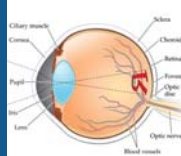


# 2

## I primi stadi della percezione visiva



# 2

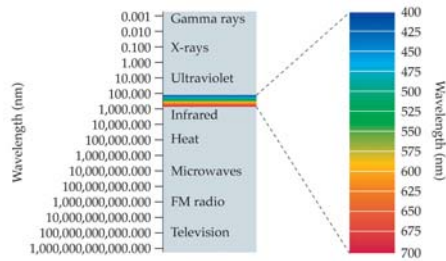
## The First Steps in Vision

- Alcune nozioni di fisica della luce
- L'occhio, lo strumento per vedere la luce
- I meccanismi di analisi delle informazioni retiniche
- Fischiando nel buio: il buio e l'adattamento alla luce
- L'uomo che non poteva vedere le stelle

# 2

## A Little Light Physics

- **La luce:** Un'onda, un flusso di fotoni, piccolissime particelle che trasportano un QUANTO di energia



# 2

## La gamma di intensità

	Intensità (candele/m <sup>2</sup> )	
Luce solare a mezzogiorno	10 <sup>16</sup>	
	10 <sup>9</sup>	Danni
	10 <sup>8</sup>	
Filamento di una lampadina da 100 Watt	10 <sup>7</sup>	
	10 <sup>6</sup>	
Carta bianca alla luce del sole	10 <sup>5</sup>	Visione fotopica
	10 <sup>4</sup>	
Letture agevole	10 <sup>3</sup>	
	10 <sup>2</sup>	Visione mesopica
	10 <sup>1</sup>	
Carta bianca alla luce della luna	10 <sup>0</sup>	
	10 <sup>-1</sup>	Visione scotopica
Carta bianca alla luce delle stelle	10 <sup>-2</sup>	
	10 <sup>-3</sup>	
La più debole luce visibile	10 <sup>-4</sup>	

# 2

## A Little Light Physics (cont'd)

- La luce può essere assorbita, diffratta, riflessa, trasmessa o rifratta

# 2

## A Little Light Physics (cont'd)

- **Assorbimento:** L'energia (per esempio la luce) è trattenuta e per niente trasmessa

2

A Little Light Physics (cont'd)

- **Riflessione:** Si ha riflessione quando l'energia che colpisce una superficie viene ri-diretta da qualche parte, di solito indietro al punto di origine

2

A Little Light Physics (cont'd)

- **Trasmissione:** Si ha trasmissione quando l'energia attraversa una superficie, nel caso in cui cioè l'energia non è né riflessa né assorbita da tale superficie

2

A Little Light Physics (cont'd)

- **Diffrazione:** Curvare o diffondere onde (per esempio onde sonore o di luce che passino attraverso strette aperture)

2

A Little Light Physics (cont'd)

- **Rifrazione:** La luce viene deviata dal passaggio da un mezzo ad un'altro (per esempio la luce che entra nell'acqua proveniente dall'aria) che ne varia la velocità di propagazione

2

Rifrazione

- La rifrazione succede alla superficie di contatto fra due mezzi ottici con indici di rifrazione diversi.



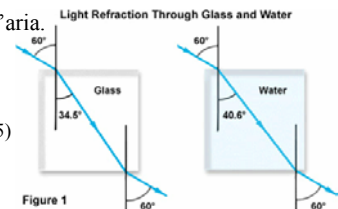
2

La rifrazione dipende dalla densità ottica

- L'acqua è più densa dell'aria.
- Segue la legge di Snell:  

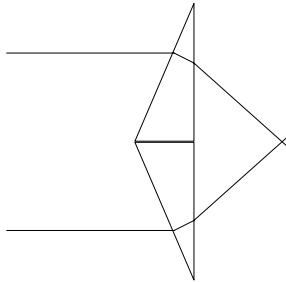
$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

$$1 \sin (60) = 1.33 \sin (40.5)$$



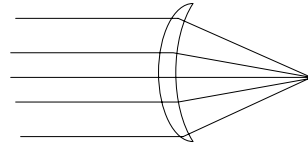
2

## Una lente semplice



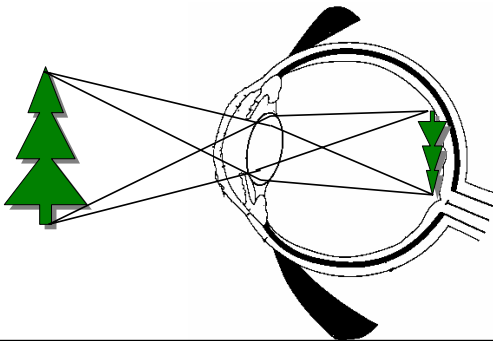
2

## Una lente semplice



2

## L'immagine retinica è invertita



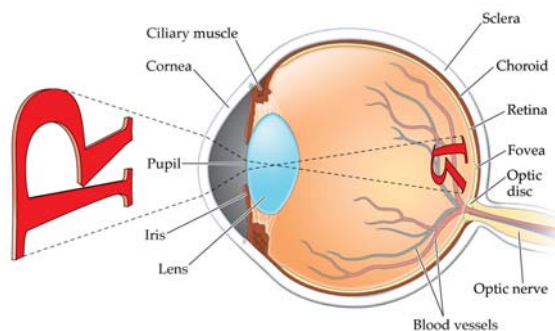
2

## Eyes That See Light

- L'occhio umano è fatto di varie parti:
  - **Cornea:** La finestra trasparente della sfera oculare
  - **Umore acqueo:** Il fluido contenuto nella camera anteriore
  - **Il cristallino:** La lente dentro l'occhio che permette la messa a fuoco

2

## The Human Eye



2

## Eyes That See Light (cont'd)

- **La pupilla:** La scura apertura circolare al centro dell'iride dell'occhio che permette alla luce di entrarvi
- **Umore vitreo:** Il fluido trasparente che riempie la camera vitrea nella parte posteriore dell'occhio
- **Retina:** Una membrana foto-sensibile posizionata nella parte posteriore dell'occhio che contiene coni e bastoncelli, la quale riceve segnali sull'immagini dal cristallino invia le informazioni alla corteccia visiva attraverso il nervo ottico

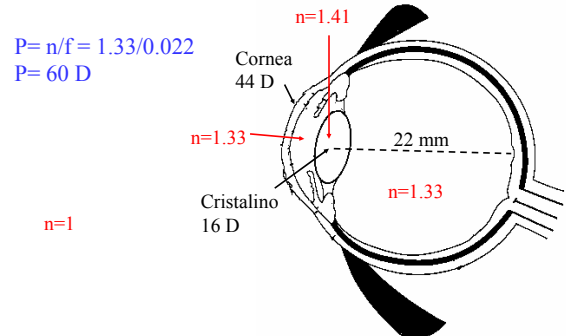
2

## Eyes That See Light (cont'd)

- La rifrazione è necessaria per mettere a fuoco le immagini (facendo cadere la luce sulla retina). Questo processo è svolto principalmente dalla cornea (70%).
  - Il cristallino è capace di contribuire alla messa a fuoco **ATTIVAMENTE** cambiando la sua forma: ciò passa sotto il nome di "Accomodazione"
  - **Emmetropia**: La condizione (ottimale) in cui non si avvengono errori di rifrazione

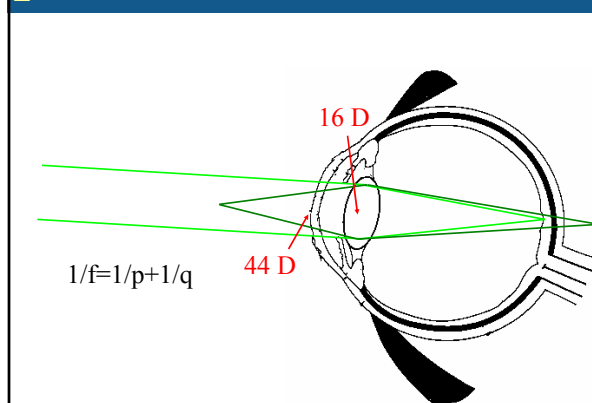
2

## La potenza dell'occhio (a riposo)



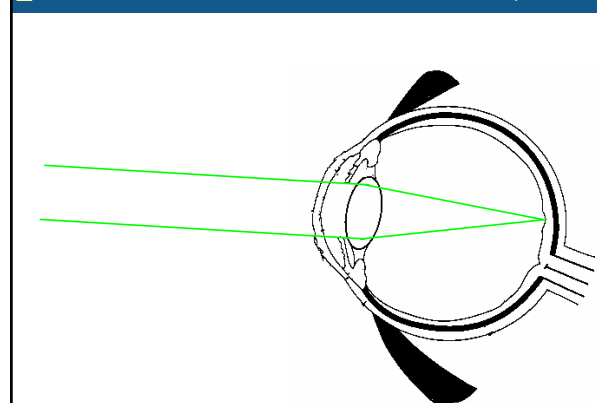
2

## Il ruolo del cristallino



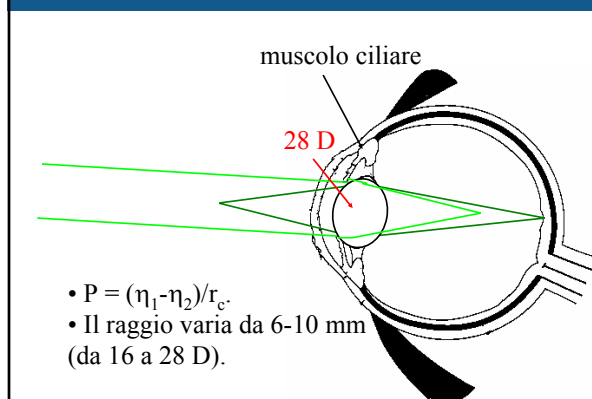
2

## Un occhio emmetrope



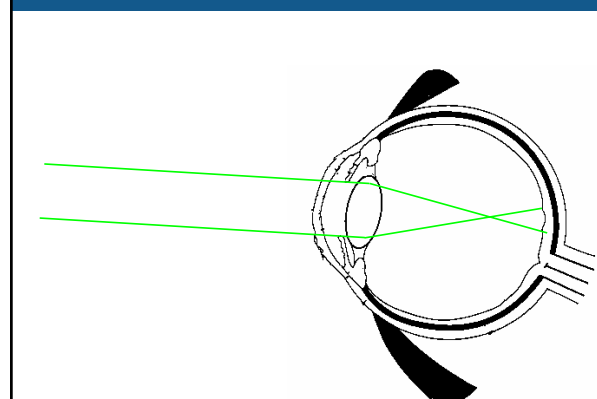
2

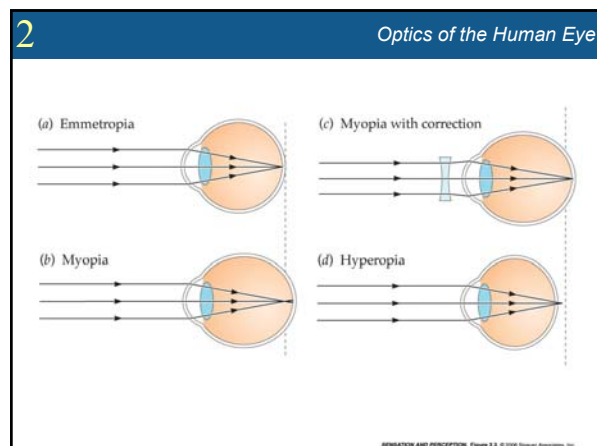
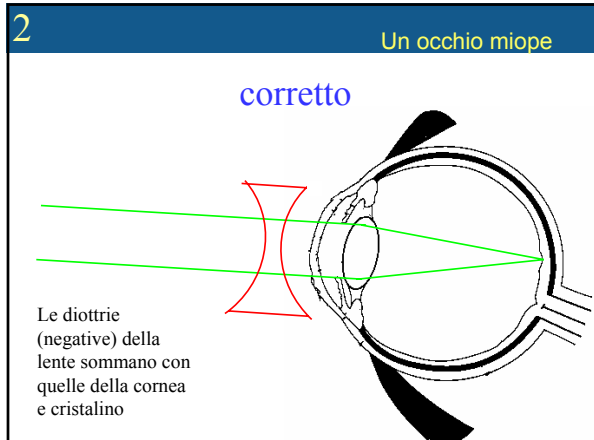
## Il ruolo del cristallino: accomodazione



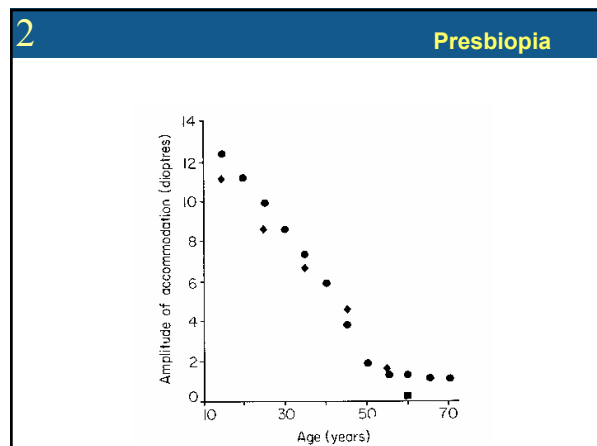
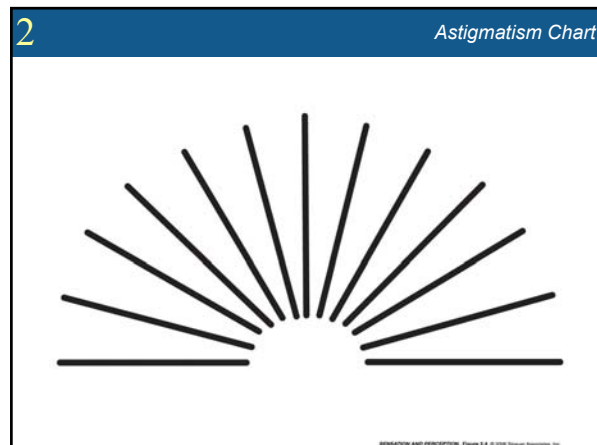
2

## Un occhio miope





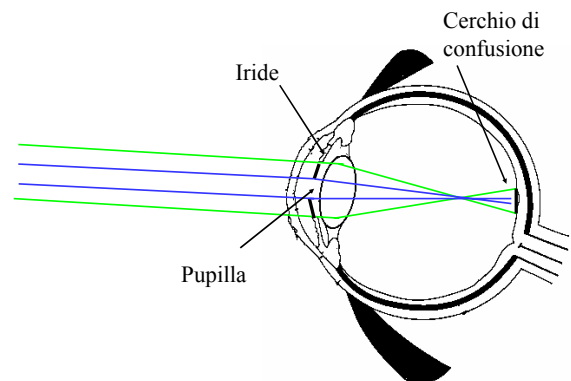
- 2 Eyes That See Light (cont'd)
- Problemi di rifrazione:
    - **Miopia:** Condizione in cui la luce che entra all'interno dell'occhio cade DAVANTI alla retina facendo sì che gli oggetti distanti non possano essere visti nitidamente
    - **Ipermetropia:** Condizione in cui la luce che entra nell'occhio 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



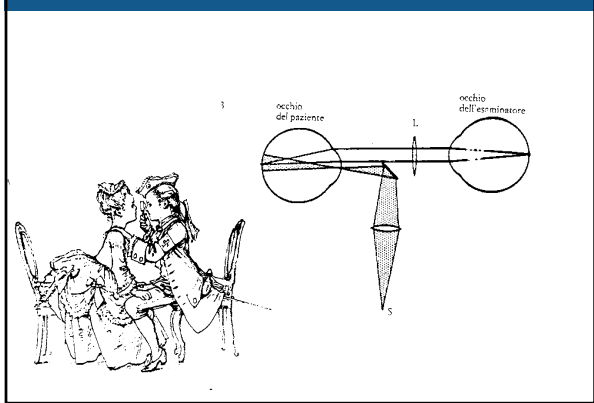
2 Eyes That See Light (cont'd)

- L'occhio: L'ottica di questo strumento biologico è simile a quella delle comuni video-camere compresi i meccanismi per la regolazione della quantità di luce in ingresso e l'uso di lenti per aggiustare il fuoco per la visione di oggetti distanti o vicini

2 Il ruolo della pupilla



2 Oftalmoscopio



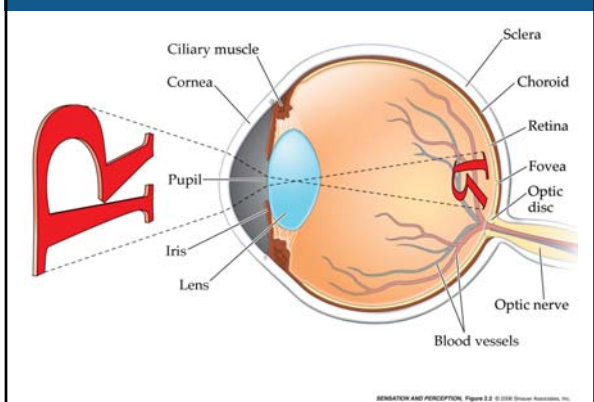
2 Eyes That See Light (cont'd)

- Utilizzando un oftalmoscopio i dottori possono vedere la superficie posteriore degli occhi dei pazienti: il fondo

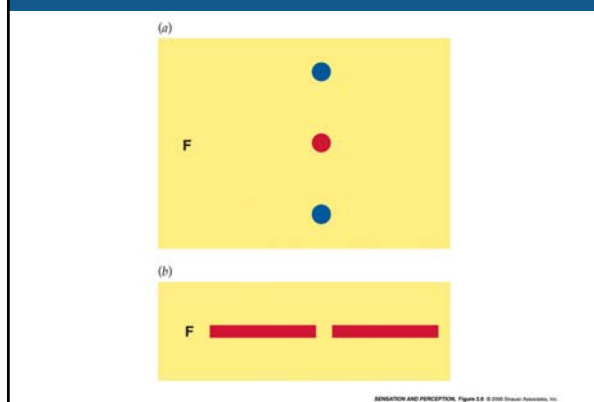


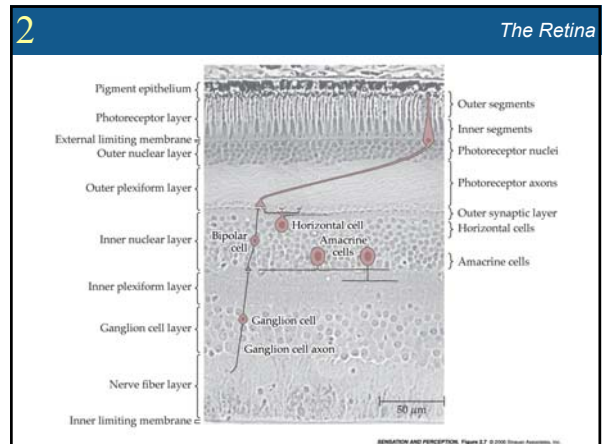
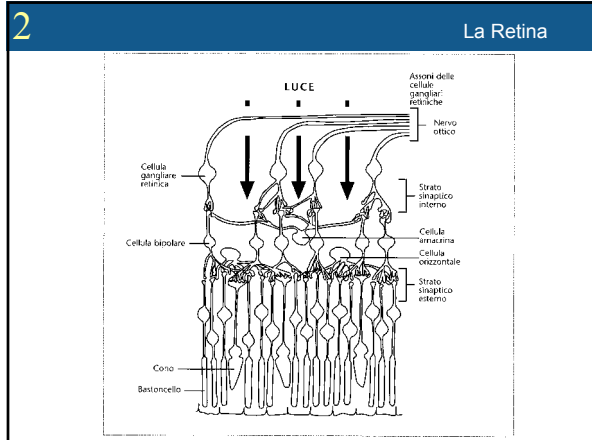
Si puo' vedere il fondo proprio illuminando l'occhio con una torcia laterale

2 The Human Eye



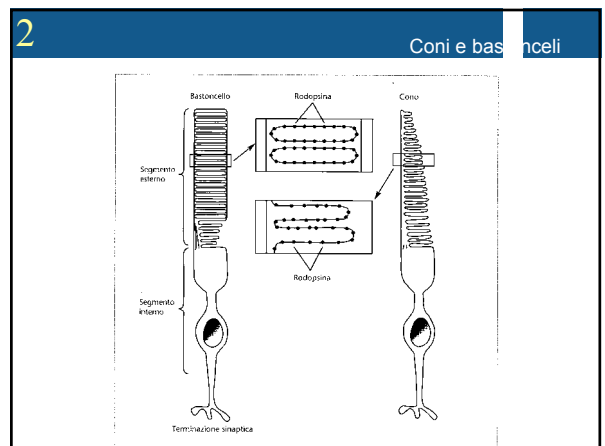
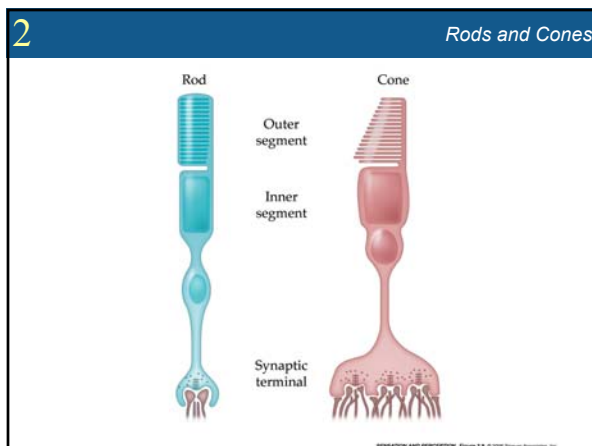
2 The Blind Spot





- 2 Eyes That See Light (cont'd)
- **Fotorecettori:** Cellule nella retina che trasducono l'energia della luce in "energia" neurale
  - La luce è trasmessa da due tipi di fotorecettori: i coni e i bastoncelli

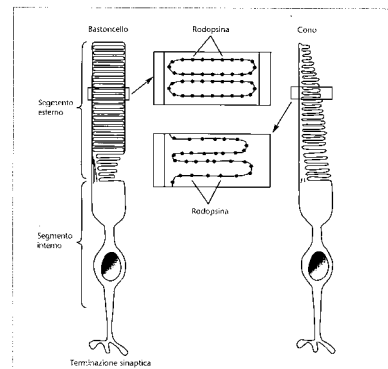
- 2 Retinal Information Processing (cont'd)
- **Bastoncelli:** Fotorecettori specializzati per la visione notturna (scotopica)
  - **Coni:** Fotorecettori specializzati per la visione diurna (fotopica), la visione dei dettagli fini e la percezione del colore
  - Molti animali hanno nella retina una preponderanza di bastoncelli (per esempio i gatti e i gufi)



## 2 LA FOTOTRASDUZIONE

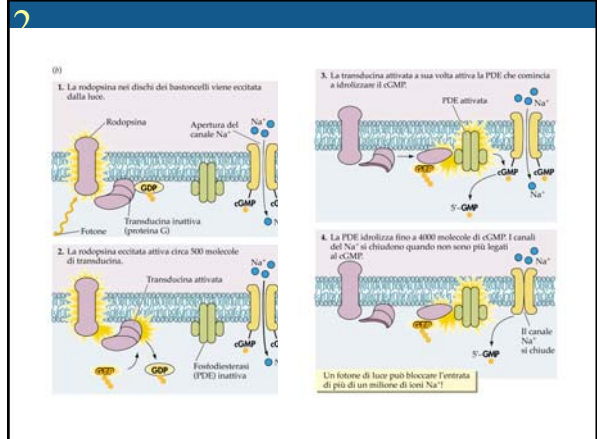
- I fotopigmenti sono molecole piccole legate alle molecole grandi delle membrane dei segmenti esterni dei fotorecettori.
- Per aumentare le superfici, la membrana è invaginata a formare dischi ( $\sim 10^8$  molecole).

## 2 Coni e bastoncelli



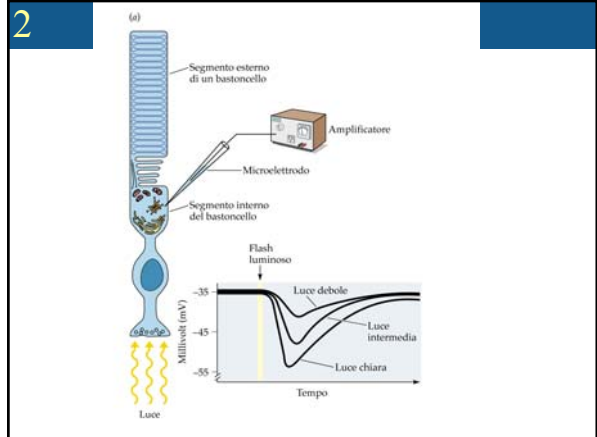
## 2 Retinal Information Processing (cont'd)

- Catturare un fotone: Quando la luce colpisce l'occhio, il processo di fotoattivazione ha inizio

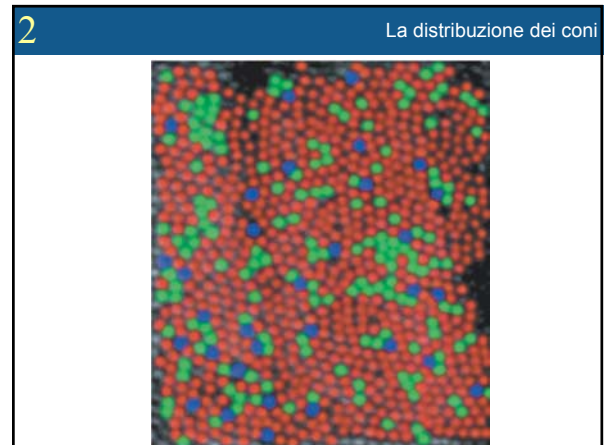
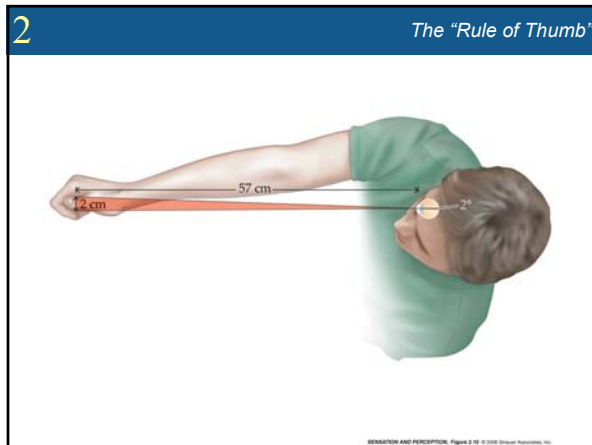
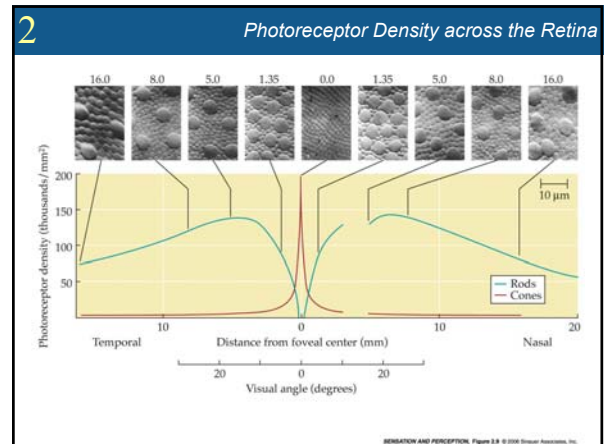
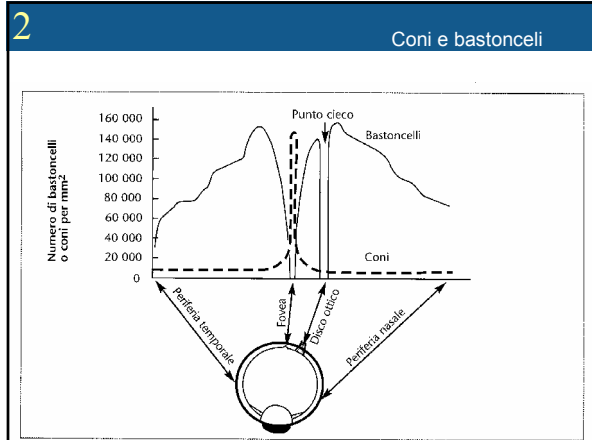


## 2 LA FOTOTRASDUZIONE

Al buio, con i canali di  $\text{Na}^+$  aperti, il potenziale di riposo è circa  $-40$  mv. Con i canali chiusi **iperpolarizza** verso  $-70$  mv (il potenziale di riposo di  $\text{K}^+$ ).

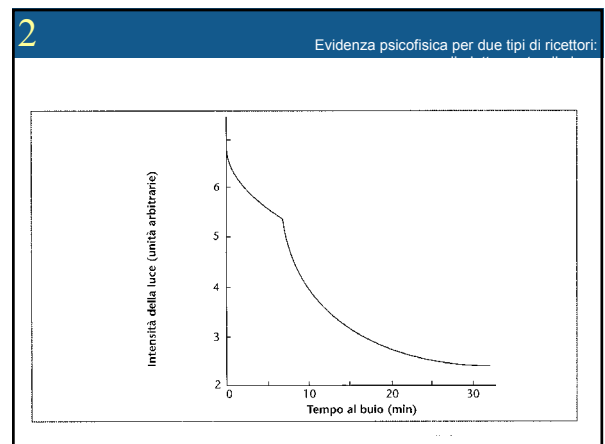


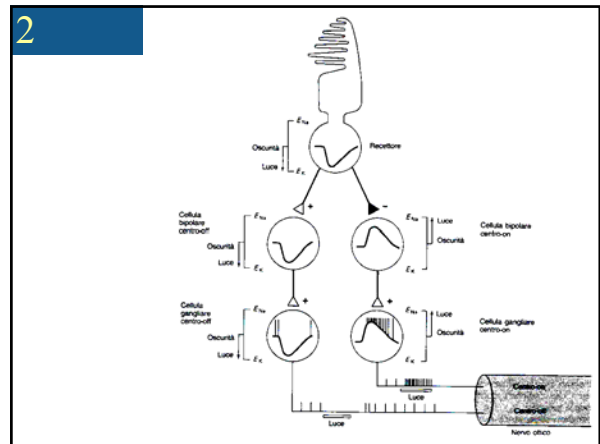
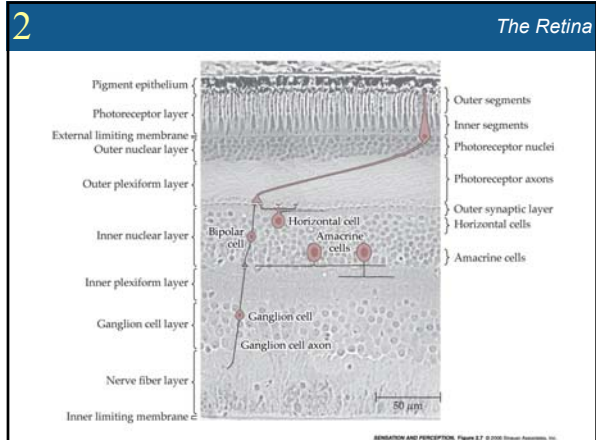




## 2 Due Tipi di fotorecettori

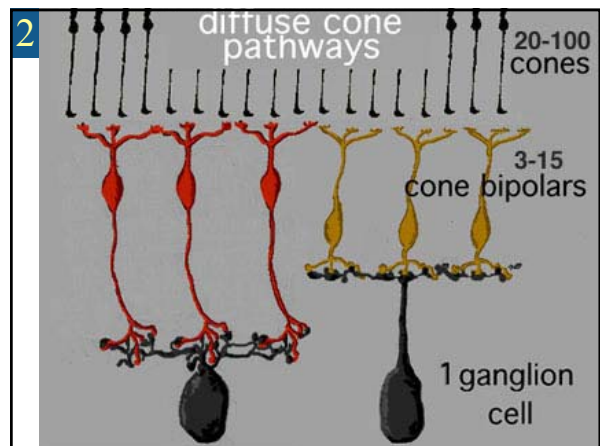
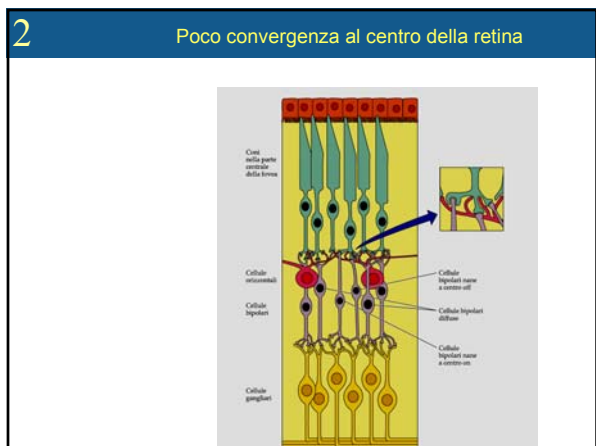
Bastoncelli	Coni
Acromatici	Tri-cromatici
Sensibilità elevata	Sensibilità bassa
Alta convergenza	Bassa convergenza
Bassa acuità	Alta acuità
Periferici (15°)	Centrali
100 milioni	6 milioni
Risposta lenta	Risposta rapida
Non-selettiva alla direzione della luce	Selettiva alla direzione della luce (Stiles-Crawford)

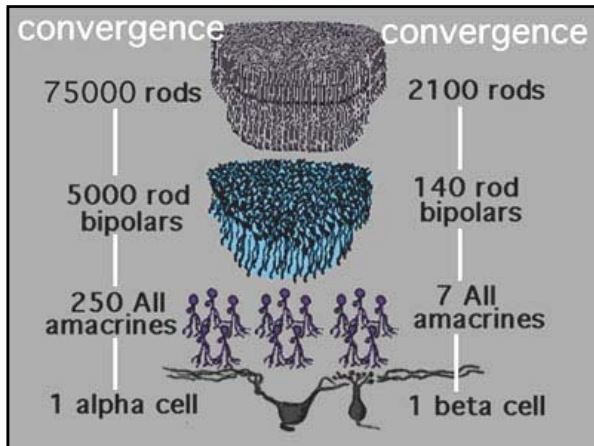




- 2 **I strati interni della retina**
- La retina contiene circa 126 milioni di fotorecettori.
  - L'informazione è trasmessa dalla retina al cervello tramite 1 milioni di assoni delle cellule gangliari.
  - Quindi la retina deve condensare e riorganizzare l'informazione dei fotorecettori.
  - Lavoro principale è l'analisi del contrasto.

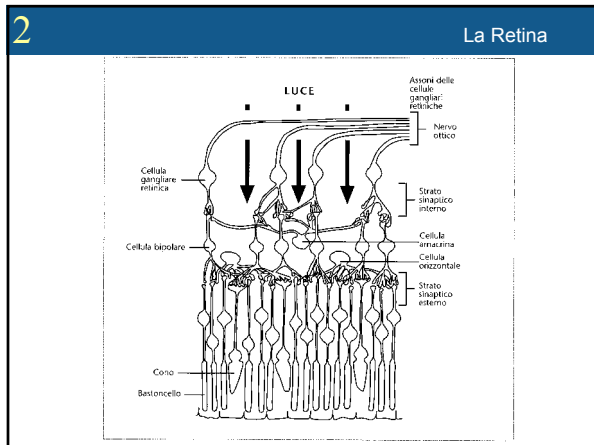
- 2 **Retinal Information Processing (cont'd)**
- Esistono tipi diversi di cellule bipolari, per esempio:
  - **Cellule bipolari diffuse**: Ricevono segnale di input DA PIU' di un cono
  - **Cellule bipolari minuscole**: Ricevono segnale di input da UN SOLO cono





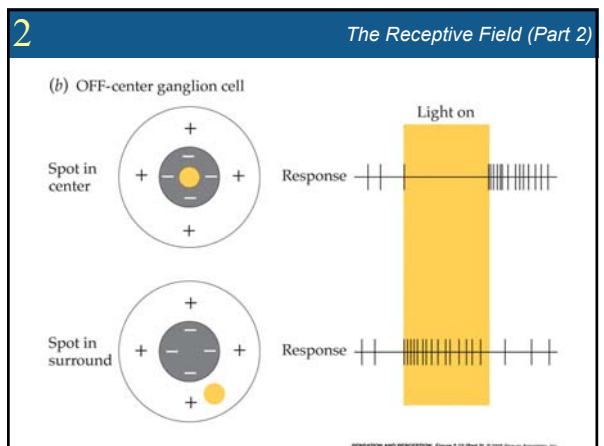
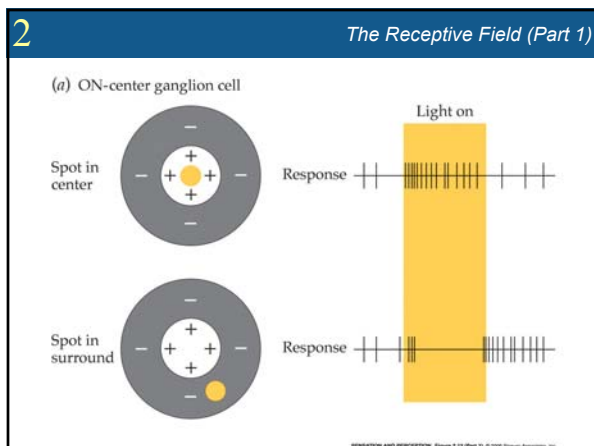
2 Retinal Information Processing (cont'd)

- Il percorso verticale: verticalmente le connessioni riguardano i fotorecettori, le cellule bipolari e le cellule gangliari
- Varie regioni della retina interagiscono fra loro per mezzo di connessioni laterali di tipo inibitorio. Tale processo è svolto dalle cellule orizzontali dalle cellule amacrine



2 Retinal Information Processing (cont'd)

**Campo recettivo:**  
Regione dello spazio in cui uno stimolo attiva un neurone

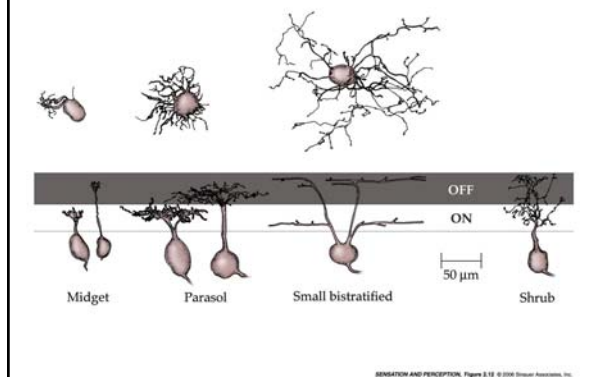


## 2 Retinal Information Processing (cont'd)

- Kuffler ha mappato i campi recettivi di singole cellule gangliari nella retina dei gatti
  - Egli trovò che il layout spaziale del campo recettivo delle cellule gangliari è concentrico
  - Le cellule scaricano con frequenza massima quando la grandezza dello stimolo coincide con quella dell'area eccitatoria centrale; mentre riducono il loro tasso di scarica quando lo stimolo cade anche nella zona periferica inibitoria: Cellule centro ON
  - Le cellule centro OFF fanno esattamente l'opposto

Demo

## 2 Different Types of Retinal Ganglion Cells



## 2 La gamma di intensità

	Intensità (candele/m <sup>2</sup> )	
Luce solare a mezzogiorno	10 <sup>16</sup>	Danni
	10 <sup>9</sup>	
	10 <sup>8</sup>	
	10 <sup>7</sup>	
Filamento di una lampadina da 100 Watt	10 <sup>6</sup>	Visione fotopica
Carta bianca alla luce del sole	10 <sup>5</sup>	
	10 <sup>4</sup>	
Lettura agevole	10 <sup>2</sup>	Visione mesopica
	10	
Carta bianca alla luce della luna	1	Visione scotopica
	10 <sup>-1</sup>	
	10 <sup>-2</sup>	
	10 <sup>-3</sup>	
Carta bianca alla luce delle stelle	10 <sup>-4</sup>	
	10 <sup>-5</sup>	
La più debole luce visibile	10 <sup>-6</sup>	

## 2 Whistling in the Dark: Dark and Light Adaptation

- Due meccanismi distinti per l'adattamento alla luce e quello al buio:
  - Dilatazione pupillare
  - Fotorecettori ed il loro rimpiazzo

## 2 The Pupil in Light vs. Dark Conditions

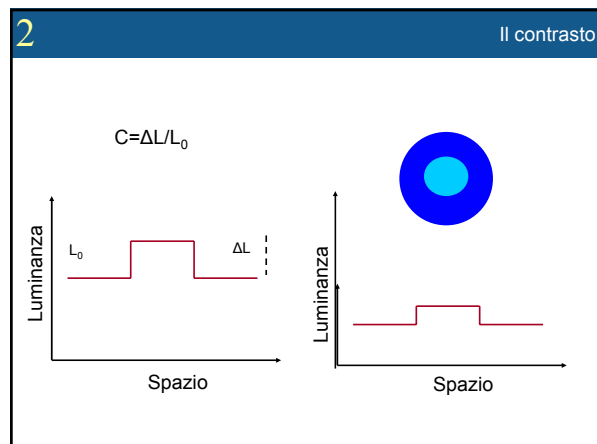
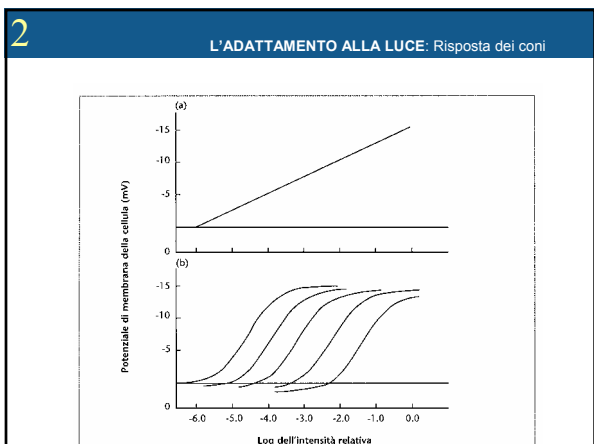
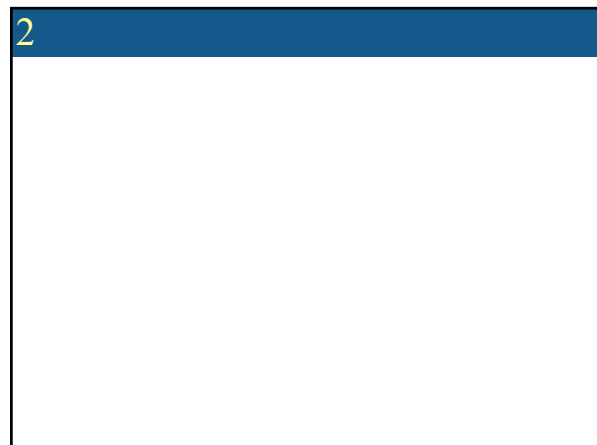
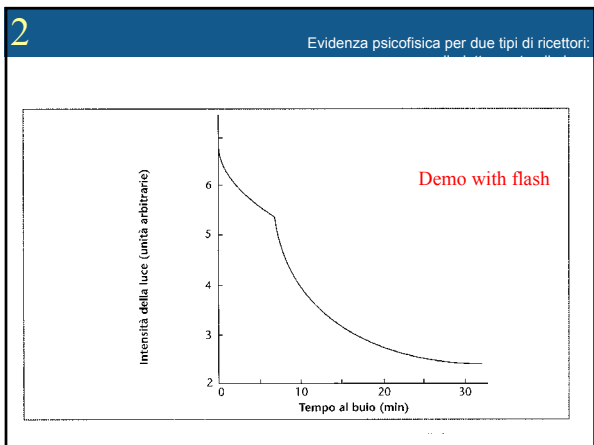
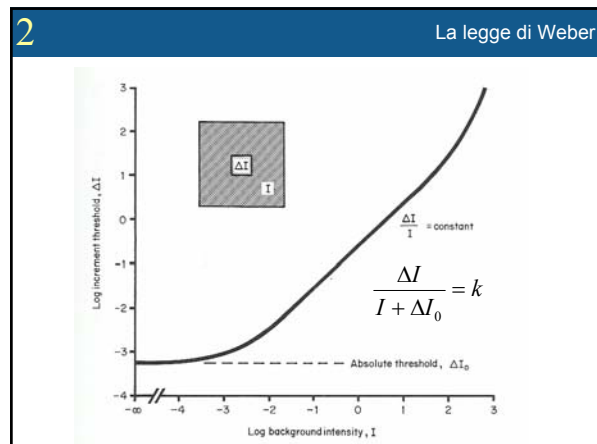


## 2 Whistling in the Dark: Dark and Light Adaptation (cont'd)

- Sono i circuiti neurali retinici che ci permettono di avere una visione ottimale nonostante le continue variazioni dei livelli di illuminazione nell'ambiente

2 L'ADATTAMENTO ALLA LUCE

- Il diametro della pupilla varia da 2 a 8 mm (un fattore di  $4^2 = 16$ ). La luminanza varia un fattore di  $10^{12}$ .
- L'adattamento alla luce determina una lenta desensitizzazione dei coni (in circa 10 sec).
- La sensibilità segue **la legge di Weber:  $\Delta I = kI$**   
 **$\Delta I/I = k$**



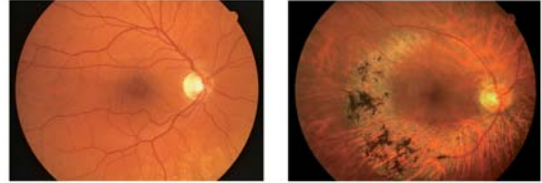
2

The Man Who Could Not See Stars

- **Retinite pigmantosa:** Un gruppo di disturbi ereditari che procura la progressiva morte dei fotorecettori e la degenerazione del pigmento epiteliale

2

The Fundus: Normal vs. Retinitis Pigmentosa



2

Visual Fields: Normal vs. Retinitis Pigmentosa

