



(C)

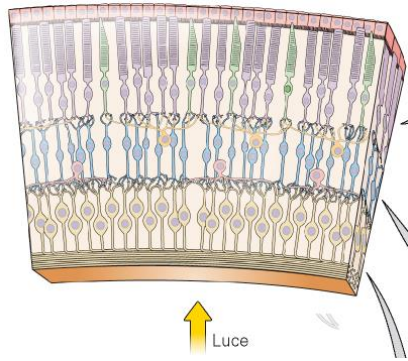


Fototrasduzione

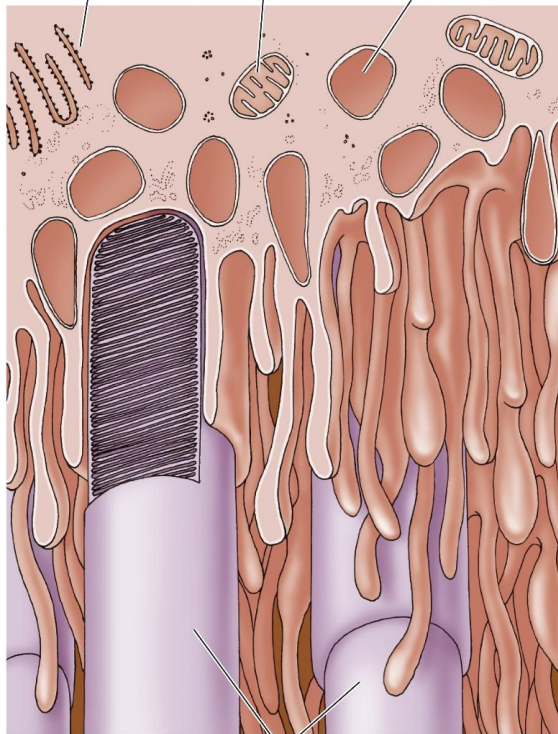
Nella retina si distinguono cinque classi principali di neuroni:

- Fotorecettori (coni e bastoncelli)
- cellule bipolari
- cellule gangliari → nervo ottico
- cellule orizzontali
- cellule amacrine

L'epitelio pigmentato



(A) Reticolo endoplasmatico Mitocondrio Pigmento

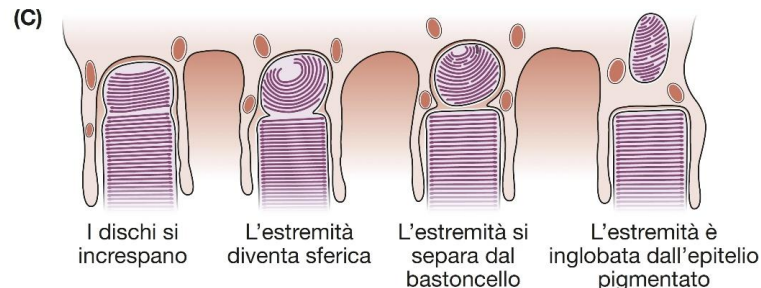


Bastoncelli

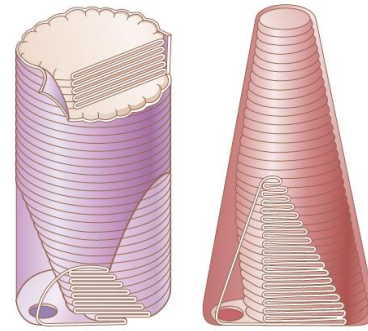
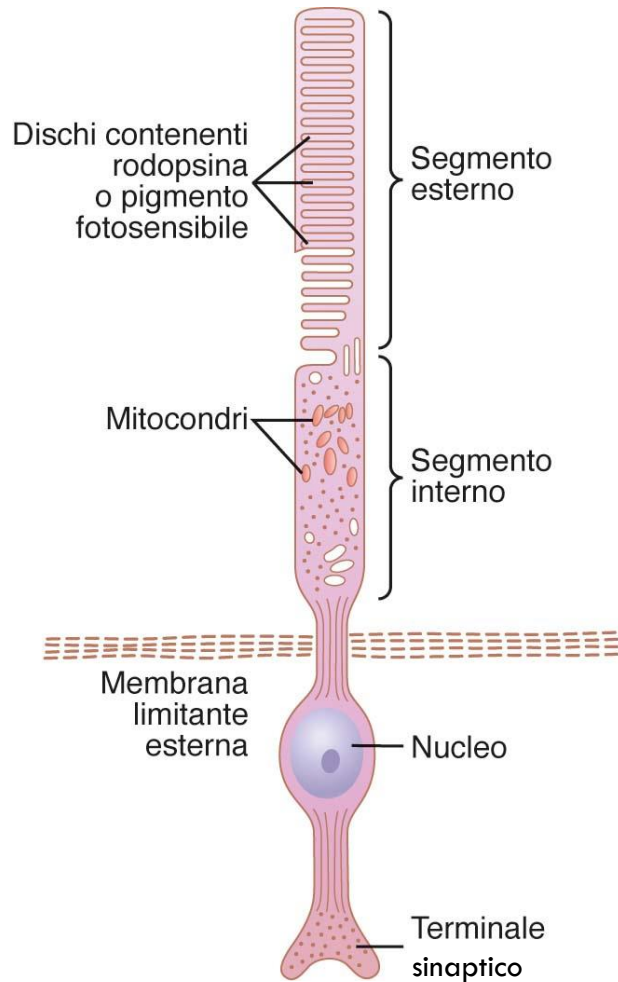
Perché la luce deve attraversare diversi elementi della retina (e la vascolarizzazione retinica) prima di raggiungere i segmenti esterni dei fotorecettori dove avviene la fototrasduzione?

- Stretto rapporto tra i segmenti esterni dei fotorecettori e l'**epitelio pigmentato**. Le cellule dell'epitelio pigmentato possiedono lunghi prolungamenti che circondano le estremità dei segmenti esterni di ciascun fotorecettore, con 3 funzioni fondamentali:
 - I dischi membranosi del segmento esterno, che contengono fotopigmento proteine della fototrasduzione, hanno una vita media di circa 12 giorni. Nuovi dischi si formano alla base, migrano verso la punta, dove sono fagocitati dall'epitelio pigmentato
 - L'epitelio pigmentato rigenera le molecole di fotopigmento dopo l'esposizione alla luce.
 - L'epitelio pigmentato contiene **melanina** → impedire che la luce sia riflessa in tutte le direzioni all'interno del bulbo oculare (**persone affette da albinismo** infatti hanno una scarsa acuità visiva in quanto lo strato pigmentato è privo di melanina)
- Inoltre, i capillari della coroide, situati al di sotto dell'epitelio pigmentato, costituiscono la principale fonte di nutrimento per i fotorecettori.

***distacco della retina: distacco dall'epitelio pigmentato**

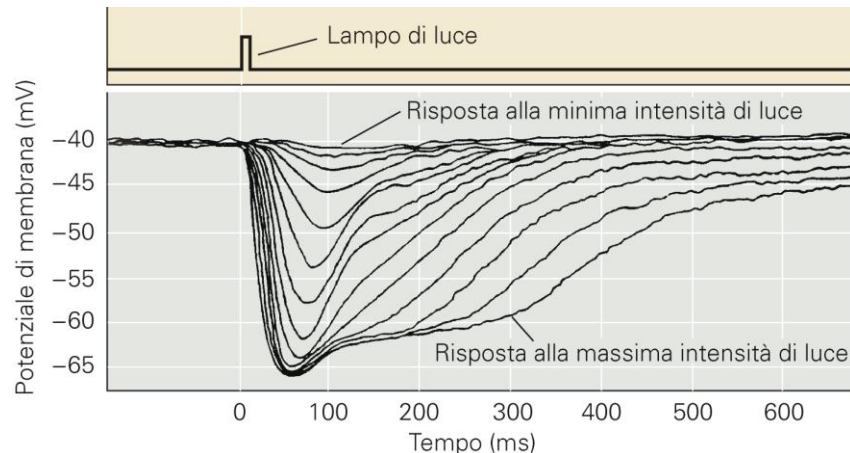
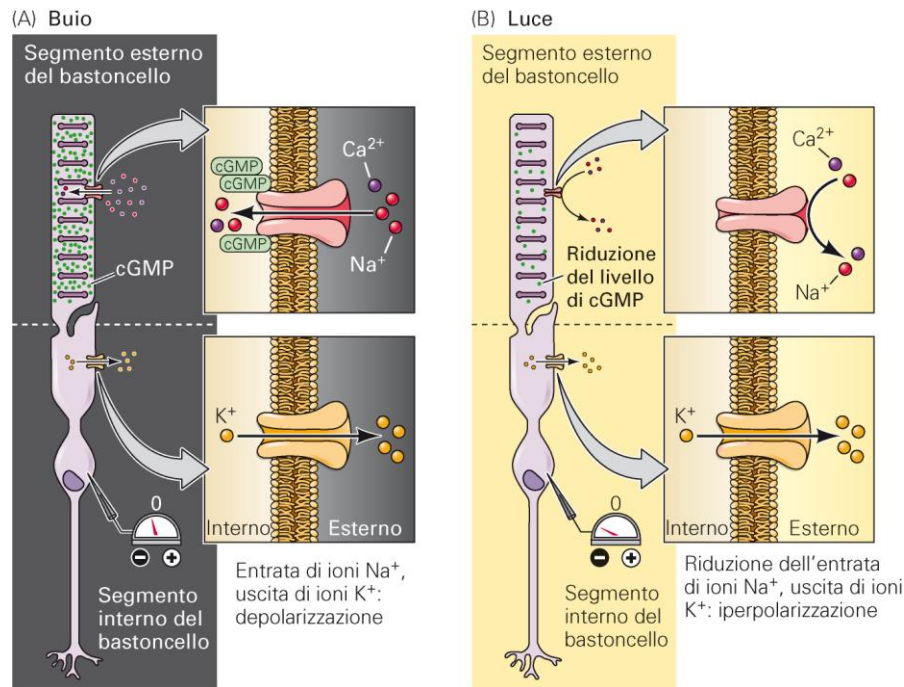


I fotocettori (coni e bastoncelli)



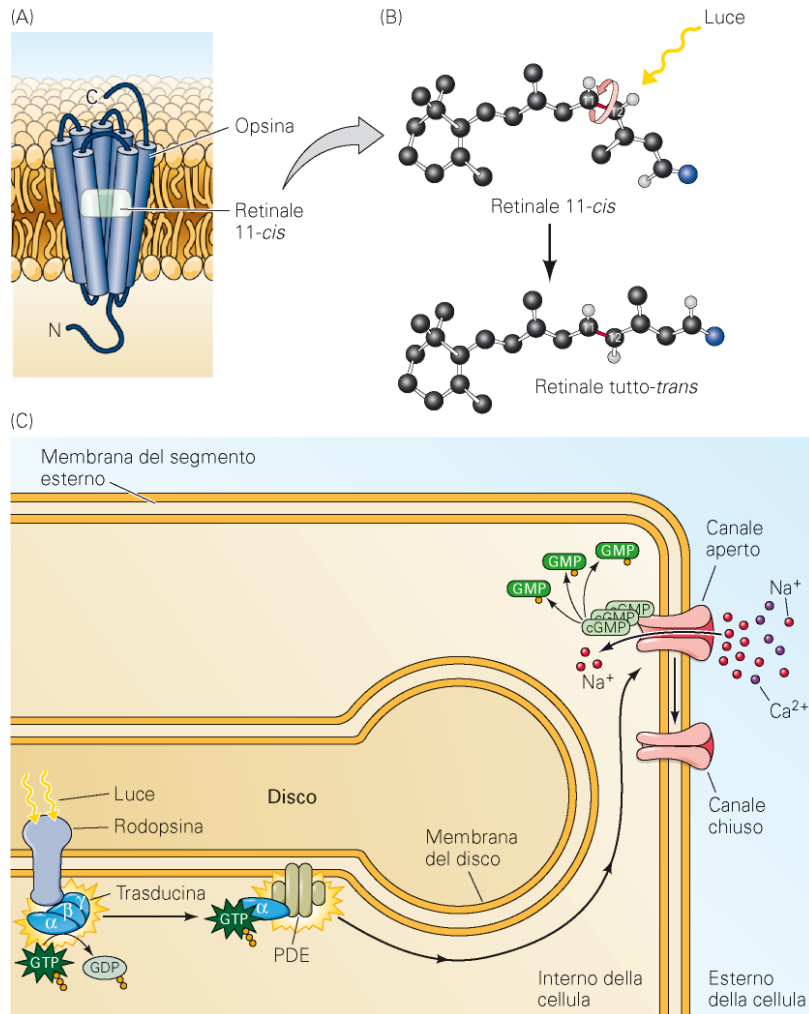
- **Segmento esterno:** forma conica nei coni, cilindrica nei bastoncelli. Costituito da numerosi **dischi** (invaginazioni di membrana, separati dalla membrana plasmatica nei bastoncelli, continui con la membrana plasmatica nei coni) che contengono i pigmenti fotosensibili
- **Segmento interno:** contiene il citoplasma e gli organelli, in particolare i **mitocondri**
- **Corpo cellulare:** ospita il nucleo
- **Terminazione sinaptica:** connette i fotorecettori con le cellule orizzontali e bipolari

Fototrasduzione



- Date le brevi distanze, i fotorecettori **non generano potenziali d'azione**, ma solo **potenziali graduati** (solo le cellule gangliari generano veri potenziali d'azione nella retina)
- In **oscurità**, concentrazione elevata del second messenger guanosine monofosfato ciclico (cGMP) → i canali **cGMP-dipendenti** sono aperti → flusso di **Na⁺ e Ca²⁺ in ingresso** → i fotorecettori **sono depolarizzati** (~-40 mV) → rilascio continuo del neurotrasmettitore **glutammato**
- Alla **luce**, l'assorbimento di fotoni provoca la **riduzione del cGMP** → chiusura dei canali Na⁺/Ca²⁺ → **iperpolarizzazione** (~-65 mV) → **diminuzione del rilascio di glutammato**

Fototrasduzione

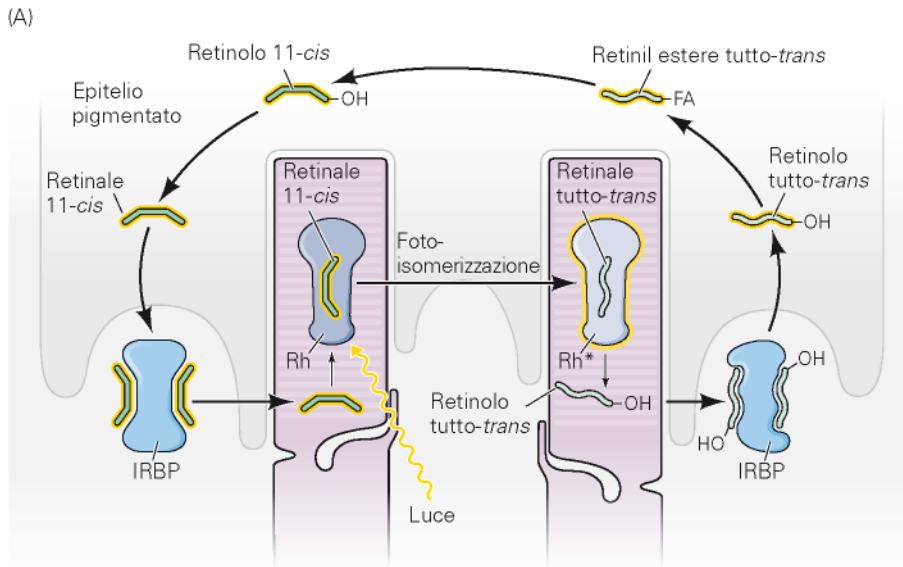


*****Amplificazione massima: 1 fotone
→ 1 rodopsina attiva ~800 trasducine
→ chiusura di ~200 canali → $\Delta V \approx 1$ mV**

Che cosa genera i cambiamenti di cGMP?

- **Assorbimento di 1 fotone** da una parte della rodopsina (opsina + cromoforo retinale) sulla membrana dei dischi
L'opsina appartiene alla famiglia dei 7 transmembrane receptors; il retinale deriva dalla vitamina A (carenze vitamina A → cecità notturna)
- **Isomerizzazione del retinale** da 11-cis a tutto-trans
- **Attivazione dell'opsina**, che stimola la **trasducina** (appartenente alla famiglia delle proteine G)
- La trasducina **attiva la fosfodiesterasi (PDE)** sulla membrana del disco → **idrolisi del cGMP**
- **↓ cGMP** → **chiusura** dei canali cationici → **iperpolarizzazione** del fotorecettore
- **Terminazione:** La rodopsina attivata è **fosforilata** dalla rodopsina chinasi e ciò permette all'**arrestina** di legarsi alla rodopsina → interruzione della cascata.

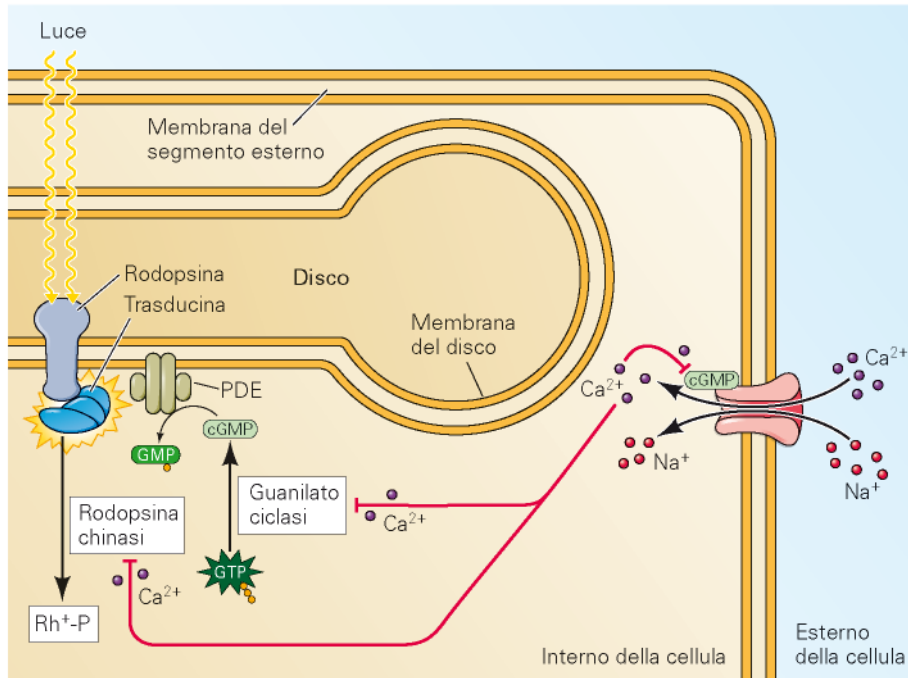
Rigenerazione del fotopigmento



Questo ciclo dei retinoidi è essenziale per mantenere la sensibilità alla luce dei fotorecettori, anche in condizioni di forte illuminazione.

- Dopo l'assorbimento di luce, il **retinale tutto-trans** si **dissocia** dall'opsina
- Nel **segmento esterno** è convertito in **retinolo tutto-trans**
- Il **retinolo** è trasportato nell'**epitelio pigmentato** dalla proteina **IRBP** (*interphotoreceptor retinoid-binding protein*).
- Nell'epitelio pigmentato, enzimi specifici lo **riconvertono in 11-cis retinale**
- L'**11-cis retinale** torna nel fotorecettore (sempre tramite IRBP) e si **ricombina con l'opsina**, rigenerando il **fotopigmento funzionale**

Adattamento alla luce



La sensibilità dell'occhio può variare fino a **1 milione di volte**. Ciò ci permette di vedere bene sia in pieno sole sia di notte

- **Luce bassa** → **massima sensibilità** dei fotorecettori
- **Luce intensa** → la **sensibilità diminuisce**, evitando la saturazione → estende l'intervallo dinamico di risposta.

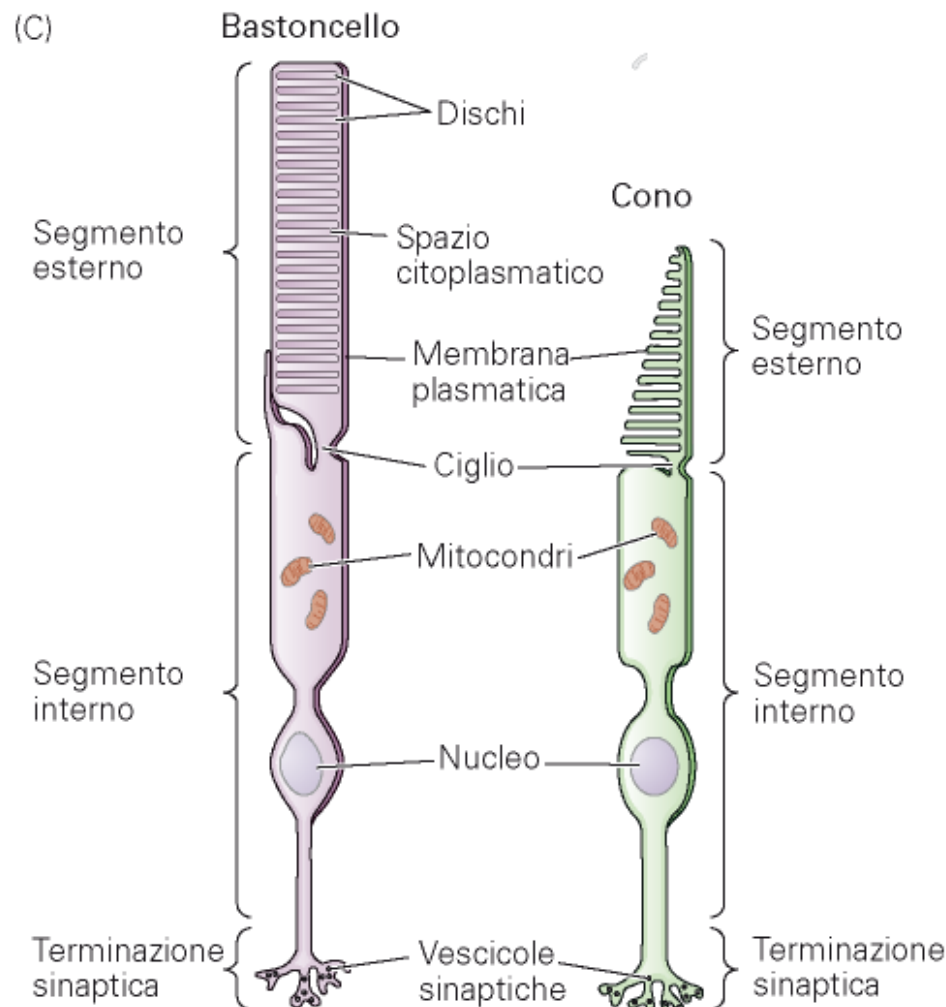
Meccanismo

- I canali **cGMP-dipendenti** sono **permeabili a Na⁺ e Ca²⁺** (*second messenger*)
- Alla luce → **chiusura dei canali** → ↓ **Ca²⁺ intracellulare**
- La riduzione di Ca²⁺ induce:
 - ↑ **attività della guanilato ciclasi** → ↑ **cGMP** → favorisce la riapertura dei canali
 - ↑ **affinità dei canali per il cGMP** → favorisce la riapertura dei canali
 - ↑ **attività della rodopsina chinasi** → ↑ legame di **arrestina** → disattivazione più rapida della rodopsina.

Altri meccanismi di adattamento

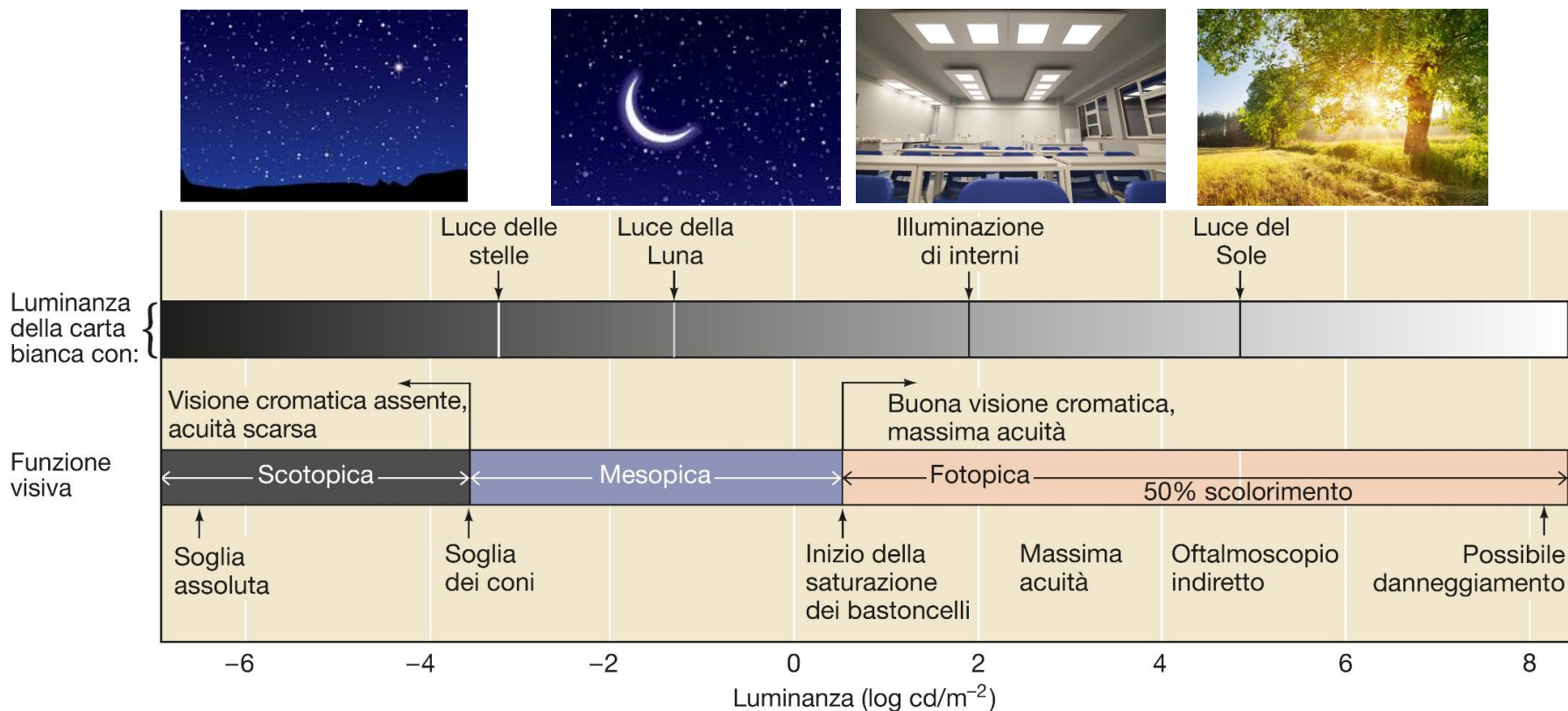
- Le **interazioni sinaptiche** tra **cellule orizzontali** e **fotorecettori** contribuiscono ulteriormente alla regolazione della sensibilità.

Specializzazioni coni e bastoncelli



- **Coni e bastoncelli** si distinguono per
 - forma,
 - tipo di fotopigmento
 - distribuzione sulla retina
 - connessioni sinaptiche
- **Bastoncelli:**
 - Alta sensibilità alla luce, ma **bassa risoluzione spaziale**
 - Specializzati per la **visione in condizioni di scarsa illuminazione** (visione scotopica)
- **Coni:**
 - **Alta risoluzione spaziale**, ma minore sensibilità alla luce.
 - Specializzati per la **visione diurna e dei colori** (visione fotopica).

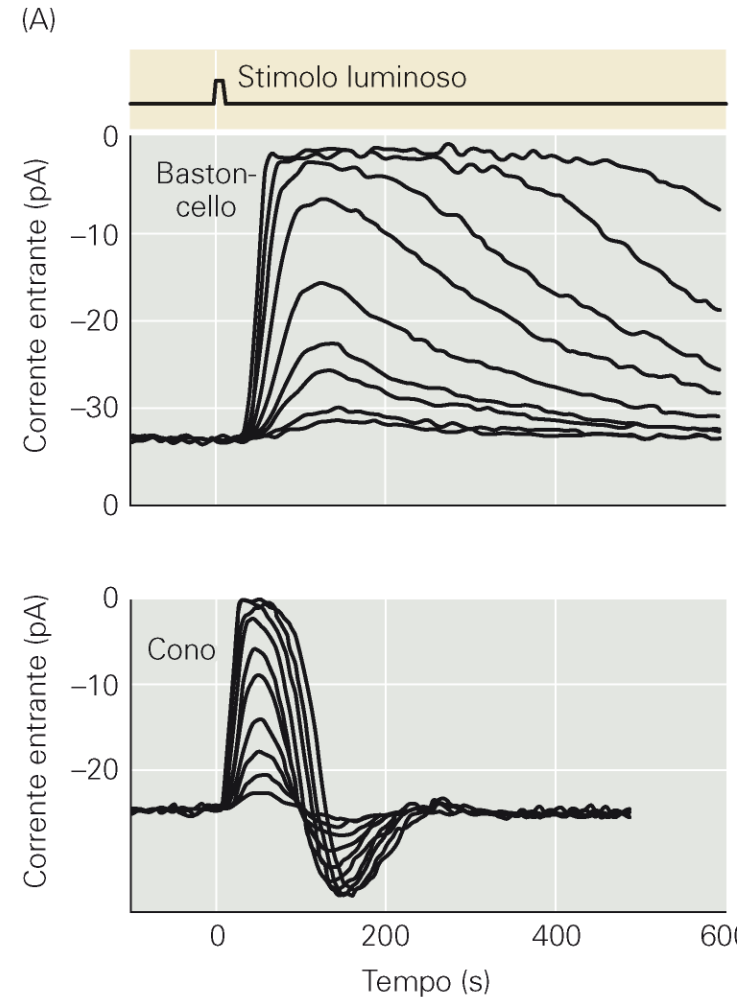
Specializzazioni coni e bastoncelli



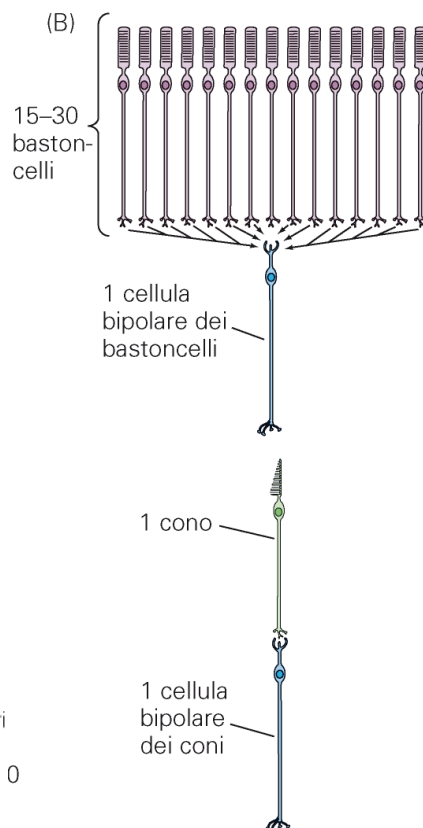
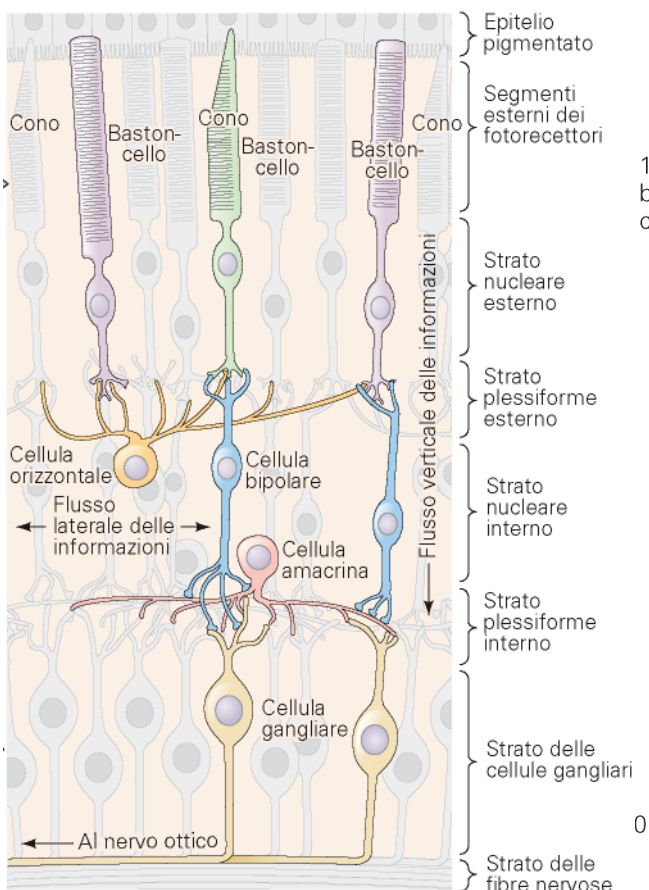
- **Bassi livelli di illuminazione:** sono attivi solo i **bastoncelli** → **visione scotopica:** assenza di colori (coni inattivi) e **bassa risoluzione spaziale**. **Perdita funzionalità bastoncelli** → **cecità notturna**
- **Alti livelli di illuminazione:** i **bastoncelli** sono saturati, e i **coni** sono responsabili della visione → **visione fotopica**. **Le persone che hanno perso la funzionalità dei coni** → **legalmente cieche**
- **Livelli intermedi:** sono attivi **sia bastoncelli che coni** → **visione mesopica**

Specializzazioni coni e bastoncelli

- **Differenze nei meccanismi di fototrasduzione** spiegano la diversa **sensibilità alla luce** di bastoncelli e coni
 - I **bastoncelli** (come abbiamo visto) possono rispondere in modo affidabile (1 mV) anche a **un singolo fotone**
 - I **coni** richiedono invece **oltre 100 fotoni** per generare una risposta comparabile
- I **coni non** vanno incontro a **saturazione** anche con alti livelli di illuminazione costante, mentre i **bastoncelli sì**
- Entrambi si **adattano** a diverse condizioni di luminanza, ma i **coni** possiedono **meccanismi di adattamento più efficaci**
- La **risposta dei coni** a un lampo luminoso intenso **recupera in circa 200 ms**, oltre **quattro volte più rapidamente** rispetto ai bastoncelli



Specializzazioni coni e bastoncelli



Coni e bastoncelli contattano le stesse cellule gangliari (una determinata cellula gangliare risponde a entrambi i tipi di fotorecettore a seconda dei livelli di illuminazione)

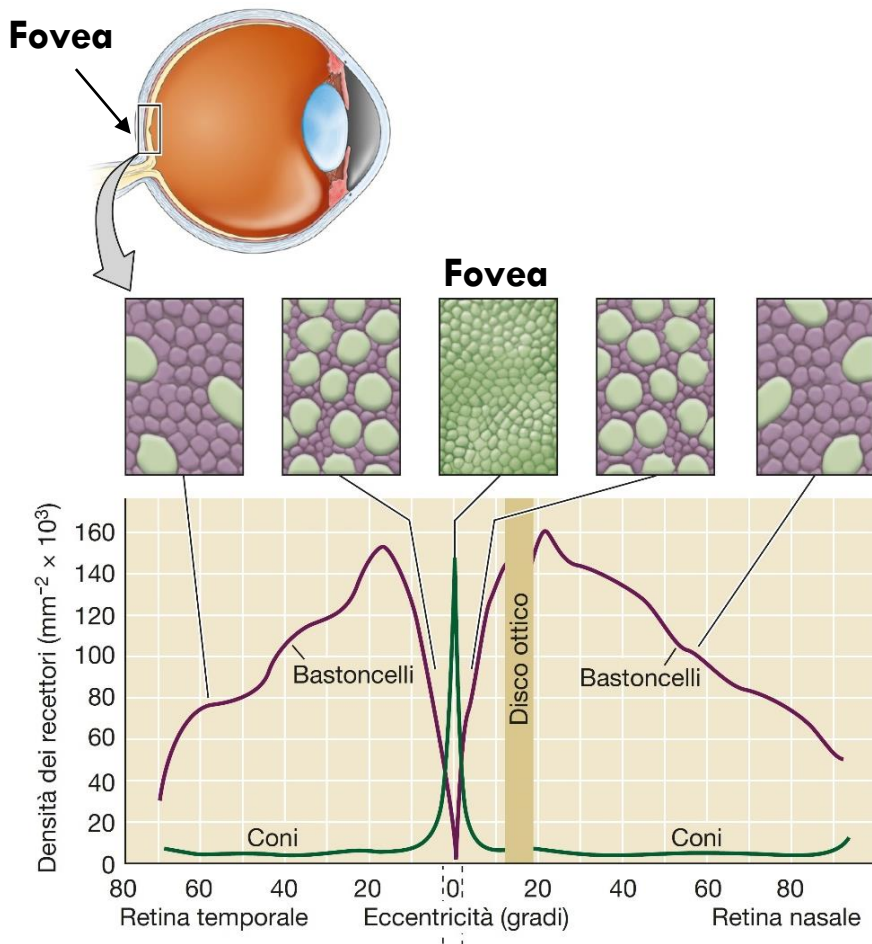
Bastoncelli:

- Contattano cellule bipolari **specifiche per i bastoncelli**, che **non contattano direttamente** le cellule gangliari ma **cellule amacrine specializzate**, che a loro volta contattano le **bipolari dei coni e cellule gangliari**.
- Circuito **altamente convergente** → **alta sensibilità ma bassa acuità visiva (=risoluzione spaziale)**.

Coni:

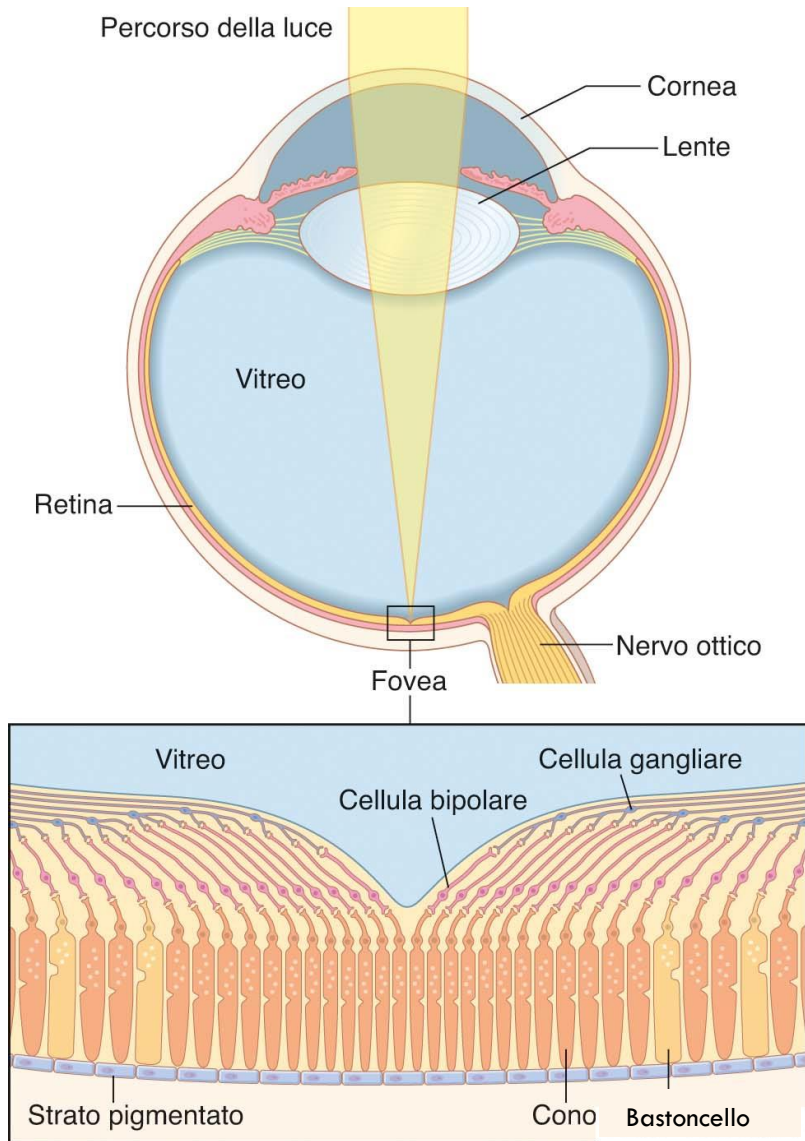
- Circuito **poco convergente**: ogni **cellula gangliare (nana)** riceve input da **un solo cono** tramite **una sola cellula bipolare** → Permette **elevata acuità visiva** ma **minor sensibilità**.

Localizzazione coni e bastoncelli



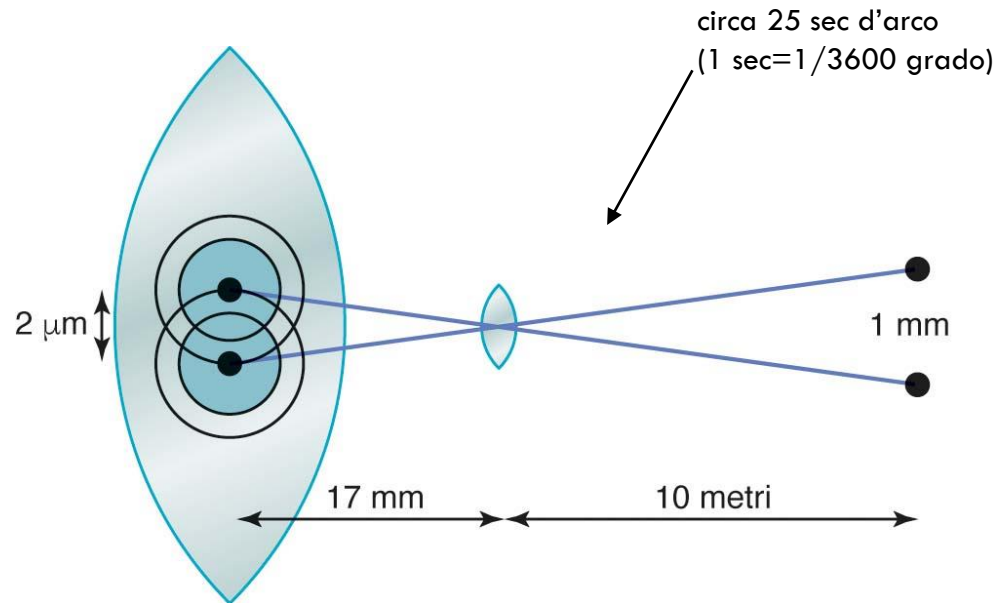
- Nella retina umana ci sono circa **90 milioni di bastoncelli** e **4,5 milioni di coni**
- I **bastoncelli** predominano in quasi tutta la retina, ma **non nella fovea** → maggiore **sensibilità alla luce**, ma minore **risoluzione spaziale al di fuori della fovea** (è più facile riuscire a vedere una stella fioca distogliendo lo sguardo)
- Nella **fovea** ($\approx 1,2$ mm di diametro):
 - La **densità dei coni aumenta fino a 200 volte**, raggiungendo il massimo al centro (**foveola**; $300 \mu\text{m}$ di diametro, completamente **priva di bastoncelli**)
 - I **coni foveali** sono più piccoli e fitti → **massima acuità visive** (motivo per cui muoviamo continuamente occhi e testa verso ciò che stiamo guardando)

Localizzazione coni e bastoncelli



- La foveola non è anche **vascolarizzata** e le **cellule interne sono dislocate lateralmente** → ciò riduce la **diffusione della luce** e migliorando l'acuità visiva
- La foveola dipende dalla coroide e dall'epitelio pigmentato per le sue esigenze metaboliche

Massima acuità visiva



Acuità visiva: capacità di percepire due punti come distinti

- Il diametro dei coni **nella fovea** è di circa 1.5 μm
- Nella zona di massima risoluzione spaziale, due punti sono percepiti come separati se proiettano immagini sulla fovea distanti **almeno ~2 μm**
- A una distanza di **10 m**, questo equivale a distinguere due punti separati da circa **1,5-2 mm**

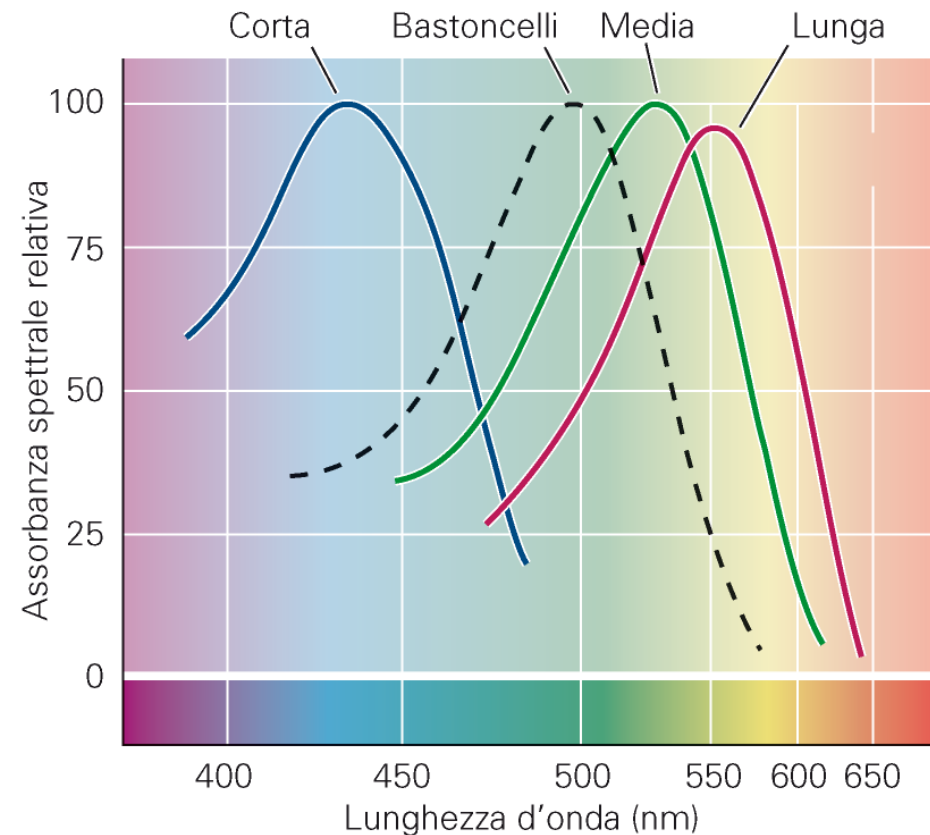


Visione a colori



Visione a colori

La **percezione del colore** consente di distinguere oggetti in base alla **lunghezza d'onda della luce**, aggiunge una dimensione percettiva utile quando la **luminanza** (intensità della luce) non basta



- La visione dei colori dipende dalle **proprietà dei coni**, non dai bastoncelli.
- Esistono **tre tipi di coni**, ciascuno con un fotopigmento diverso:
 - **S-coni (blu)** → più sensibili a lunghezze d'onda **corte**
 - **M-coni (verde)** → più sensibili a lunghezze **medie**
 - **L-coni (rosso)** → più sensibili a lunghezze **lunghe**
- **Ogni cono, preso singolarmente, è 'daltonico':** la sua risposta (=iperpolarizzazione potenziale di membrana) riflette solo il numero totale di fotoni assorbiti e non la lunghezza d'onda (=colore) del fotone
- La **percezione cromatica** nasce dal **confronto dell'attività** tra i tre tipi di coni nella retina, nel talamo e soprattutto nella corteccia (percezione cosciente dei colori: the redness of red)

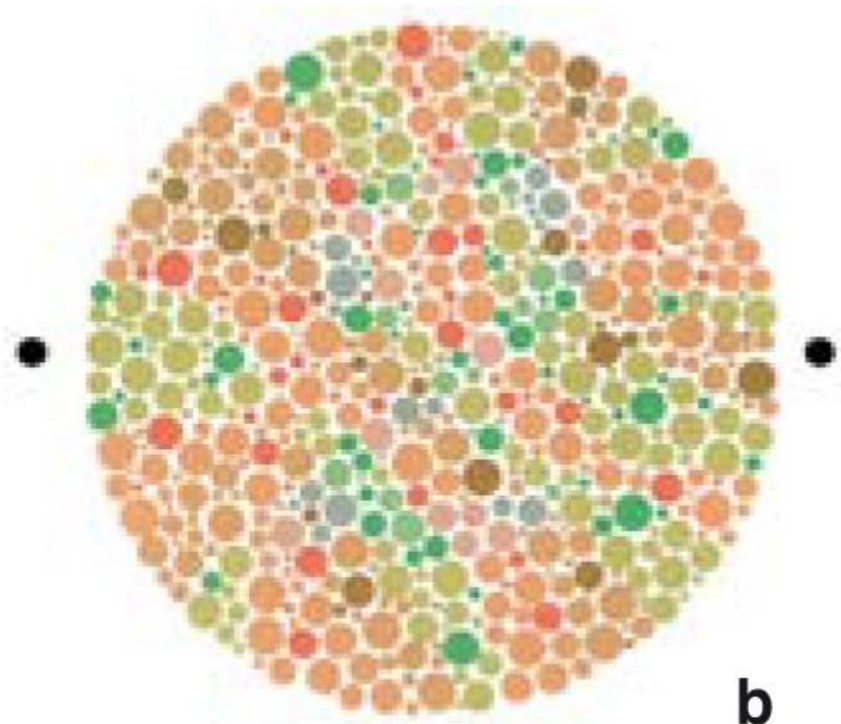
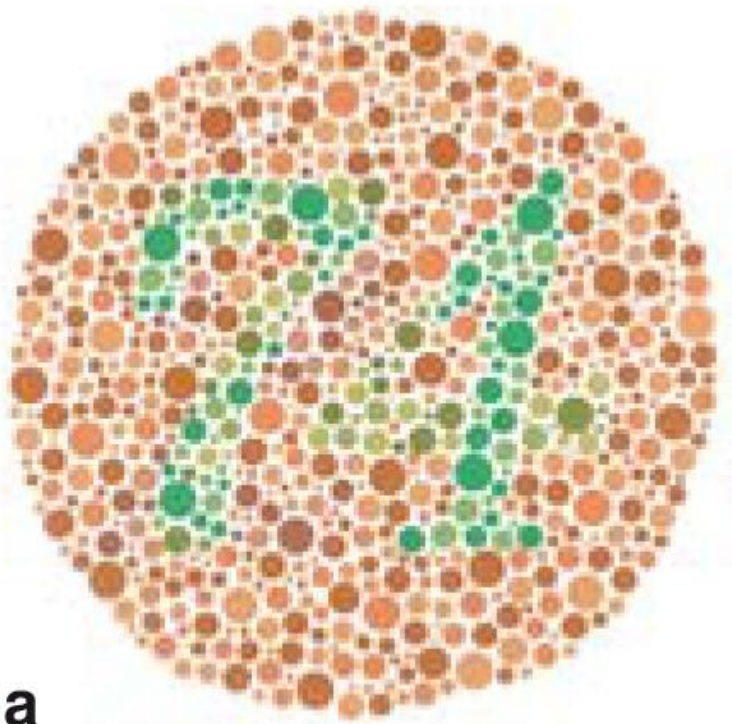
Visione a colori



Visione a colori

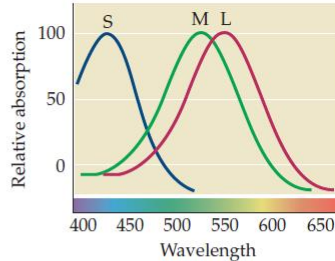


Anomalie della visione a colori

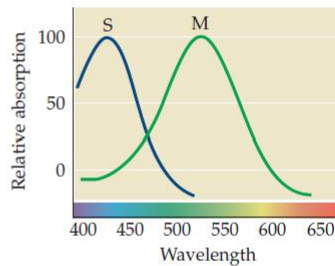


Anomalie della visione a colori

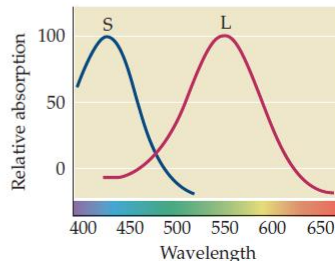
(A) Normal (trichromat)



(B) Protanopia



(C) Deuteranopia



Circa **8%** degli uomini presenta **deficit cromatici** (daltonismo)

➤ Per alcuni la visione è dicromatica:

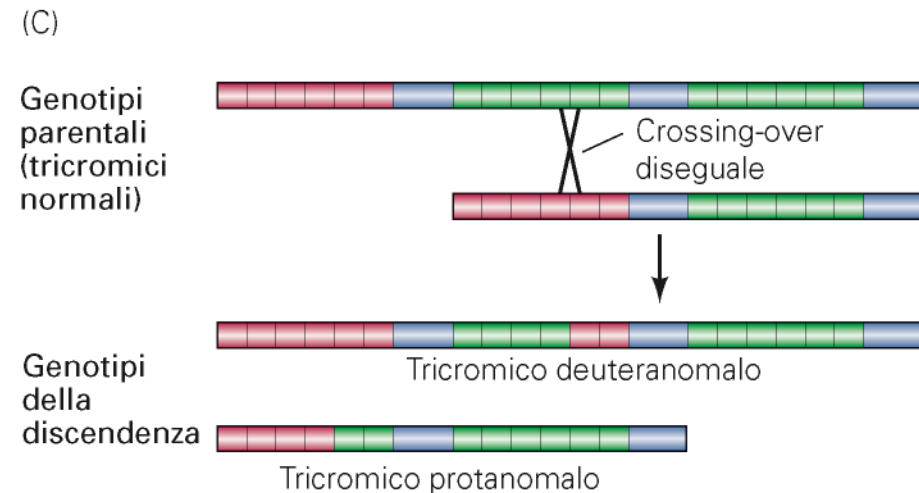
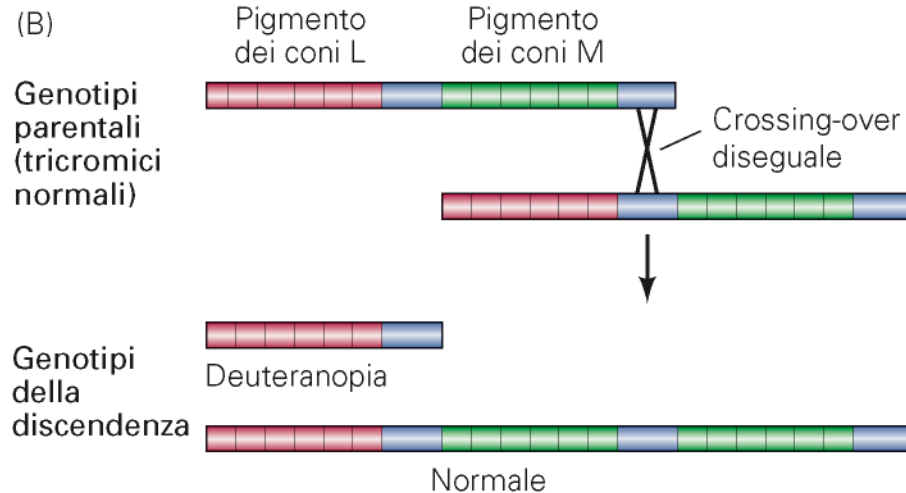
- **Protanopia** → deficit per lunghezze **lunghe** (rosso)
- **Deuteranopia** → deficit per lunghezze **medie** (verde)
- **Tritanopia** → rara, deficit per lunghezze **corte** (blu)

Protanopia e deuteranopia = daltonismo rosso-verde

➤ La maggior parte delle persone con deficit cromatici sono **tricromatici anomali** (non dicromatici); necessitano di intensità maggiori di specifiche λ per percepire i corrispettivi colori

- **Protanomalia** → serve maggiore stimolazione **rosso** (lunghe λ)
- **Deuteranomalia** → serve maggiore stimolazione **verde** (medie λ)
- **Tritanomalia** → serve maggiore stimolazione **blu** (corte λ)

Basi genetiche



I difetti derivano da:

- **assenza o alterazione** dei geni dei fotopigmenti, oppure
- (più raramente) **lesioni cerebrali** nelle aree che elaborano il colore

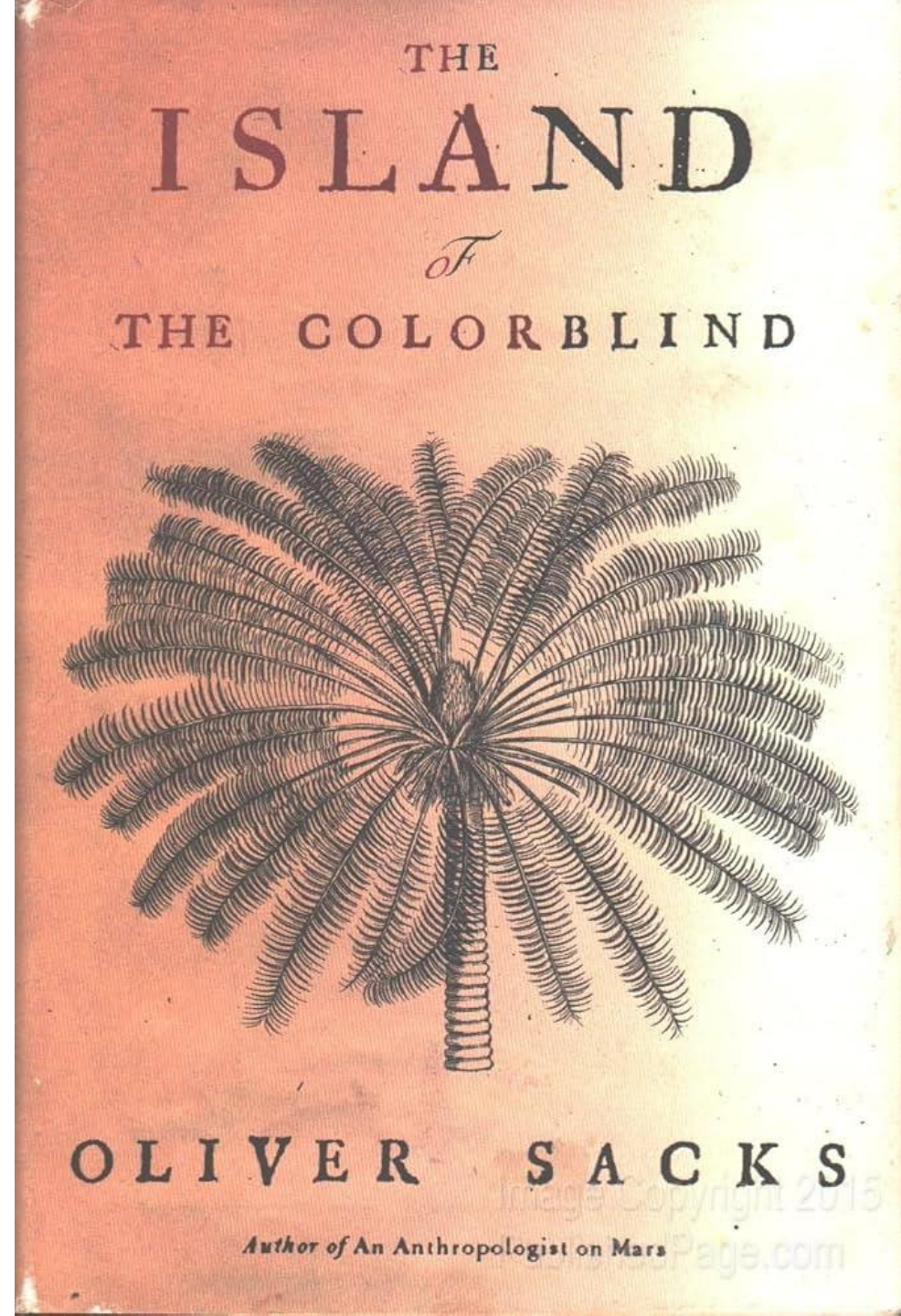
Gene del fotopigmento blu → su **cromosoma 7**, più diverso dagli altri due per sequenza

Geni dei pigmenti rosso e verde → molto simili tra loro originati per duplicazione nei primati e localizzati **sull'X** → spiega la **prevalenza daltonismo nei maschi**

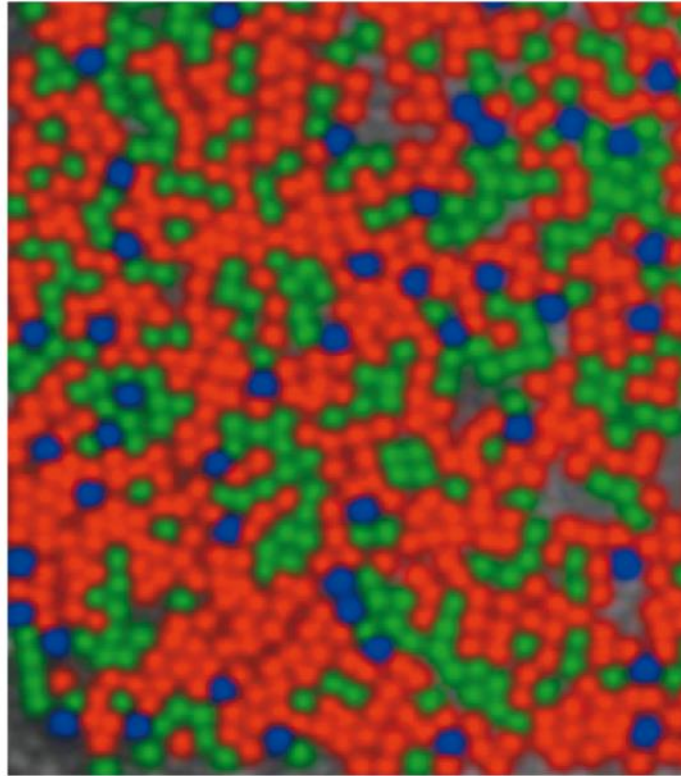
- 1 gene per il **rosso**, fino a **5 per il verde**
- **Dicromatici** → ricombinazione disuguale tra fotopigmenti rosso e verde (che sono molto simili) → perdita di uno di essi (sinistra in figura)
- **Tricromatici anomali** → ricombinazione disuguale tra fotopigmenti rosso e verde → formazione di fotopigmenti ibridi con spettri più sovrapposti (destra in figura)

Anomalie della visione a colori

- **Acromatopsia congenita:** una rara forma di cecità completa ai colori
- **Circa il 10% degli abitanti** di una piccola isola del Pacifico è completamente **daltonico (acromatico)** e molti altri sono **portatori** (difetto genetico: i canali cGMP-dipendenti nei coni non sono funzionanti)
- I soggetti **vedono solo in scala di grigi**, con **ipersensibilità alla luce (fotofobia)** e **bassa acuità visiva**
- ma hanno una **migliore percezione delle sfumature di luminosità** in condizioni di **bassa intensità luminosa**
- In ambienti **forestali o ombrosi**, dove il colore conta meno e i contrasti di luce sono sottili, questa sensibilità **potrebbe offrire un vantaggio visivo**



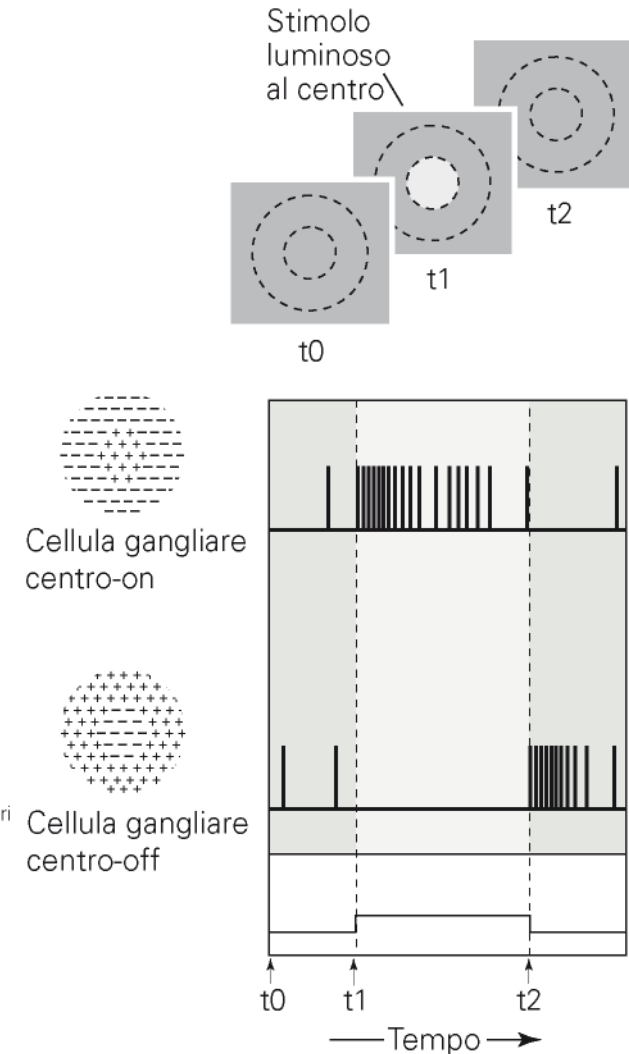
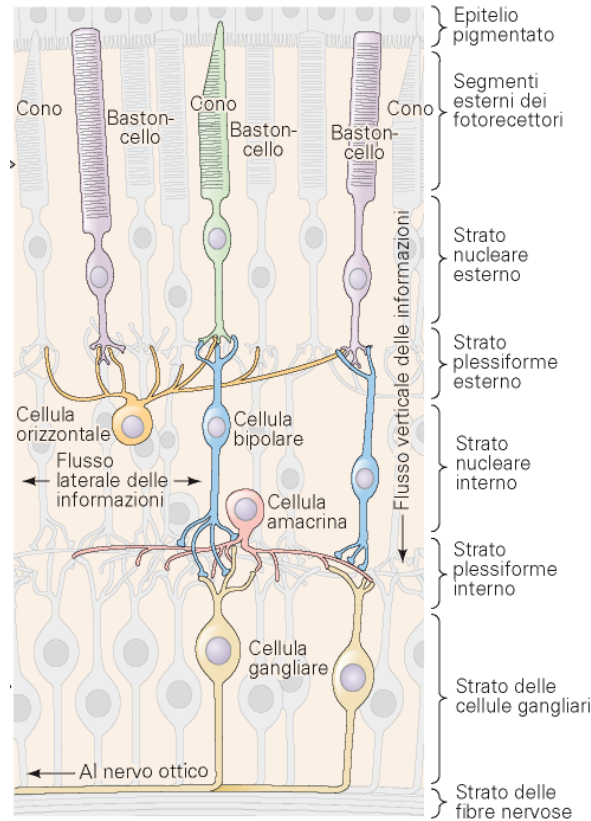
Numero relativo dei coni S, M e L



- **S-coni:** solo **5–10%** dei coni, **assenti nella fovea centrale**
- **M- e L-coni:** predominanti; il **rapporto M:L varia** molto tra individui (da 4:1 a 1:1) senza alterare la percezione

Circuiti retinici per luminosità

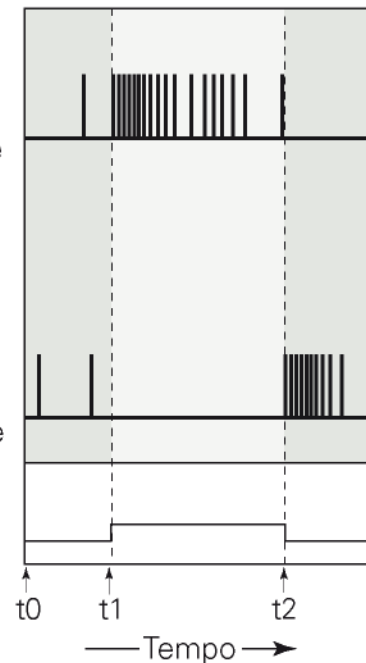
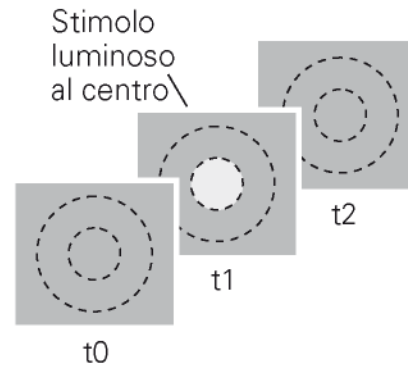
- Ogni **cellula gangliare** risponde a uno **specifico punto della retina**, detto **campo recettivo**.
- Stephen Kuffler (anni '50) scoprì due tipi di cellule gangliari:
 - **ON-center** → **attivate** da **incrementi** di luce nel centro del campo recettivo
 - **OFF-center** → **inibite** da **incrementi** di luce nel centro del campo recettivo



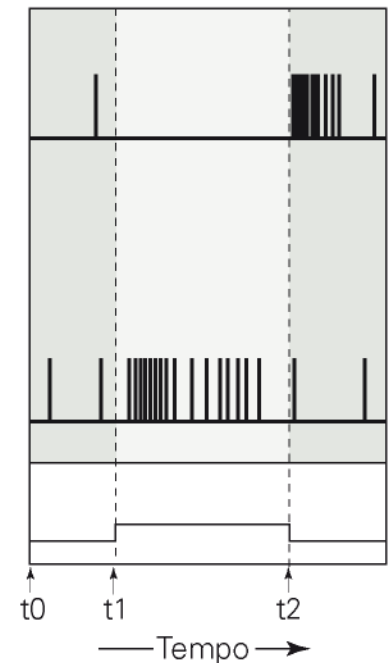
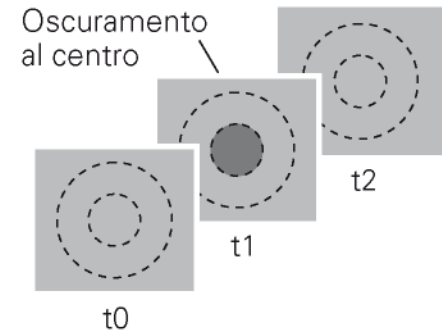
Circuiti retinici per luminosità

- Ogni **cellula gangliare** risponde a uno **specifico punto della retina**, detto **campo recettivo**.
- Stephen Kuffler (anni '50) scoprì due tipi di cellule gangliari:
 - **ON-center** → **inibite** da **diminuzioni di luce** nel centro del campo recettivo
 - **OFF-center** → **attivate** da **diminuzioni di luce** nel centro del campo recettivo

(A)



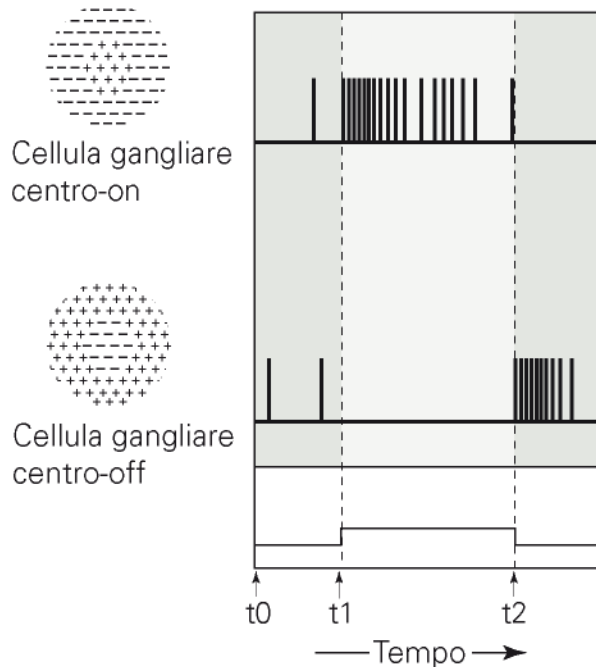
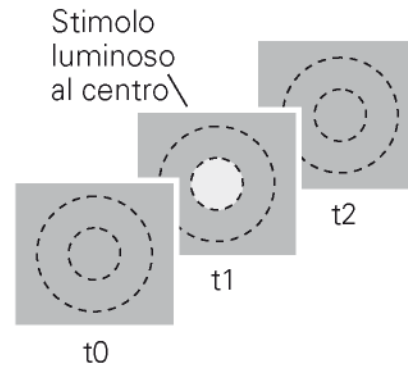
(B)



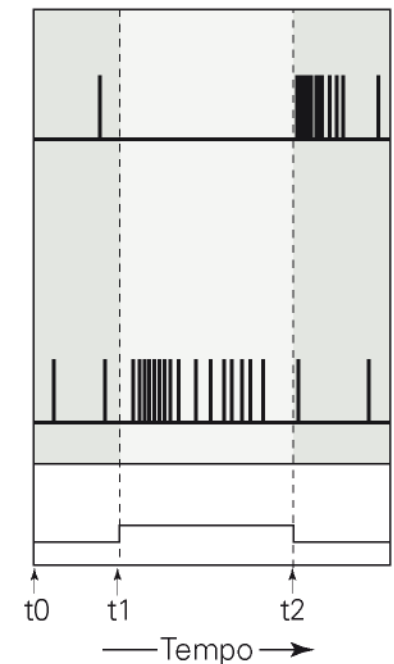
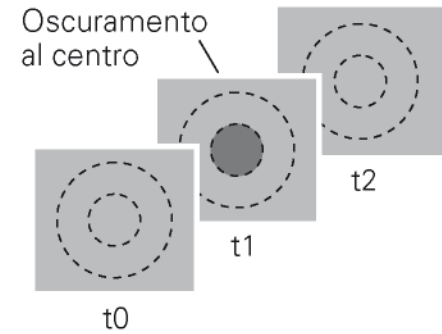
Circuiti retinici per luminosità

- Le cellule gangliari ON-center e OFF-center hanno campi recettivi sovrapposti → ogni punto del campo visivo è analizzato da numerose cellule ON-center e OFF-center
- Le vie **ON** e **OFF** trasmettono quindi **informazioni distinte** su **incrementi e decrementi di luminanza**, utilizzando lo stesso codice: un aumento della frequenza dei potenziali d'azione

(A)

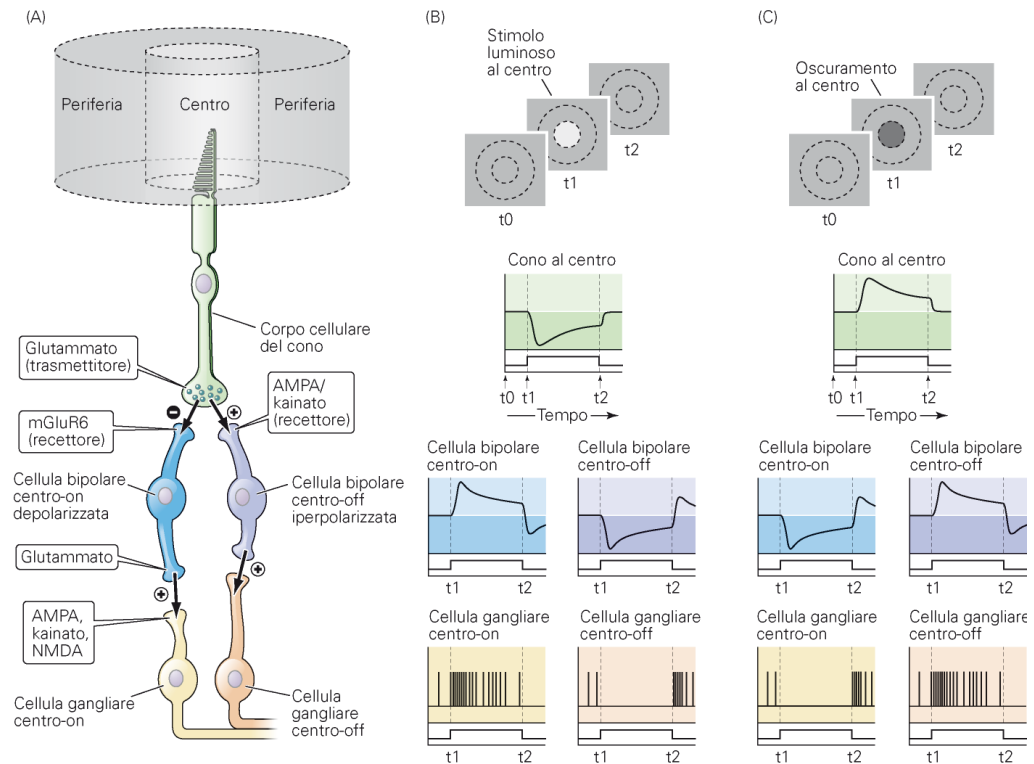


(B)



Circuiti retinici per luminosità

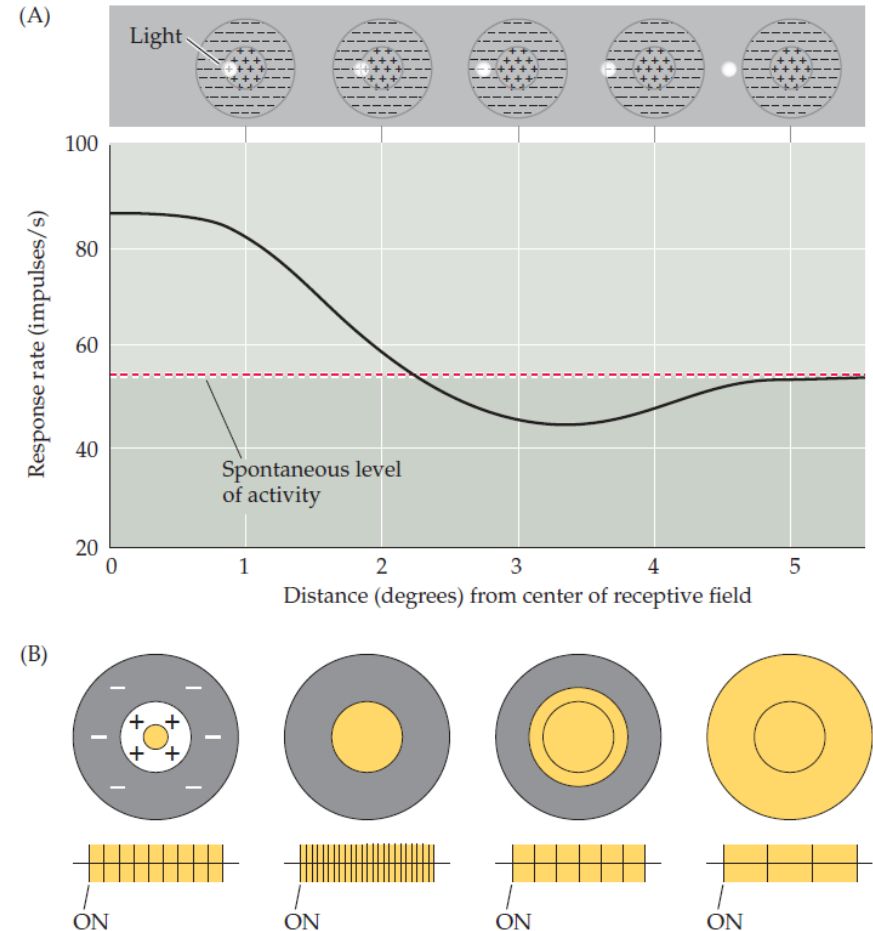
- Le cellule gangliari **ON-center** → sinapsi da **bipolari ON** (cellule che rispondono a **incrementi di luminanza**)
- Le cellule gangliari **OFF-center** → sinapsi da **bipolari OFF** (cellule che rispondono a **decrementi di luminanza**)
- Una **depolarizzazione graduata** delle bipolari aumenta il rilascio del neurotrasmettitore **glutammato**, che depolarizza le cellule gangliari tramite **recettori ionotropici AMPA, Kainato e NMDA**
- La differenza chiave è tra bipolari ON e OFF e dipende dal **tipo di recettore del glutammato che esprimono** alle sinapsi con i fotorecettori:
 - **OFF-bipolari** → recettori **ionotropici (AMPA/Kainato)** → **depolarizzazione** in risposta al glutammato → **sign-conserving**
 - **ON-bipolari** → recettori **metabotropici (mGluR6)** → chiusura di **canali Na^+ cGMP-dipendenti** → **iperpolarizzazione** → **sign-inverting**



- Poiché i **fotorecettori si iperpolarizzano alla luce** → rilasciano meno glutammato alla luce
 - le **ON-bipolari (sign-inverting)** si **depolarizzano** causa meno inibizione
 - le **OFF-bipolari (sign-conserving)** si **iperpolarizzano** causa meno inibizione
- Poiché i **fotorecettori si depolarizzano al buio** → rilasciano più glutammato al buio
 - **ON-bipolari** si **iperpolarizzano**
 - **OFF-bipolari** si **depolarizzano**

Contrasto di luminanza

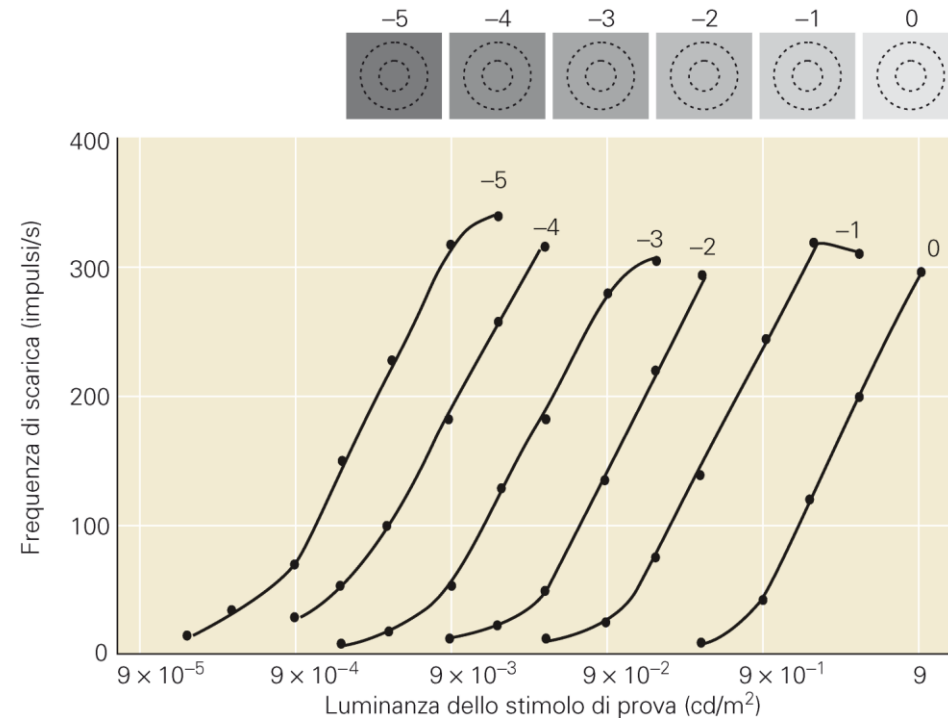
- Le cellule gangliari non si comportano come dei fotorivelatori, non sono cioè in grado di rivelare fedelmente differenze dei livelli di illuminazione assoluta
- Sono invece sensibili alle differenze di illuminazione tra il centro e la periferia del loro campo recettivo (contrasto)
- Il centro del campo recettivo di una cellula gangliare è circondato da una regione concentrica che, quando stimolata, esercita un'azione antagonista
- La frequenza di scarica è massima quando l'illuminazione è limitata al centro del campo recettivo, e si riduce progressivamente quando lo spot luminoso si allarga a ricoprire la regione concentrica periferica



Il contributo dei circuiti retinici all'adattamento alla luce

Oltre a rendere le cellule gangliari sensibili ai margini di separazione tra aree chiare e scure, i meccanismi centro-periferia contribuiscono all'adattamento alla luce

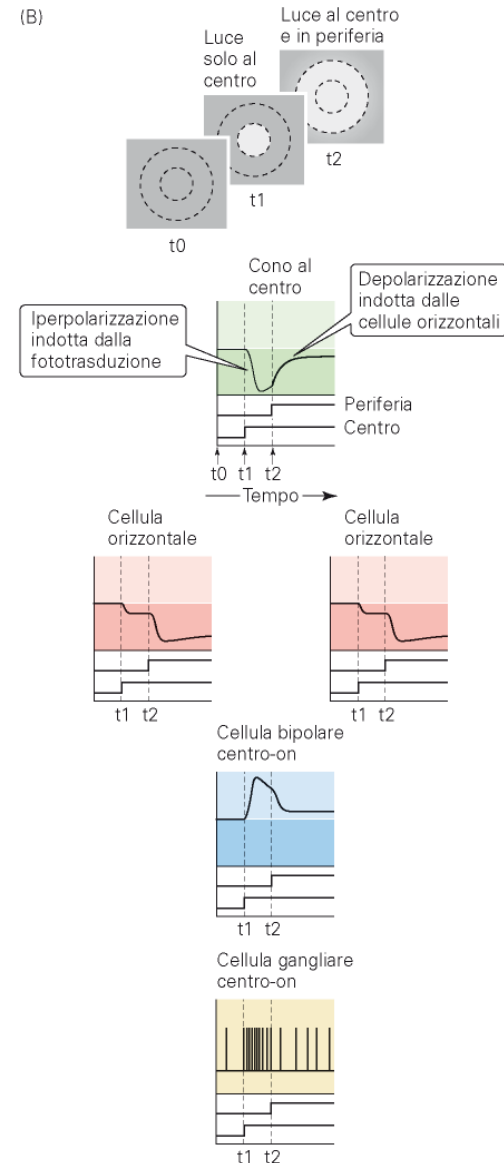
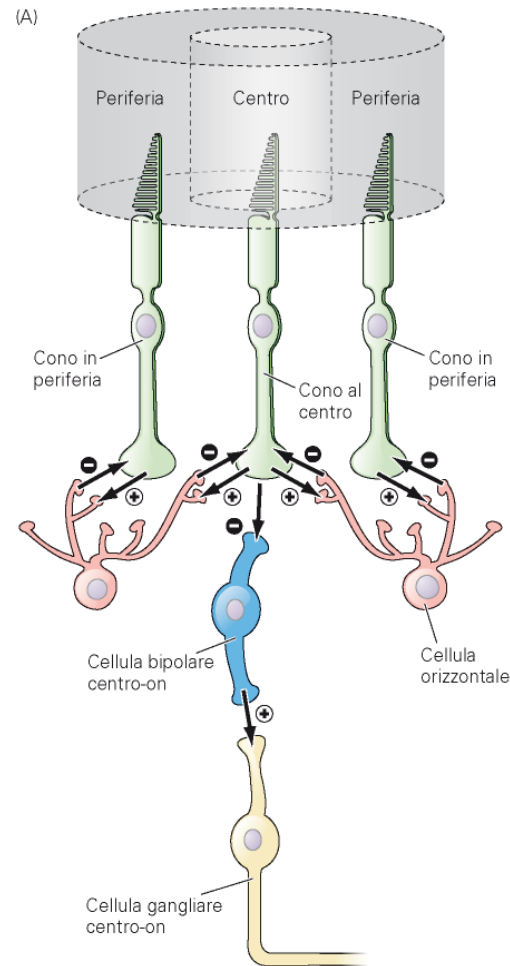
- L'ampiezza della risposta di una cellula gangliare on-center è proporzionale all'intensità della luce nel centro del campo recettivo in un intervallo di circa una unità logaritmica
- Tuttavia l'intensità dello stimolo luminoso richiesta per una data frequenza di scarica di potenziali d'azione dipende dal livello di illuminazione della periferia
- Aumenti del livello di illuminazione di fondo sono accompagnati quindi da spostamenti adattativi dell'intervallo di attività



La frequenza della scarica non è dunque una misura assoluta dell'intensità luminosa ma segnala piuttosto la differenza dal livello di fondo dell'illuminazione

Il contributo dei circuiti retinici all'adattamento alla luce

- L'**antagonismo centro-periferia** delle cellule gangliari nasce nelle **prime fasi dell'elaborazione retinica**.
- È mediato dalle **cellule orizzontali**, che ricevono input dai **fotorecettori**
- Le cellule orizzontali sono interconnesse da **gap junctions**, formando un'estesa rete su ampia area della retina
- La loro attività riflette la **luminanza media** su una vasta regione → modula il **rilascio di glutammato** dai fotorecettori sui dendriti delle cellule bipolari
- **Fotorecettori** → **cellule orizzontali**: sinapsi **sign-conserving** → il glutammato **depolarizza** le cellule orizzontali
- **Cellule orizzontali** → **fotorecettori**: sinapsi **sign-inverting** → il GABA **iperpolarizza** i terminali dei fotorecettori
- Il risultato netto è un'**inibizione laterale**: la luce nella **periferia** riduce la risposta del fotorecettore nel **centro**



Inibizione laterale - Percezione contrasti



Riassumendo



- La **percezione luminosa** inizia nei **coni e bastoncelli**, distribuiti in modo diverso nella retina
- La **fototrasduzione** avviene nei **segmenti esterni** dei fotorecettori, provocando **iperpolarizzazione** dei fotorecettori
- L'**adattamento luce-buio** ottimizza la visione in condizioni di diversa intensità luminosa (**scotopica, mesopica, fotopica**).
- I **coni** consentono la **visione tricromatica**.
- Il **segnale luminoso** si trasmette dai **fotorecettori** → **cellule bipolari** → **cellule gangliari**, con il contributo modulatore di **cellule orizzontali** (e **amacrine**)
- Le **cellule gangliari** comprendono le cellule **ON/OFF** che contribuiscono **all'adattamento alla luce e al contrasto**

PROGRAMMA DETTAGLIATO

- **Principi ottici della visione:** Lenti concave / convesse; rifrazione e lunghezza focale.
- **L'occhio:** Struttura; ottica applicata all'occhio; accomodazione, difetti di rifrazione, acuità e profondità visiva; fluidi intraoculari.
- **Recettori e funzione nervosa della retina:** Struttura della retina; coni e bastoncelli; fototrasduzione, ciclo visivo rodopsina-retinale, adattamento luce-buio; visione a colori.
- **Circuiti neurali della retina:** Cellule gangliari; codifica di luminosità, contrasto e colore.
- **Vie centrali della visione:** Via primaria e secondaria; struttura e organizzazione della corteccia visiva primaria; vie successive a V1.

La percezione visiva come processo costruttivo

- La visione è spesso paragonata a una macchina fotografica, ma il cervello **costruisce una rappresentazione tridimensionale** del mondo a partire da **immagini bidimensionali** sulla retina.
- A differenza di una fotocamera, il cervello **mantiene la costanza percettiva**: riconosciamo un oggetto anche in condizioni visive molto diverse.
- Il sistema visivo **analizza e segmenta la scena** in componenti distinte (figura e sfondo), applicando **regole apprese sull'organizzazione del mondo**.



La percezione visiva è quindi **un processo inferenziale e predittivo**, basato sull'esperienza passata.

La percezione visiva come processo costruttivo

- La visione è spesso paragonata a una macchina fotografica, ma il cervello **costruisce una rappresentazione tridimensionale** del mondo a partire da **immagini bidimensionali** sulla retina.
- A differenza di una fotocamera, il cervello **mantiene la costanza percettiva**: riconosciamo un oggetto anche in condizioni visive molto diverse.
- Il sistema visivo **analizza e segmenta la scena** in componenti distinte (figura e sfondo), applicando **regole apprese sull'organizzazione del mondo**.



La percezione visiva è quindi **un processo inferenziale e predittivo**, basato sull'esperienza passata.

La percezione visiva come processo costruttivo

- La visione è spesso paragonata a una macchina fotografica, ma il cervello **costruisce una rappresentazione tridimensionale** del mondo a partire da **immagini bidimensionali** sulla retina.
- A differenza di una fotocamera, il cervello **mantiene la costanza percettiva**: riconosciamo un oggetto anche in condizioni visive molto diverse.
- Il sistema visivo **analizza e segmenta la scena** in componenti distinte (figura e sfondo), applicando **regole apprese sull'organizzazione del mondo**.

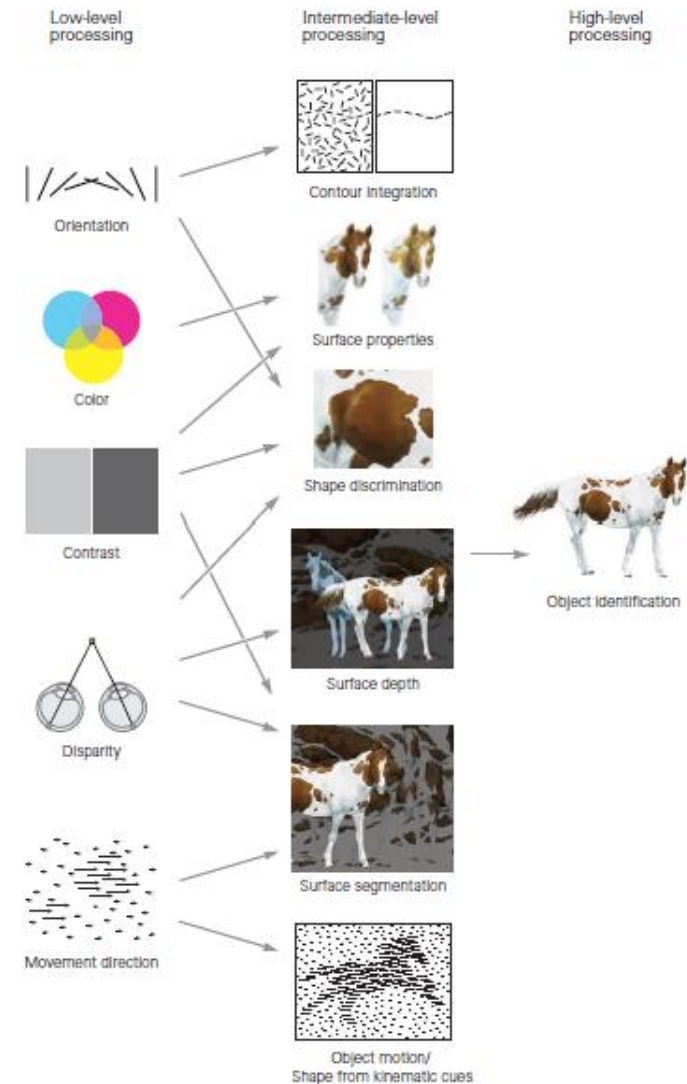
La percezione visiva è quindi **un processo inferenziale e predittivo**, basato sull'esperienza passata.

La percezione visiva come processo costruttivo

- Gli psicologi della **Gestalt** (=configurazione, forma; (Wertheimer, Koffka, Köhler) svilupparono l'idea che la percezione dipenda **dal contesto** e **dall'organizzazione complessiva** dello stimolo.

➤ **Principi della psicologia della Gestalt:**

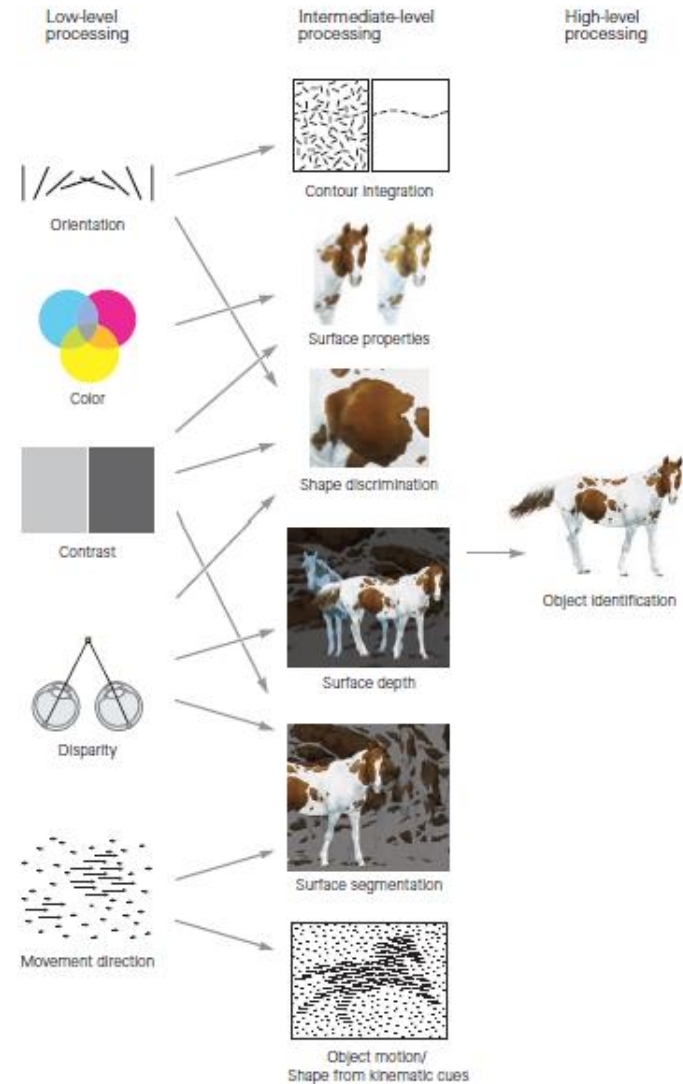
- **Somiglianza:** elementi simili tendono a essere percepiti come appartenenti a uno stesso gruppo
- **Prossimità:** elementi vicini nello spazio tendono a essere raggruppati
- **Buona continuazione:** linee e contorni che seguono un andamento regolare vengono percepiti come un'unica forma
- **Salienza del contorno:** contorni continui emergono da sfondi complessi
- **Separazione figura-sfondo:** lo stesso insieme di elementi può essere interpretato come figura o come sfondo, a seconda dell'attenzione e delle aspettative.



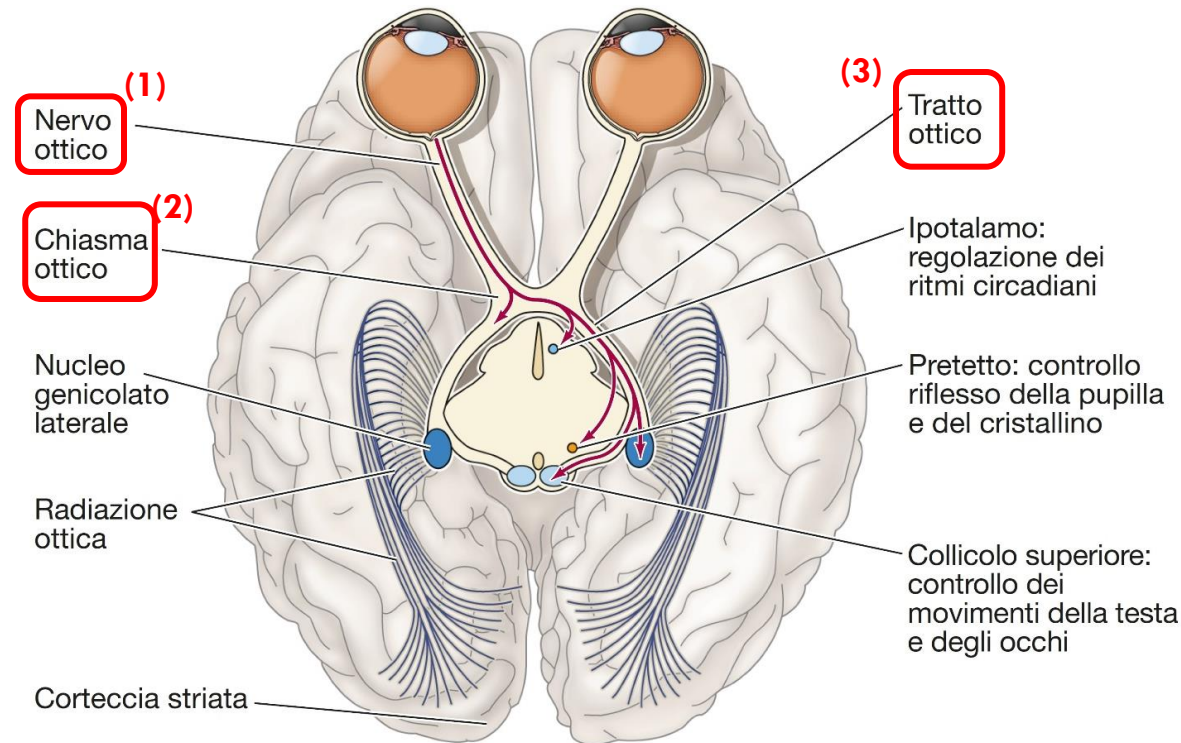
La percezione visiva come processo costruttivo

Livelli di elaborazione visiva

- **Livello basso:** analisi locale di contrasto, colore, orientamento e movimento.
- **Livello intermedio:** analisi della struttura della scena, superfici e contorni globali, distinzione figura-sfondo.
- **Livello alto:** riconoscimento degli oggetti e associazione con la memoria e il significato.

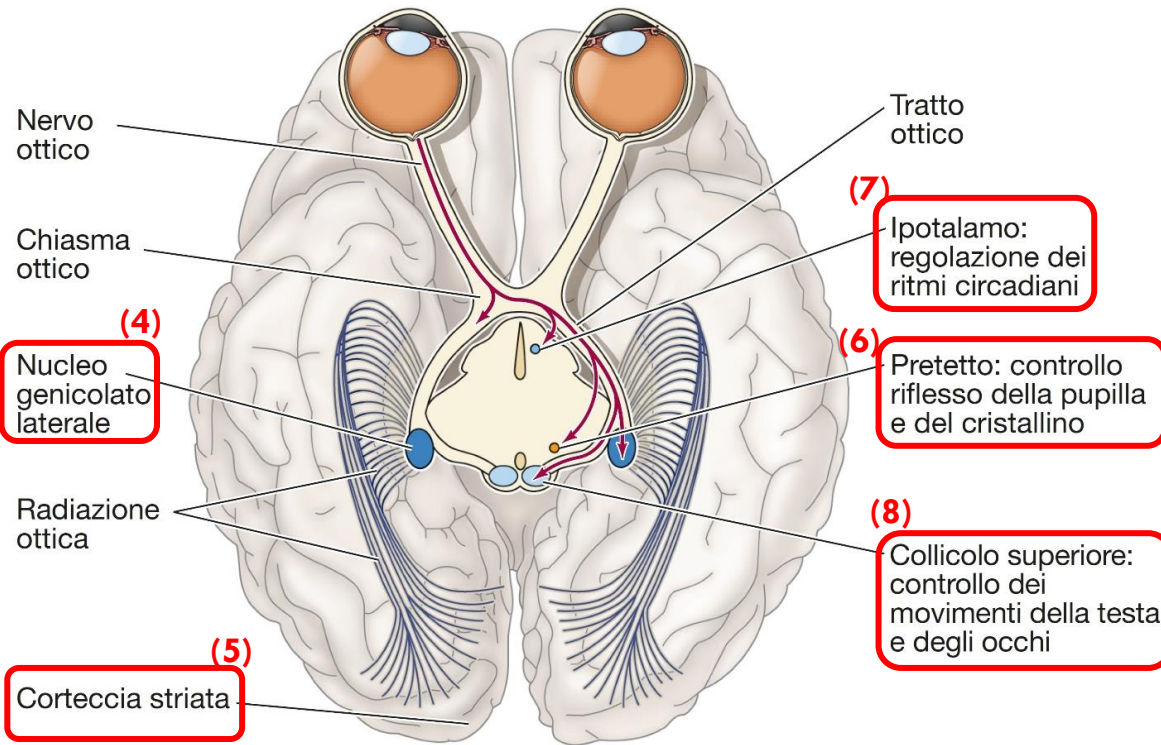


Le vie centrali della visione



- Gli assoni delle cellule gangliari escono dalla retina attraverso il **disco ottico**; i loro assoni si riuniscono in un fascio che prende il nome di **nervo ottico** (1)
- Il nervo ottico procede e raggiunge il **chiasma ottico** (2); a questo livello circa il **60%** degli assoni decussa, e il rimanente 40% continua dallo stesso lato
- Superato il chiasma ottico, gli assoni formano il **tratto ottico** (3). Il tratto ottico quindi comprende assoni provenienti da entrambi gli occhi.

Le vie centrali della visione



Assoni del tratto ottico contattano:

- Il **nucleo laterale genicolato del talamo (4)**. È il target principale del tratto ottico. Neuroni del nucleo genicolato inviano assoni a contattare la **corteccia visiva primaria (V1)** o **corteccia striata** o **area 17 di Brodmann** nella regione occipitale (5). Questo sistema prende il nome di **via visiva primaria** o **via retino-genicolostriata**, responsabile della maggior parte dell'elaborazione visiva
- Il **pre-tetto (6)**, che controlla il riflesso pupillare e l'accomodamento del cristallino
- Il **nucleo suprachiasmatico dell'ipotalamo (7)**, che regola gli adattamenti fisiologici connessi al ciclo circadiano (sistema retino-ipotalamico)
- Il **collicolo superiore (8)**: controllo dei movimenti di testa e occhi.

Le vie centrali della visione

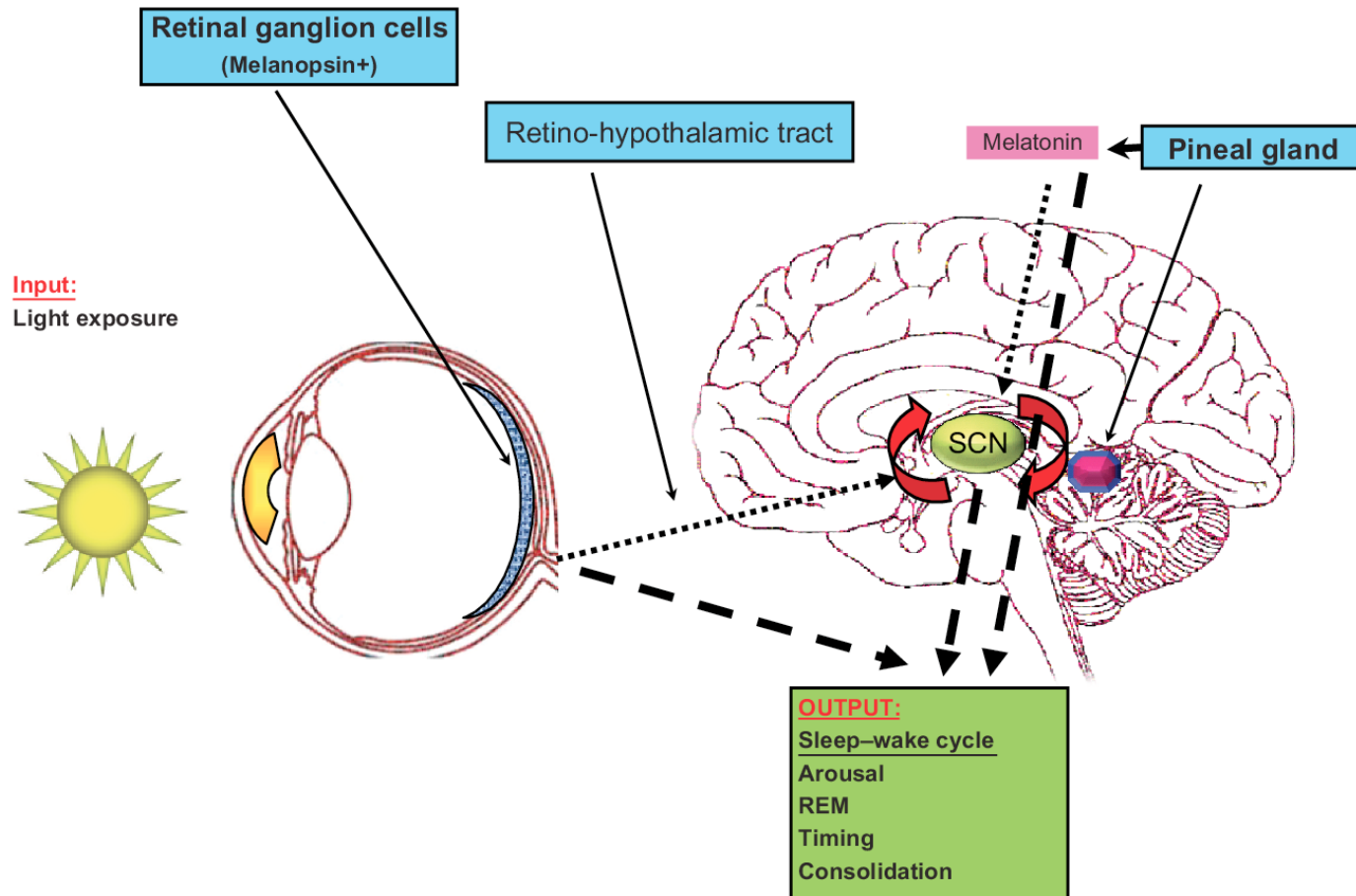
Le cellule gangliari devono quindi codificare un insieme estremamente vasto di informazioni, che includono:

- la percezione visiva ad alta risoluzione necessaria ad esempio a leggere una pagina di un libro (rielaborazione conscia, soprattutto V1), via evolutivamente più recente
- Vie evolutivamente più antiche:
 - informazioni più generali sulle condizioni di luce e buio, che vengono trasmesse all'ipotalamo per la regolazione del ciclo circadiano (rielaborazione inconscia)
 - Informazioni a feedback che controllano continuamente il movimento di testa e occhi (collicolo superiore)



Danno / rimozione della corteccia visiva primaria causa la perdita della visione conscia (=cecità). Rimane però una sensibilità inconscia che permette agli individui di reagire a cambiamenti improvvisi di intensità luminosa, o di evitare degli ostacoli ('**blind sight**'). Questi fenomeni sono dovuti alle vie subcorticali della visione.

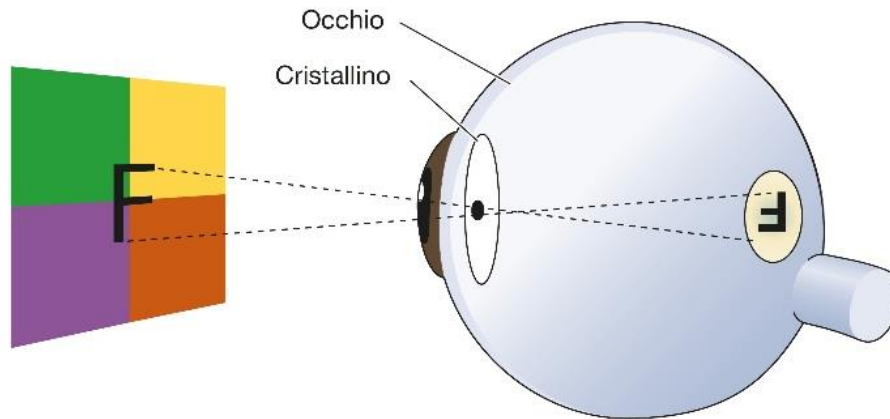
Le vie centrali della visione



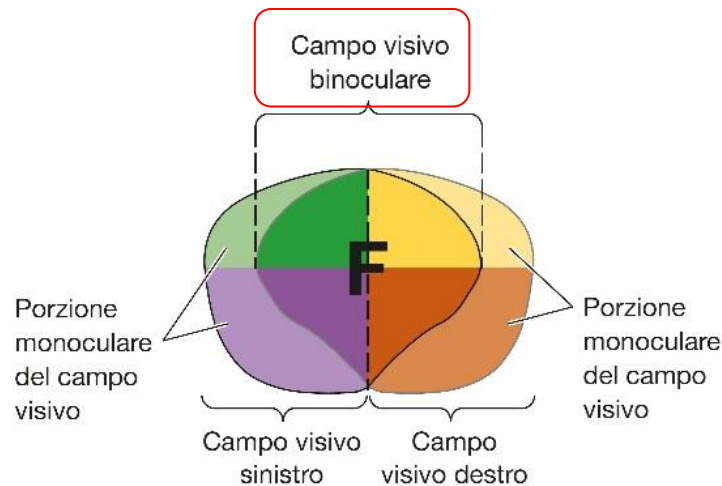
Le cellule gangliari che contattano l'ipotalamo e il pre-tetto non dipendono da coni e bastoncelli, ma esprimono loro stesse un particolare tipo di pigmento fotosensibile, la **melanopsina** → l'informazione sul ciclo circadiano è preservata in individui ciechi con degenerazione di coni e bastoncelli.

Rappresentazione retinotopica del campo visivo

(A)



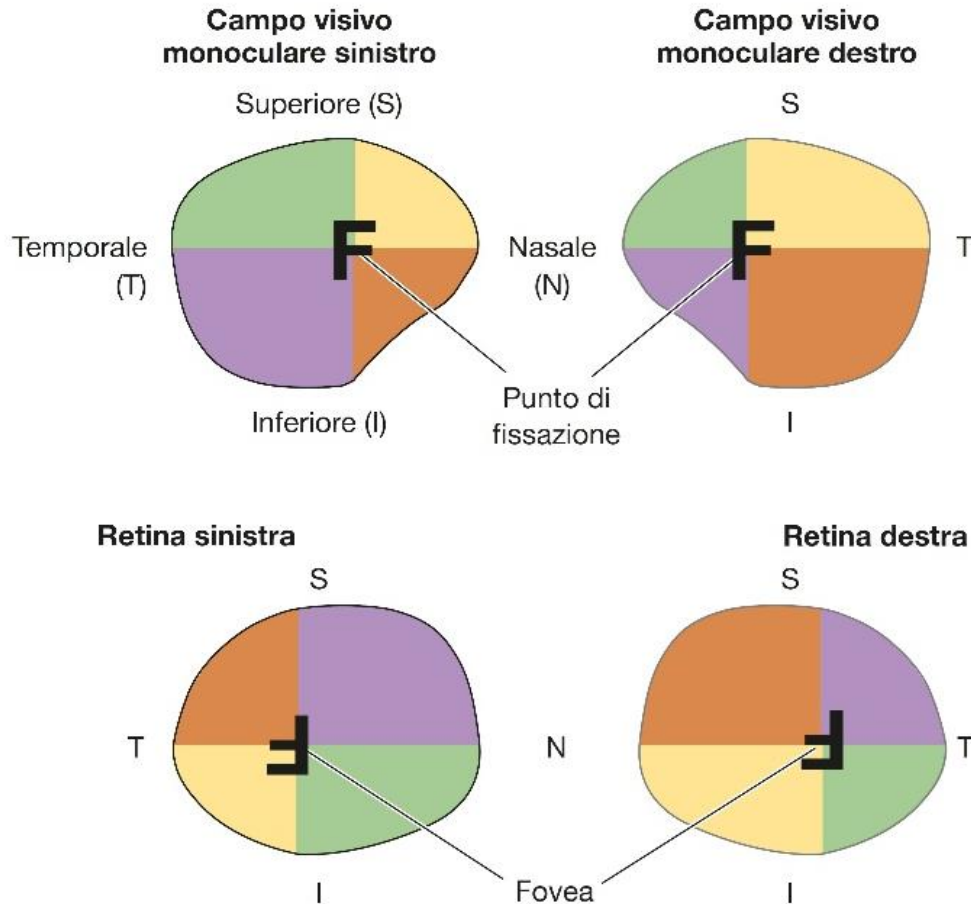
(B)



- Ogni occhio vede una porzione del **campo visivo**
- Durante la normale visione binoculare, il campo visivo sinistro e destro si sovrappongono largamente, originando il **campo visivo binoculare**, che comprende la parte centrale dello spazio visivo
- Le parti più laterali del campo visivo sono invece interessate da **visione monoculare**

Rappresentazione retinotopica del campo visivo

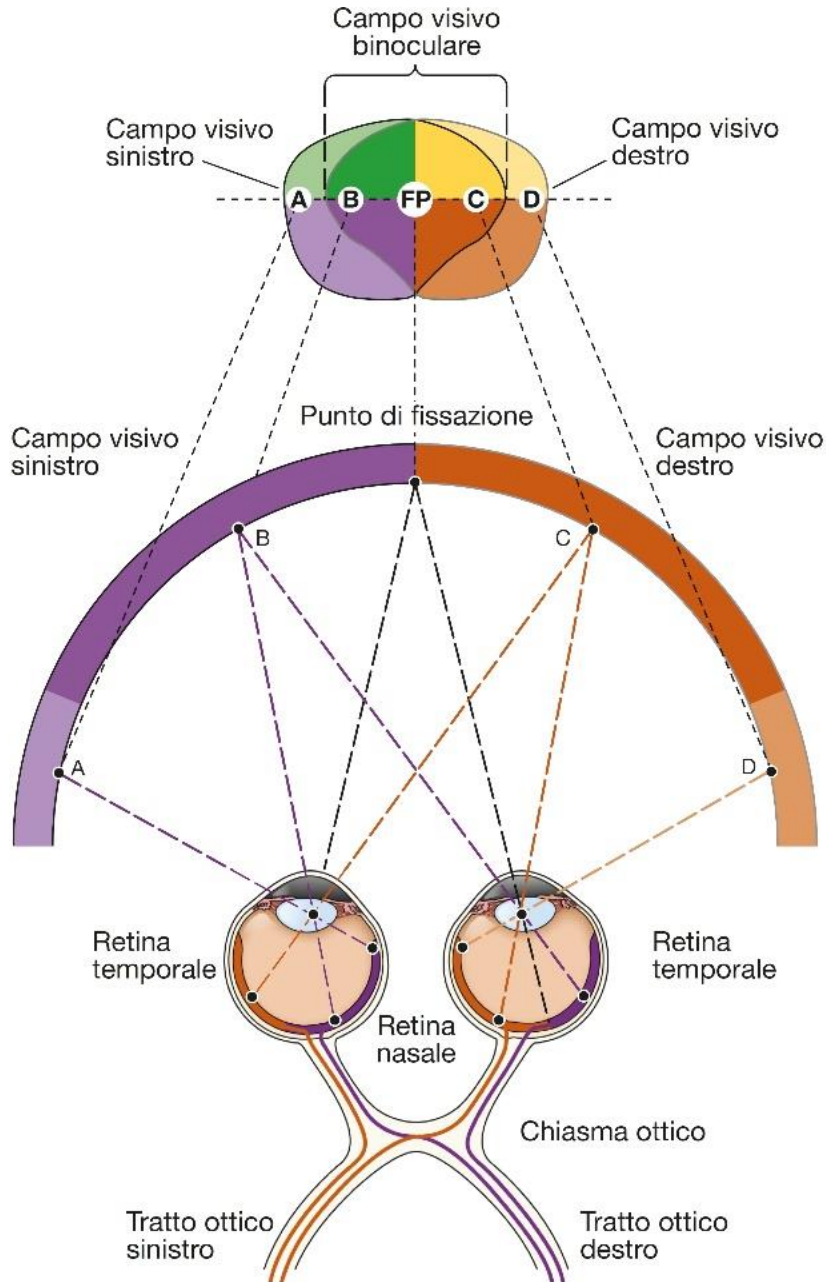
Immagine esterna



- Possiamo dividere il campo in quattro quadranti con due assi perpendicolari passanti per la fovea:
 - temporale / nasale
 - superiore / inferiore
- I raggi di luce che attraversano la pupilla e l'occhio vengono riflessi in modo che l'immagine proiettata sulla retina sia invertita (sotto-sopra e destra-sinistra)

Proiezione del campo visivo sulla retina.

Rappresentazione retinotopica del campo visivo

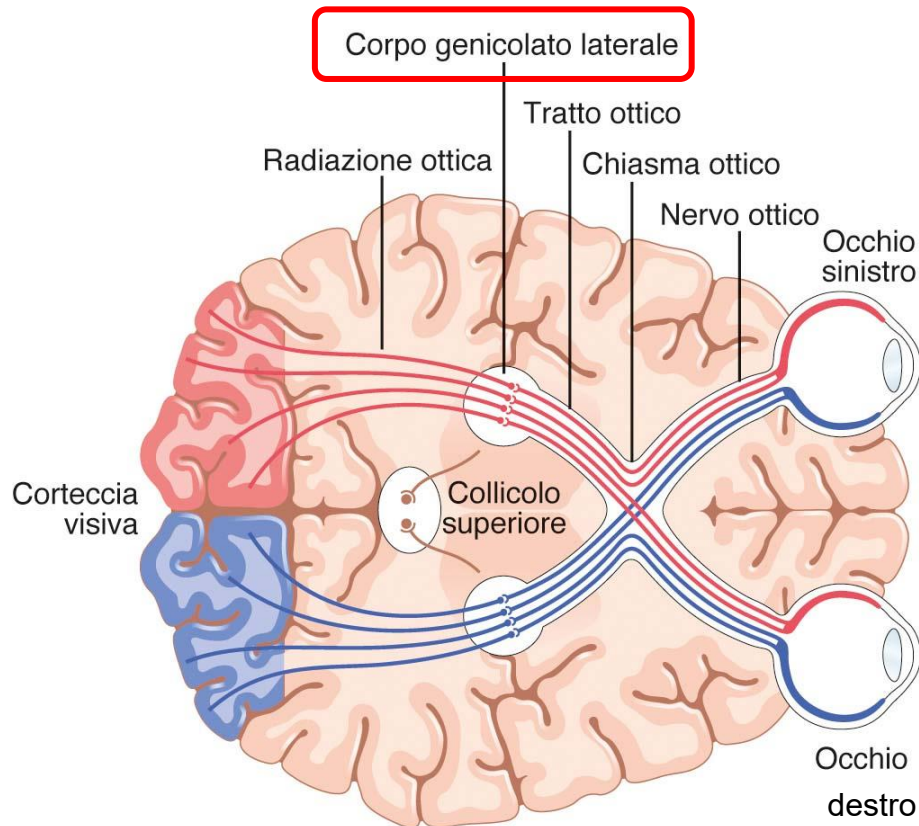


- Cellule gangliari nella porzione nasale della retina decussano, mentre quelle nella porzione temporale restano dalla stessa parte



- L'informazione visiva di tutto l'emisfero visivo destro viene portata dal tratto ottico sinistro e processata dalla parte sinistra del cervello, e viceversa

Via primaria della visione

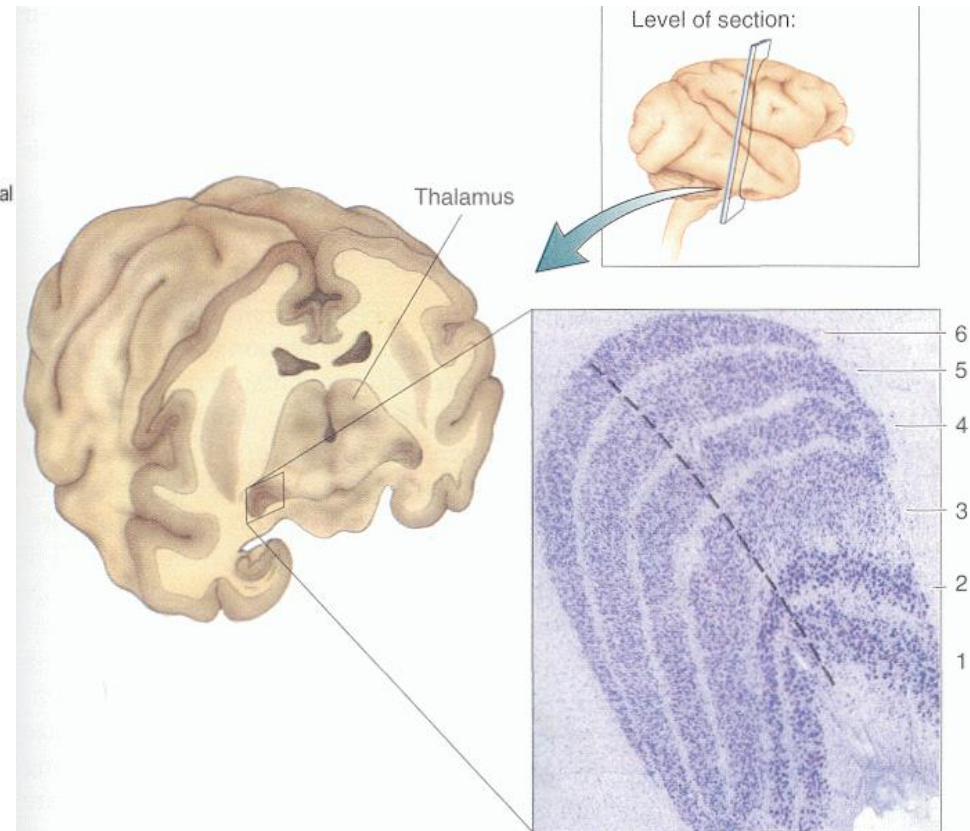
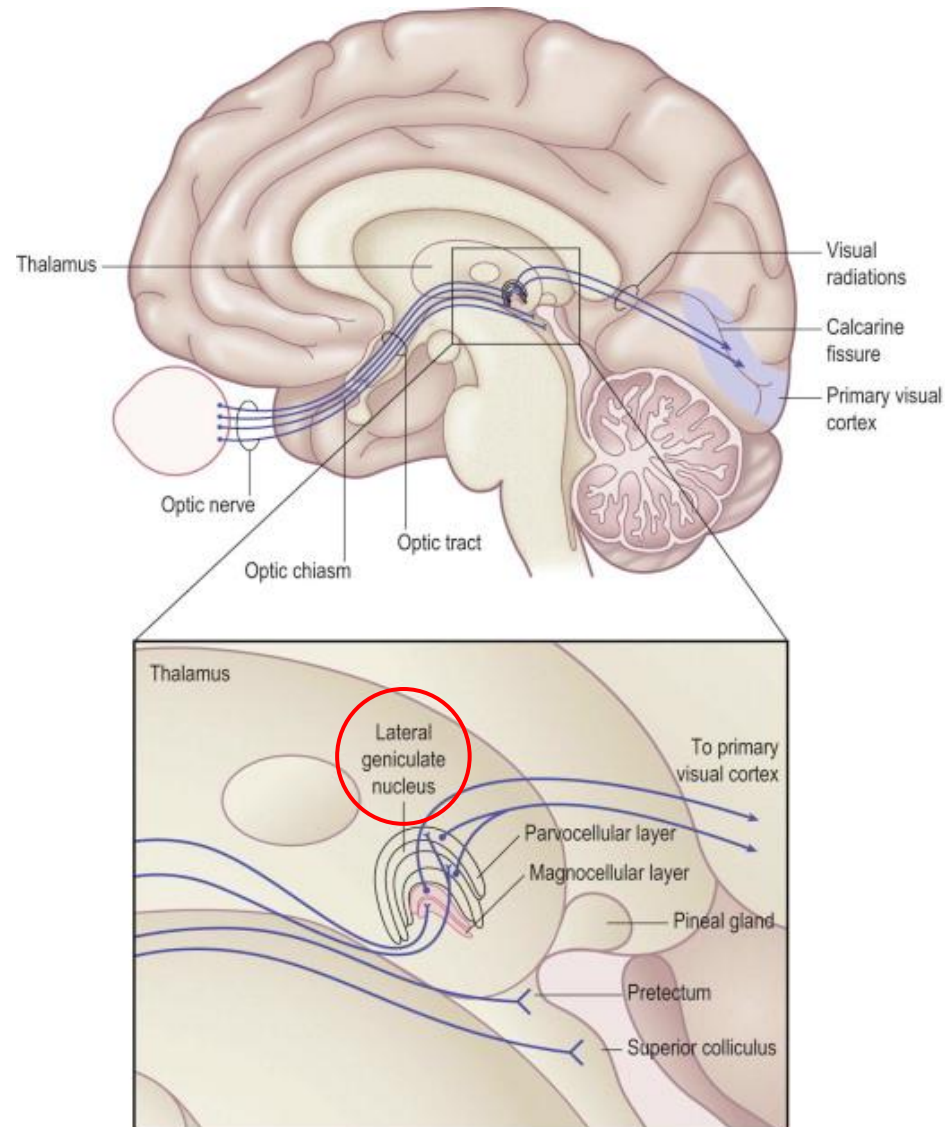


➤ Gli assoni delle cellule gangliari della retina terminano nel **nucleo genicolato laterale del talamo**, che svolge due funzioni principali:

1. Gli assoni dei neuroni del nucleo genicolato portano l'informazione visiva alla corteccia visiva primaria, formando la **radiazione ottica**.
2. Controlla quanta informazione arriva alla corteccia visiva ('gating'): i neuroni del nucleo genicolato ricevono informazioni anche
 - da **fibre cortico-fugali** (feedback dalla corteccia visiva)
 - dalle **aree della formazione reticolata del mesencefalo**, che modificano lo stato di attività dei neuroni del LGN

Nucleo laterale genicolato del talamo (LGN)

LGN ha una struttura istologica in cui sono visibili 6 strati 'concentrici'



Nucleo laterale genicolato del talamo (LGN)

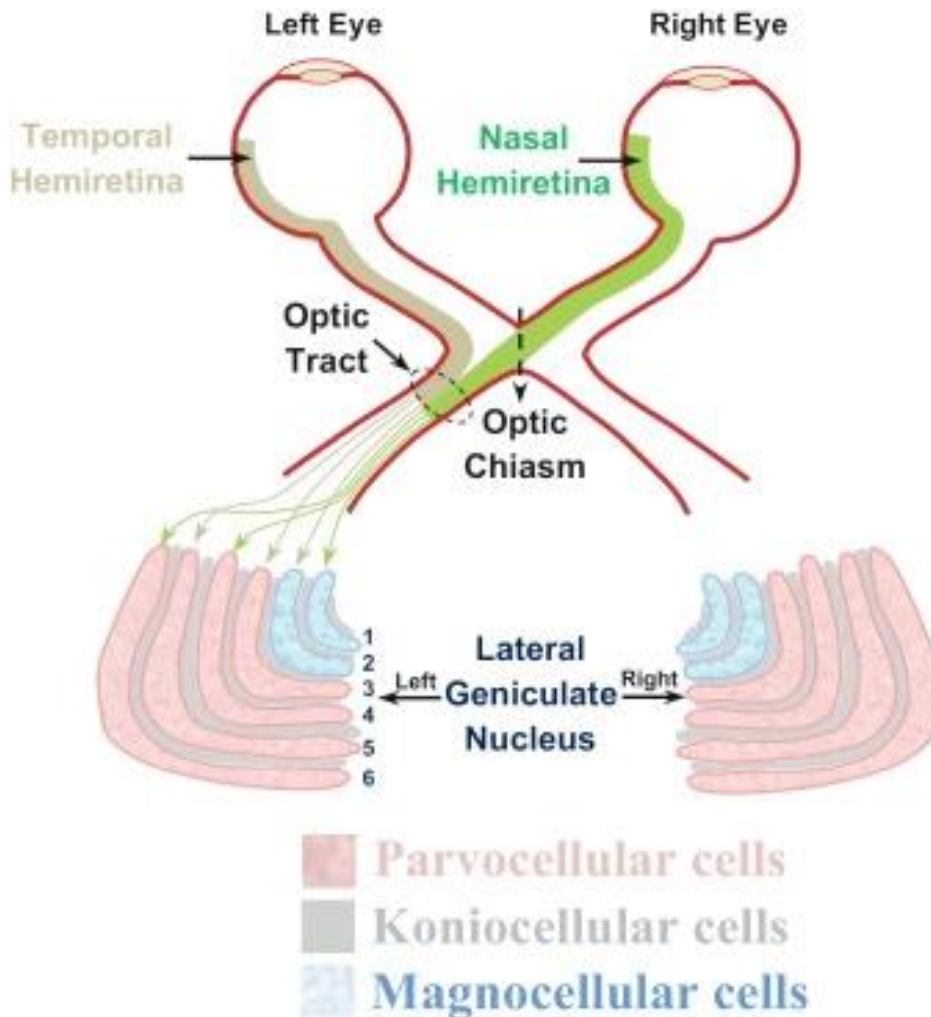
Gli strati del LGN codificano informazioni diverse:

➤ Strati 1-2:

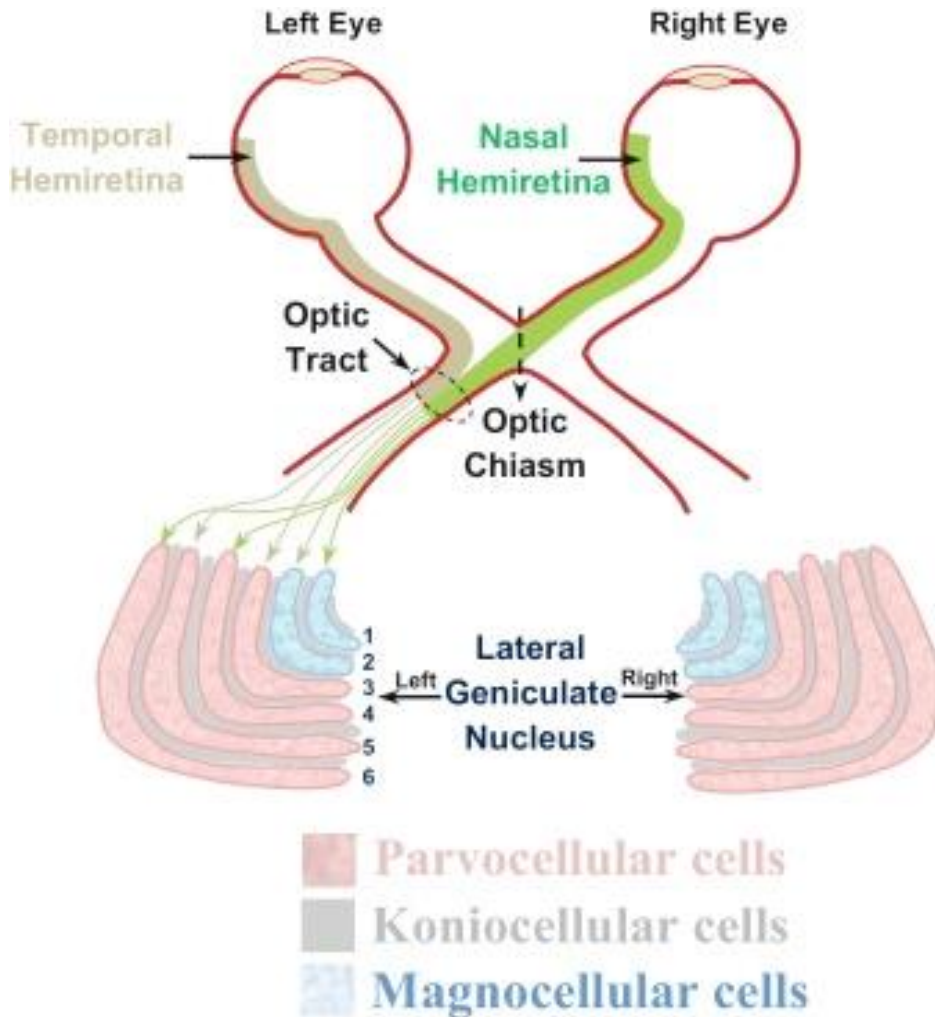
- composti da neuroni grandi (**magnocellulari**)
- Ricevono input da cellule gangliari di tipo M, che hanno campi ricettivi più estesi, velocità di conduzione più elevate e risposte transitorie agli stimoli visivi
- Trasmettono informazioni su **movimento** ma sono insensibili al colore (informazione in bianco e nero) → **risoluzione temporale**

➤ Strati 3-6

- composti da neuroni piccoli (parvocellulari)
- Ricevono input da cellule gangliari di tipo P, che hanno campi ricettivi meno estesi, velocità di conduzione più basse e risposte prolungate agli stimoli visivi
- Trasmettono informazioni sul **colore** e sono responsabili dell'**acuità visiva** (campi recettivi piccoli) → **risoluzione spaziale**



Nucleo laterale genicolato del talamo (LGN)

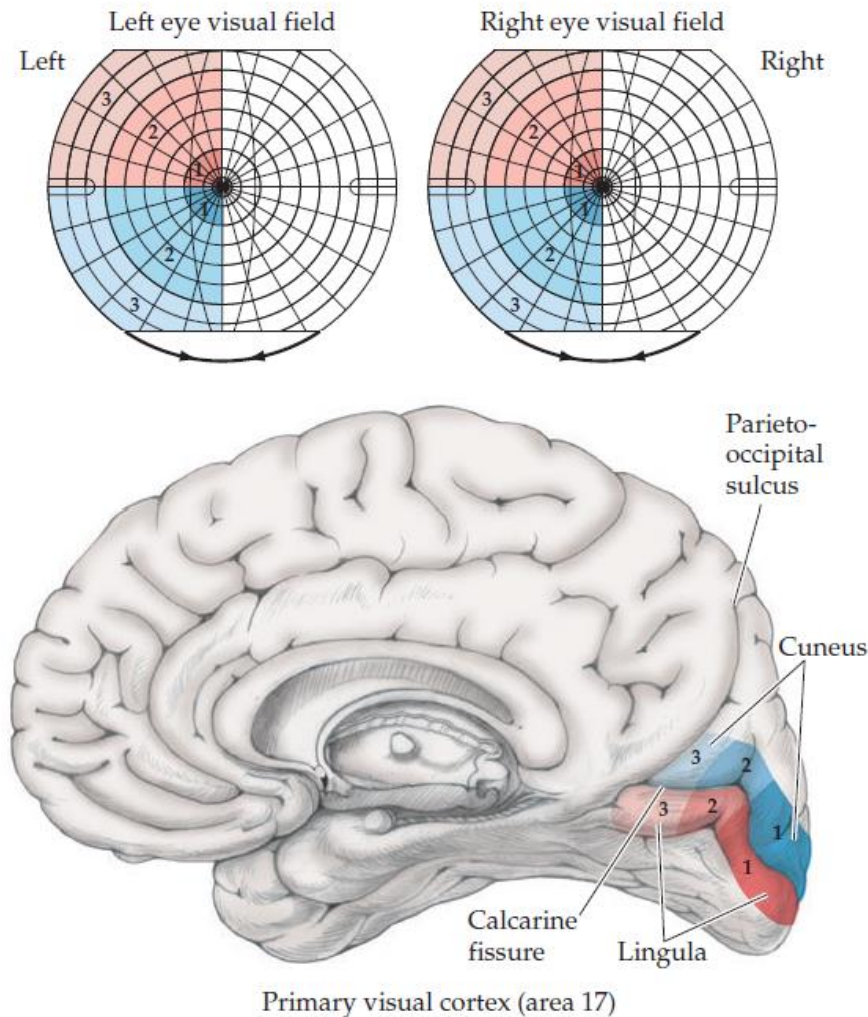


- Strati interlaminari: koniocellulari, mediano alcuni aspetti della **visione a colori** (lunghezze d'onda corte)
- Strati 2, 3 e 5 ricevono input dalla retina temporale ipsilaterale
- Strati 1, 4 e 6 ricevono input dalla retina nasale controlaterale

→ Il talamo (come la retina) è monoculare (i neuroni talamici non integrano le informazioni dalle due retine)

Corteccia visiva primaria (V1)

- **Corteccia visiva primaria (V1) o corteccia striata o area 17 di Brodmann** attorno alla scissura calcarina nel lobo occipitale (grande quanto una carta di credito, in estensione e in spessore)
- **Organizzazione retinotopica:**
 - Le informazioni dalla macula proiettano nella regione più occipitale (1), seguono regioni che ricevono informazioni dalle regioni binoculari intorno alla macula (2) e poi regioni che ricevono informazioni dalle i dalla regione monoculare più laterale.
 - Come nel caso dell'*homunculus* somatosensoriale, le proporzioni non sono rispettate, ma la macula è codificata da una regione molto estesa.



Cofifica spazio-temporale della corteccia visiva primaria

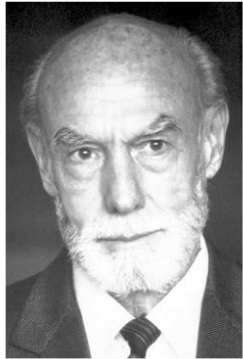


Photo from the Nobel Foundation archive.

Roger W. Sperry

Prize share: 1/2

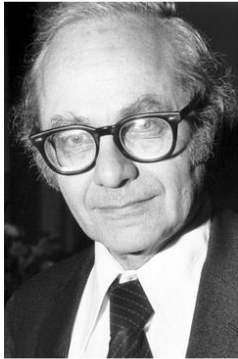


Photo from the Nobel Foundation archive.

David H. Hubel

Prize share: 1/4



Photo from the Nobel Foundation archive.

Torsten N. Wiesel

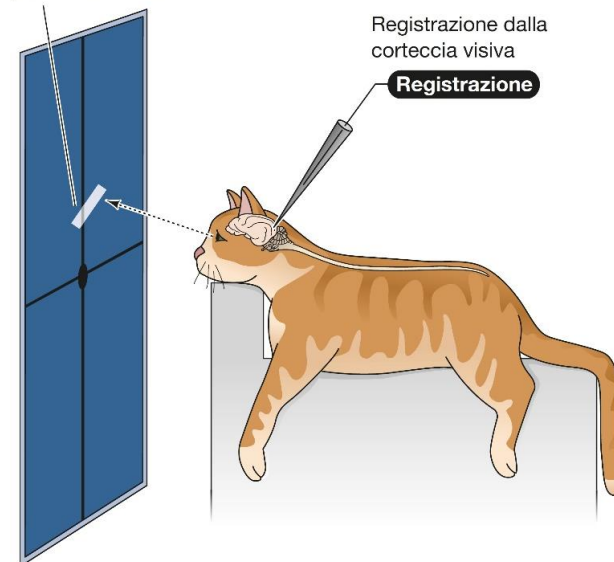
Prize share: 1/4

The Nobel Prize in Physiology or Medicine 1981 was divided, one half awarded to Roger W. Sperry "for his discoveries concerning the functional specialization of the cerebral hemispheres", the other half jointly to David H. Hubel and Torsten N. Wiesel "for their discoveries concerning information processing in the visual system".

- La nostra comprensione dell'organizzazione funzionale della corteccia visiva deriva dagli esperimenti pionieristici di Hubel e Wiesel (a iniziare dal 1958)
- Registrazione tramite microelettrodi dell'attività di singoli neuroni della corteccia visiva quando l'animale (anestetizzato) viene esposto a specifici stimoli visivi.

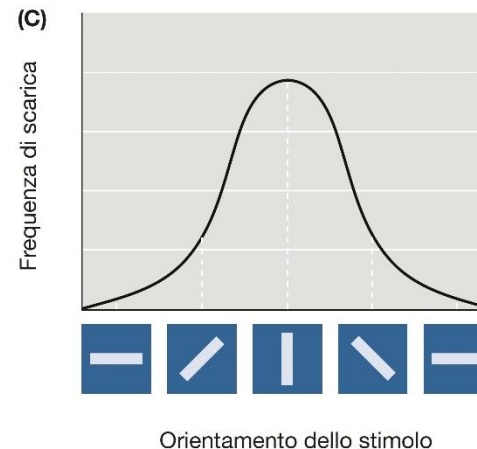
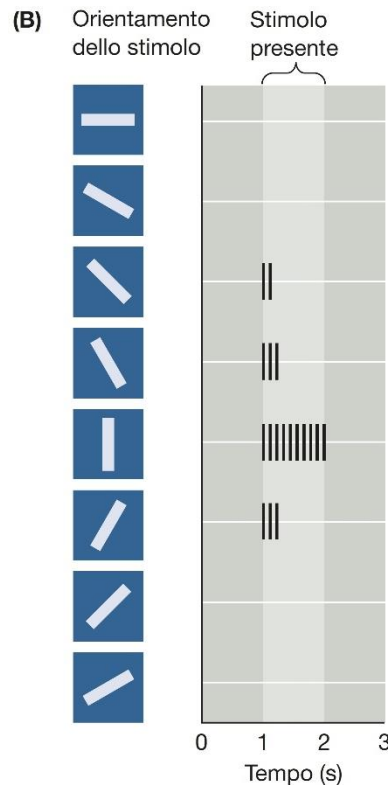
(A) Apparato sperimentale

Stimolo costituito da una barra luminosa proiettata sullo schermo



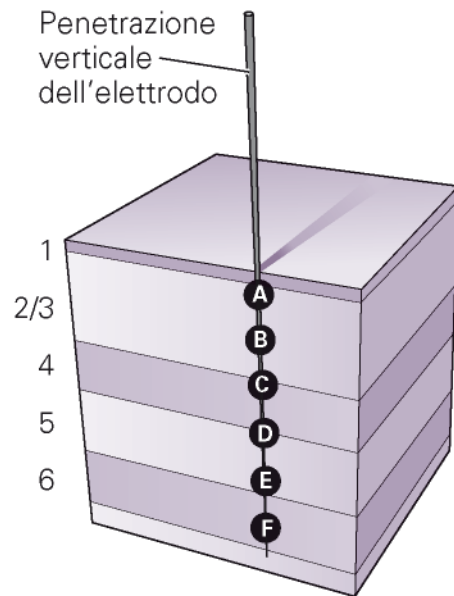
Codifica spazio-temporale della corteccia visiva primaria

- Nella corteccia visiva V1 i neuroni non hanno campi recettivi centro- periferia come nella retina (e nel talamo) **ma alcuni rispondono a barre o bordi chiaro-scuro orientati in una direzione specifica.**
- Ogni neurone è quindi **sintonizzato su una particolare orientazione**, detta **orientamento preferito**.
- Tutte le orientazioni sono **rappresentate nella corteccia visiva**, e una determinata direzione nel campo visivo è **codificata dall'attività di una popolazione di neuroni selettivi per quell'orientamento.**

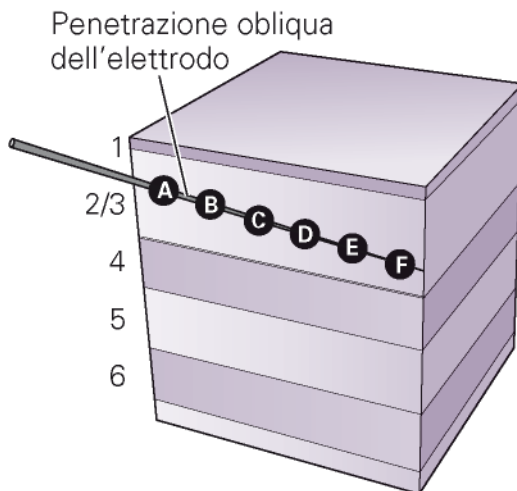


Codifica spazio-temporale della corteccia visiva primaria

(A)

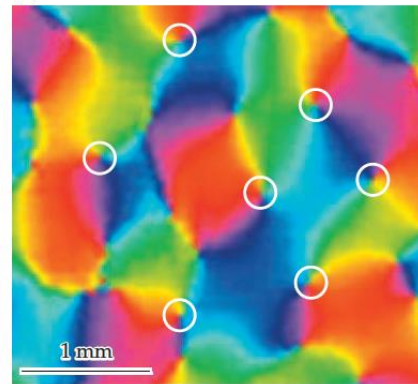


(B)

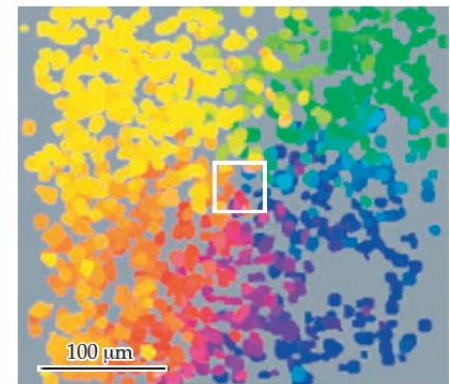


- La distribuzione di neuroni con preferenze diverse non è casuale, ma neuroni con la stessa selettività sono organizzati in **colonne corticali** (in maniera simile a quanto visto per la corteccia somatosensoriale primaria).
- Ogni colore rappresenta un determinato orientamento preferito
- Questa preferenza è mantenuta per tutto lo spessore della corteccia → **colonne di orientamento**

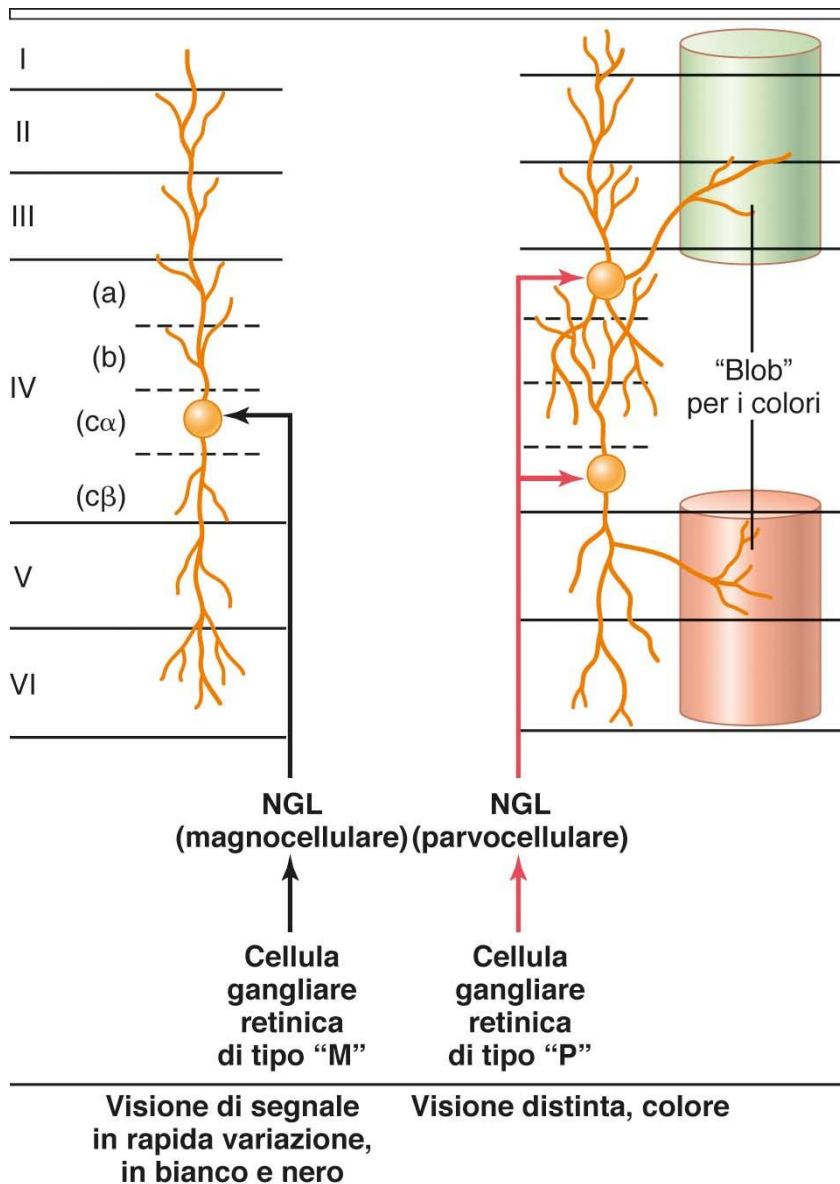
(A)



(B)

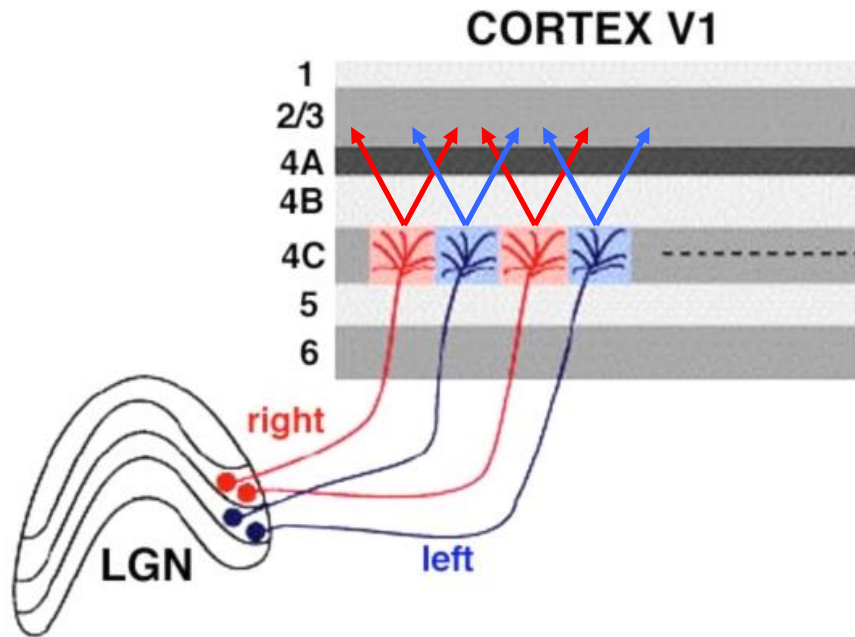


Organizzazione della corteccia visiva primaria



- Come per le altre cortecce sensoriali, gli input corticali arrivano principalmente allo **strato 4**, in aree distinte dagli strati magno- e parvo-cellulari.
- Intercalati tra le colonne corticali per l'orientamento ci sono piccole strutture cilindriche chiamate '**blob per i colori**', con neuroni che rispondono selettivamente al colore e non all'orientamento delle linee

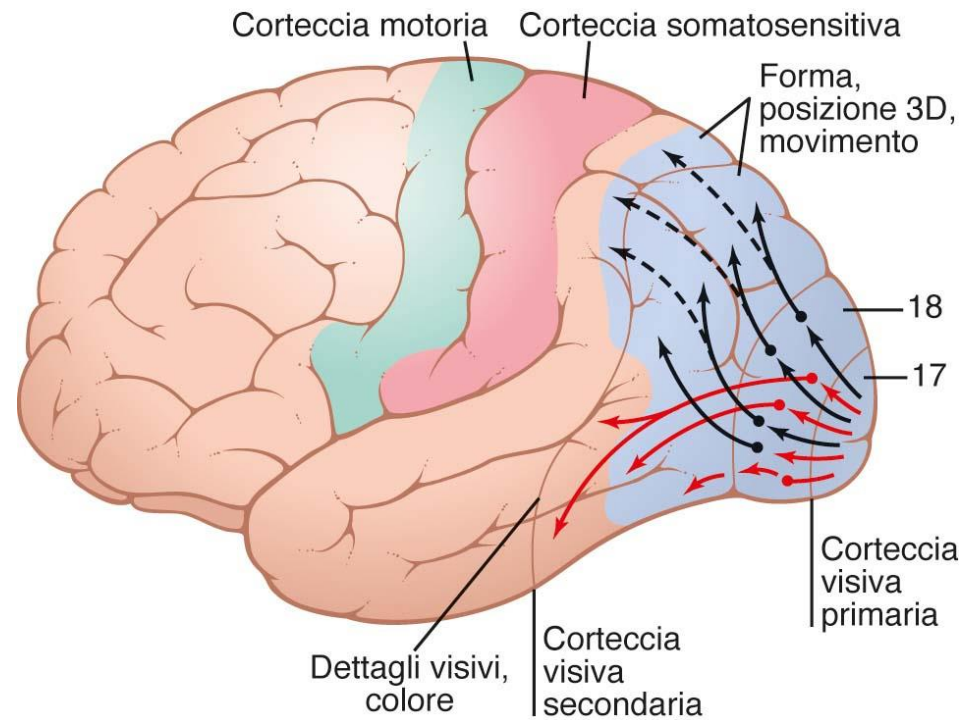
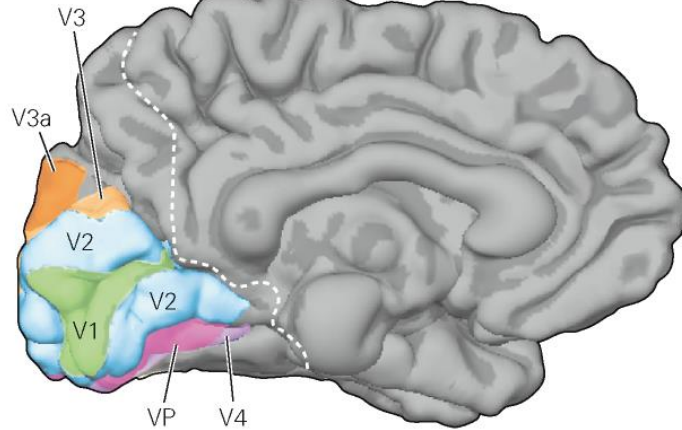
Organizzazione della corteccia visiva primaria



- Gli assoni che provengono da strati diversi del nucleo genicolato contattano colonne corticali distinte dello strato 4. I neuroni corticali dello strato 4 sono quindi ancora **monoculari**
- Lo strato IV alterna colonne che ricevono input dalla retina destra e sinistra, e utilizzano questa informazione per controllare il punto di fissazione dei due occhi in modo che le immagini delle due retine siano 'in registro'. Questo meccanismo è anche alla base della stereopsi (percezione della profondità).
- Gli **assoni dei neuroni dello strato 4** 'divergono' e la visione delle due retine si integra negli altri strati corticali di V1 → **inizia l'elaborazione della visione binoculare.**

Oltre V1

(B) Vista mediale



Dalla **corteccia visiva primaria (V1)**, l'informazione visiva si suddivide in **due vie principali**:

➤ **Via dorsale (“dove / come”)**

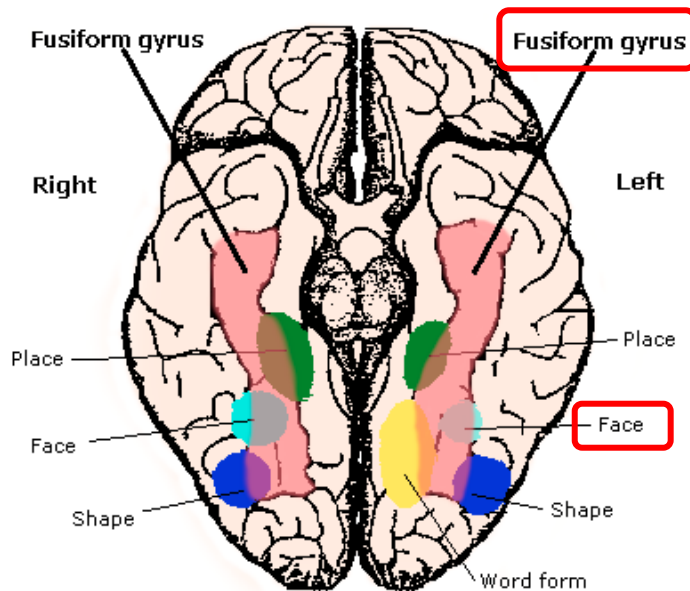
- Coinvolta nella **percezione tridimensionale**, nella **forma grossolana** e nel **movimento** degli oggetti.
- Proiezioni verso le **aree occipito-parietali**.
- Prevalente contributo delle **cellule gangliari magnocellulari (M)**.
- Lesioni → **achinetopsia cerebrale** (*incapacità di percepire il movimento*).

➤ **Via ventrale (“che cosa”)**

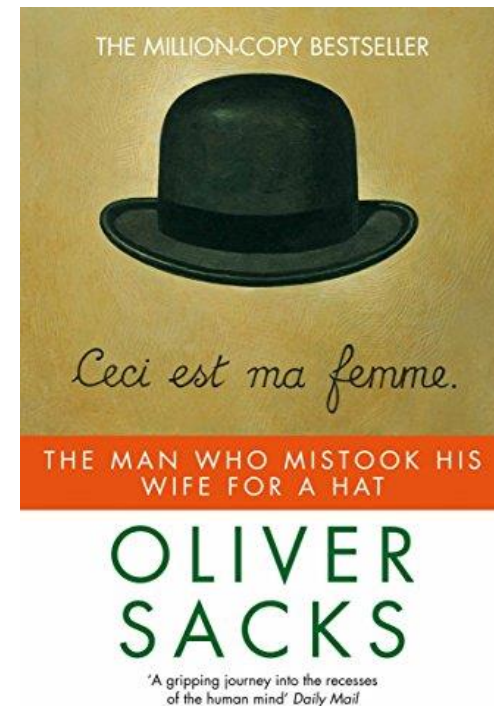
- **Specializzata nell'elaborazione dei dettagli visivi e del colore**.
- Proiezioni verso le **aree occipitali inferiori e temporali ventrali/mediali**.
- Coinvolta anche nel **riconoscimento di oggetti, lettere e simboli** e nella loro **associazione semantica**.
- Lesioni → **acromatopsia cerebrale** (*incapacità di percepire i colori*).

Oltre V1

Cervello visto dal basso, parte frontale verso l'alto, occipitale verso il basso



- Il riconoscimento dei volti avviene a livello dell'**area fusiforme facciale**, situata nella faccia ventrale del lobo temporale, all'interno di una regione che prende il nome di **giro fusiforme**.
- All'interno del giro fusiforme ci sono anche aree specifiche preposte al riconoscimento di forme e oggetti.
- **Prosopagnosia**: incapacità di riconoscere i volti



Riassumendo



- La visione è un **processo costruttivo**
- La **via visiva principale** proietta dalla **retina** al **nucleo genicolato laterale del talamo** e quindi alla **corteccia visiva primaria (V1)**
- Esistono anche **vie accessorie** verso **centri subcorticali** (collicolo superiore, pre-tetto, ipotalamo)
- La **corteccia visiva** primaria contiene **neuroni specifici per l'orientamento e colonne corticali**, con **blob** dedicati all'elaborazione del **colore**
- La **visione è monoculare fino allo strato IV di V1**; oltre questo livello, le informazioni dei due occhi vengono integrate.
- Dalla **corteccia visiva primaria (V1)**, l'informazione visiva si suddivide in **due vie principali: dorsale ("dove / come") e ventrale ("che cosa")**