

# SENSI NATURALI E ARTIFICIALI

## IL SISTEMA VISIVO

# La vista

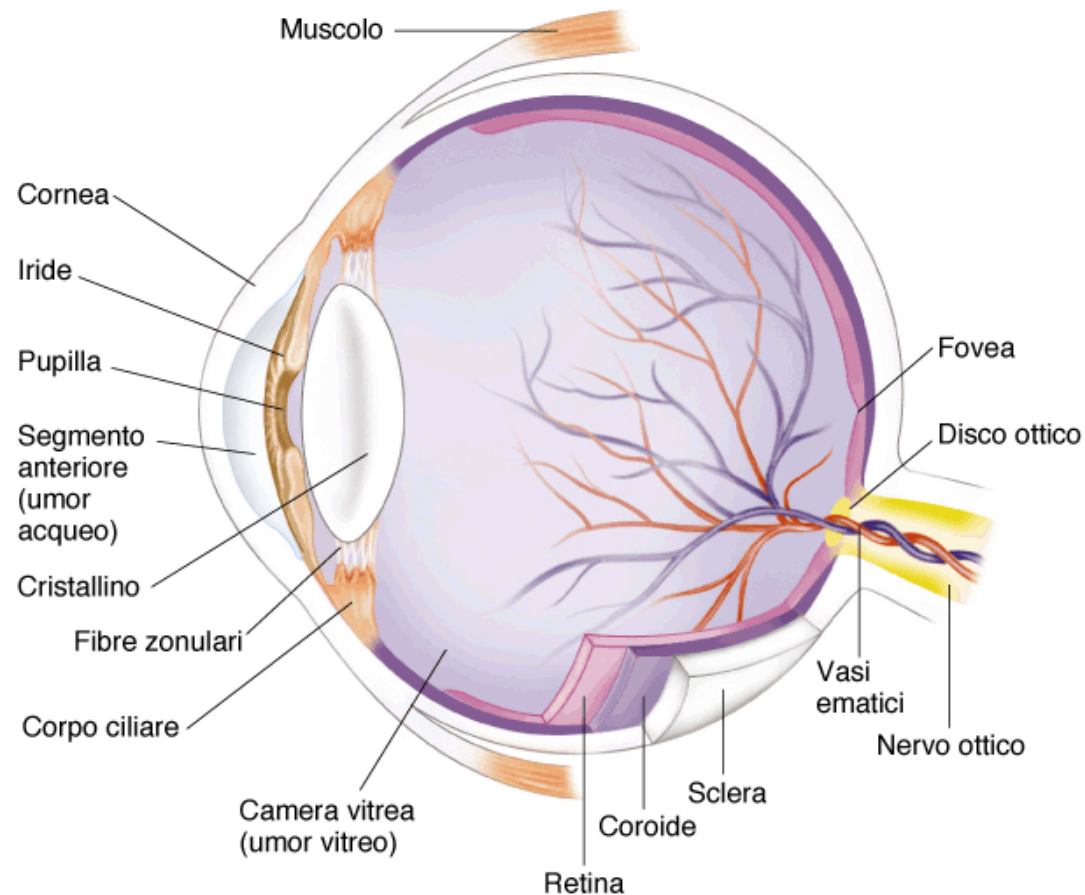
- La visione da sola rappresenta circa il 70% delle percezioni che l'uomo riceve dal mondo esterno.
- Quando fissiamo un oggetto, la luce che da esso proviene entra nei nostri occhi, attraversa una serie di lenti naturali che convogliano l'informazione verso la parte sensibile dell'organo (retina) per la trasformazione in impulsi elettrici che si propagano verso il cervello
- Allo stesso modo in fotografia, la luce viene convogliata dalle lenti dell'obiettivo della macchina fotografica e va ad "impressionare" la pellicola o il sensore digitale

# Occhio

- La funzione dell'occhio è quella di trasdurre le onde elettromagnetiche della luce in impulsi nervosi che vengono trasmessi al cervello mediante il nervo ottico
- Gli occhi possono essere semplici strutture, in grado di distinguere solo la luce dal buio, oppure organi complessi (come nell'uomo e in altri mammiferi) capaci di distinguere anche piccole variazioni di forma, colore, luminosità e distanza.

# Anatomia dell'occhio

- Struttura complessa basata su 3 diverse membrane



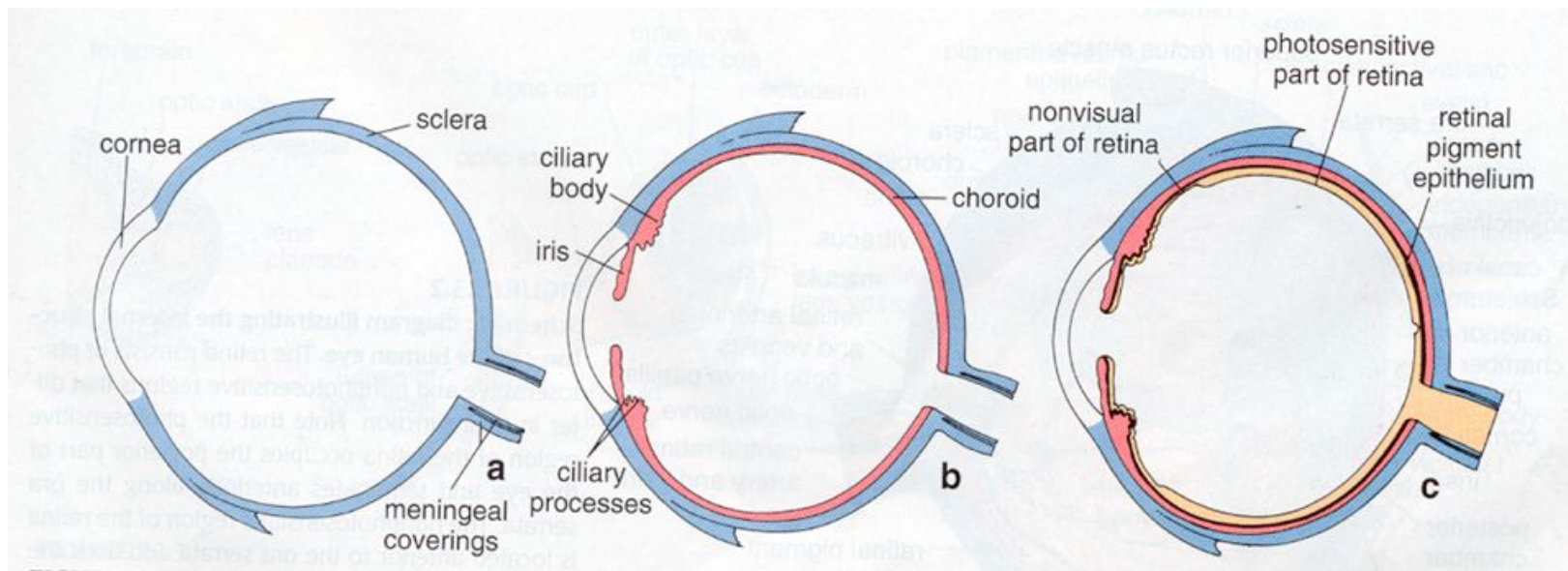


# Anatomia dell'occhio

- Ogni membrana è chiamata tonaca.
- Partendo dall'esterno all'interno dell'occhio abbiamo:
  - Tonaca fibrosa
  - Tonaca vascolare, detta anche Uvea, suddivisa a sua volta da uvea anteriore e posteriore
  - Tonaca nervosa, o propriamente detta retina

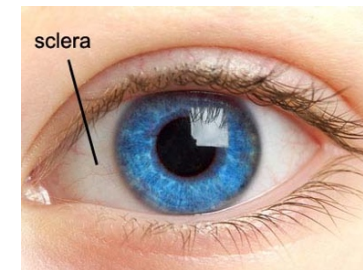
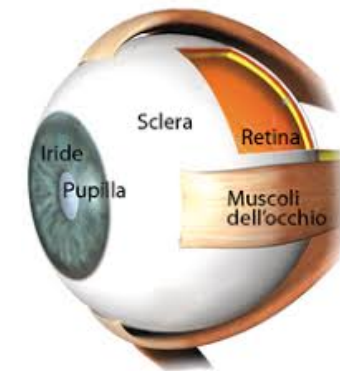
# Anatomia dell'occhio

- a: tonaca fibrosa, comprende la Sclera e la Cornea
- b: tonaca vascolare, comprende corpo ciliare, iride e coroide
- c: tonaca nervosa, comprende la retina



# Tonaca Fibrosa

- Sclera: strato fibroso bianco che avvolge interamente l'occhio
  - Circa 4/5 dello strato esterno
- È una membrana compatta, resistente e poco elastica
  - Muscoli oculari
- Funzioni principali:
  - Mantenere la forma del bulbo oculare
  - Proteggere le diverse strutture interne



# Tonaca Fibrosa

- La Cornea rappresenta il segmento anteriore della tonaca fibrosa
- Sporge in avanti nei confronti della sclera, per via del raggio di curvatura più piccolo
- È una lamina trasparente, incolore, molto sensibile poiché ricca di terminazioni nervose
- È la prima lente naturale che la luce incontra
  - Lente convessa che si trova davanti all'iride

# Tonaca Vascolare

- Membrana intermedia, interposta tra la sclera e la retina.
- È una membrana ricca di vasi e comprende:
  - Coroide
  - Muscolo Ciliare
  - Iride e Pupilla

# Coroide

- Localizzata tra retina e sclera.
- E' costituita da una fittissima rete di vasi sanguigni (strato vascolare) in diretta continuità con l'iride.
- Funzioni principali:
  - portare nutrimento alla retina
  - difesa dell'occhio

# Corpo Ciliare

- Il corpo ciliare è costituito dal muscolo ciliare (liscio) e dai processi ciliari.
- Il muscolo ciliare, contraendosi, serve a cambiare la curvatura del cristallino, adattandolo alla visione di oggetti lontani e a quella di oggetti vicini: il muscolo ciliare è quindi il muscolo deputato all'accomodamento oculare.

# Iride

- E' la parte colorata dell'occhio.



- Il colore è dovuto alla presenza di un particolare pigmento molto abbondante negli occhi scuri e assai scarso, negli occhi chiari.
- Al centro si trova un foro circolare chiamato pupilla.
- Ricca di vasi sanguigni



# Pupilla

- La pupilla è letteralmente un foro pressoché al centro dell'iride, è cioè un diaframma naturale di diametro variabile
- Il compito è quello di modulare la quantità di luce che va a colpire la retina.
- Al buio si dilata, in condizioni di elevata luminosità si restringe. Essa inoltre cambia la sua ampiezza anche a seguito di forti emozioni
- Analogia macchina fotografica: diaframma che regola il passaggio di luce verso il sensore

# Iride e Pupilla

- Negli strati interni dell'iride si trovano il muscolo sfintere dell'iride (Circolare) che provoca restringimento e il muscolo dilatatore dell'iride (Radiale) che determina dilatazione della pupilla
- Regolano la quantità di luce che entra nell'occhio in modo che ci sia abbastanza luce per stimolare i recettori ma non troppa che possa danneggiarli.

# Tonaca Nervosa

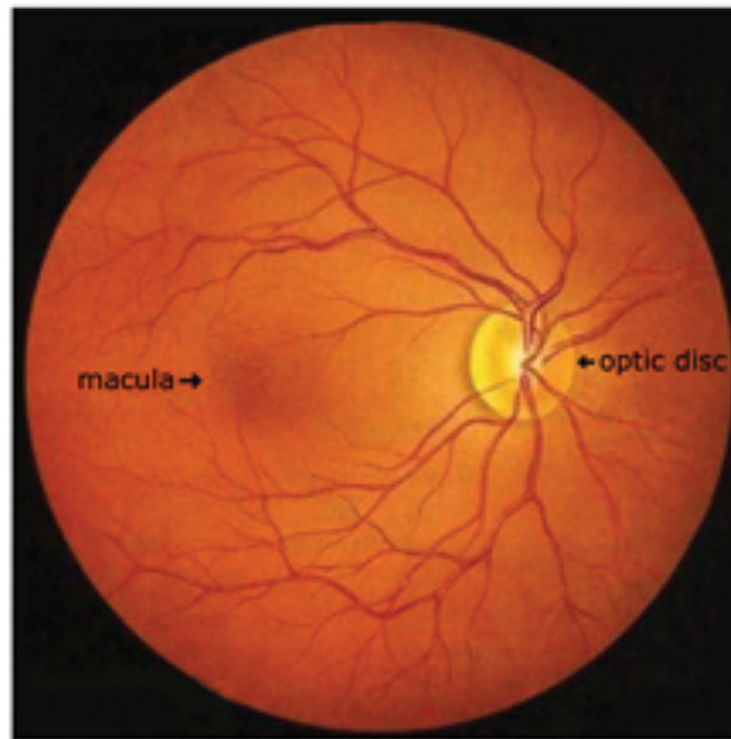
- E' un tessuto nervoso contenuto all'interno dell'occhio che serve a registrare le immagini che saranno poi inviate al cervello.
- E' la più interna delle tre tonache del bulbo oculare.
- Tutti gli altri tessuti oculari sono posti al servizio di questa membrana che è capace di percepire la luce.
- L'immagine viene catturata da particolari cellule nervose chiamate fotorecettori

# Retina

- La retina è una sottile membrana di colore rosso-arancio al cui centro è disposto il nervo ottico.
- Dal centro del nervo ottico partono i vasi sanguigni principali della retina
- Al centro della retina si trova una piccola area detta fovea. La parte di retina che comprende la fovea e si estende con un diametro di 3mm rispetto ad essa è chiamata macula (disco ottico)
- Dal punto di vista funzionale rappresenta la zona ad alta risoluzione spaziale
  - Macula lutea responsabile della visione distinta

# Retina

- Rappresentazione della macula lutea e dell'ingresso del nervo ottico
  - Fondo oculare

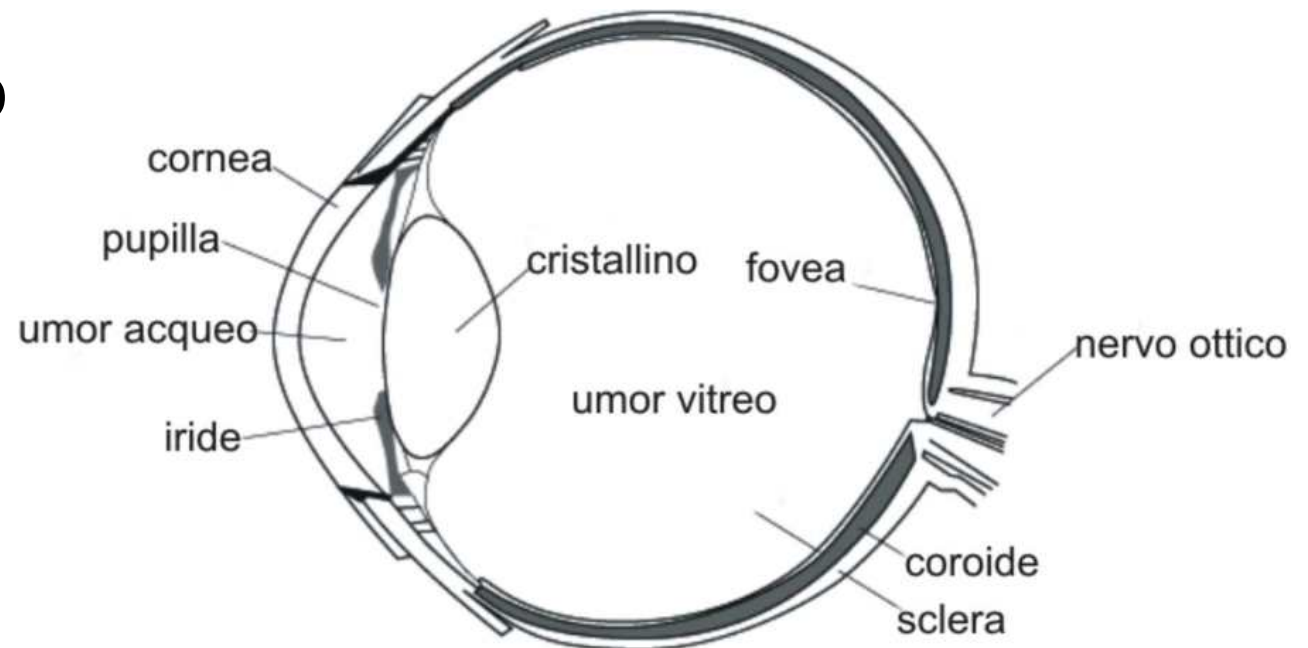


# Retina

- Considerata nel suo insieme può essere suddivisa in due zone principali:
  - 1) Parte ottica: è la parte che serve alla funzione visiva e si estende dal punto di emergenza del nervo ottico all'ora serrata
    - l'ora serrata: rappresenta il limite anteriore della parte ottica ed è data da una linea ondulata.
  - 2) Parte cieca: non atta alla funzione visiva, si estende dall'ora serrata al margine pupillare

# Struttura dell'occhio

- Cristallino
- Umor Acqueo
- Umor vitreo



# Cristallino

- È la seconda lente naturale che la luce incontra, dopo la cornea, prima di raggiungere la retina.
- È una lente trasparente, elastica, biconvessa
- La forma del cristallino può variare per azione del legamento sospensore e del muscolo ciliare
- Fondamentale per la messa a fuoco delle immagini a varie distanze
  - Questo meccanismo è chiamato accomodazione



# Cristallino

- Si definisce cataratta la perdita di trasparenza (opacizzazione) del cristallino.
- Questo disturbo della vista che affligge milioni di persone, può interessare qualsiasi età, ma la cataratta senile è parte normale del processo di invecchiamento.
- Altri disturbi: col passare degli anni il cristallino perde elasticità, irrigidendosi. Diventano allora indispensabili gli occhiali correttivi

# Umor acqueo

- L'umor acqueo è un liquido, incolore, contenuto all'interno della parte anteriore dell'occhio.
- La sua principale funzione è quella di mantenere, grazie alla pressione da esso esercitata, la forma del bulbo oculare.
  - Pressione intraoculare: 15-20mmHg

# L'umor vitreo

- E' una gelatina trasparente contenuta all'interno dell'occhio e si trova subito dietro al cristallino.
- E' contenuto nella camera posteriore.
- Esso si modella all'interno di tale camera aderendo perfettamente alle strutture con cui è in contatto; l'adesione è particolarmente tenace in corrispondenza della retina.
- Il vitreo è formato da acido ialuronico e fibre collagene che si intrecciano tra loro in maniera da consentire una perfetta trasmissione della luce.

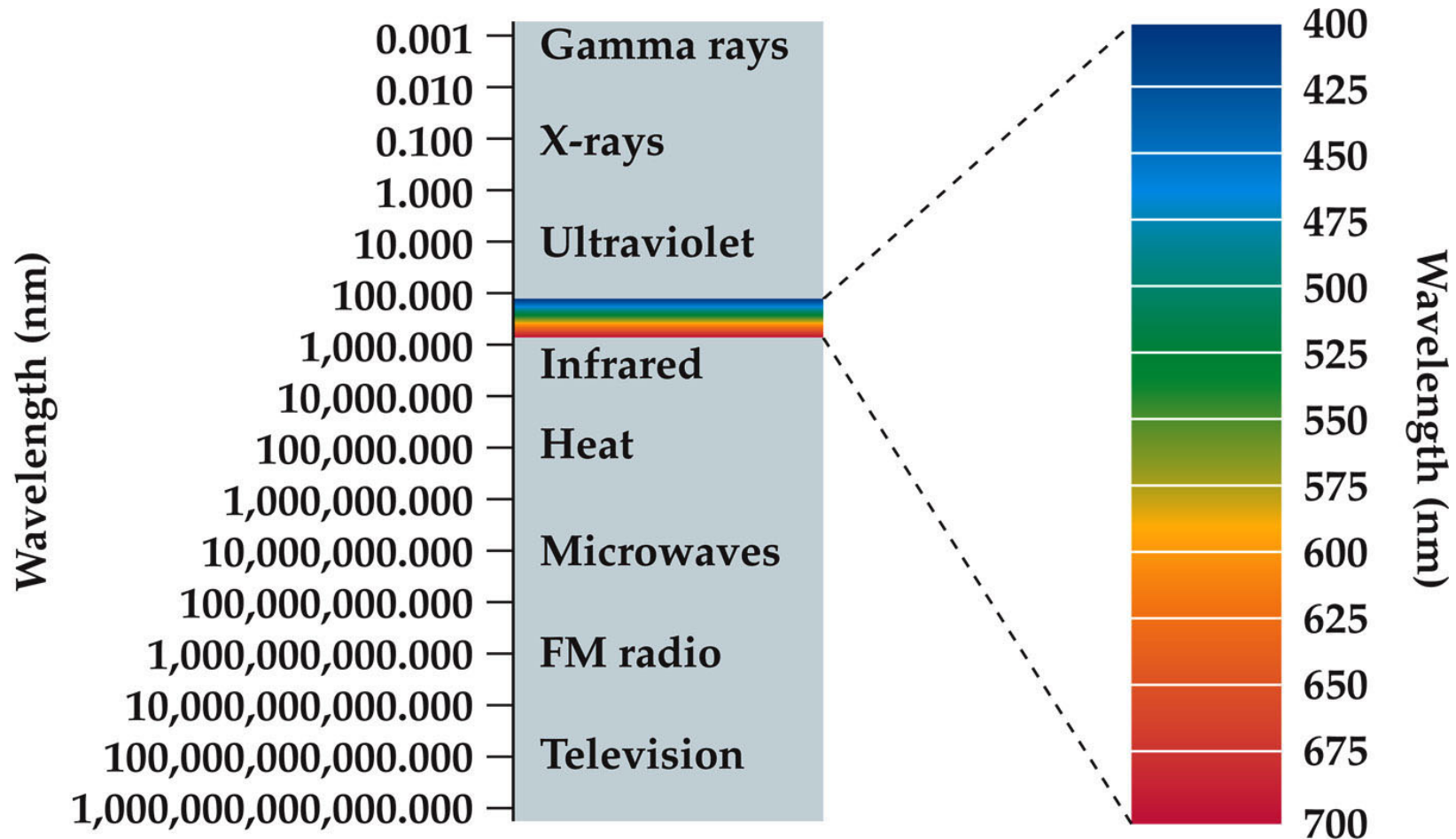
# L'umor vitreo

- Le sue funzioni principali:
  - di sostegno (riempie il bulbo)
  - di protezione (se compresso, il bulbo oculare torna alla sua forma originaria; ammortizza gli urti)
  - Ottica: è trasparente e permette il passaggio della luce

# Richiami di principi di ottica

- La luce si propaga nello spazio in linea retta con velocità che dipende dalla densità ottica della sostanza attraversata
- Quando la luce colpisce un'interfaccia il cui piano è inclinato rispetto alla direzione dei raggi, essa subisce una deviazione se i due mezzi hanno un differente indice di rifrazione.
  - Luce assorbita
  - Luce riflessa
  - Luce rifratta

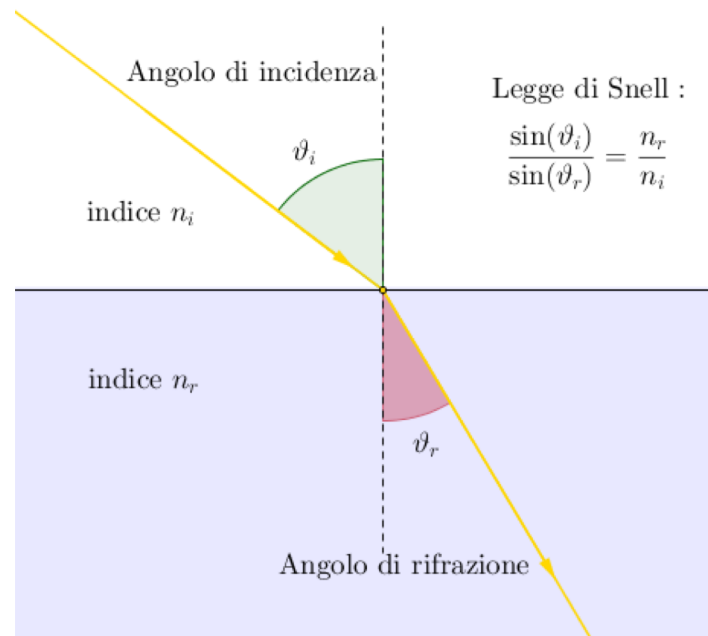
# Luce visibile dall'uomo



SENSATION & PERCEPTION 3e, Figure 2.1  
© 2012 Sinauer Associates, Inc.

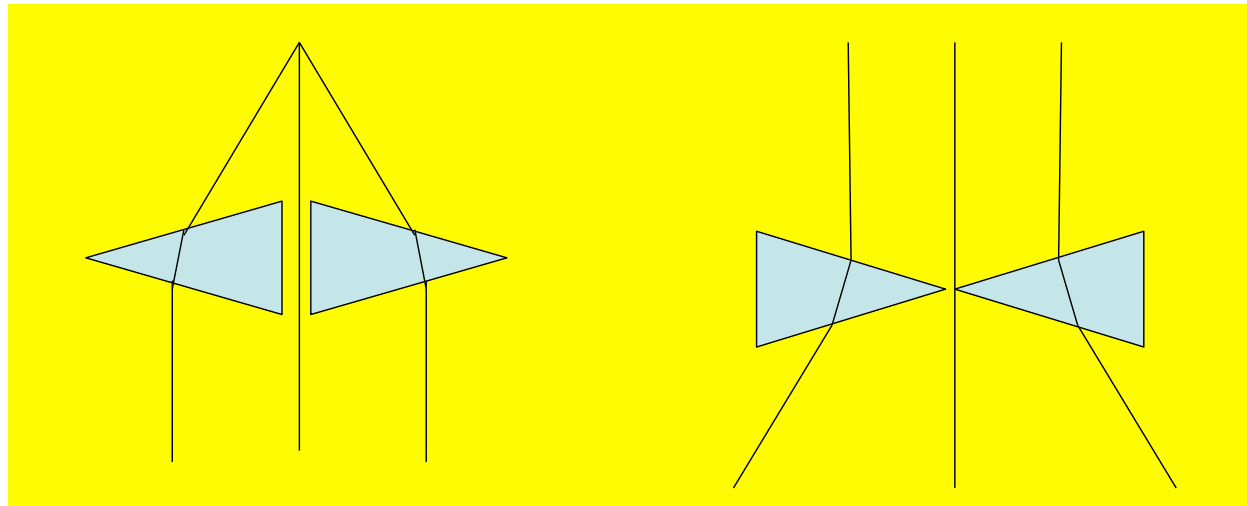
# Principi di Rifrazione

- Indice di rifrazione:
  - passando da un mezzo meno denso ad uno più denso i raggi luminosi subiscono una deviazione proporzionale al rapporto tra l'indice di rifrazione dei due mezzi



# Richiami di principi di ottica

- Se due raggi paralleli attraversano due prismi accostati alla base si incontrano in un fuoco
- Se due raggi paralleli attraversano due prismi accostati all'apice, essi divergono





# Richiami di principi di ottica

- La rifrazione della luce visibile è una caratteristica importante delle lenti
- Possono essere convergenti o divergenti
  - Convergenti: I raggi luminosi paralleli all'asse ottico quando attraversano la lente vengono rifratti in un punto detto fuoco.

# Richiami di principi di ottica

- In una lente convergente i raggi provenienti da un soggetto molto lontano (infinito) convergono in un punto.
- La distanza tra il centro della lente e il piano focale (piano su cui si forma l'immagine nitida del soggetto) è la distanza focale (fuoco) di quella lente

# Richiami di principi di ottica

- Potere di rifrazione di una lente
  - indicato dalla sua distanza focale e viene espresso in diottrie
  - Diottria =  $1\text{m} / \text{distanza focale}$
  - Tanto più la lente è concava, cioè arrotondata, tanto maggiore è la deformazione dei raggi.
    - Quindi se il fuoco della lente A è a 1m, allora la lente avrà il potere di 1 diottria. Se il fuoco della lente B è a 0.5m allora la lente B avrà il potere di 2 diottrie

# Principi Ottici Occhio

- L'occhio otticamente è costituito da un sistema di lenti, da un sistema ad apertura variabile (la pupilla) e dalla retina
- Il sistema di lenti è costituito da:
  - Interfaccia aria- superficie anteriore della cornea
  - Interfaccia superficie posteriore della cornea – umor acqueo
  - Interfaccia umor acqueo – superficie anteriore del cristallino
  - Interfaccia superficie posteriore del cristallino – umor vitreo

# Accomodamento

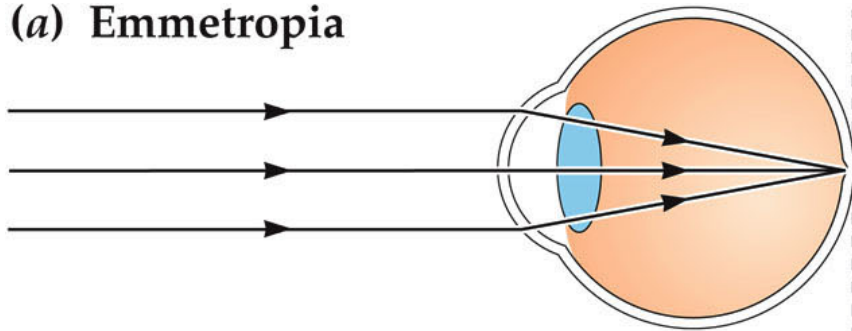
- E' il meccanismo che permette all'occhio di cambiare la distanza focale e di formare sulla retina l'immagine di oggetti posti a distanze dalla cornea  $< 6m$ .
- Si basa su:
  - CRISTALLINO
  - CORPO CILIARE
  - ZONULA (legamento sospensore)

# Rifrazione Oculare

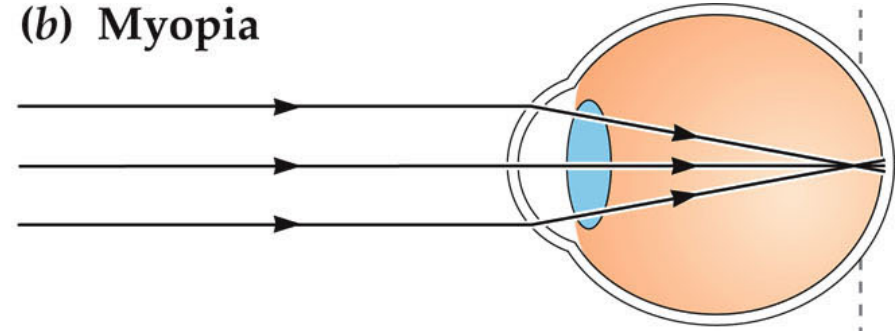
- Problemi di rifrazione:
  - Miopia: Condizione in cui la luce che entra all'interno dell'occhio cade DAVANTI alla retina facendo sì che gli oggetti distanti non possano essere visti nitidamente
  - Ipermetropia: Condizione in cui la luce che entra nell'occhio cade DIETRO la retina impedendo di vedere nitidamente gli oggetti vicini
  - Astigmatismo: Un deficit visivo causato dalla diversa curvatura di una o più delle superfici rifrattive dell'occhio. Usualmente il problema riguarda la cornea

# Rifrazione Oculare

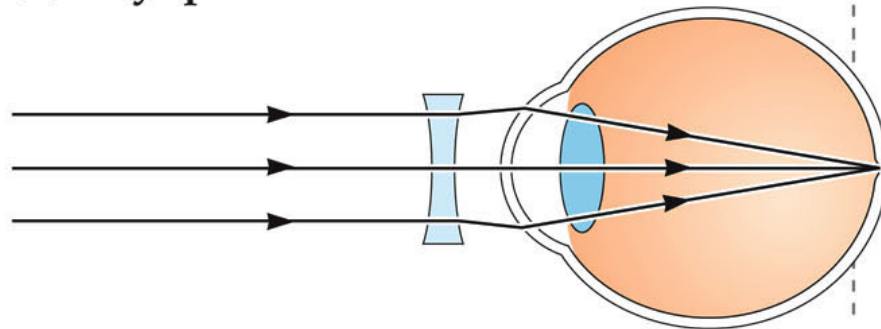
(a) Emmetropia



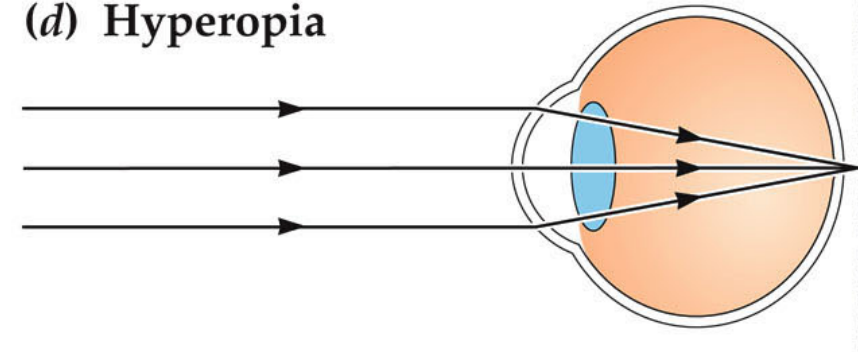
(b) Myopia



(c) Myopia with correction



(d) Hyperopia



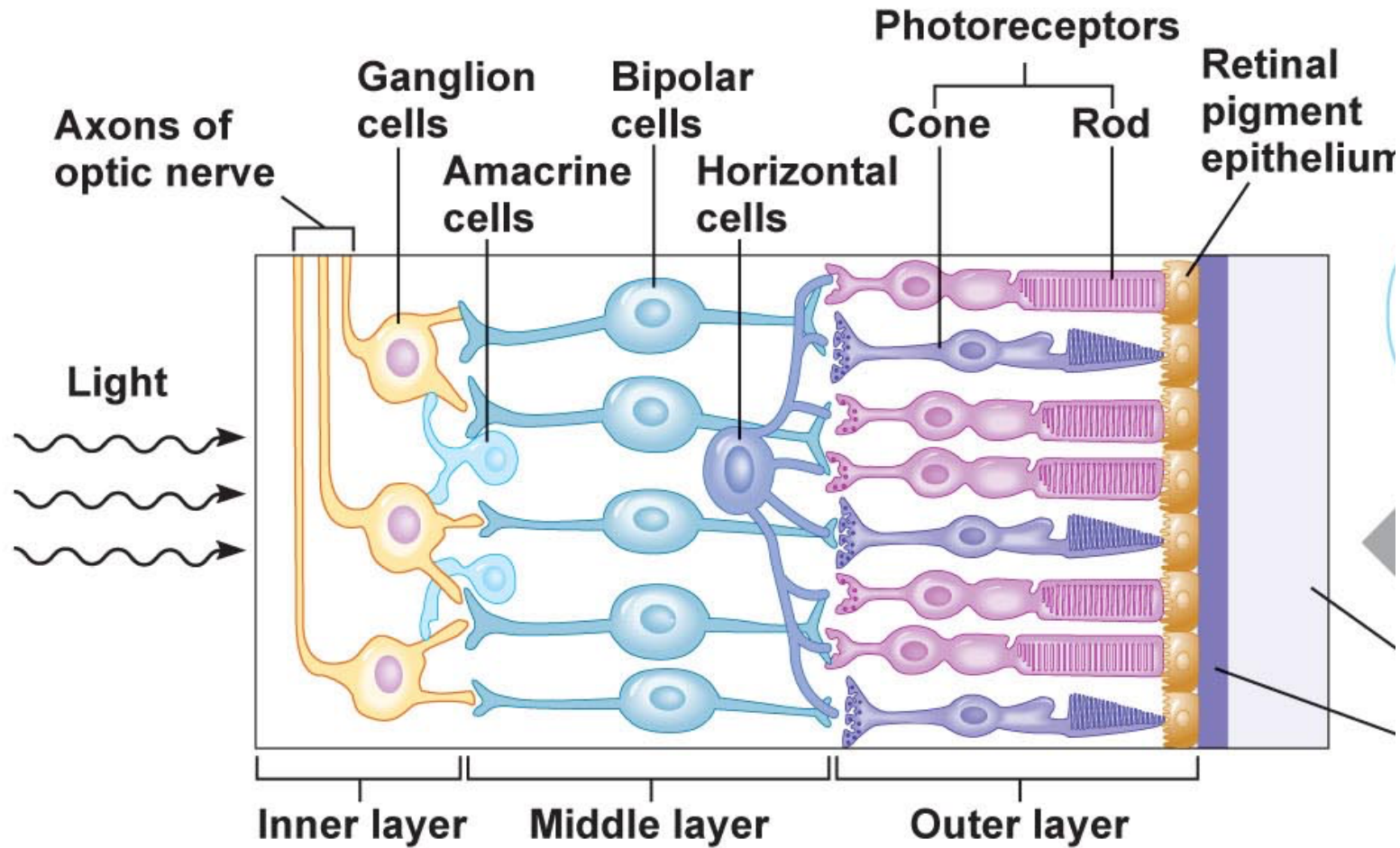
*SENSATION & PERCEPTION 3e, Figure 2.3*  
© 2012 Sinauer Associates, Inc.

# La costruzione dell'immagine

- La messa a fuoco di una immagine sulla retina è solo il primo passo verso la visione
- la retina è una vera rete nervosa con un'organizzazione relativamente ordinata basata su una struttura laminare a più strati
- La struttura potrebbe suggerire un flusso semplice del messaggio visivo dalla periferia al centro
- La luce è obbligata ad attraversare diversi strati cellulari e sinaptici prima di arrivare al luogo dove essa è convertita in segnale nervoso



# Struttura retinica



© 2011 Pearson Education, Inc.

# Struttura laminare della retina

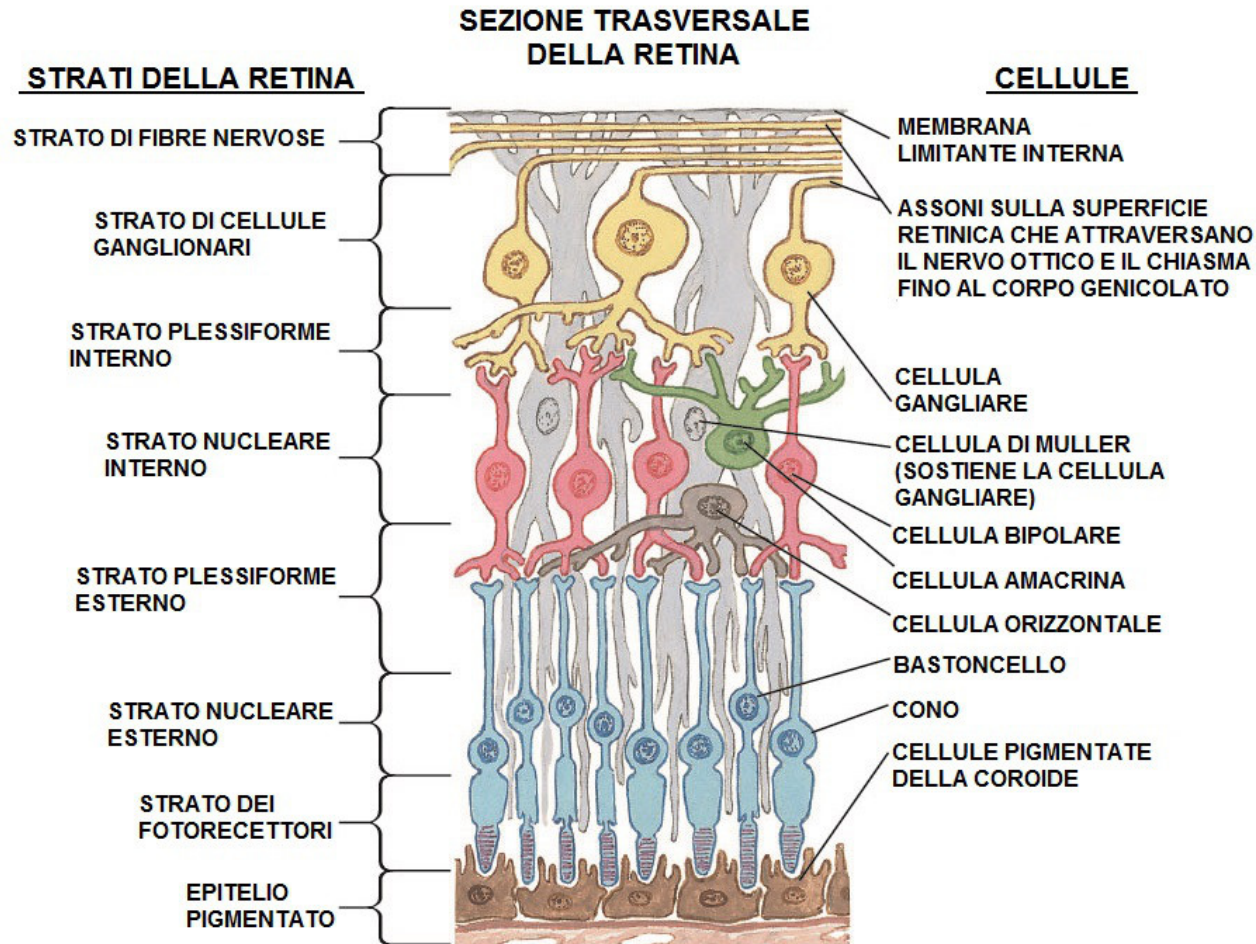
## Tre strati cellulari:

- inizialmente quello dei fotorecettori
  - comprende i coni e i bastoncelli
  - cellule specializzate per la conversione del segnale luminoso in segnale nervoso
- strato intermedio di cellule bipolari e orizzontali
- strato più interno che comprende le cellule amacrine e ganglionari

**Due strati plessiformi:** Zona dove le cellule dei tre strati cellulari entrano in relazione sinaptica

- Strato plessiforme esterno: luogo dove si stabiliscono i contatti tra i fotorecettori e le cellule bipolari ed orizzontali
- Strato plessiforme interno: luogo dei contatti tra le cellule bipolari, amacrine ed ganglionari

# Struttura laminare della retina

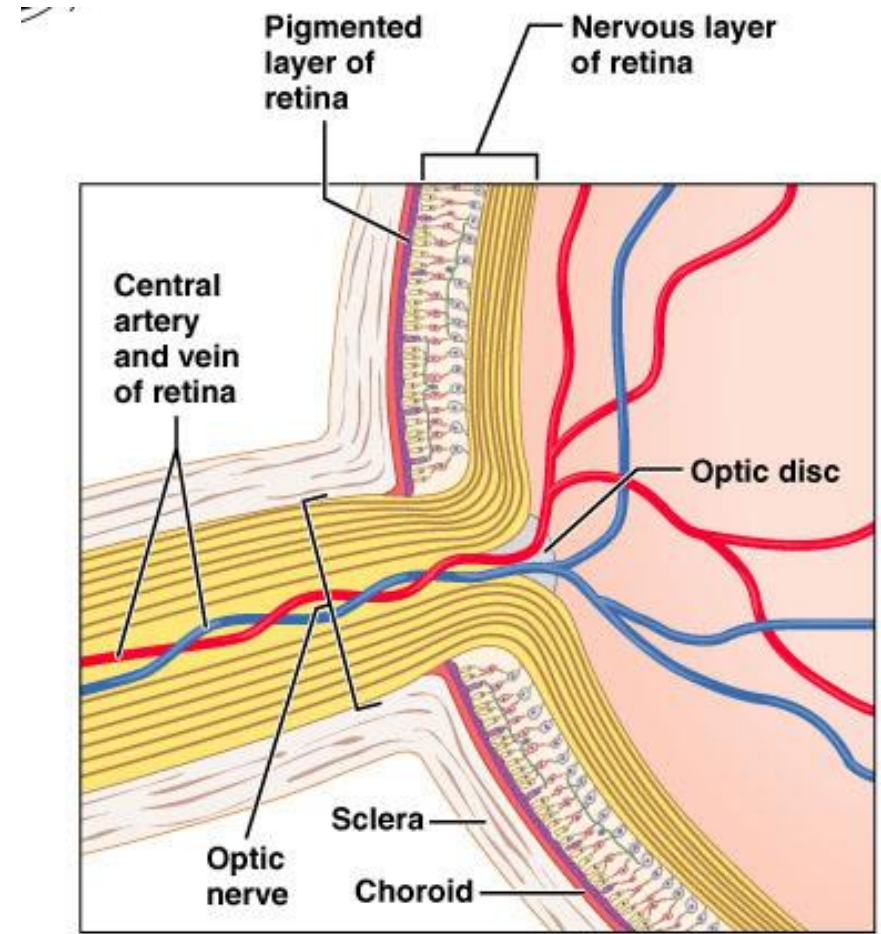


# Struttura retinica

- Nella retina si trovano 5 tipi di cellule:
  - Fotorecettori
    - Coni e Bastoncelli
  - Cellule bipolari
  - Cellule orizzontali
  - Cellule amacrine
  - Cellule gangliari
    - sono gli elementi di uscita del circuito retinico
    - inviano verso i centri cerebrali il risultato dell'elaborazione del messaggio visivo che ha luogo nella retina attraverso i loro assoni riuniti nel nervo ottico.

# La costruzione dell'immagine

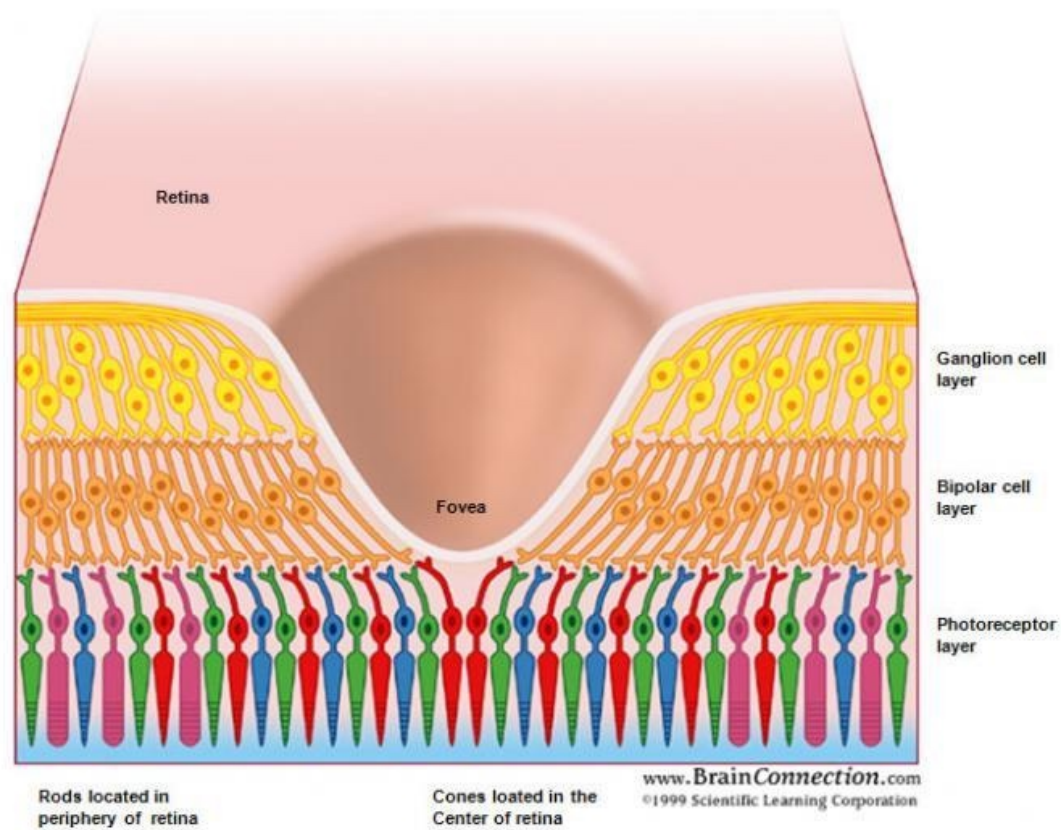
- Gli assoni delle cellule gangliari convergono in punto della retina detto papilla
- Formano il nervo ottico attraverso il quale le informazioni vengono trasmesse alle aree visive della corteccia cerebrale





# Struttura retinica

- Struttura retinica modificata nella fovea



# I fotorecettori

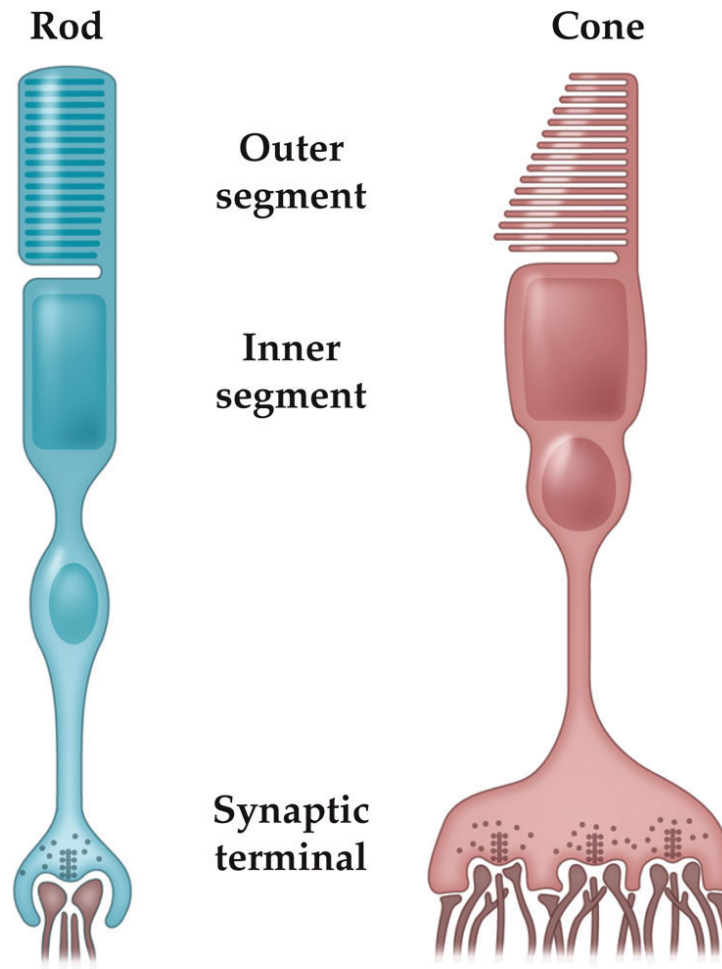
- Fotorecettori: cellule nella retina che trasducono l'energia della luce in “energia” neurale
- La luce è trasdotta da due tipi di fotorecettori: i coni e i bastoncelli
  - Bastoncelli: Fotorecettori specializzati per la visione notturna (scotopica)
  - Coni: Fotorecettori specializzati per la visione diurna (fotopica), la visione dei dettagli fini e la percezione del colore

# I fotorecettori

- Si trovano nella parte più profonda della retina e a contatto con l'epitelio pigmentato.
- Epitelio pigmentato, riveste un ruolo molto importante:
  - Questo tessuto contiene un'elevata quantità di melanina per assorbire la luce che non è stata trattenuta dalla retina
  - impedisce la diffusione di luce
  - Inoltre, ha la funzione di risintetizzare i pigmenti visivi e di facilitare il ricambio dei dischi dei fotorecettori



# Fotorecettori



*SENSATION & PERCEPTION 3e*, Figure 2.8  
© 2012 Sinauer Associates, Inc.

# Fotorecettori

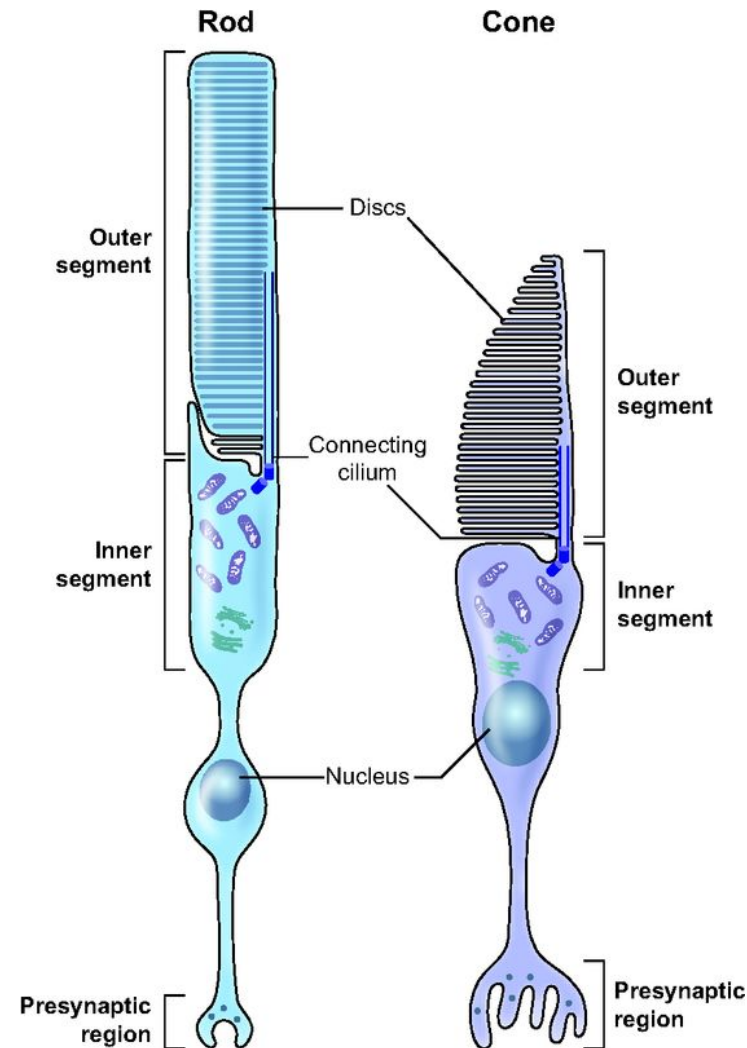
- I coni sono cellule nervose che funzionano in condizioni di piena illuminazione
- Sono concentrati soprattutto nella fovea
- Il loro compito è quello di produrre immagini molto dettagliate e a colori

# Fotorecettori

- I bastoncelli sono, invece, responsabili della visione notturna, o comunque in condizioni di scarsa illuminazione
- Sono assenti nella fovea mentre sono molto numerosi nella retina periferica

# Fotorecettori

- segmento esterno: strutture membranose ("dischi"), su cui sono posizionati i pigmenti che reagiscono allo stimolo della luce.
- segmento interno: nucleo e organelli (mitocondri, apparato di Golgi, ecc.), indispensabili per il metabolismo cellulare.
- terminazione sinaptica: trasmissione dei segnali dal fotorecettore alle cellule bipolari



# Fotorecettori

- Il segmento esterno contiene dei ripiegamenti della membrana che nei bastoncelli diventano veri e propri dischi, separati dalla membrana plasmatica, e densamente impilati.
- Le molecole di fotopigmento si trovano su questi ripiegamenti/dischi e sono in numero molto elevato
  - fino a  $10^9$  molecole di fotopigmento in un singolo bastoncello

# Fotorecettori

- I dischi sono soggetti ad un rapido turn-over
- Quelli più vecchi sono eliminati all'apice del fotorecettore (epitelio pigmentato), mentre quelli più nuovi derivano dalla parte a contatto con il soma

# Fotorecettori nella Retina

- Non sono distribuiti uniformemente

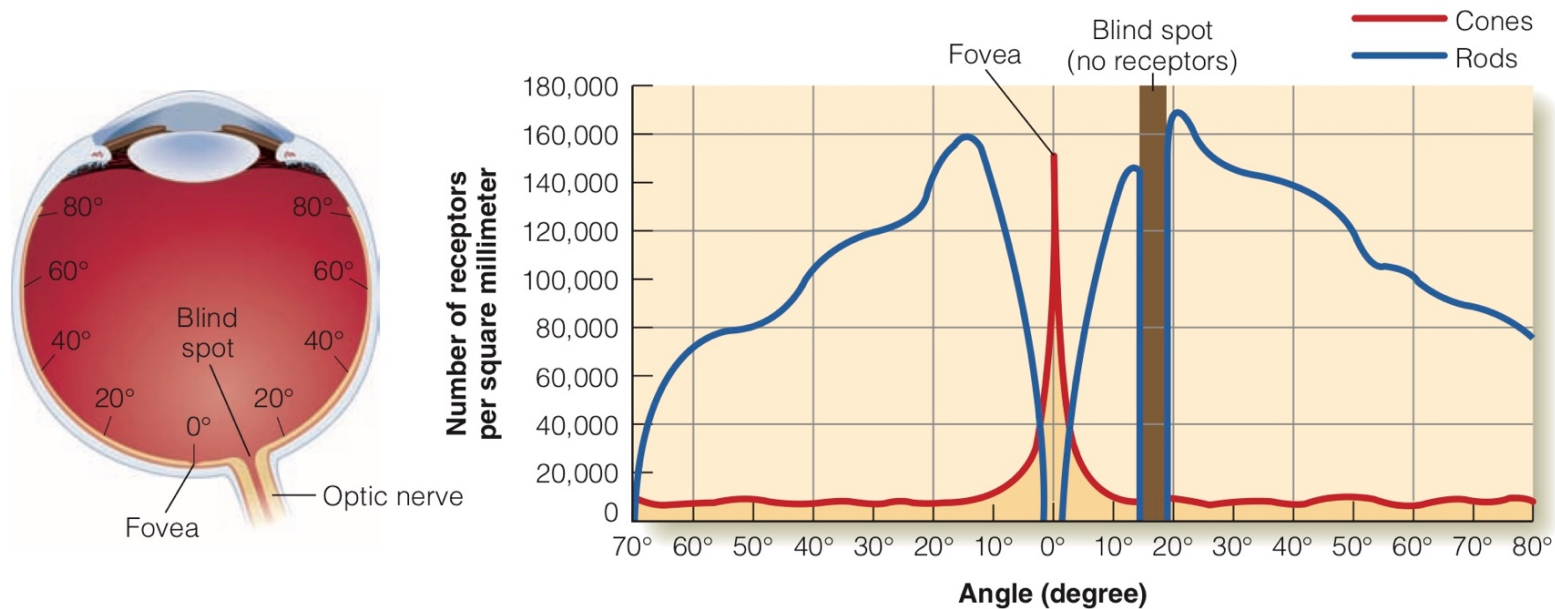


Foto tratta da Sensation and Percetion di B. Goldstein

# Fotorecettori nella Retina

- Coni e Bastoncelli hanno differenze sia dal punto di vista anatomico che funzionale
- La retina umana è così composta
  - Bastoncelli: circa 100milioni
  - Coni: circa 6 milioni

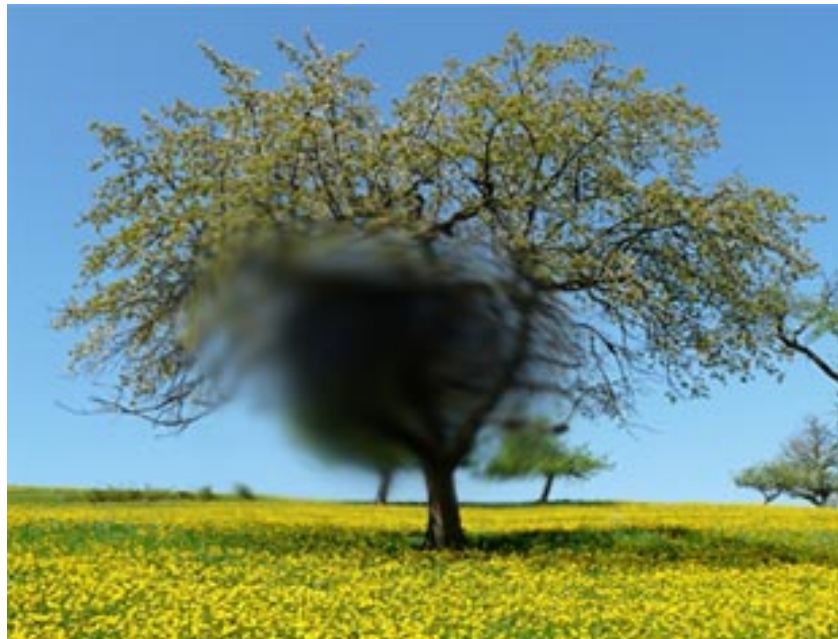


# Fotorecettori nella Retina

- Come notare la differenza di distribuzione dei fotorecettori?
- Maculopatia: malattia che colpisce la macula, l'area che si trova al centro della retina, che serve alla visione distinta centrale,
  - danneggia la zona foveale e piccole porzioni adiacenti
  - Comune nelle persone anziane

# Fotorecettori nella Retina

- Maculopatia: esempio di visione dovuta alla malattia



# Fotorecettori nella Retina

- Differenze tra Coni e Bastoncelli
  - Differente modalità di adattamento al buio
  - Bastoncelli
    - Adattamento lento
  - Coni
    - Adattamento veloce

# Sensibilità al Buio

- Esperimento per testare adattamento al buio:
  - Si chiede all'utente di aggiustare finemente l'intensità luminosa di un raggio incidente, mentre fissa un'immagine (Metodo dell'aggiustamento)
    - L'immagine condiziona la parte relativa alla fovea
    - Il fascio luminoso, la periferia

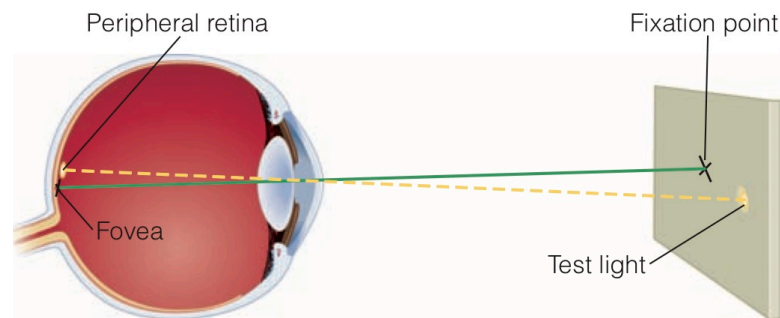


Foto tratta da Sensation and Percetion di B. Goldstein

# Richiamo: Metodo degli Aggiustamenti

- Il partecipante ha l'opportunità di modificare direttamente l'intensità dello stimolo lungo la dimensione di interesse.
- L'intensità viene posta all'inizio di ogni prova a un valore molto alto (prove discendenti) o a un valore molto basso (prove ascendenti)
  - il numero di prove ascendenti e discendenti deve essere uguale
- Il partecipante modifica l'intensità fino a quando è appena percepibile.
  - La prova viene ripetuta numerose volte.
- La soglia assoluta è la media aritmetica delle intensità scelte.

# Sensibilità al Buio

- Esperimento per testare adattamento al buio:
- Fase I
  - L'utente modifica l'intensità della luce di test, fino a poterla intravedere. La zona dell'esperimento è illuminata
  - In queste condizioni si misura la sensibilità dell'utente alla luce
- Fase II
  - La luce viene spenta, e ora l'utente aggiusta l'intensità della luce di test, finché è possibile appena distinguerla
  - Si misura la capacità di adattamento al buio

# Sensibilità al Buio

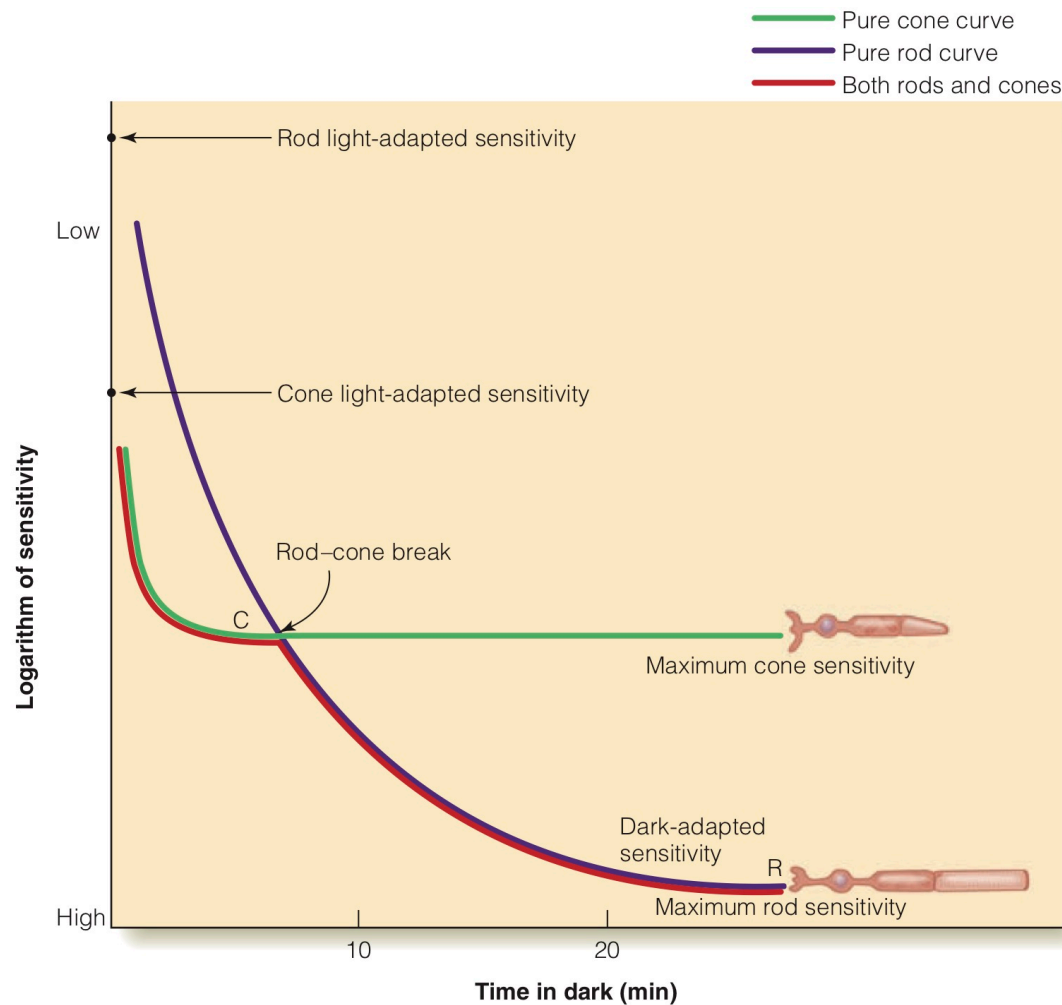
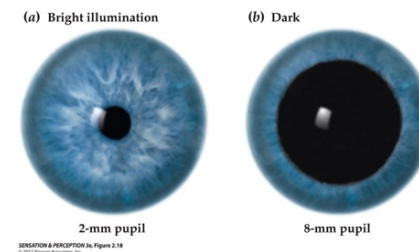


Foto tratta da Sensation and Percetion di B. Goldstein

# Sensibilità al Buio

- L'adattamento alla luce avviene attraverso due attività complementari:
  - Una di tipo meccanico:
    - La variazione della dimensione della pupilla (che permette l'ingresso di più o meno luce)
  - Una di tipo sensoriale:
    - La progressiva depolarizzazione e adattamento dei fotorecettori





# Sensibilità dei fotorecettori

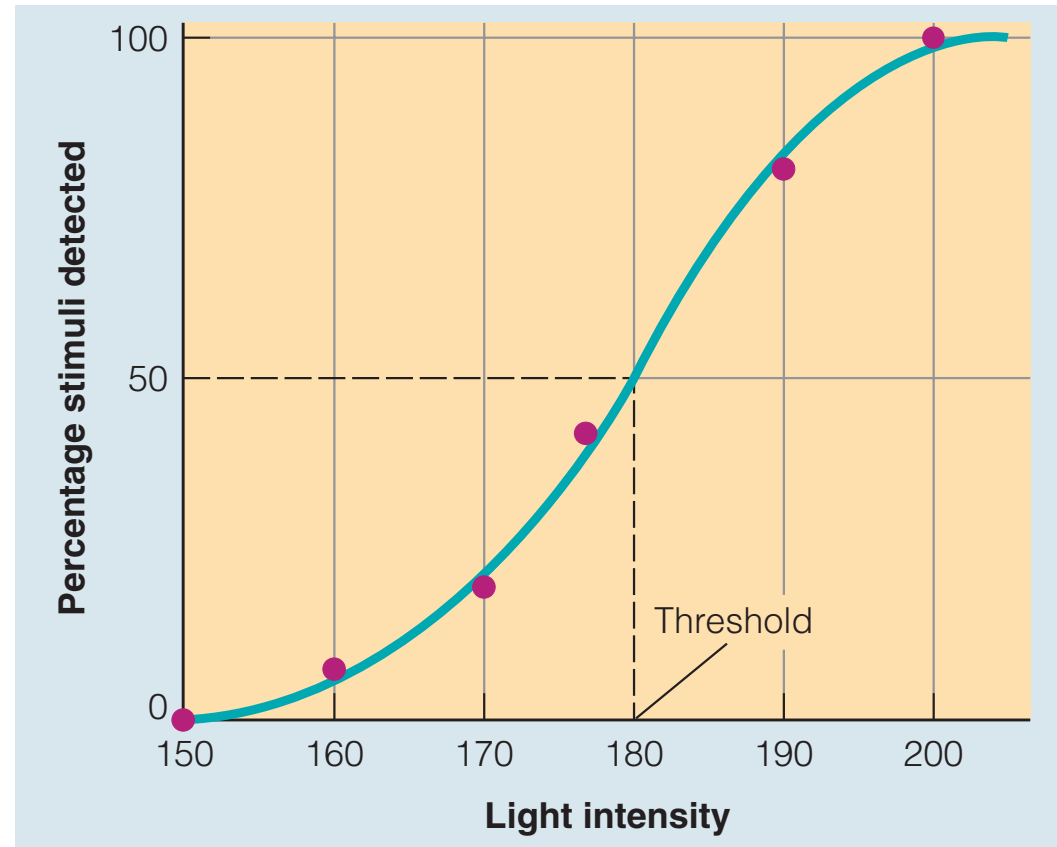
- Esperimento di Hecht:
  - Determinare la soglia assoluta per distinguere un flash di luce
  - Uso del metodo degli stimoli costanti
    - Attraverso la psicofisica determino il comportamento fisiologico
  - Sorgente di luce talmente precisa da determinare il numero minimo di fotoni
    - Quantità minima di energia luminosa

# Richiamo: Metodo degli Stimoli Costanti

- Un certo numero di stimoli di differente intensità è presentato ai soggetti più volte, in ordine casuale.
- In ogni prova è presentato uno stimolo di una certa intensità e il soggetto deve riferire se ha avvertito o no la sensazione.
- Si considera come soglia assoluta il valore dello stimolo che nel 50% dei casi ha la probabilità di suscitare la sensazione corrispondente

# Richiamo: Metodo degli Stimoli Costanti

- Facile da usare
- Permette di avere misure più accurate
  - Stimoli in ordine casuale
  - Molte prove



# Sensibilità dei fotorecettori

- Esperimento di Hecht:
- Determina che una persona rileva una luce con 100 fotoni
  - Quanta luce penetra e raggiunge la retina?
  - Cosa succede al livello dei fotorecettori?

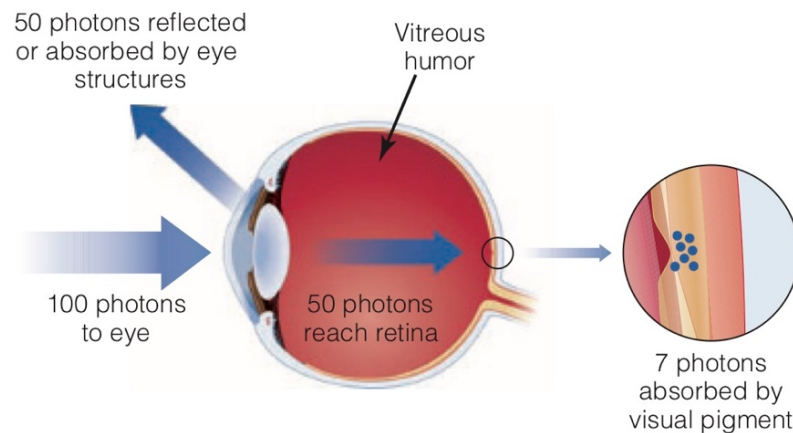


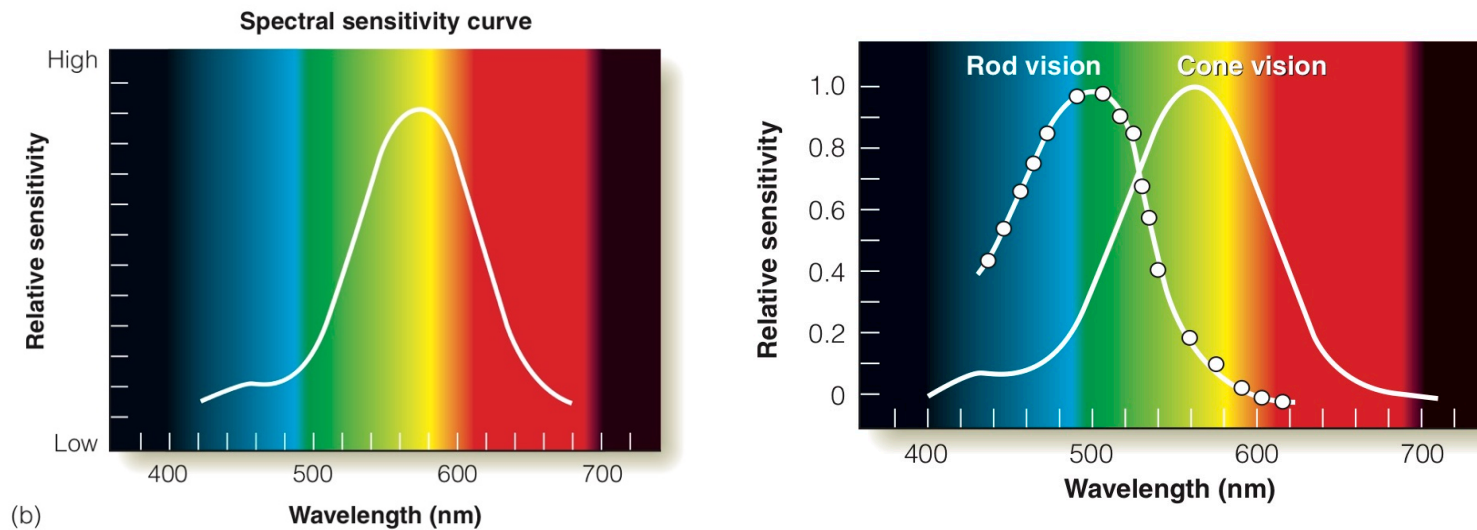
Foto tratta da Sensation and Perception di B. Goldstein

# Sensibilità dei fotorecettori

- Esperimento di Hecht:
- Solo il 50% raggiunge la retina, e solo 7 fotoni attivano i fotorecettori
- Possono 2 fotoni attivare lo stesso fotorettore?
  - Molto improbabile
- **Risultati di Hecht:**
  - Una persona riesce a distinguere una luce se 7 bastoncelli sono attivati
  - E un fotone attiva un solo bastoncello

# Sensibilità dei fotorecettori

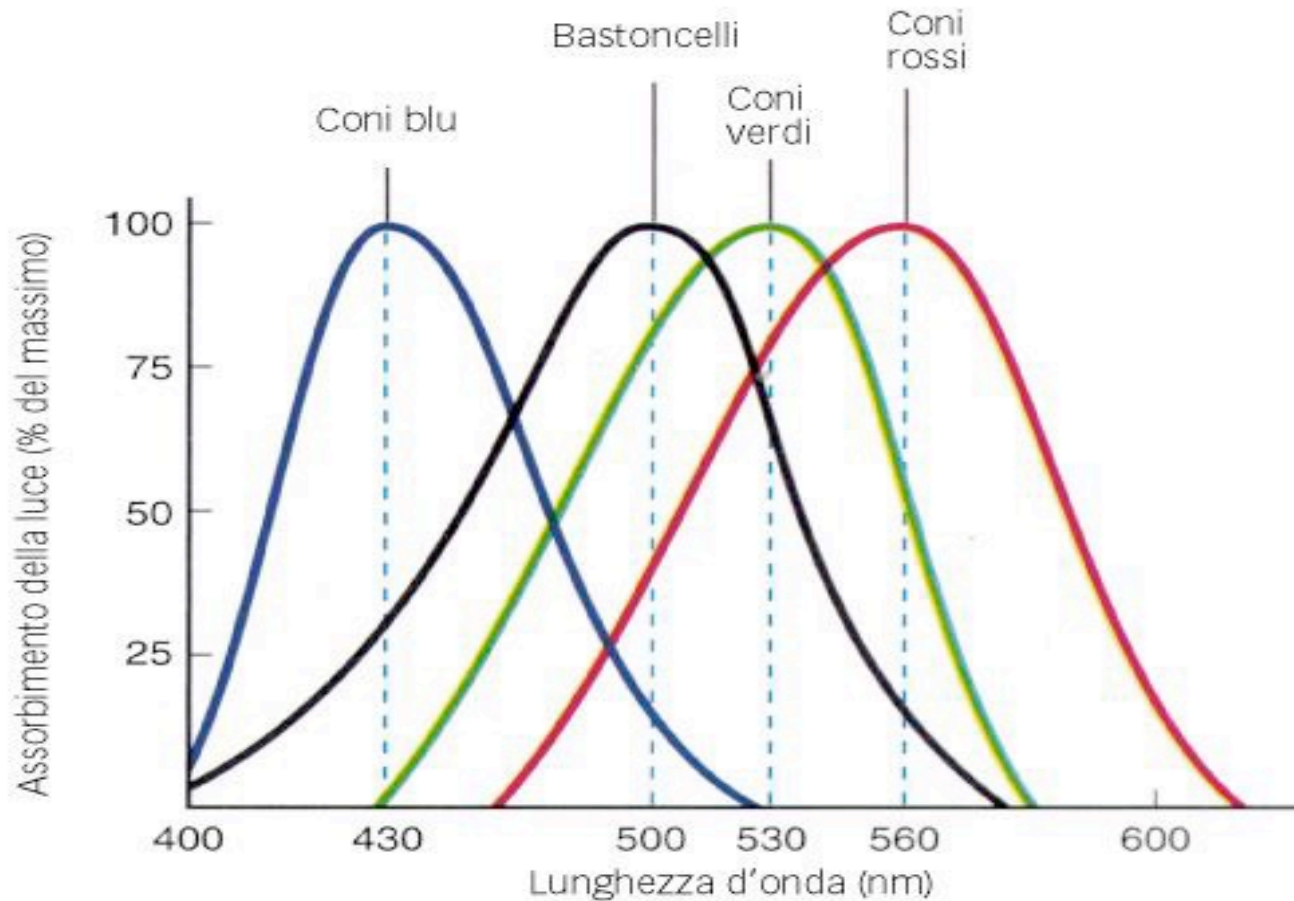
- Possiamo pensare di sottoporre l'osservatore a una sorgente luminosa monocromatica e valutare la soglia per ogni lunghezza d'onda



# Sensibilità dei fotorecettori

- Coni: 3 tipi, ciascuno ha una differente forma di fotopigmento
- Le 3 forme sono sensibili a differenti porzioni dello spettro:
- 10% coni rossi
  - L-coni: sensibili alle onde lunghe (quelle che noi percepiamo come rosso)
- 45% coni blu
  - S-coni: sensibili alle onde corte (blu)
- 45% coni verdi
  - M-coni: sensibili alle onde medie (verde)

# Sensibilità dei fotorecettori





# Differenze nei Fotorecettori

Bastoncelli	Coni
Acromatici (1 fotopigmento)	Tri-cromatici (3 fotopigmenti)
Sensibilità elevata	Sensibilità bassa
Alta convergenza	Bassa convergenza
Bassa acuità: non è presente nella fovea, vie retiniche altamente convergenti	Alta acuità: particolarmente concentrato nella fovea, vie retiniche meno convergenti
Periferici 100 milioni	Centrali 6milioni
Risposta lenta	Risposta rapida
Lento adattamento al buio	Veloce adattamento al buio
Saturazione della risposta	No saturazione della risposta