

I primi stadi della visione



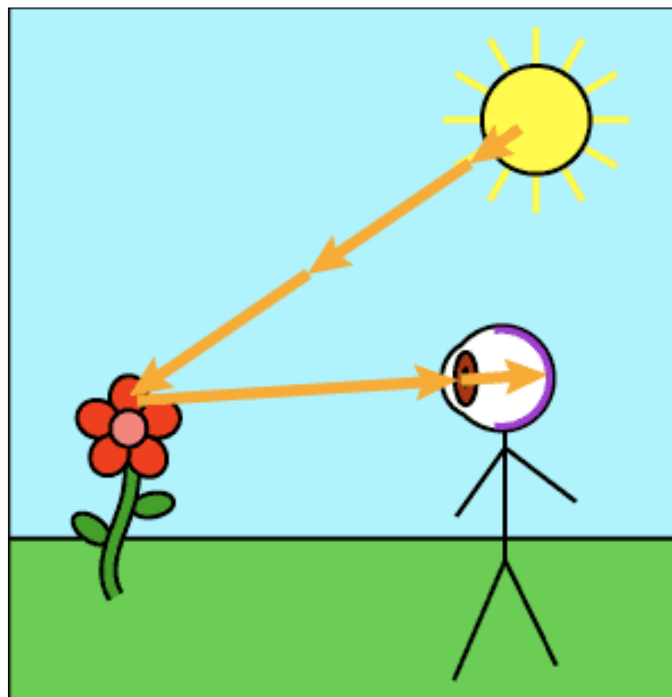
Corso di Principi e Modelli della Percezione

Prof. Giuseppe Boccignone

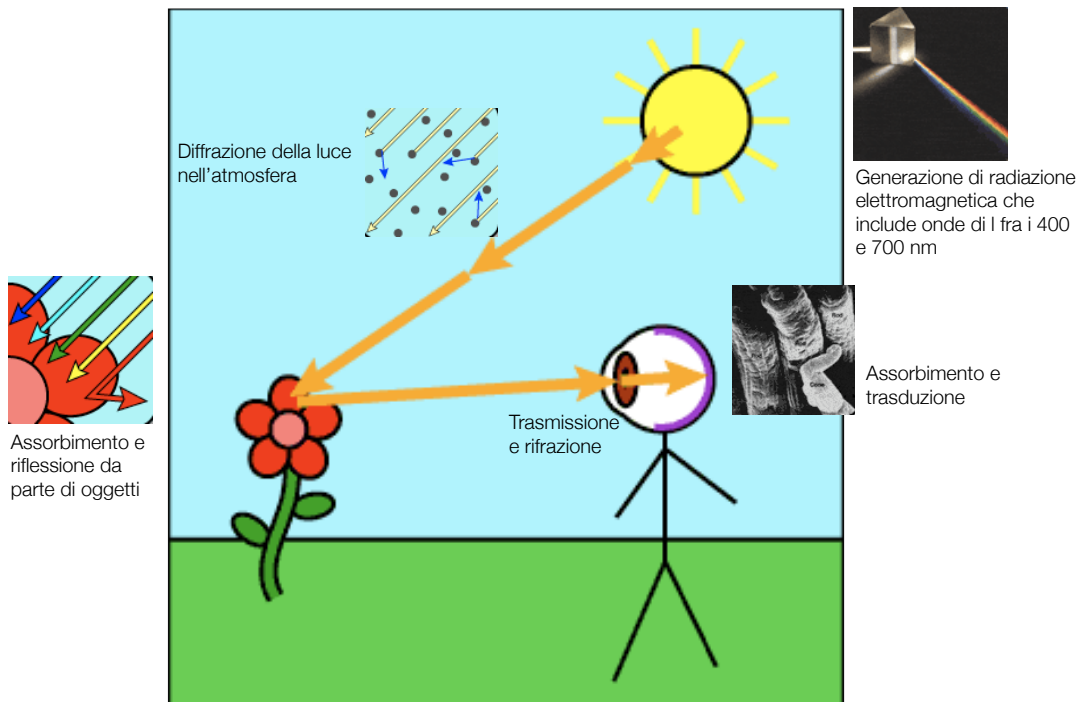
Dipartimento di Scienze dell'Informazione
Università di Milano

boccignone@dsi.unimi.it
http://homes.dsi.unimi.it/~boccignone/GiuseppeBoccignone_webpage/Modelli_Percezione.html

L'occhio che vede luce

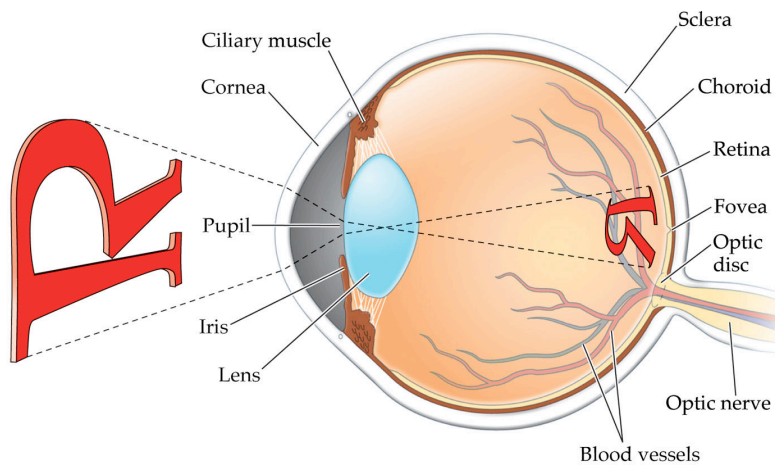


L'occhio che vede luce

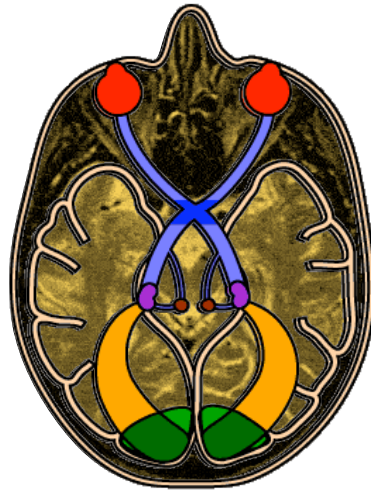


Primi stadi della visione: //formazione dell'immagine

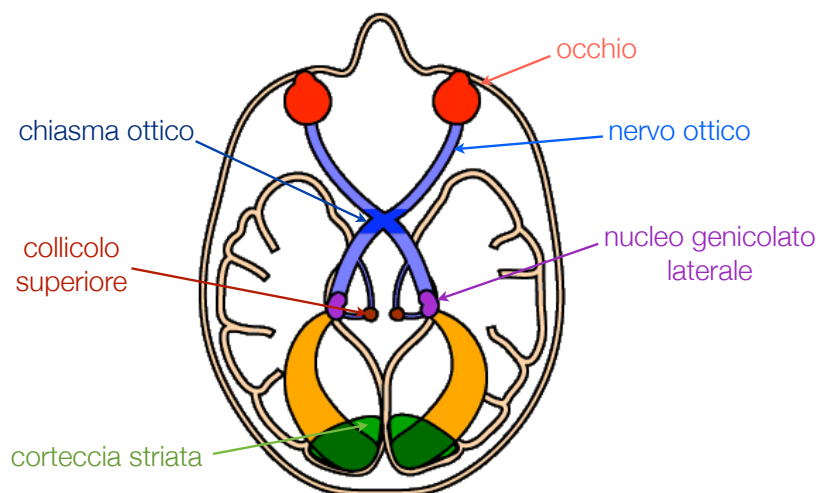
- Abbiamo visto come l'occhio arriva a formare un'immagine sulla retina....



Primi stadi della visione:
//l'occhio nel sistema visivo

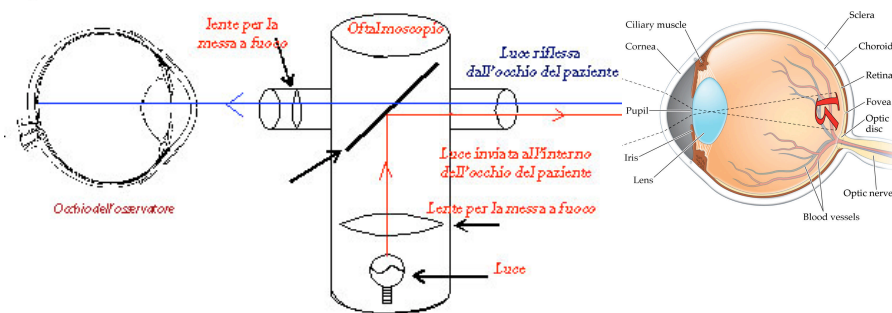


Primi stadi della visione:
//l'occhio nel sistema visivo



Primi stadi della visione: //formazione dell'immagine

- Utilizzando un oftalmoscopio si può vedere la superficie posteriore degli occhi dei pazienti: il fondo



Primi stadi della visione: //il fondo oculare

- Utilizzando un oftalmoscopio si può vedere la superficie posteriore degli occhi dei pazienti: il fondo



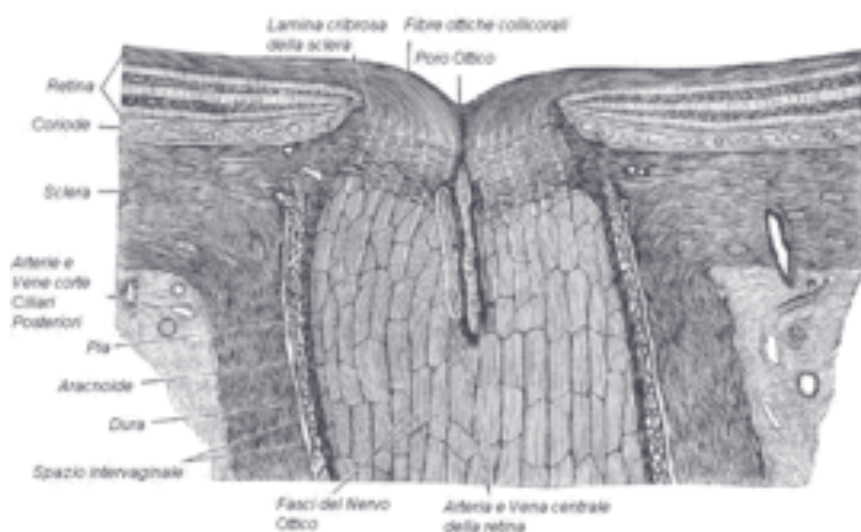
Primi stadi della visione: //il fondo oculare: punto cieco o papilla

- La papilla ottica, o punto cieco, è il punto in cui le fibre nervose si congiungono per formare il nervo ottico

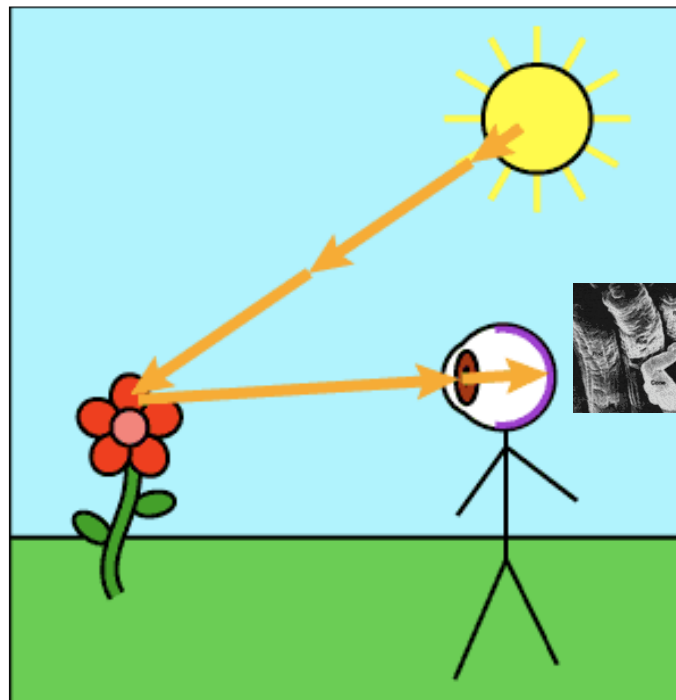
+

○

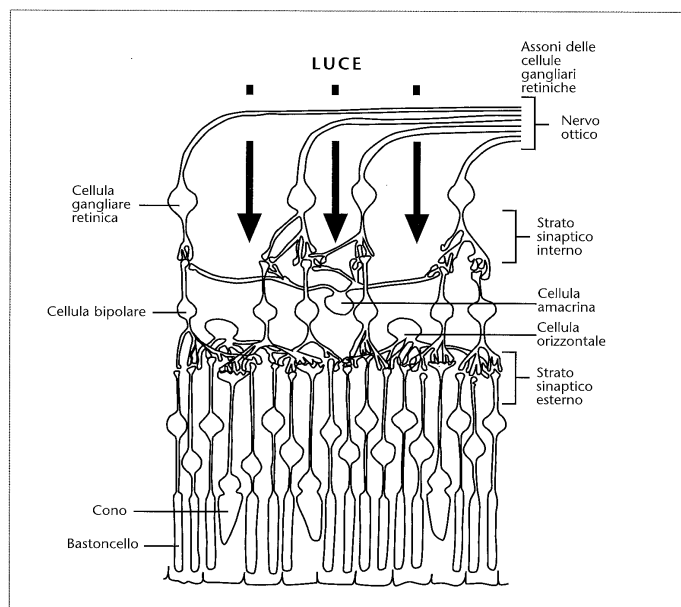
Primi stadi della visione: //il fondo oculare: punto cieco o papilla



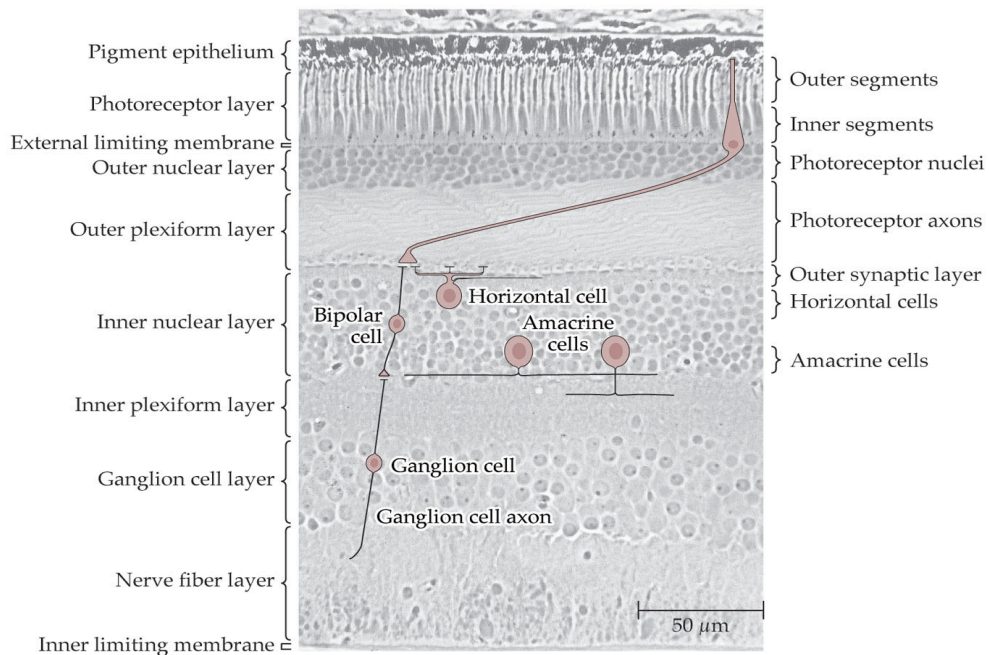
Primi stadi della visione:
//il fondo oculare: la retina



Primi stadi della visione:
//La retina

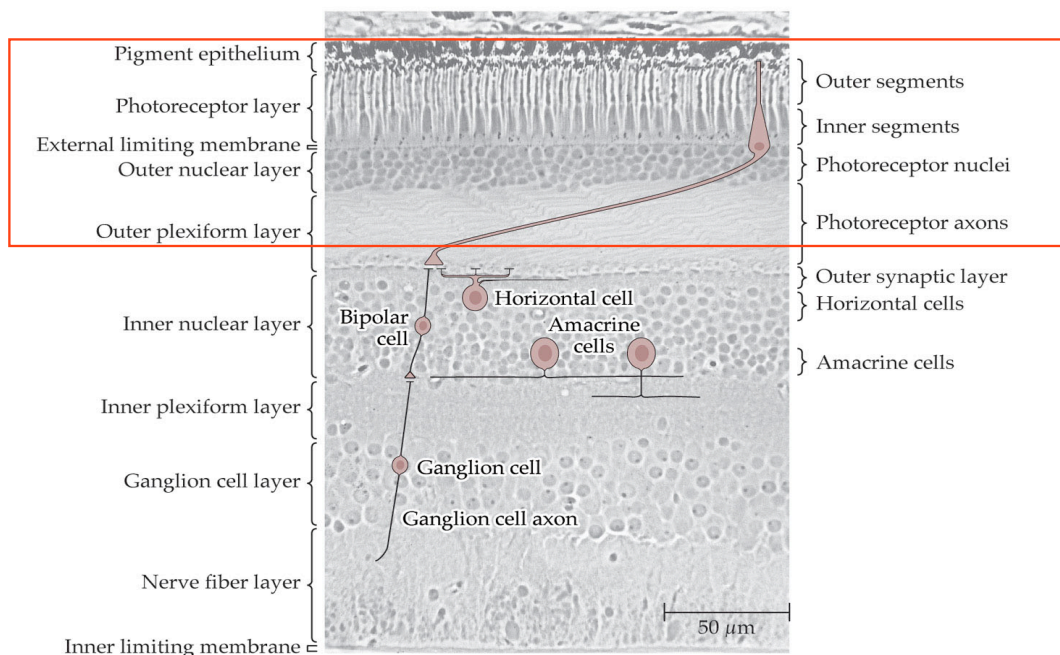


Primi stadi della visione: //La retina



SENSATION AND PERCEPTION, Figure 2.7 © 2006 Sinauer Associates, Inc.

Primi stadi della visione: //La retina: coni e bastoncelli

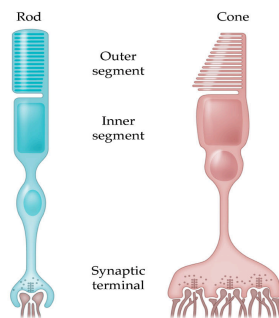


SENSATION AND PERCEPTION, Figure 2.7 © 2006 Sinauer Associates, Inc.

Primi stadi della visione

//La retina: coni e bastoncelli

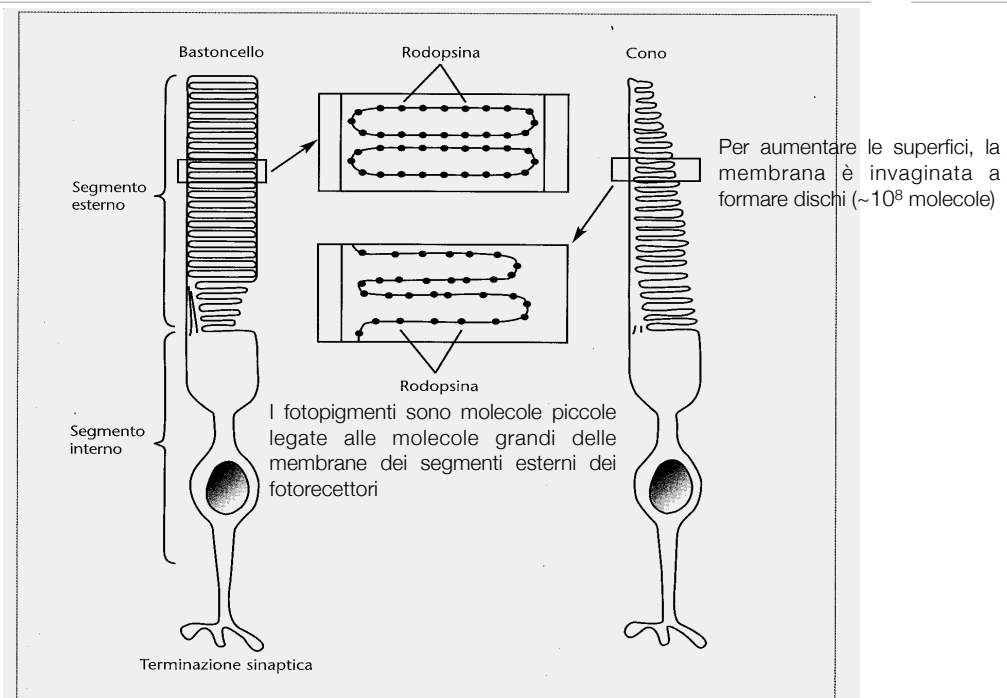
- **Fotorecettori:** Cellule nella retina che trasducono l'energia della luce in "energia" neurale
- La luce è trasmessa da due tipi di fotorecettori: i coni e i bastoncelli
 - **Bastoncelli:** Fotorecettori specializzati per la visione notturna (**scotopica**)
 - **Coni:** Fotorecettori specializzati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



SENSATION AND PERCEPTION, Figure 2.4 © 2007 Sinauer Associates, Inc.

Primi stadi della visione

//La retina: coni e bastoncelli



Primi stadi della visione

//La retina: coni e bastoncelli

- Fotopigmenti :
 - retinale + opsina (glicoproteina integrale di membrana)
- Bastoncelli:
 - rodopsina (picco 495 nm, 10⁹ molecole)
- Coni:
 - 3 fotopigmenti con picchi di assorbimento a 420, 530, 560 nm

Primi stadi della visione

//La retina: coni e bastoncelli

Buio

retinale in forma cis (ripiegata) e legato ad opsina

=> canali Na⁺ del segmento esterno aperti

=> influsso passivo di Na⁺ nel segmento esterno

=> membrana depolarizzata

=> canali Ca²⁺ voltaggio dipendenti della porzione sinaptica aperti

=> rilascio neurotrasmettitore

Luce

Fotoni producono isomerizzazione di retinale da cis a trans (conformazione diritta)

=> opsina cambia conformazione e

a) si stacca da retinale

b) opsina attiva la transducina

=> transducina attiva la GMP ciclico- PDE

=> idrolisi di GMP ciclico

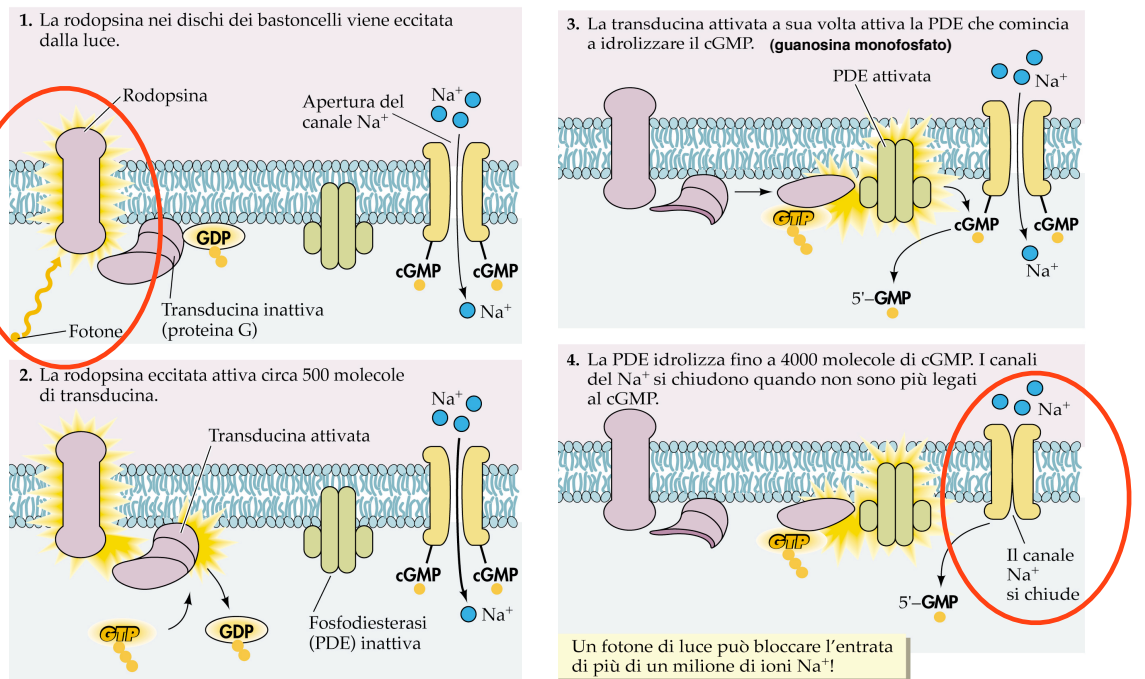
=> chiusura canali Na⁺

=> iperpolarizzazione

=> diminuzione di rilascio di neurotrasmettitore

Primi stadi della visione

//La retina: coni, bastoncelli, fototrasduzione



Primi stadi della visione

//La retina: coni, bastoncelli, fototrasduzione

PHOTOTRANSDUCTION

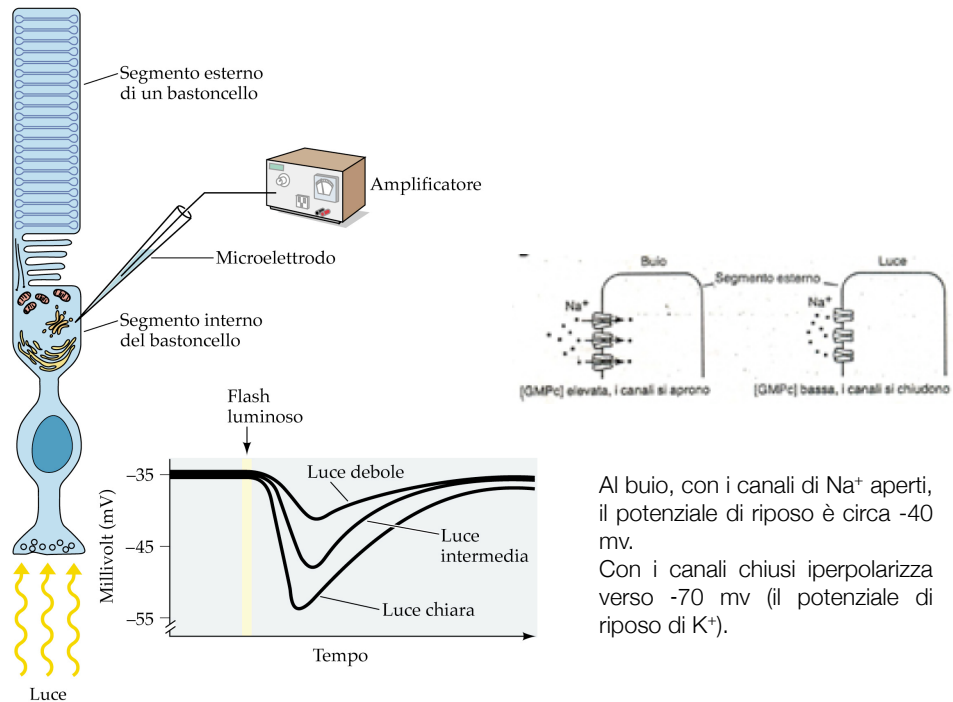
Kevin Duffy
kevin.duffy@dal.ca

David Rusak
david.rusak@utoronto.ca

Kathryn Murphy
kmurphy@vision.psychology.mcmaster.ca

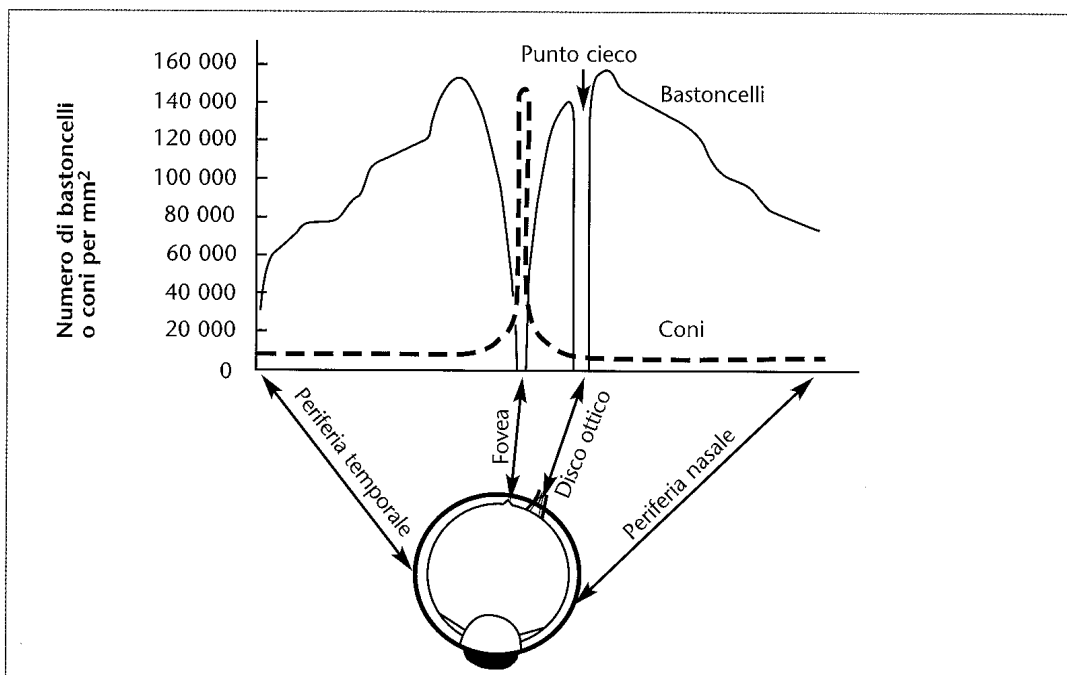
Primi stadi della visione

//La retina: coni, bastoncelli, fototrasduzione



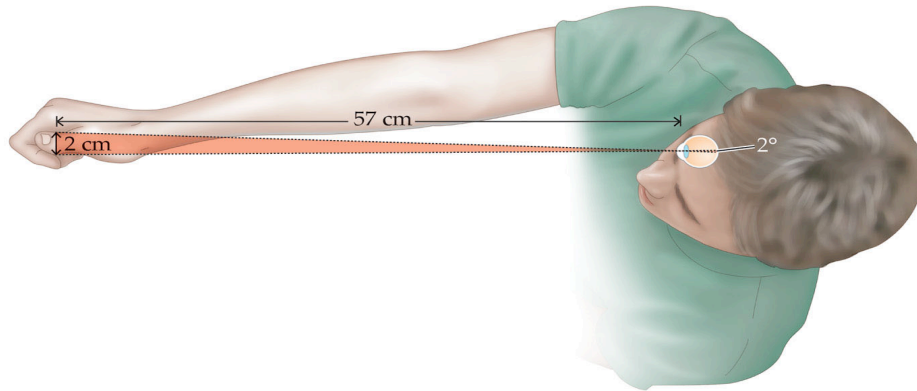
Primi stadi della visione

//La retina: densità di coni e bastoncelli,



Primi stadi della visione

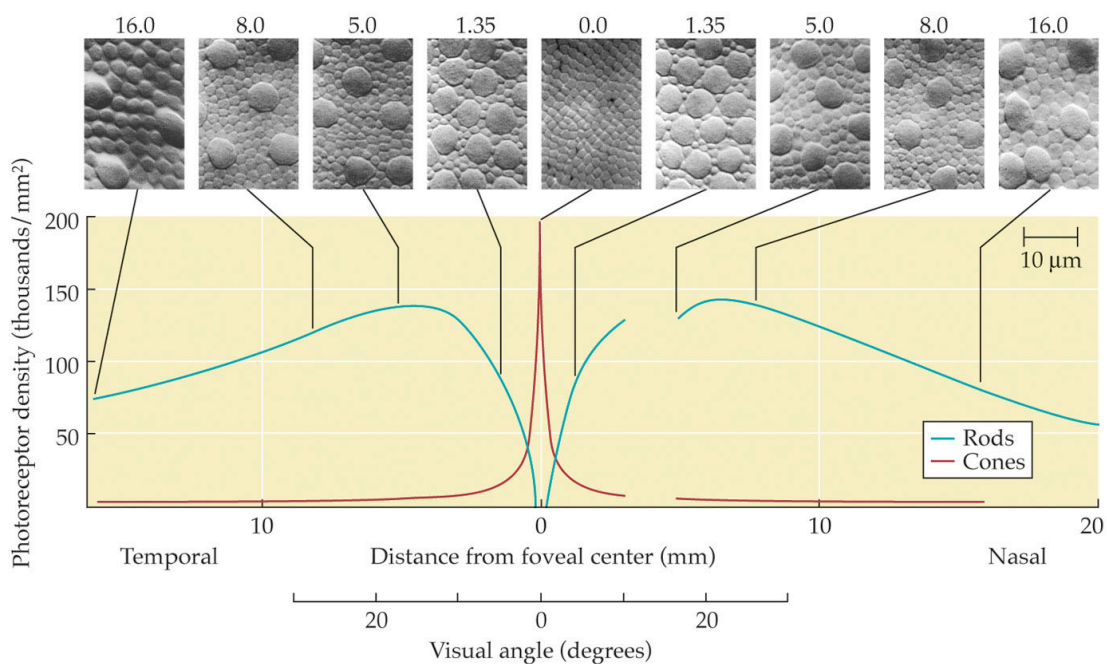
//Gradi di angolo visivo: la regola del pollice



SENSATION AND PERCEPTION, Figure 2.10 © 2006 Sinauer Associates, Inc.

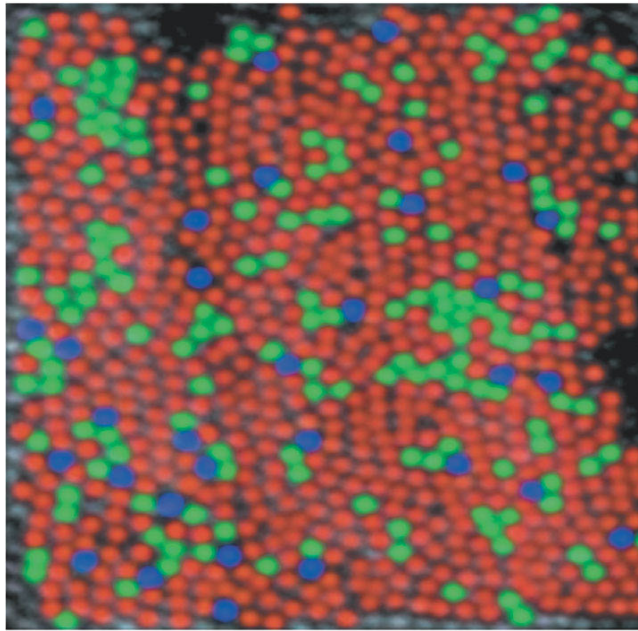
Primi stadi della visione

//La retina: densità di coni e bastoncelli,



Primi stadi della visione

//La retina: distribuzione dei coni



Primi stadi della visione

//Fotorecettori in sintesi

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-selettivi alla direzione della luce	Selettivi alla direzione della luce (Stiles-Crawford)

Primi stadi della visione

//Adattamento alla luce e al buio

- Adattamento al buio:
 - Passando da un ambiente illuminato ad un ambiente buio, si diventa via via più sensibili alla luce
 - Si abbassa la soglia visiva
- Adattamento alla luce:
 - Passando da un ambiente buio ad un ambiente illuminato, la luce sembra più intensa e fastidiosa
 - Si alza la soglia visiva

Primi stadi della visione

//Adattamento alla luce e al buio

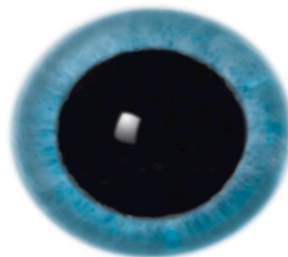
- Due meccanismi distinti per l'adattamento alla luce e quello al buio:
 - Dilatazione pupillare
 - Fotorecettori

(a) Bright illumination



2-mm pupil

(b) Dark

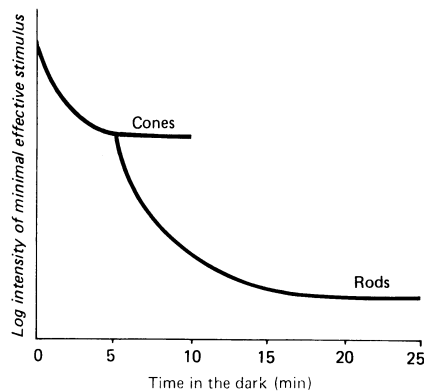


8-mm pupil

Primi stadi della visione

//Adattamento alla luce e al buio

- Adattamento al buio:
 - i coni si adattano per 10 minuti, ma non diventano particolarmente sensibili
 - i bastoncelli si adattano, ricaricandosi di rodopsina, per 30 min e diventano molto più sensibili



Primi stadi della visione

//Adattamento alla luce e al buio

- E' sufficiente 1 quanto di luce per attivare 1 bastoncello

ENERGY, QUANTA, AND VISION*

BY SELIG HECHT, SIMON SHLAER, AND MAURICE HENRI PIRENNE†
 (From the Laboratory of Biophysics, Columbia University, New York)

(Received for publication, March 30, 1942)

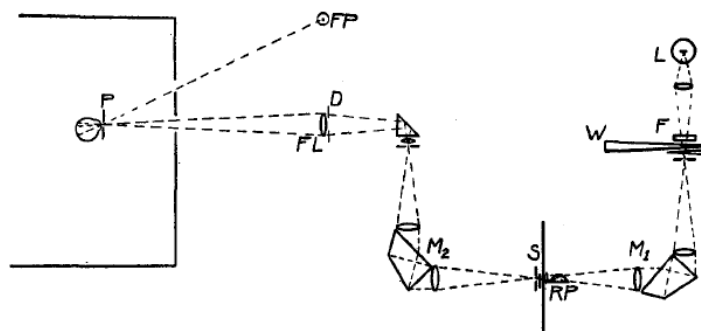


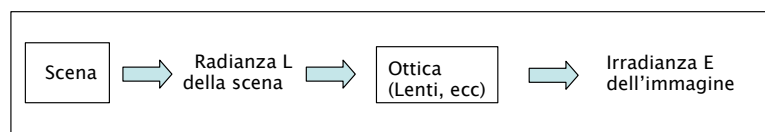
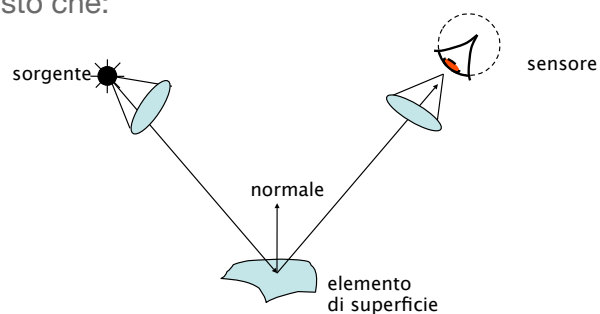
FIG. 1. Optical system for measuring minimum energies necessary for vision. The eye at the pupil P fixates the red point FP and observes the test field formed by the lens FL and the diaphragm D . The light for this field comes from the lamp L through the neutral filter F and wedge W , through the double monochromator M_1M_2 and is controlled by the shutter S .

Osservatore fotometrico

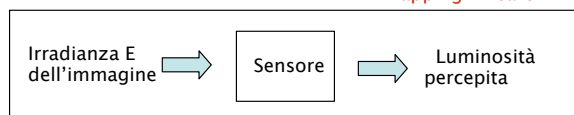
- L'esperimento descritto pone un problema fondamentale:
 - Come viene percepita da un osservatore umano una radiazione e.m.?
- La valutazione visiva di uno stimolo radiometrico è oggetto della fotometria.
- L'occhio non ha la stessa sensibilità a tutte le lunghezze d'onda, e la sensibilità dipende anche dall'intensità della radiazione:

Osservatore fotometrico

- Abbiamo visto che:



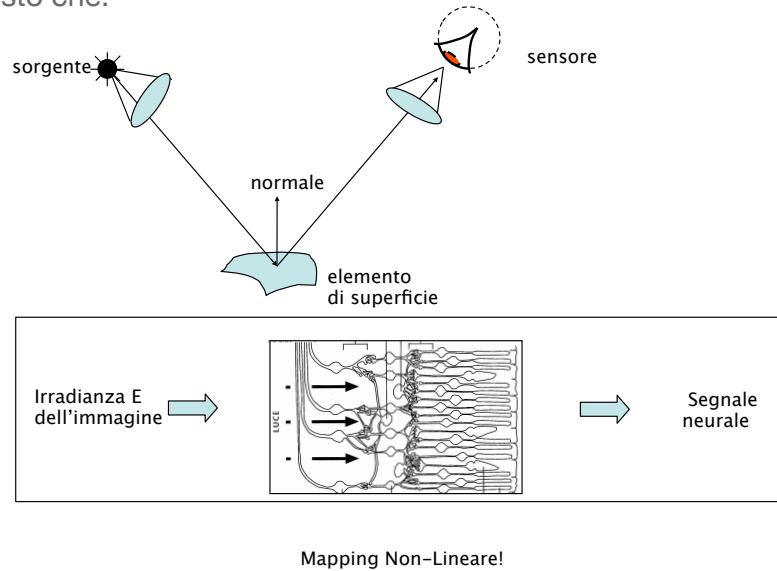
Mapping Lineare!



Mapping Non-Lineare!

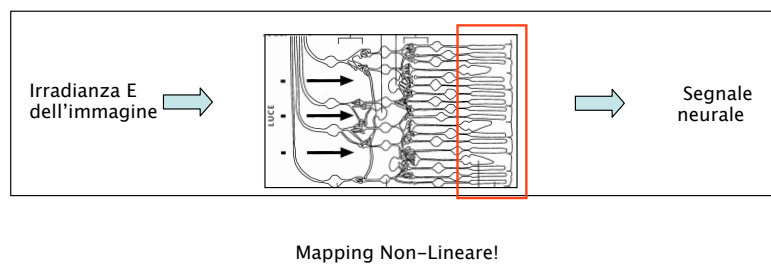
Osservatore fotometrico

- Abbiamo visto che:



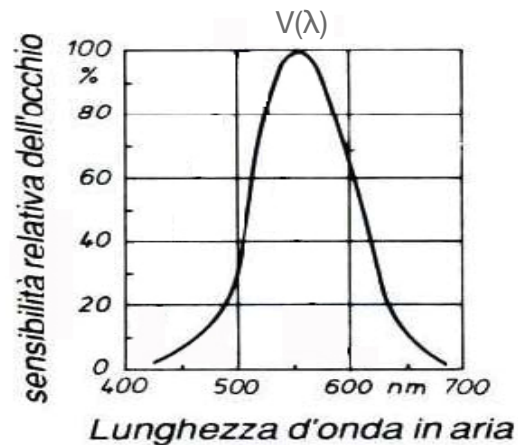
Osservatore fotometrico

- Si possono distinguere tre tipi di visione:
 - visione scotopica quando i soli bastoncelli sono attivi;
 - visione mesopica quando sono attivi sia bastoncelli che coni;
 - visione fotopica quando sono attivi solo i coni.



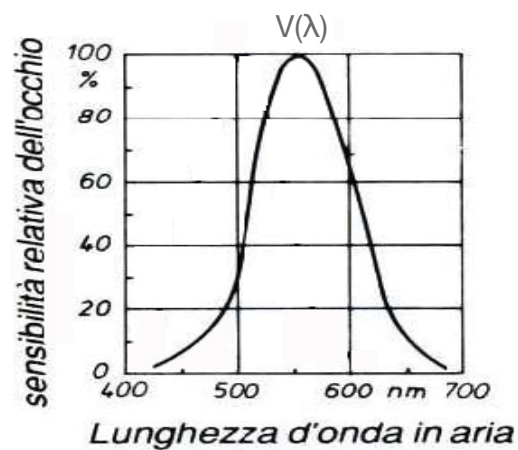
Osservatore fotometrico

- In condizioni di alta intensità si ha il regime fotopico: la luce è percepita principalmente dai coni al centro della retina
- La sensibilità relativa $V(\lambda)$ è data dalla curva della figura e ha il massimo a 555 nm;



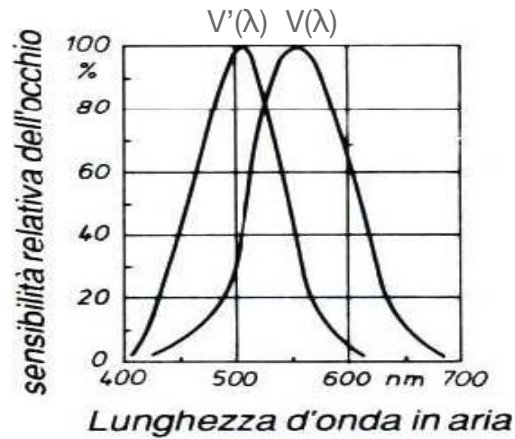
Osservatore fotometrico

- $V(\lambda)$ è detta
 - curva di risposta spettrale dell'occhio umano
 - funzione di efficienza luminosa fotopica spettrale relativa



Osservatore fotometrico

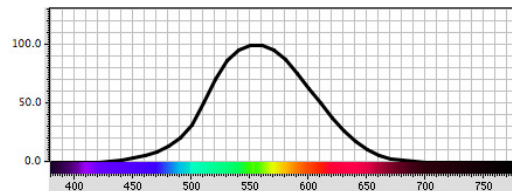
- in condizioni di bassa intensità si ha il regime scotopico: la luce è percepita principalmente dai bastoncelli al bordo della retina
- la sensibilità relativa è data dalla curva $V'(\lambda)$ della figura e ha il massimo a 507 nm



Osservatore fotometrico

//Dalla radiometria alla fotometria

- Le grandezze fotometriche sono delle misure definite a partire dalle grandezze radiometriche mediante pesatura con la $V(\lambda)$.



- Vengono impiegate al posto delle grandezze radiometriche in quanto le grandezze fotometriche quantificano l'emissione luminosa in termini della **risposta del sistema visivo umano**, il quale presenta sensibilità non uniforme alle diverse lunghezze d'onda

Osservatore fotometrico

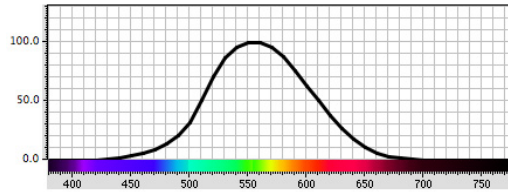
//Dalla radiometria alla fotometria

- Ad ogni grandezza radiometrica corrisponde una grandezza fotometrica che è la rispettiva grandezza radiometrica valutata secondo la risposta del sistema visivo umano.

Radiometria

- Energia radiante
- Flusso radiante
- Intensità radiante
- Irradiazione
- Radianza

$V(\lambda)$



La funzione di efficienza luminosa fotopica spettrale relativa

Fotometria

- Energia luminosa (lumen/sec)
- Flusso luminoso (lumen)
- Intensità luminosa
- Illuminamento (lux = lumen m²)
- Luminanza (candele m²)

Osservatore fotometrico

//Dalla radiometria alla fotometria

Radiometria

- Flusso radiante
- Intensità radiante
- Irradiazione
- Radianza

$V(\lambda)$

$$\Phi_v = K_m \int_{\lambda} \Phi(\lambda) V(\lambda) d\lambda$$

$$I_v = K_m \int I(\lambda) V(\lambda) d\lambda$$

$$E_v = K_m \int E(\lambda) V(\lambda) d\lambda$$

$$L_v = K_m \int L(\lambda) V(\lambda) d\lambda$$

Fotometria

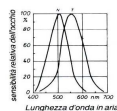
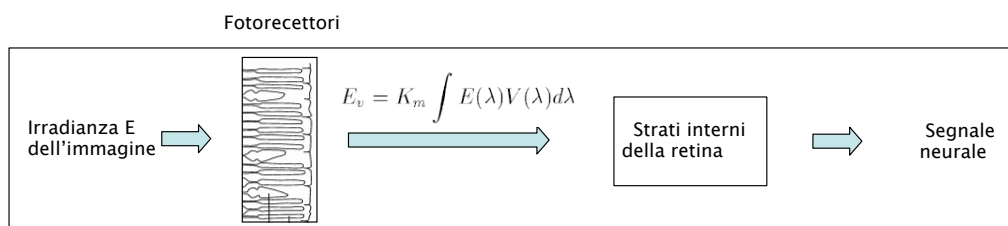
- Flusso luminoso (lumen)
- Intensità luminosa (cd)
- Illuminamento (lux = lumen m²)
- Luminanza (candele m²)

Osservatore fotometrico

//Dalla radiometria alla fotometria

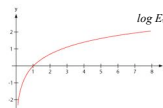
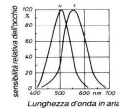
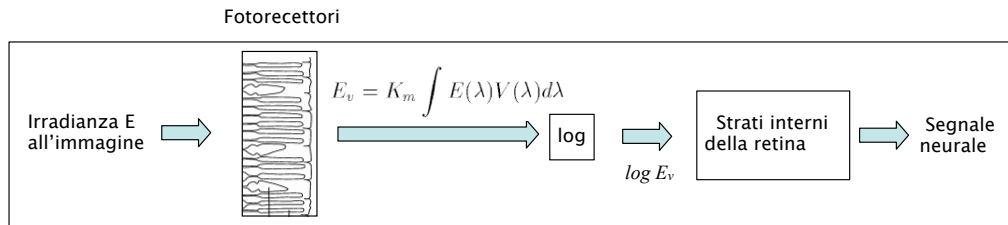
- **Energia luminosa** (*luminous energy*): è la grandezza fotometrica che corrisponde alla [grandezza radiometrica](#) *energia radiante*
 - viene indicata con Q_v
 - l'unità di misura nel [SI](#) è il lumen per secondi (lm s)
- **Flusso luminoso** (*luminous flux*): Quantità di energia luminosa emessa da una determinata sorgente nell'unità di tempo: Q_v/s .
 - viene indicato con la lettera greca Φ (phi)
 - l'unità di misura nel [SI](#) è il lumen (lm); 1 watt = 683 lumen
- **Emetenza luminosa** o "luminosità" (*luminous exitance*): è la grandezza fotometrica che corrisponde alla [grandezza radiometrica](#) *emetenza radiante*. Indica il rapporto tra il flusso luminoso e la superficie emettente.
 - viene indicata con M_v
 - l'unità di misura nel [SI](#) è il lux (lx), ovvero (lm/m²)
- **Illuminamento** (*illuminance*): Rapporto tra il flusso luminoso ricevuto da una superficie e l'area della superficie stessa.
 - viene indicata con E_v
 - l'unità di misura nel [SI](#) è il lux (lx), ovvero il lumen al metro quadrato (lm/m²)
- **Intensità luminosa** (*luminous intensity*): Flusso luminoso emesso all'interno dell'angolo solido unitario (steradiano) in una direzione data.
 - viene indicata con I_v ed è una grandezza vettoriale.
 - l'unità di misura nel [SI](#) è la candela (cd)
- **Luminanza** (*luminance*): Rapporto tra intensità luminosa emessa da una superficie in una data direzione e l'area della [superficie apparente](#).
 - viene indicata con L_v
 - l'unità di misura nel [SI](#) è la candela al metro quadrato (cd/m²)

Osservatore fotometrico



Mapping Non-Lineare!

Un modello semplice del primissimo stadio



Mapping Non-Lineare!

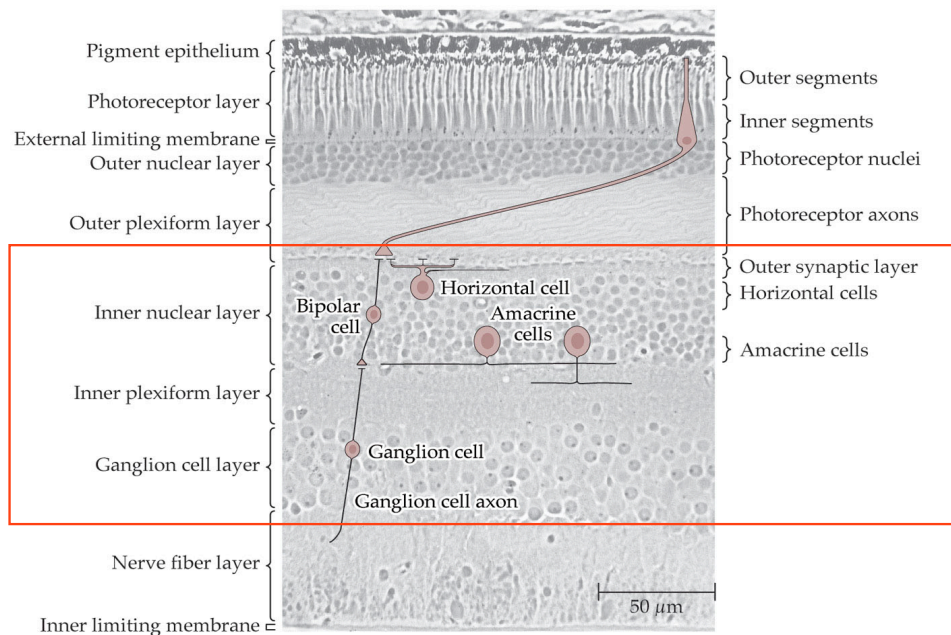
Controparte neurofisiologica correlata alla legge di Fechner:

$$S = k \log R$$

La sensazione psicologica S dell'intensità di uno stimolo fisico R aumenta più lentamente dell'aumentare di R

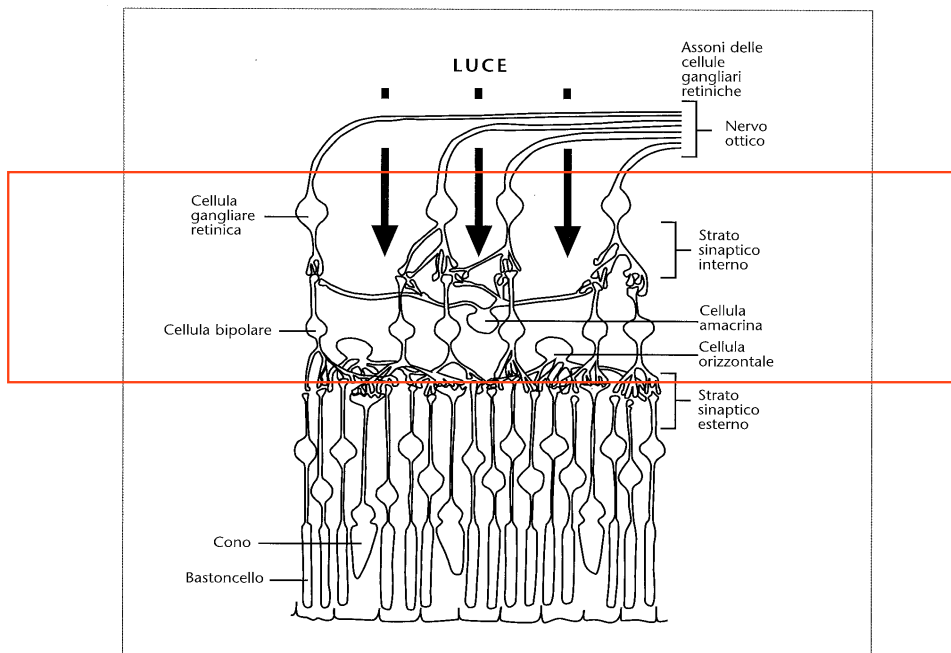
Primi stadi della visione

//La retina: strati interni di elaborazione



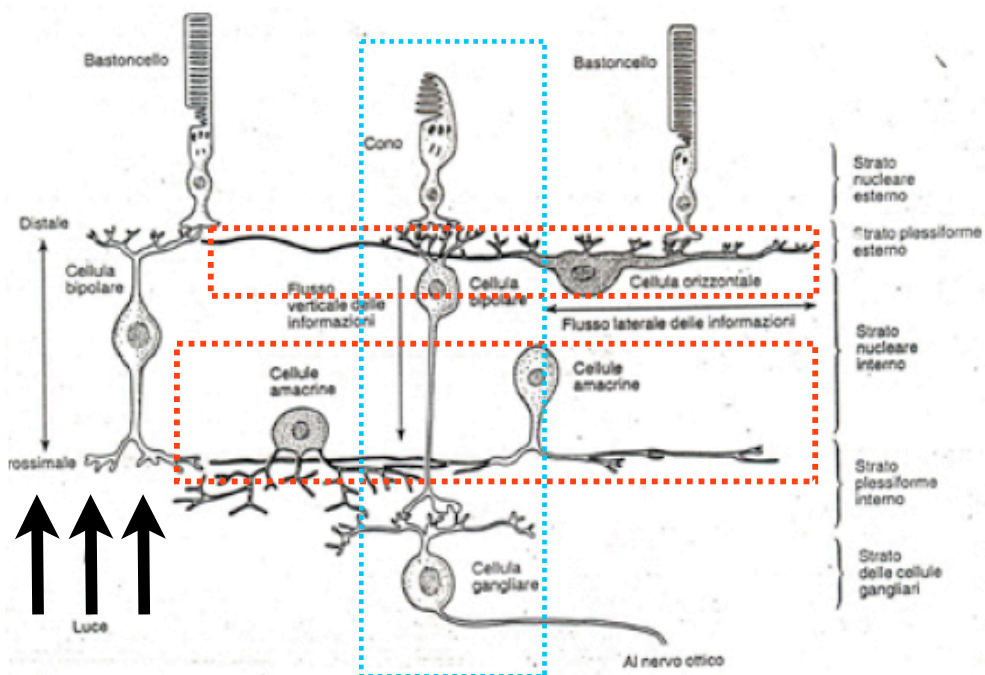
Primi stadi della visione

//La retina: strati interni di elaborazione



Primi stadi della visione

//La retina: strati interni di elaborazione



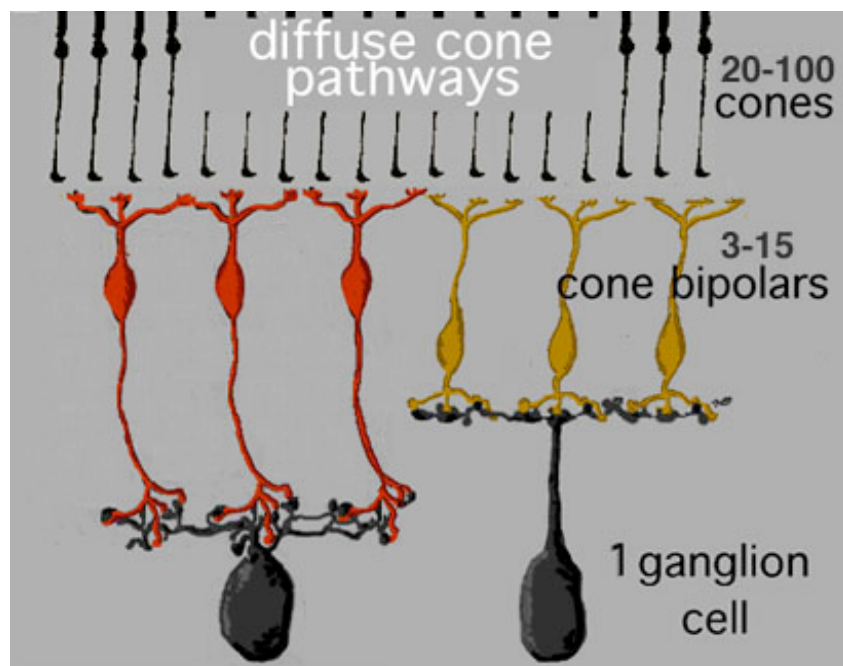
Primi stadi della visione

//La retina: strati interni e il problema della codifica

- 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 **comprimere e riorganizzare** l'informazione dei fotorecettori.
- Il risultato principale (**problema computazionale**) di questa fase di elaborazione è l'analisi del contrasto.

Primi stadi della visione

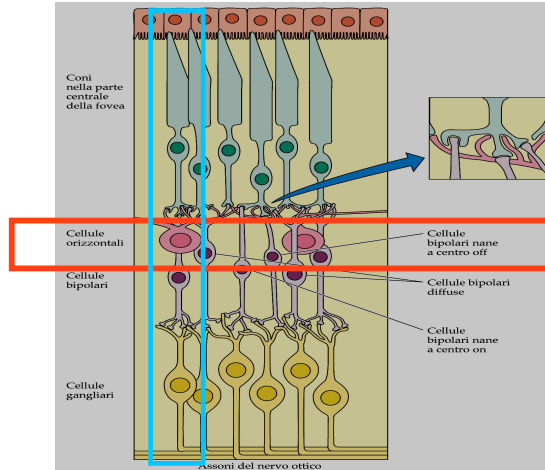
//La retina: strati interni e il problema della codifica



Primi stadi della visione

//La retina: strati interni e il problema della codifica

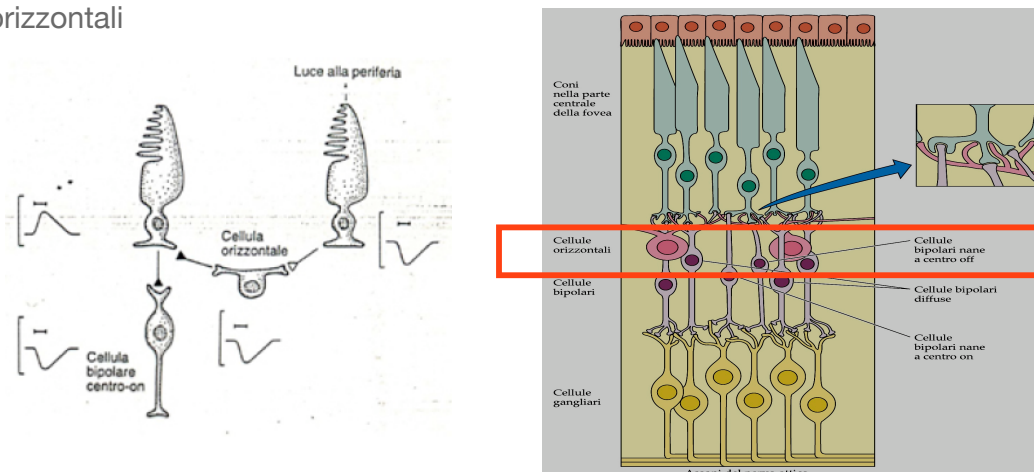
- Il percorso **verticale**: verticalmente le connessioni riguardano i fotorecettori, le cellule bipolari e le cellule gangliari
- Regioni della retina interagiscono fra loro per mezzo di connessioni **laterali** di tipo inibitorio (**inibizione laterale**). Tale processo è svolto dalle cellule orizzontali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



Primi stadi della visione

//La retina: strati interni e il problema della codifica

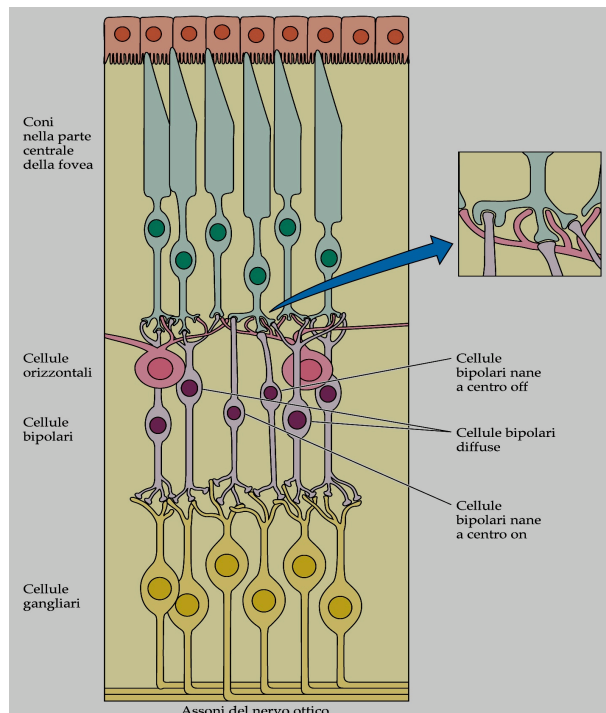
- Inibizione periferica per cellule centro-on ed eccitazione periferica per cellule centro-off mediata da cellule orizzontali
- Fotorecettore attiva cellula orizzontale che inattiva fotorecettori adiacenti
- Cellule amacrine mediano interazioni tra i canali centro-on e centro-off orizzontali



Primi stadi della visione

//La retina: cellule bipolari

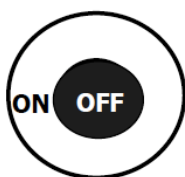
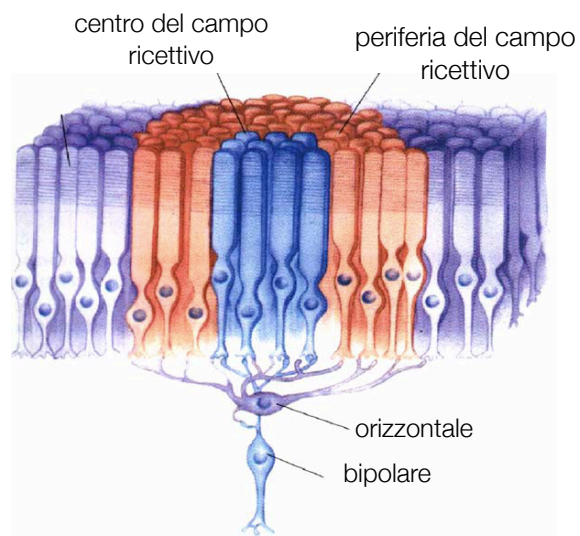
- Esistono tipi diversi di cellule bipolari, per esempio:
- Cellule bipolari diffuse: Ricevono segnale di input DA PIU' di un cono
- Cellule bipolari minuscole (o nane, midget bipolar cells): Ricevono segnale di input da UN SOLO cono



Primi stadi della visione

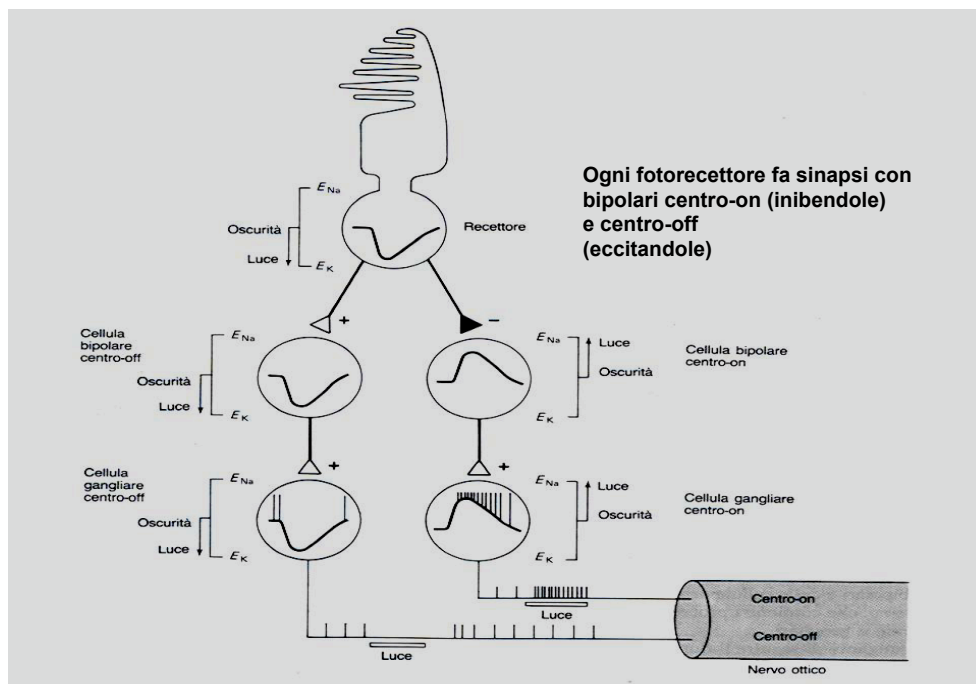
//La retina: cellule bipolari e campo ricettivo

- Campo recettivo:
 - Regione dello spazio in cui uno stimolo attiva un neurone
 - collocazione sulla retina
 - dimensione
 - pattern di luce che provoca la risposta più elevata



Primi stadi della visione

//La retina: cellule bipolari on / off



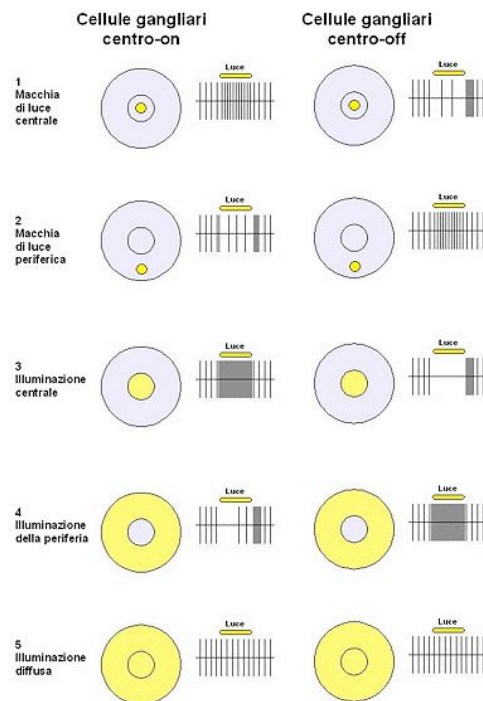
Primi stadi della visione

//La retina: campo recettivo

- 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

Primi stadi della visione

//La retina: cellule gangliari (ON / OFF)

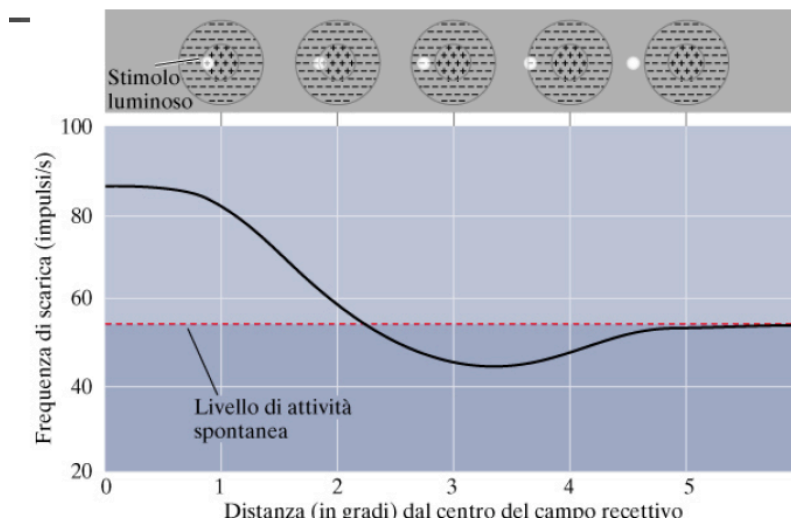


Primi stadi della visione

//La retina: cellule gangliari (ON / OFF)

Variazione della frequenza di scarica di una cellula gangliare a centro-ON in funzione della distanza di uno stimolo luminoso dal centro del campo recettivo.

Lo zero sull'asse delle x corrisponde al centro. A una distanza di 5° lo stimolo luminoso cade al di fuori del campo recettivo

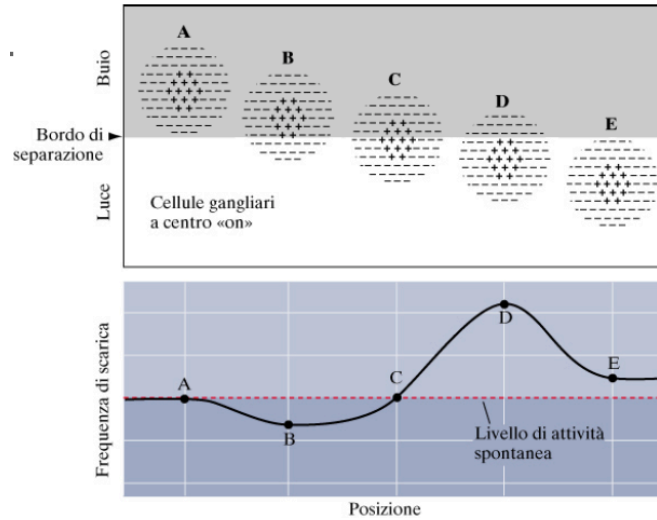


Primi stadi della visione

//La retina: cellule gangliari (ON / OFF)

Risposte di una depolarizzazione di cellule gangliari a centro-ON i cui campi recettivi (A-E) siano distribuiti attraverso un bordo di separazione buio-luce.

Le cellule che rispondono maggiormente sono quelle i cui campi recettivi si trovano a cavallo del bordo buio-luce



Primi stadi della visione

//La retina: cellule gangliari (ON / OFF)

