

# SISTEMA VISIVO

La percezione del mondo visivo ha una forte caratteristica tridimensionale non spiegabile con la sola analogia della macchina fotografica.

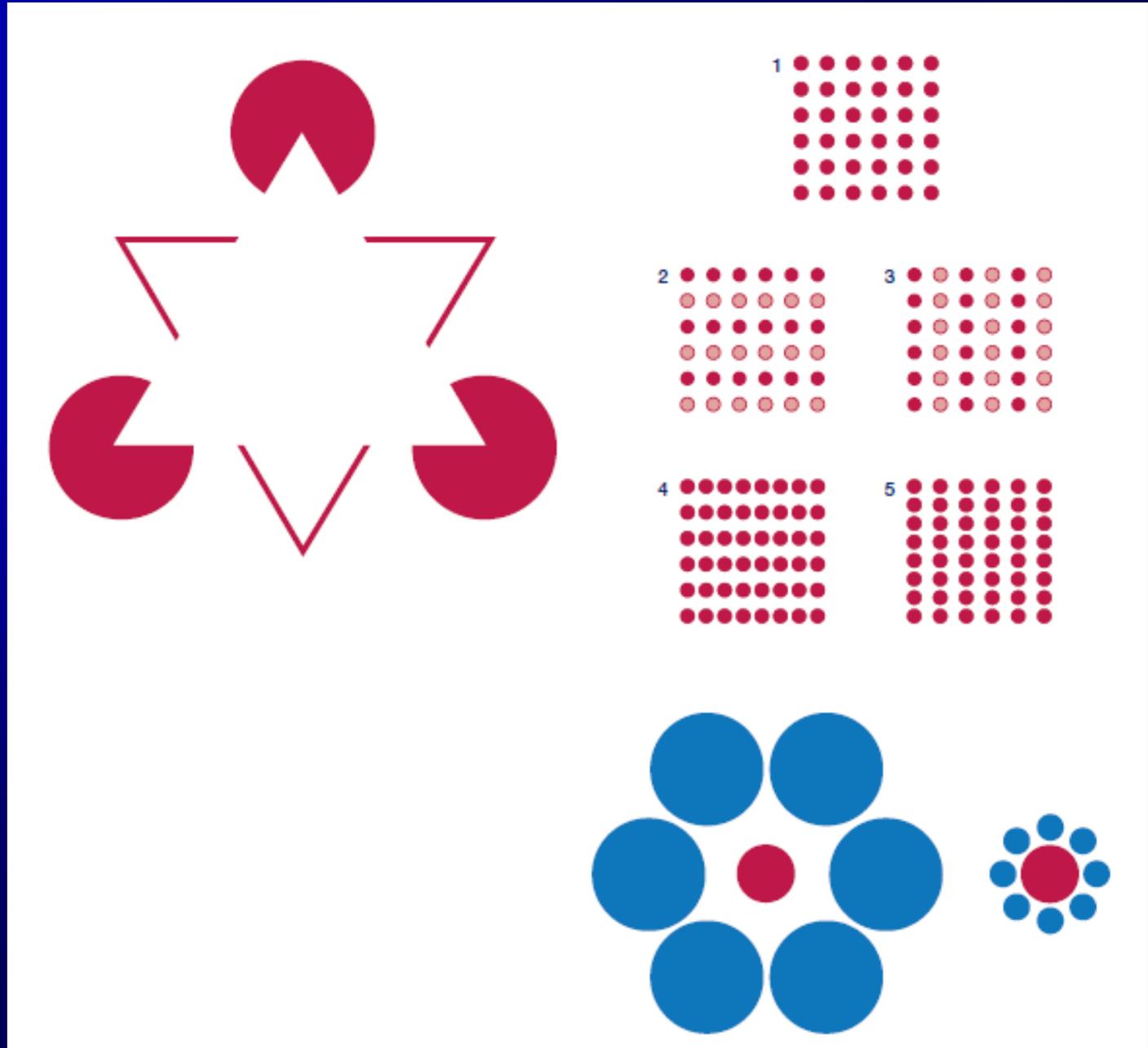
Il sistema visivo non registra semplicemente i segnali luminosi presenti nell'ambiente, ma li elabora dando vita ad una percezione organizzata, attraverso meccanismi con forte componente cognitiva, che interpretano l'immagine e le associano un significato.

# SISTEMA VISIVO

**Triangolo di Kanizsa:** anche in assenza di margini è possibile vedere un triangolo.

**Organizzazione figurale:** una matrice di punti uguali può essere organizzata in modo diverso.

**Illusione di Ebbinghaus:** la dimensione di due oggetti identici può essere percepita diversamente se gli elementi vicini hanno dimensioni diverse.



# SISTEMA VISIVO-influenza della prospettiva sulla percezione della dimensione degli oggetti



## ACUITA' VISIVA

Capacità di discriminazione spaziale del sistema visivo.

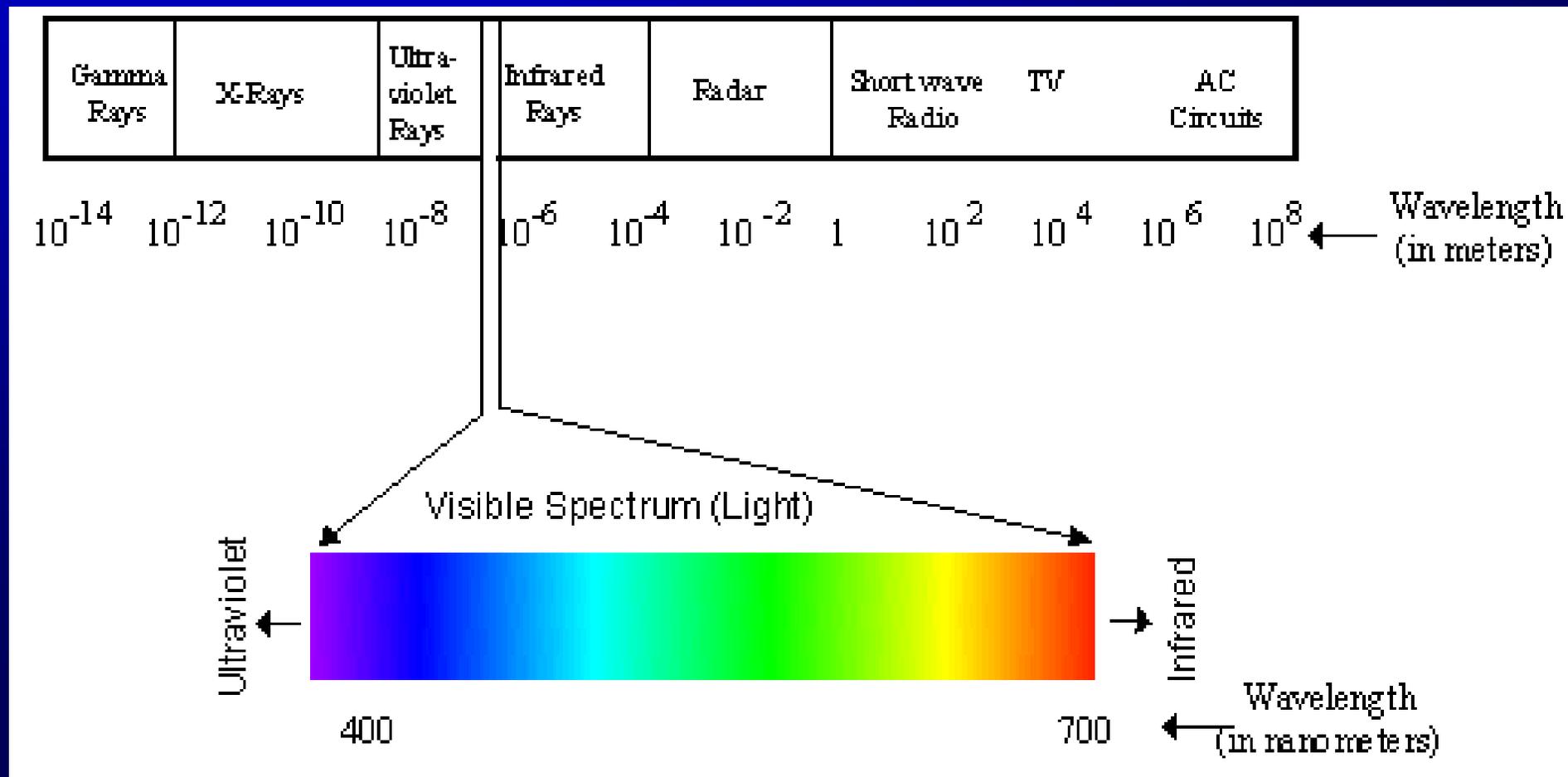
L'immagine più piccola che può essere proiettata ha in diametro di  $11\mu\text{m}$  e luminosità > al centro e sfumata ai bordi.

Normalmente si distinguono 2 punti luminosi posti a 10 m dall'osservatore, se distano fra loro 1,5-2 m.

Misurazione dell'acuità visiva: in condizioni fotopiche viene chiesto il riconoscimento di lettere dell'alfabeto poste ad una distanza di 5 m.

L'OCCHIO è l'organo sensoriale del sistema visivo, trasduce gli stimoli luminosi in segnali elettrici utilizzati dal SN per trasmettere l'informazione all'encefalo.

E' sensibile alla luce: radiazioni elettromagnetiche comprese tra i 400 e i 700nm, nello spettro del visibile



La maggior parte degli oggetti non emette luce propria, ma riflettono la luce incidente (della lunghezza d'onda corrispondente al colore dell'oggetto), assorbendo solo le lunghezze d'onda complementari.

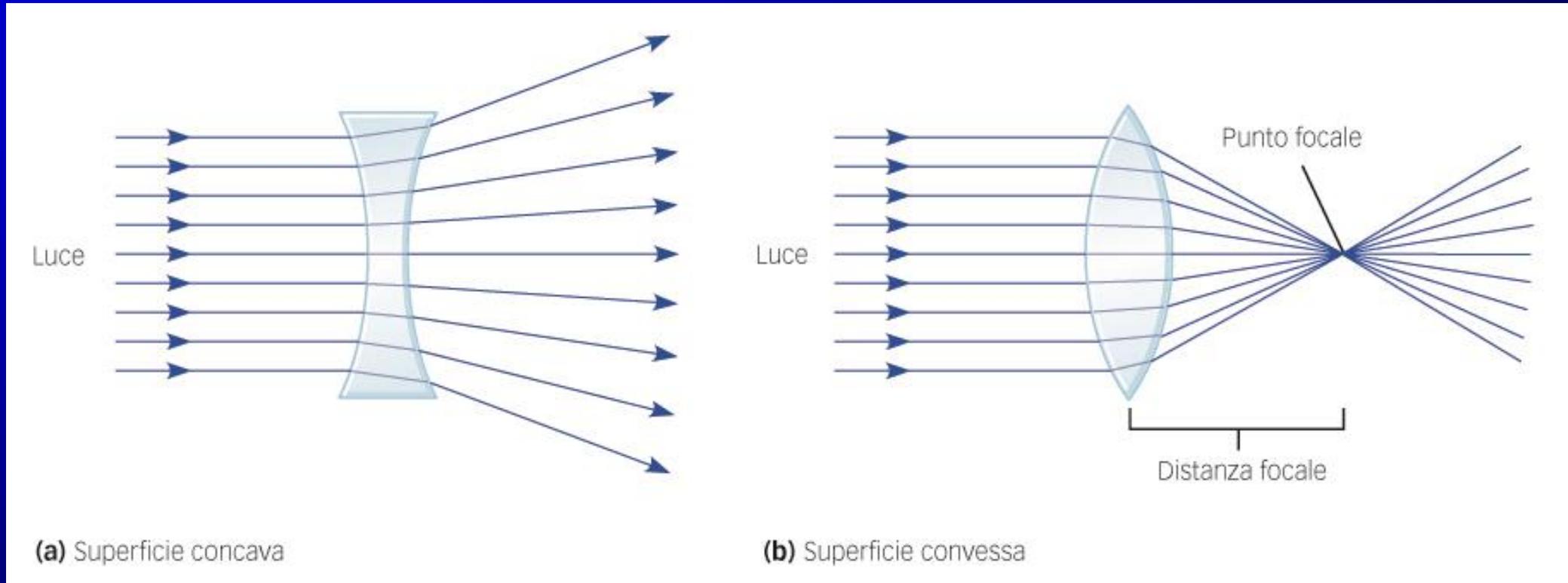
Le superfici trasparenti invece non riflettono la luce ma deviano la traiettoria dei raggi luminosi che le attraversano dando luogo alla rifrazione.

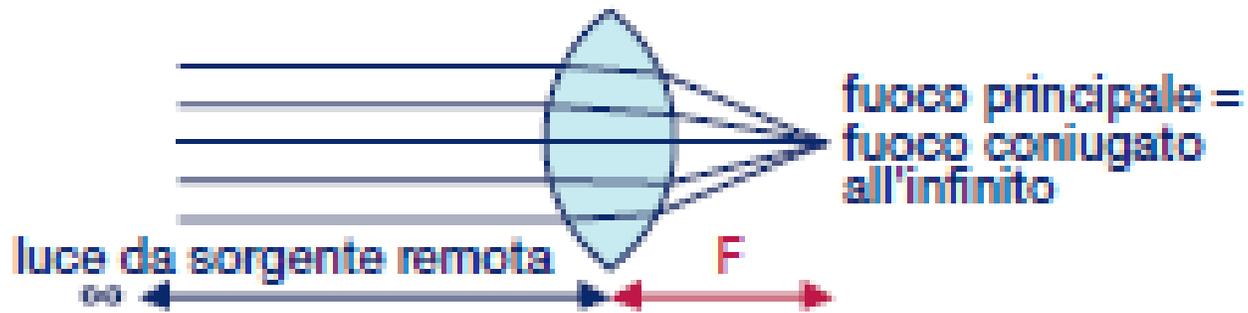
Indice di rifrazione: rapporto tra  $v$  della luce nel vuoto e  $v$  nel mezzo trasparente

$$n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$$

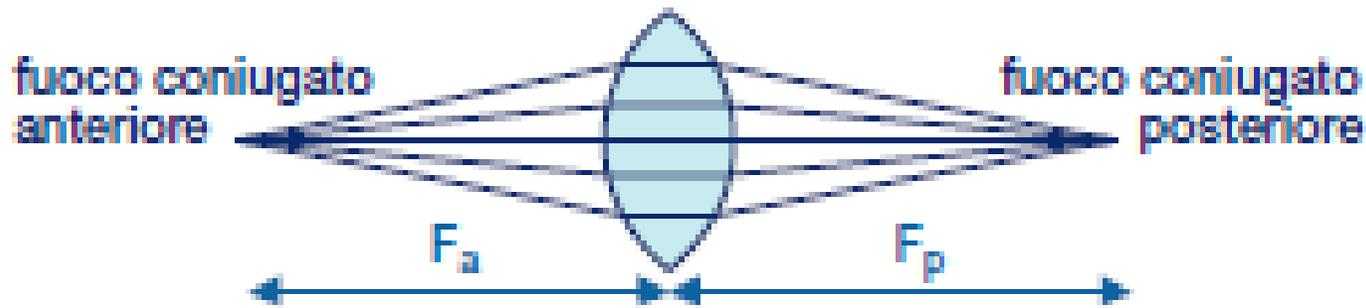
$\alpha$  e  $\beta$  angoli di incidenza e di rifrazione rispetto alla perpendicolare ai piani di rifrazione.

L'indice di rifrazione è una caratteristica delle lenti che sono in grado di deviare la traiettoria lineare dei raggi luminosi che le attraversano.





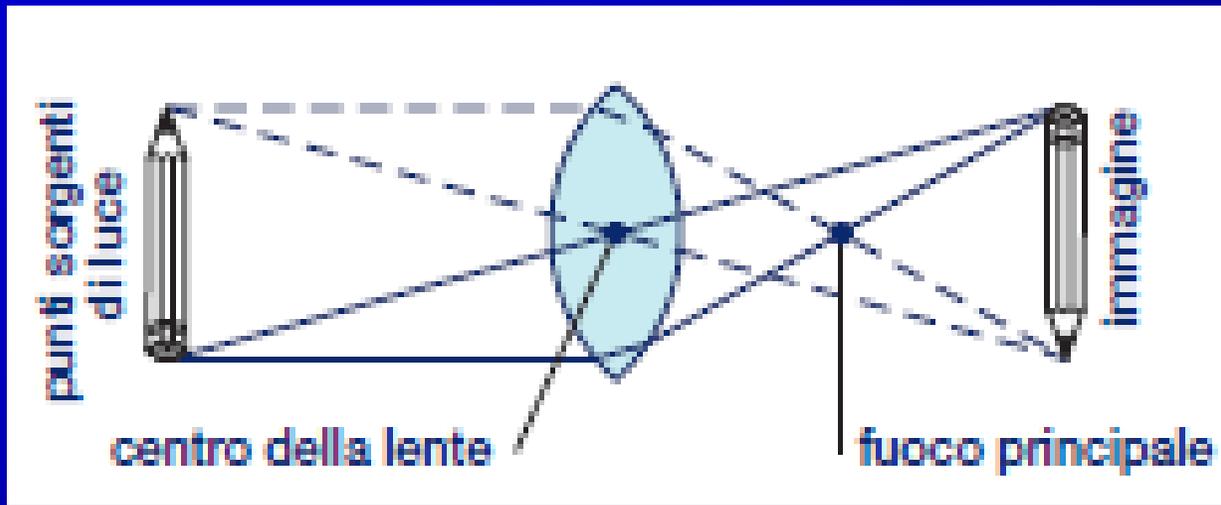
Se la sorgente è lontana e puntiforme i raggi luminosi convergono nel FUOCO PRINCIPALE.



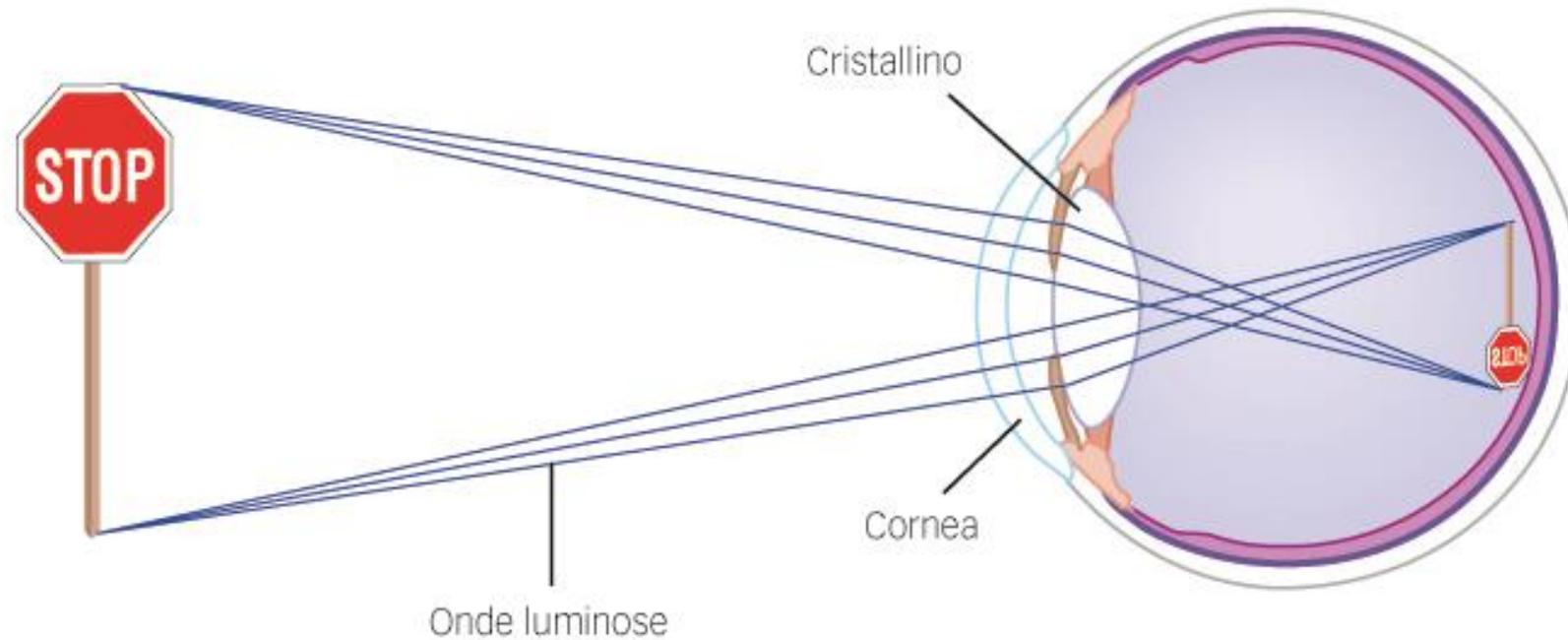
Se la sorgente è vicina i raggi luminosi hanno andamento divergente e all'uscita dalla lente vengono messi a fuoco in un punto più lontano detto FUOCO CONIUGATO POSTERIORE.

In ogni lente  $1/F_a + 1/F_p = K$ .

Se ho il fuoco principale (visione da lontano)  $1/\infty + 1/F = K$ , cioè  $1/F = K =$  DIOTTRIA, che può essere usata come unità di misura della potenza delle lenti. Il potere diottrico dell'occhio 'ridotto', considerando il raggio di curvatura del cristallino = 5mm, l'indice di rifrazione = a quello dell'acqua (1,33), distanza focale di 17mm è di 59 diottrie.

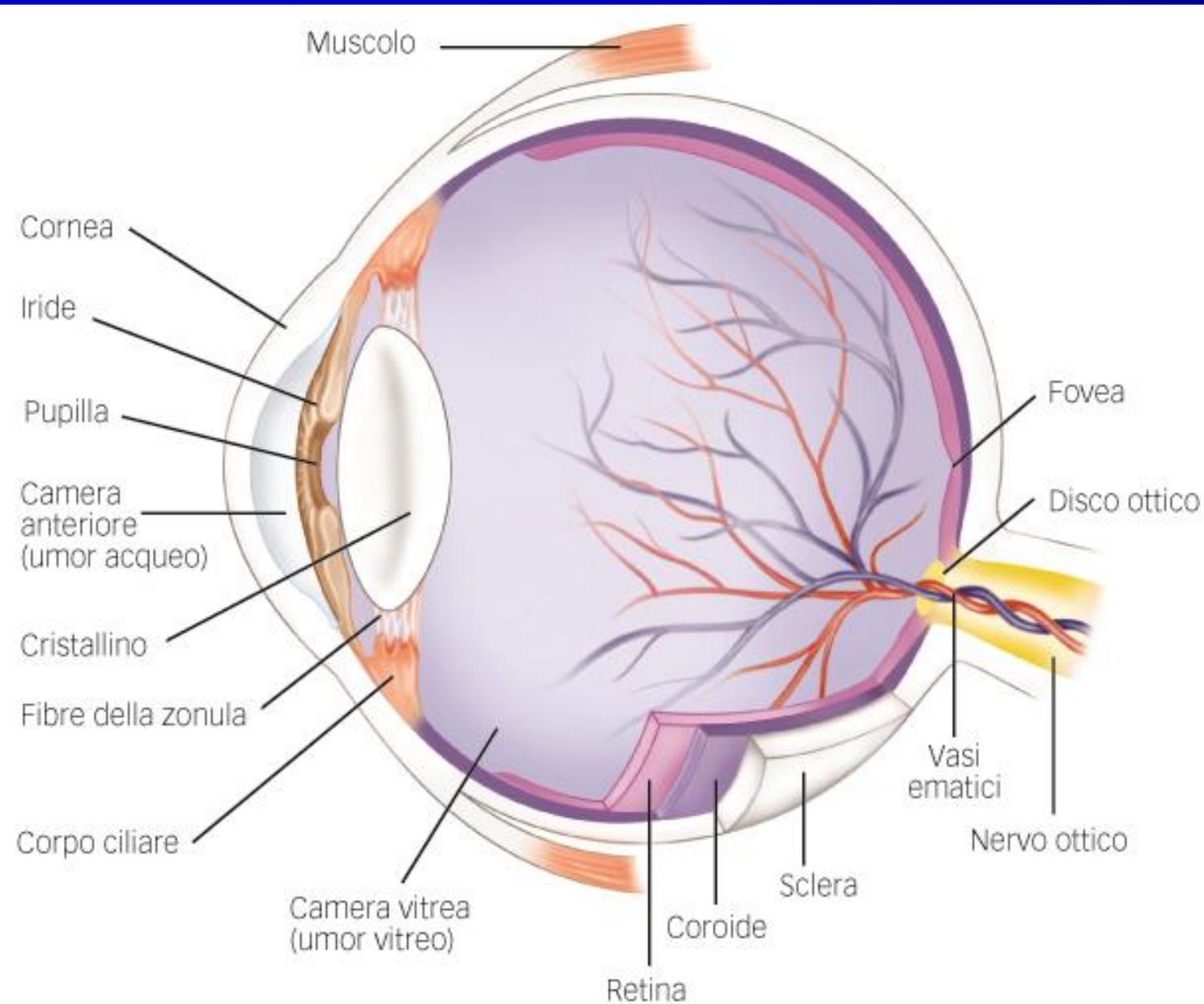


Nell'occhio i raggi provenienti da punti diversi dell'immagine convergono su punti diversi del piano focale, originando una rappresentazione punto-punto dell'immagine esterna ma capovolta sui due assi. Max accuratezza a livello della fovea.



**Figura 11.23** Rifrazione dei raggi luminosi nell'occhio. Un determinato punto del campo visivo viene messo a fuoco su un singolo

# ANATOMIA DELL'OCCHIO



Membrana esterna:

SCLERA (posteriore, fibrosa)

CORNEA (anteriore, trasparente)

Membrana intermedia UVEA:

Ossigeno e nutrimento

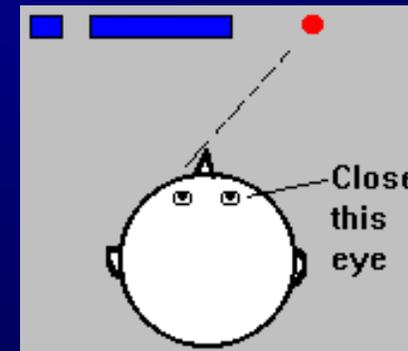
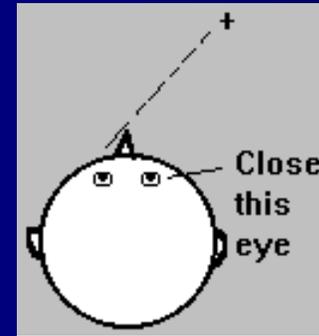
COROIDE (posteriore, pigmentata, evita il riverbero)

CORPO CILIARE E IRIDE (anteriori, accomodazione)

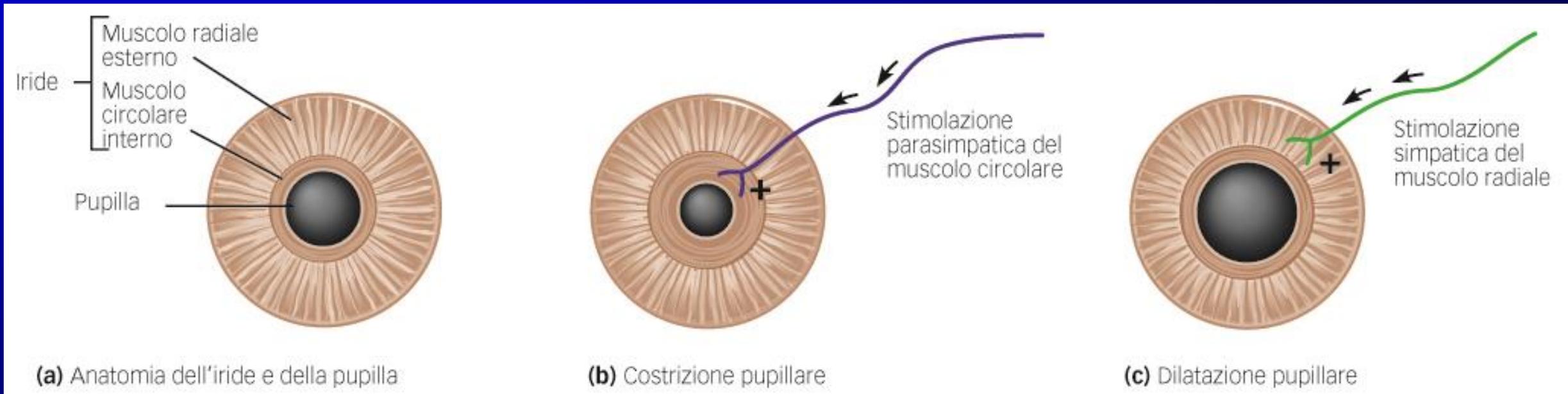
Membrana interna RETINA:

Macula densa con FOVEA, fotorecettori. DISCO OTTICO

# Macchia cieca nel campo visivo

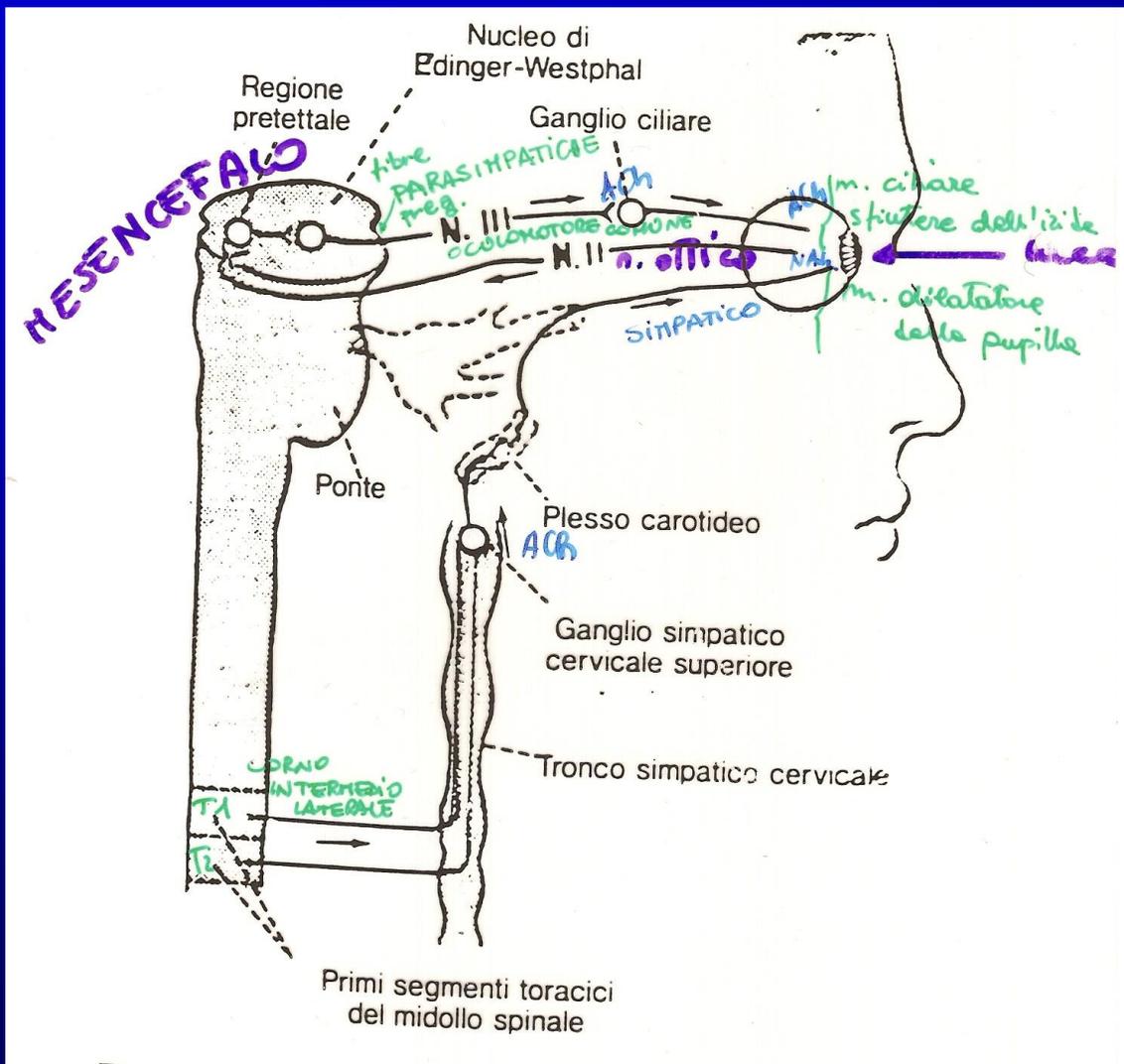


**Sfintere:** posto a anello intorno alla pupilla, innervato dal sistema parasimpatico; le fibre pregangliari rappresentano la porzione vegetativa del nervo oculomotore comune (III paio di nervi cranici) i cui soma sono contenuti nel nucleo di Edinger Westphal, nella zona pretettale; le fibre pregangliari sinaptano a livello del ganglio ciliare con neuroni diretti all'iride.



**Dilatatore:** posto a raggiera intorno alla pupilla, innervato dal simpatico, le fibre pregangliari escono, attraverso le radici anteriori, dal segmento toracico, raggiungono la catena paravertebrale simpatica salgono verso il ganglio cervicale superiore dove contraggono sinapsi coi neuroni postgangliari che decorrono con i nervi ciliari lunghi del m. dilatatore.

## RIFLESSO ALLA LUCE



Se alla luce del giorno un soggetto chiude gli occhi per 10-20 sec le pupille si dilatano, quando li riapre si costringono.

Il diametro della pupilla può variare da 1,5 a 8 mm.

Entro 0,3-0,8 sec si ha il riflesso fotico diretto, e quello consensuale (dell'occhio non direttamente illuminato).

**Funzione:** proteggere l'occhio da un'eccessiva quantità di luce che raggiunge la retina.

## RIFLESSO DI CONVERGENZA

Il diametro pupillare dipende anche dalla distanza dell'oggetto che si fissa. Se un soggetto che guarda lontano sposta lo sguardo su un oggetto vicino (30 cm), le pupille si restringono, gli assi visivi convergono e aumenta il potere rifrangente del cristallino.

Contrazione dello sfintere→MIOSI

Contrazione del dilatatore→MIDRIASI

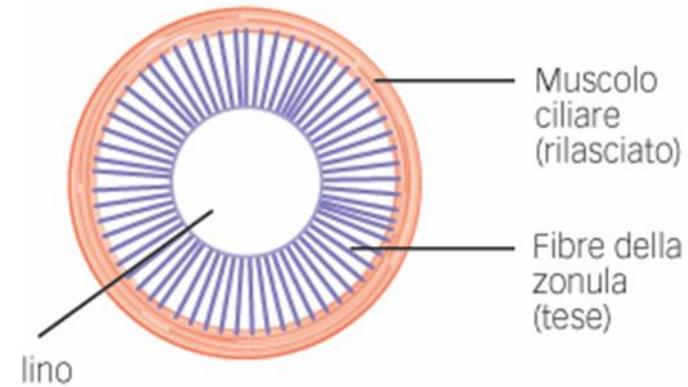
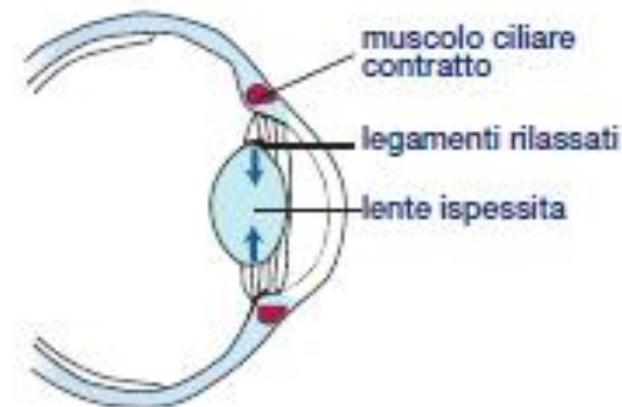
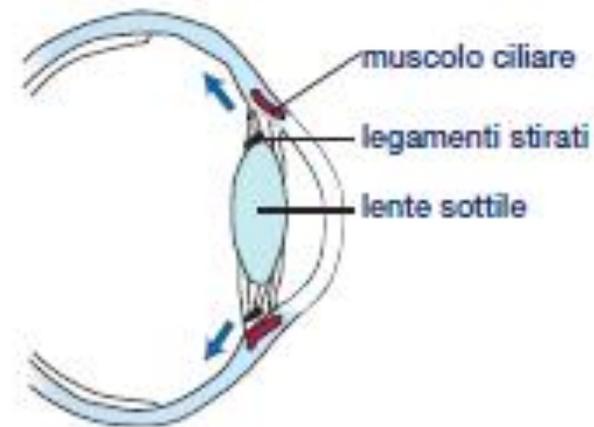
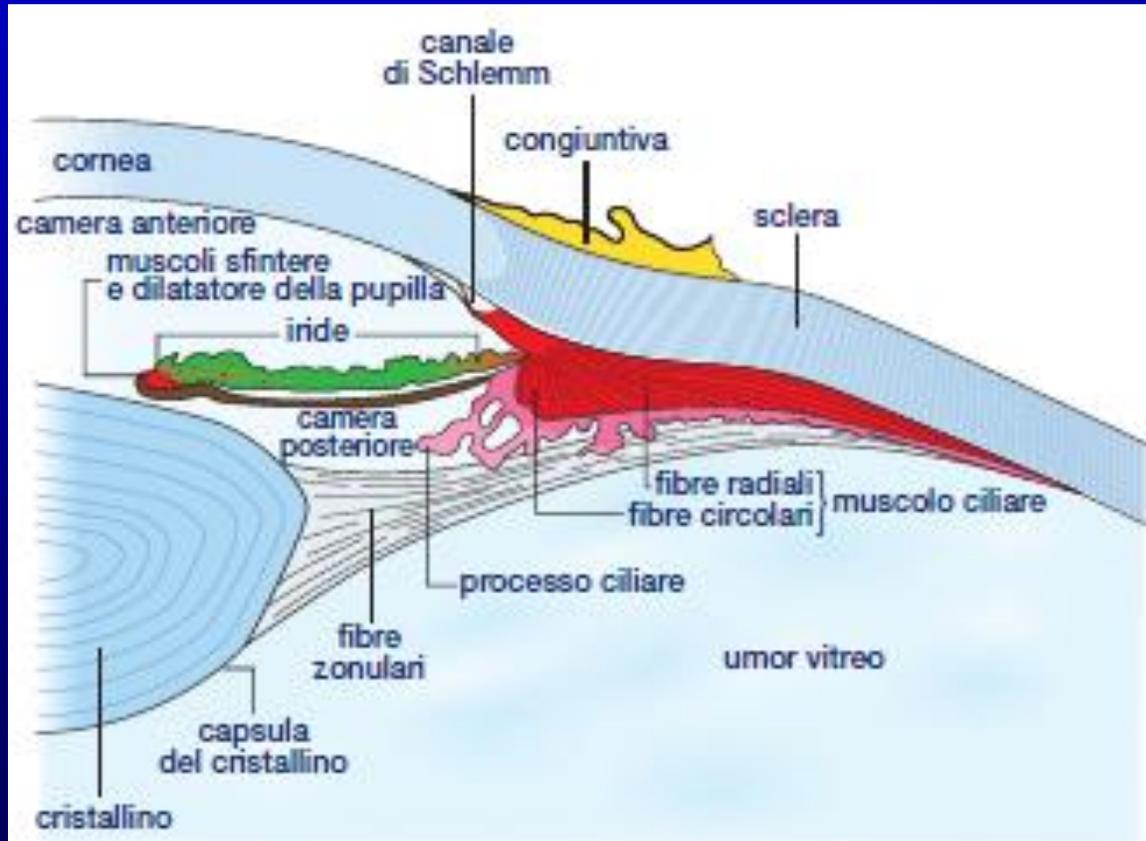
Farmaci miotici: eserina (anticolinesterasico),  
pilocarpina,  
morfina

Farmaci midriatici: atropina (blocca rec muscarinici=  
prevale l'azione dilatatrice del  
simpatico)

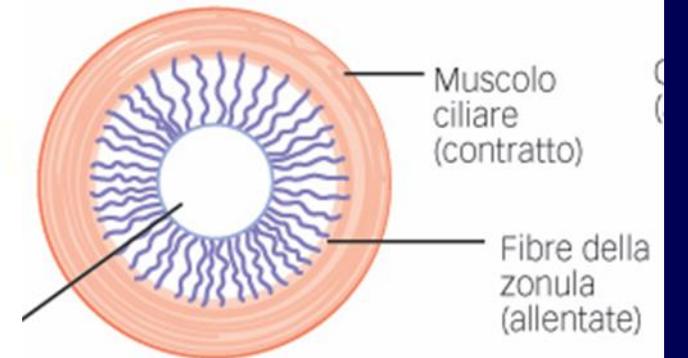
cocaina

Adr, Nadr

La superficie interna del **CORPO CILIARE** è collegata dalla fibre zonulari al **CRISTALLINO**.



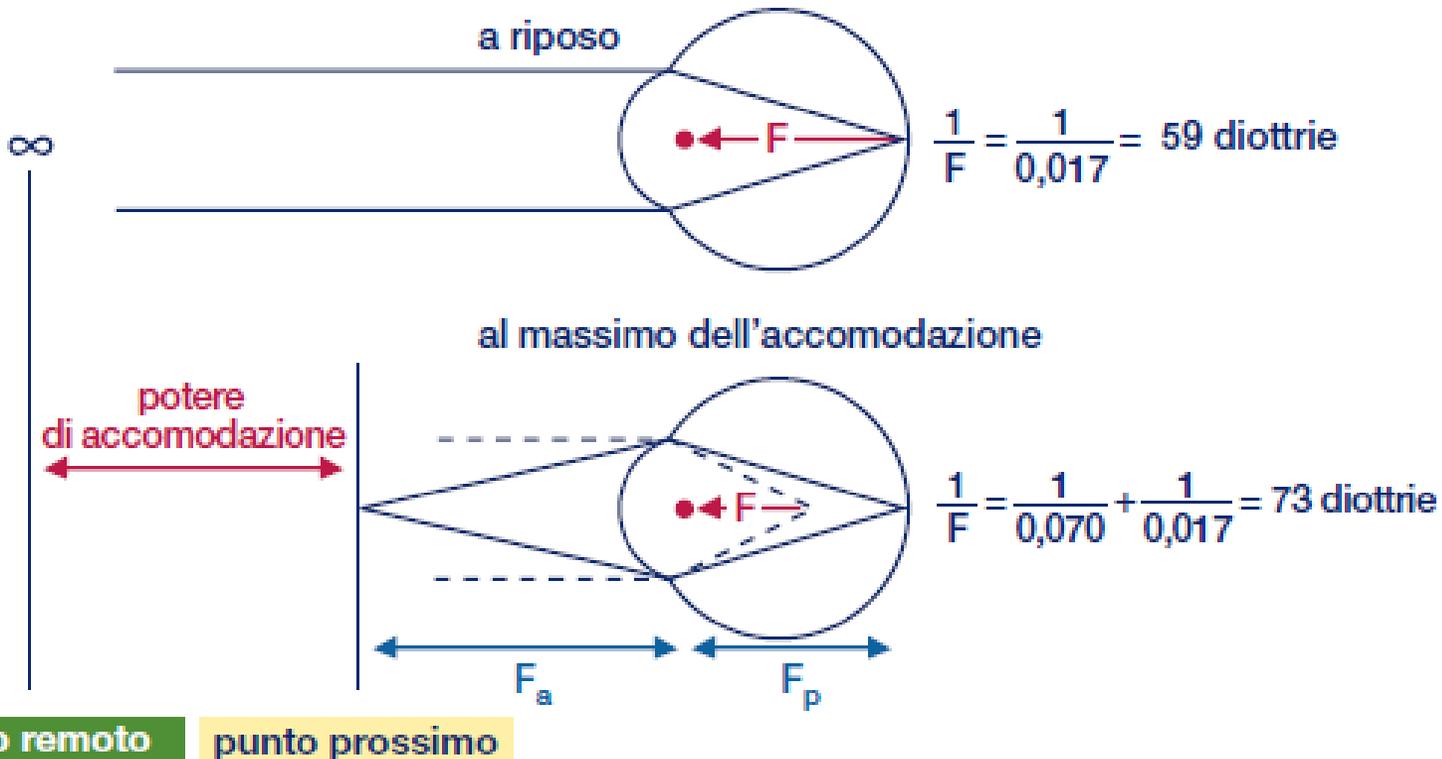
Visione di oggetti distanti



acomodazione per la visione da vicino

# ACCOMODAZIONE

Punto prossimo: punto collocato alla distanza minima per avere la messa a fuoco: si ha quando il muscolo ciliare è contratto al max e il cristallino ha raggiunto il max potere diottrico. (circa 7 cm), aumenta con l'età, dopo i 50 anni è di circa 50 cm: PRESBIOPIA (diminuzione del potere rifrangente del cristallino).



L'AMPIEZZA DELL'ACCOMODAZIONE si misura in diottrie, ed è la differenza di potere rifrangente tra punto prossimo e punto remoto. In un giovane il valore medio è 14 diottrie.

## FATTORI CHE POSSONO INFLUENZARE IL POTERE RIFRATTIVO DEL CRISTALLINO:

- aberrazione cromatica: Nell'occhio la luce bianca viene scomposta nelle sue componenti cromatiche che vengono messe a fuoco a distanze diverse:

ROSSO ( $\lambda$  + lunghe) hanno una distanza focale >

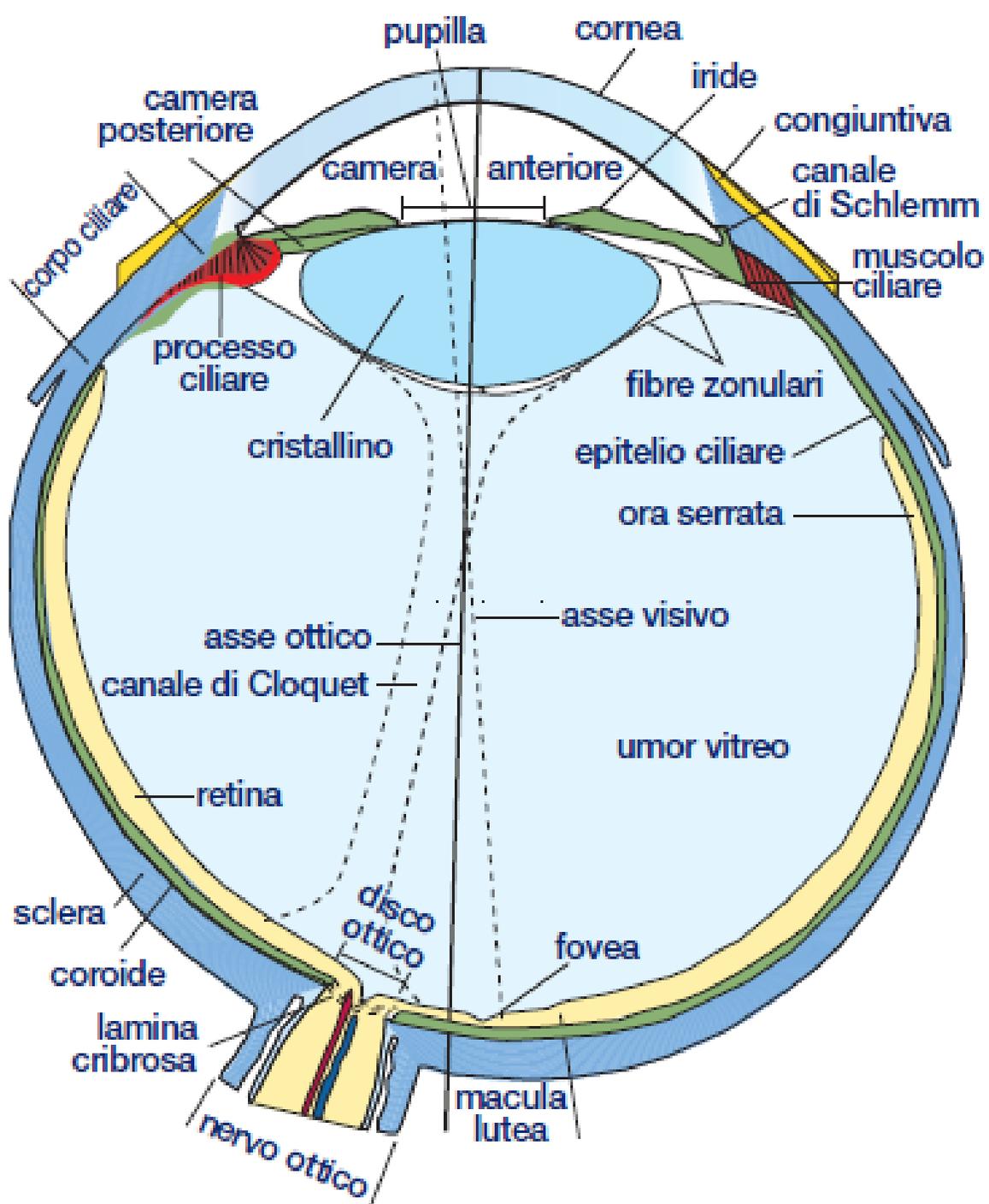
BLU ( $\lambda$  + corte) hanno una distanza focale <

In condizioni di scarsa illuminazione i soggetti miopi avranno ancor maggior difficoltà di messa a fuoco perché le immagini verranno focalizzate ancor + anteriormente alla retina.

- convergenza: importante nella visione da vicino, aumenta il potere rifrattivo del cristallino
- concavità della fovea: la differenza di fuoco tra la porzione centrale e i margini determina la necessità di modificare il potere rifrattivo del cristallino.

Il grado di accomodazione oscilla 2 volte/sec circa.

Si ritiene che le aree corticali che presiedono al controllo dell'accomodazione agiscano in parallelo con quelle che controllano i movimenti di fissazione degli occhi, con integrazione finale dei segnali visivi nelle aree 18 e 19 di Brodman, e trasmissione dei comandi motori per il m. ciliare attraverso l'area pre-tettale e il n. di E-W.



CAMERA ANTERIORE: spazio tra sup interna cornea e iride; comunica con la CAMERA POSTERIORE attraverso la pupilla. Contengono l'umor acqueo

CAMERA VITREA, posteriore al cristallino, riempita di umor vitreo, sost gelatinosa e trasparente.

MEZZI DIOTTRICI:

Cornea

Umor acqueo

Cristallino

Umor vitreo

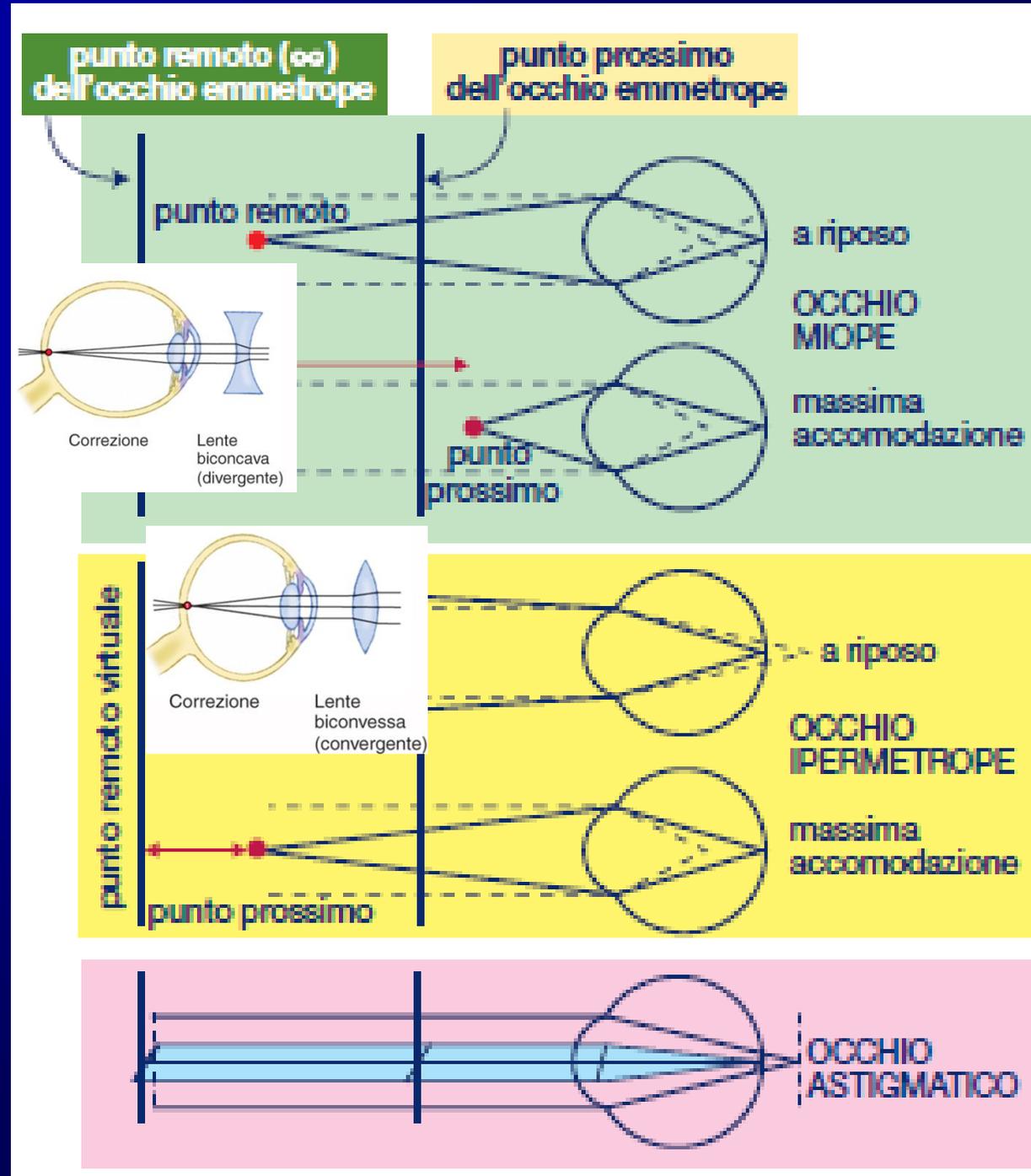
# Alterazioni del sistema visivo

Presbiopia: difficoltà a mettere a fuoco oggetti vicini, dovuta ad una perdita di elasticità del cristallino, tipico degli anziani.

Miopia: difficoltà a mettere a fuoco oggetti lontani, dovuto ad una lunghezza > del bulbo oculare.

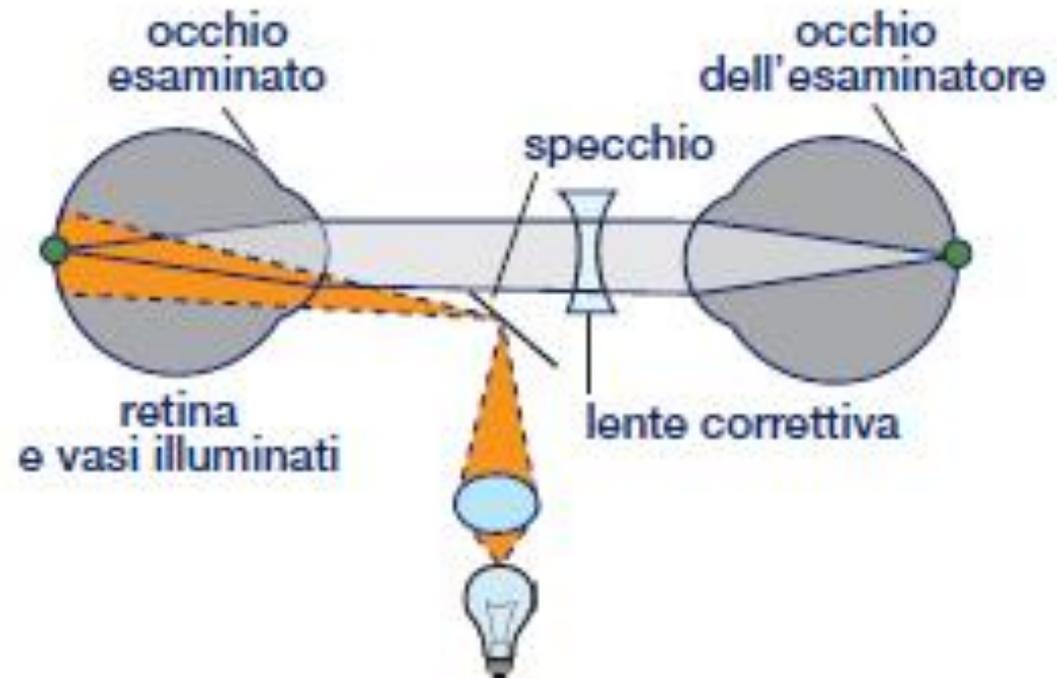
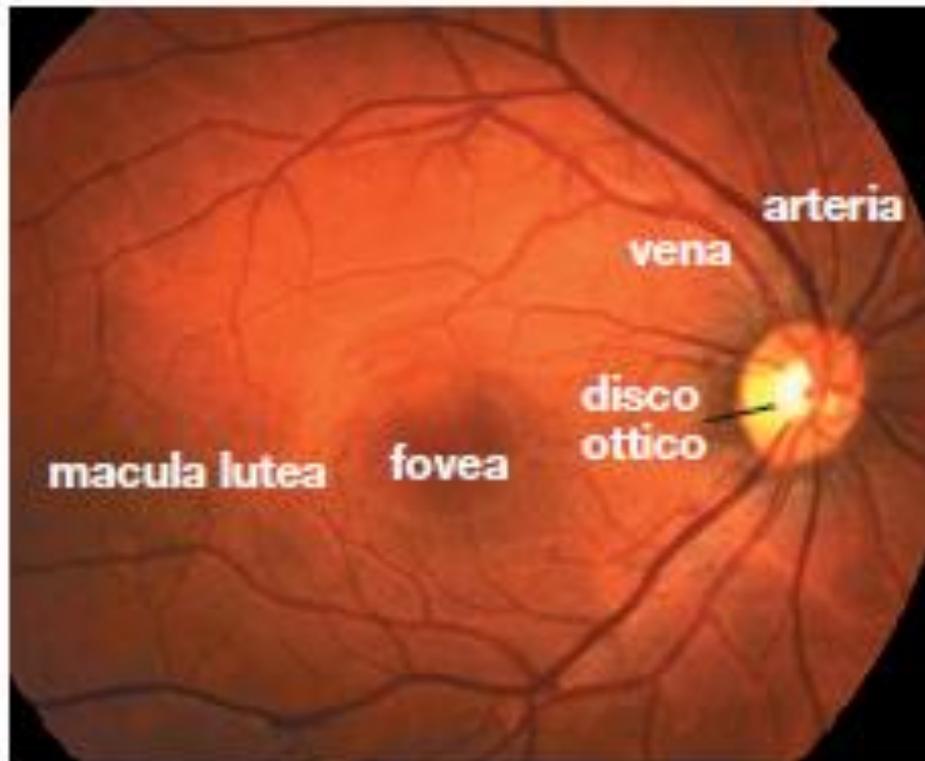
Ipermetropia: il bulbo oculare è più corto, quindi gli oggetti vengono messi a fuoco dietro la retina, nei limiti del possibile l'accomodazione è possibile aumentando il tono del muscolo ciliare.

Astigmatismo: la convessità della cornea lungo i diversi assi di curvatura non è omogenea, il punto focale non è quindi univoco e darà origine ad una immagine sfocata.

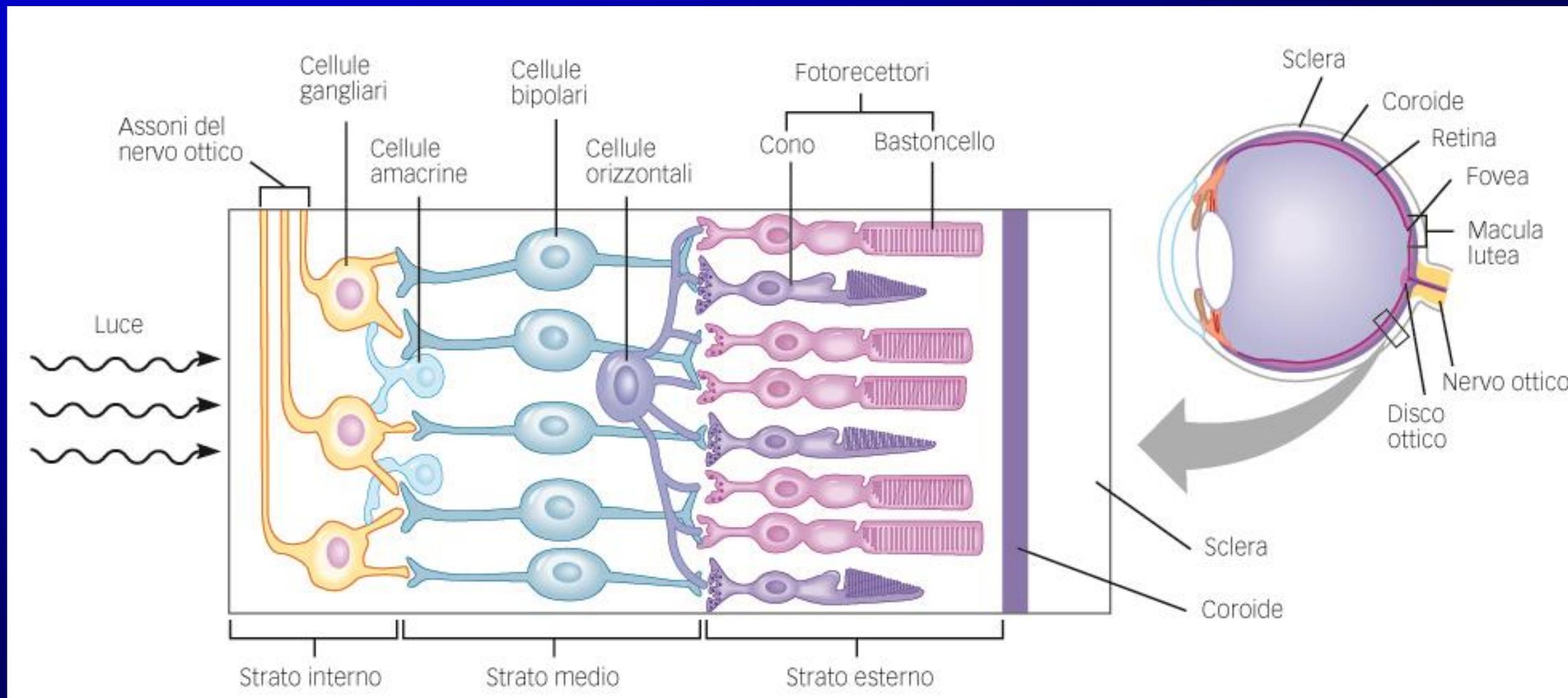


Analisi del fondo oculare continuità tra meningi e membrane che avvolgono il nervo ottico: un aumento della P endocranica (tumore) determina condizione di edema del disco ottico. In caso di **GLAUCOMA** (aumento della P endooculare) invece risulta depresso

**OFTALMOSCOPIO**: sistema di specchi che illuminano la retina senza interrompere la linea di sguardo dell'osservatore

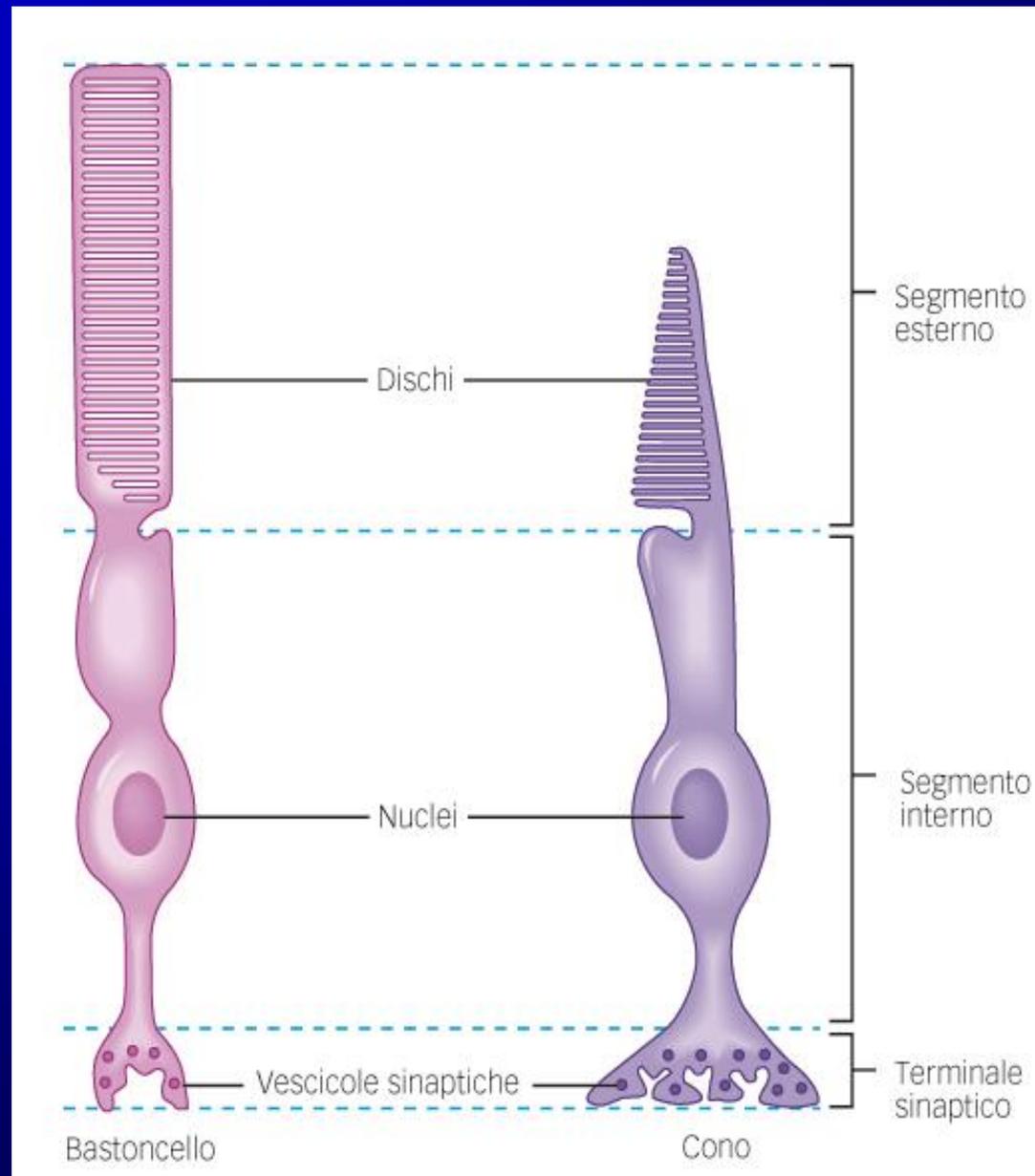


# RETINA è la porzione nervosa dell'occhio, appartiene al SNC



# BASTONCELLI

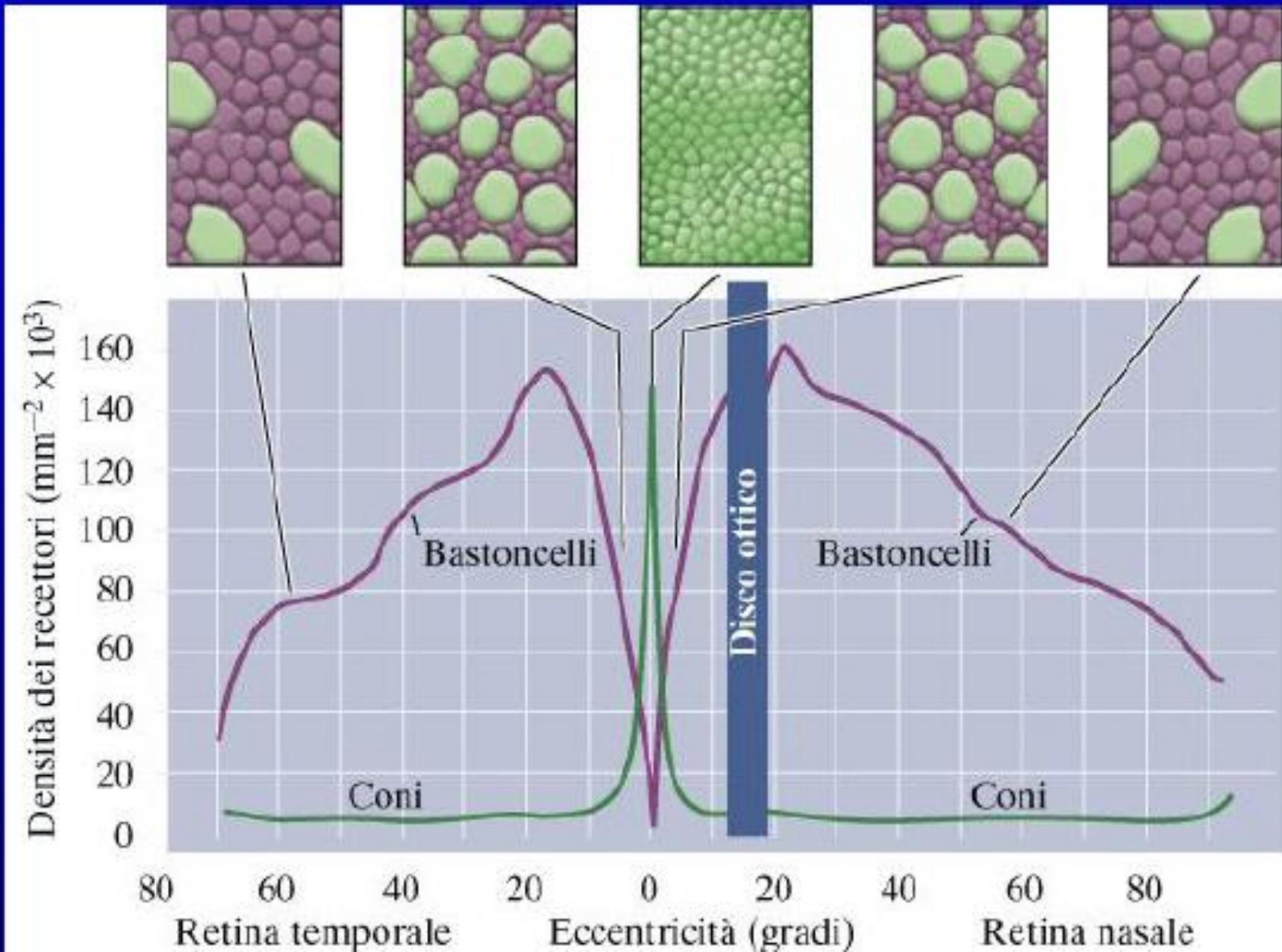
- ✓ visione notturna (scotopica)
- ✓ acromatico
- ✓ elevata quantità di pigmento-RODOPSINA
- ✓ amplificazione del segnale luminoso
- ✓ Sensibile ad 1 solo fotone
- ✓ convergenza di molti bastoncelli su di 1 unico neurone bipolare



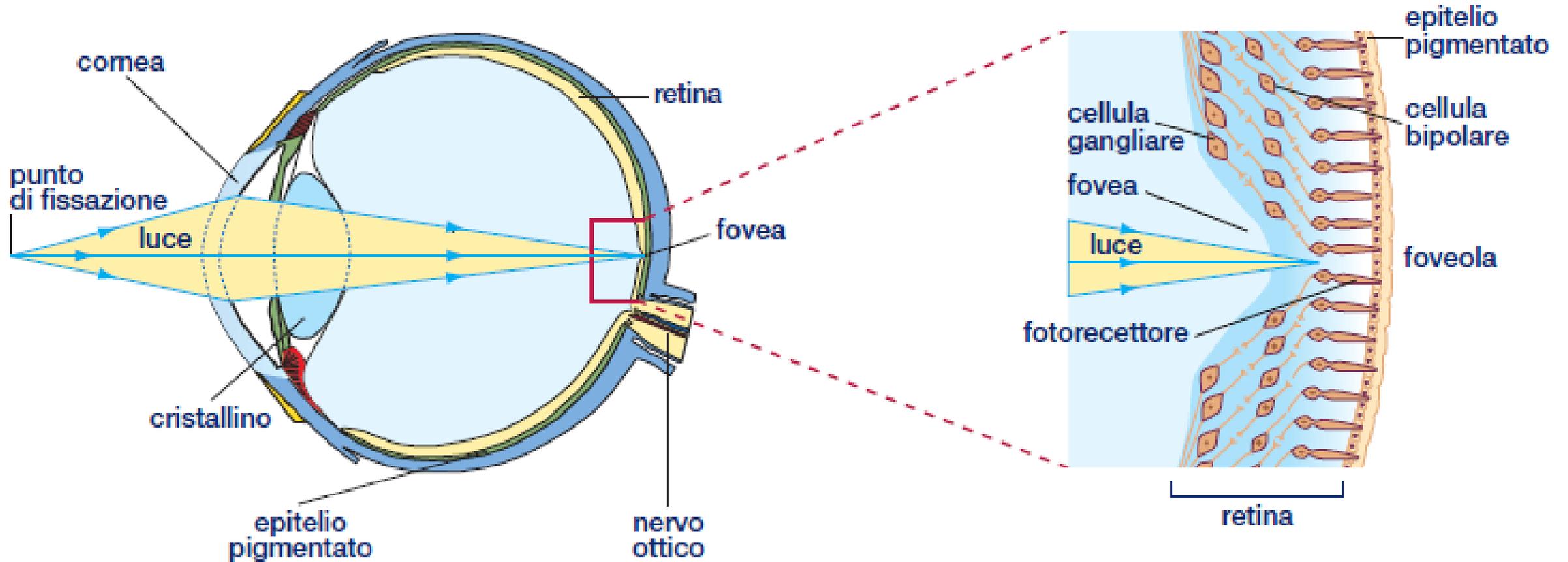
# CONI

- ✓ visione diurna (fotopica)
- ✓ buona risoluzione temporale
- ✓ 3 IODOPSINE
- ✓ visione dei colori
- ✓ Necessitano di 100 fotoni per essere attivati
- ✓ buona risoluzione spaziale

# Distribuzione dei coni e dei bastoncelli nella retina



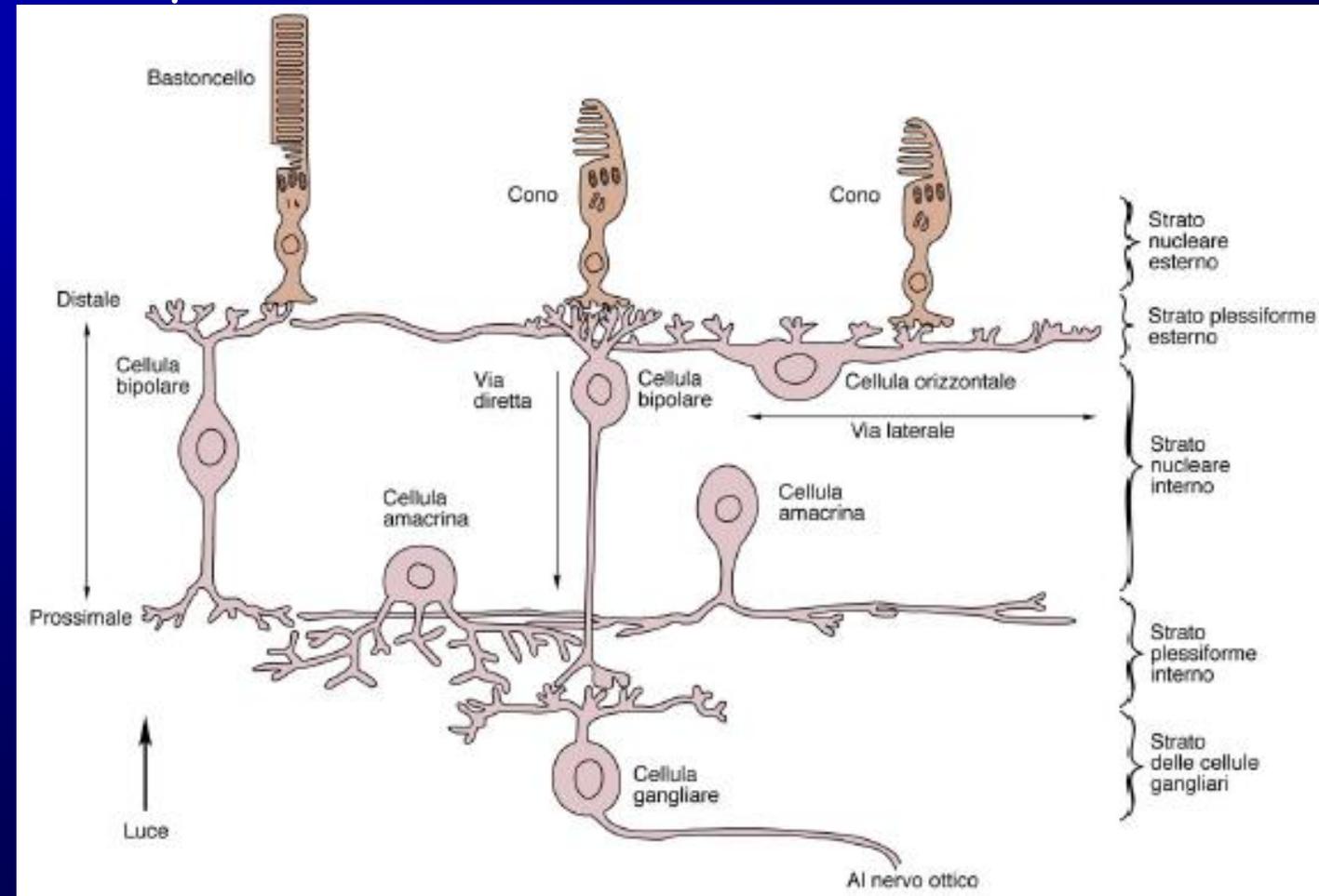
Nella regione della fovea i raggi luminosi arrivano direttamente sui fotorecettori



Nella foveola si ha la max acuità visiva grazie a:

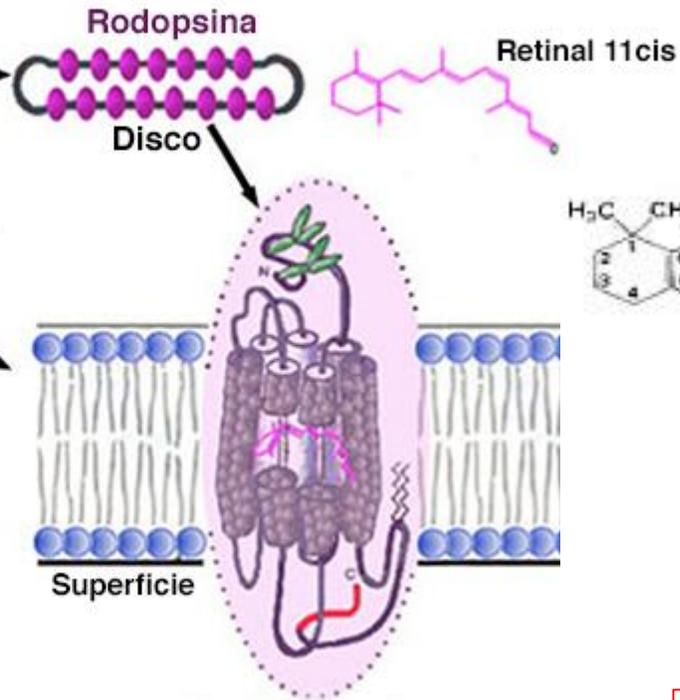
- ✓ Assottigliamento del segmento esterno dei coni
- ✓ ogni cono è collegato ad una sola cellula bipolare che, a sua volta, è legata ad una sola cellula gangliare, consentendo una elevata risoluzione spaziale (convergenza aumenta spostandosi verso la periferia)

I bastoncelli hanno invece un grado di convergenza molto maggiore, ogni cellula bipolare dei bastoncelli fa sinapsi con cell amacrine, connesse con cellule bipolari dei coni, a sua volta connesse con cellule gangliari.



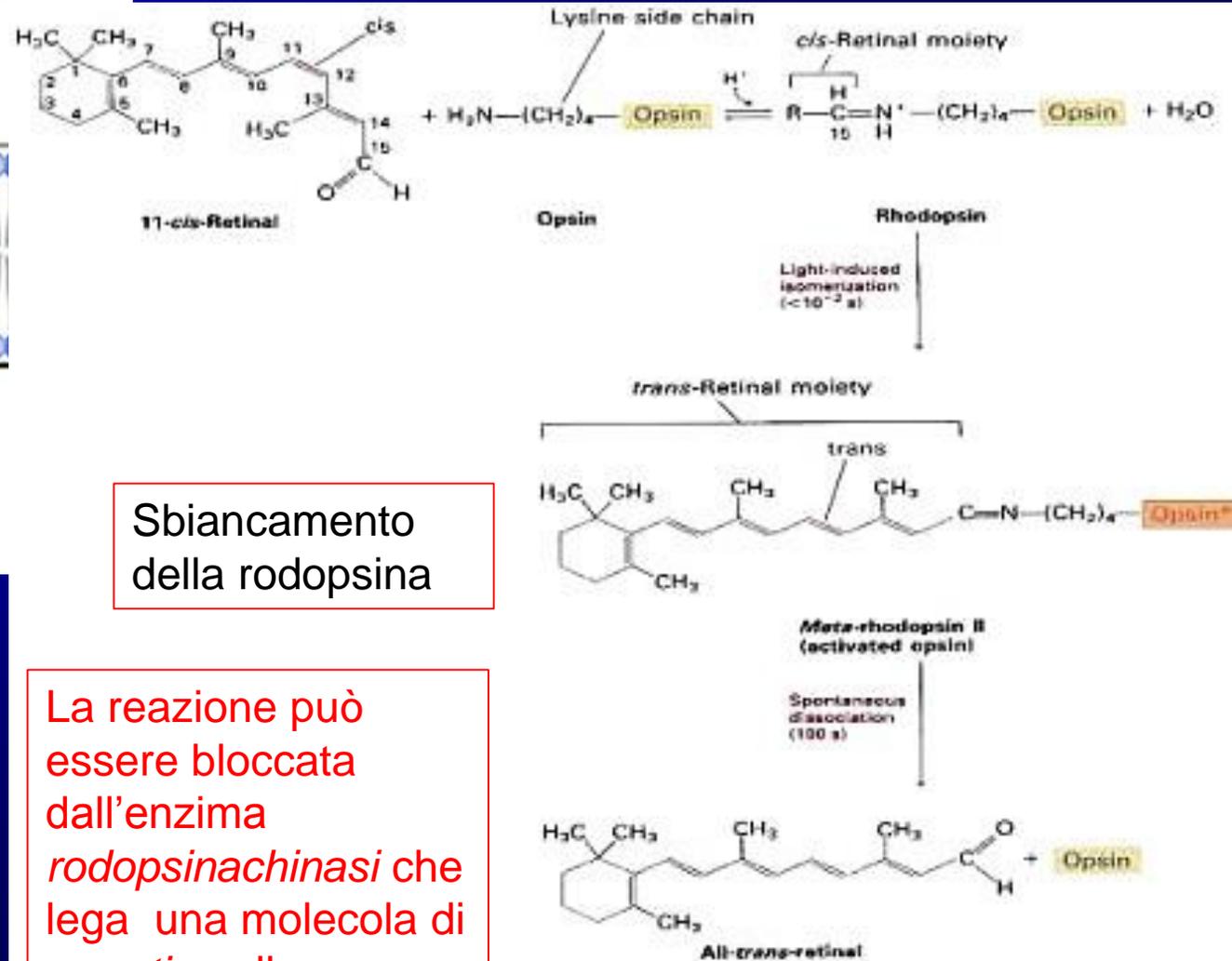


Segmento esterno



Molecola di Rodopsina

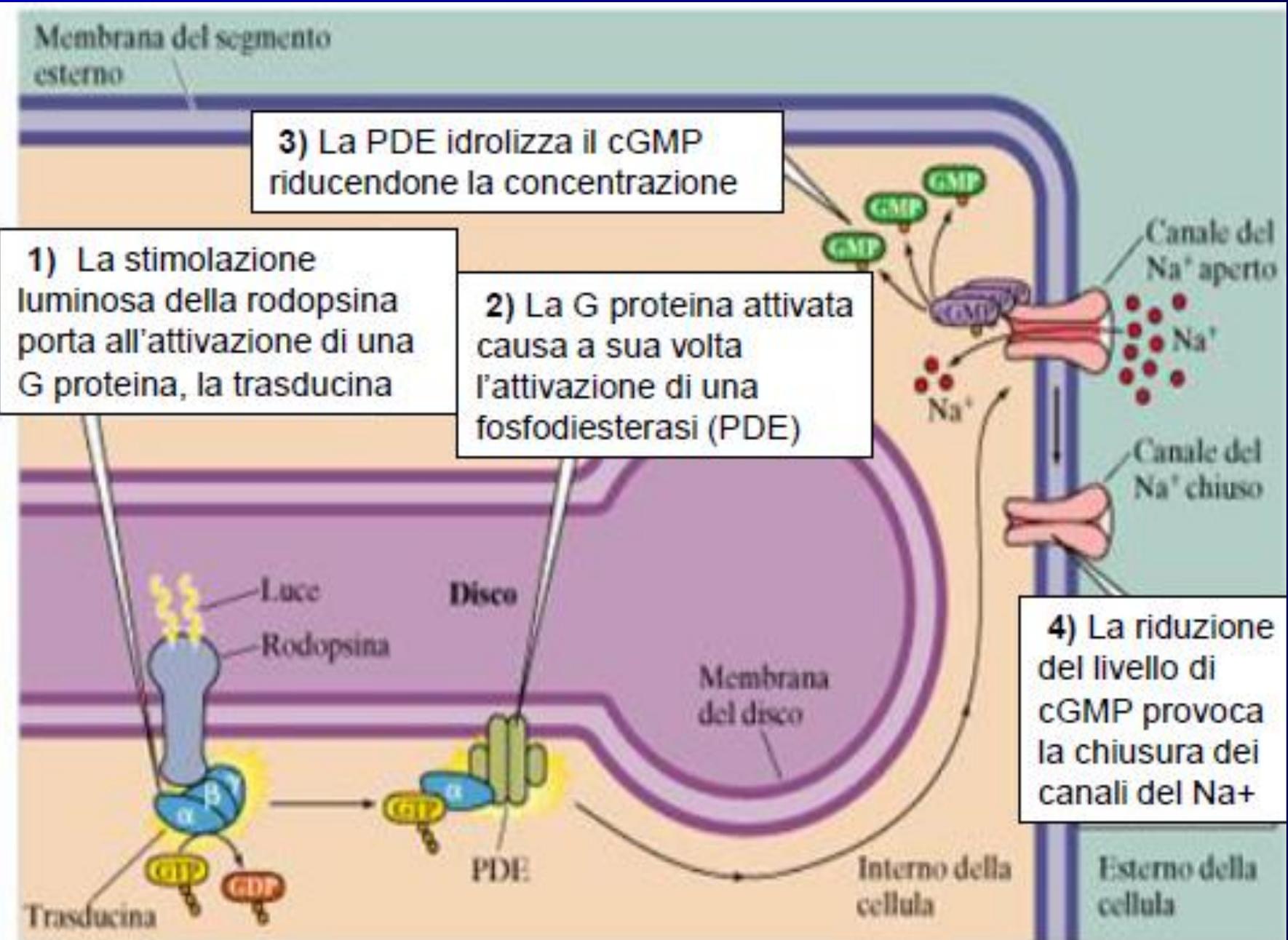
L'attivazione di una singola molecola di rodopsina può attivare fino a 800 molecole di trasducina: **AMPLIFICAZIONE**

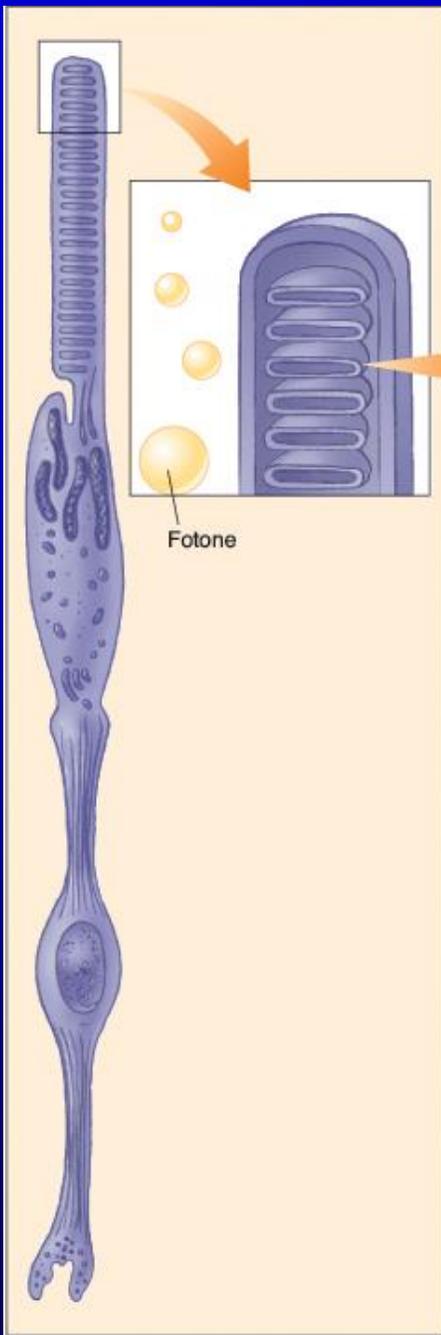


Sbiancamento della rodopsina

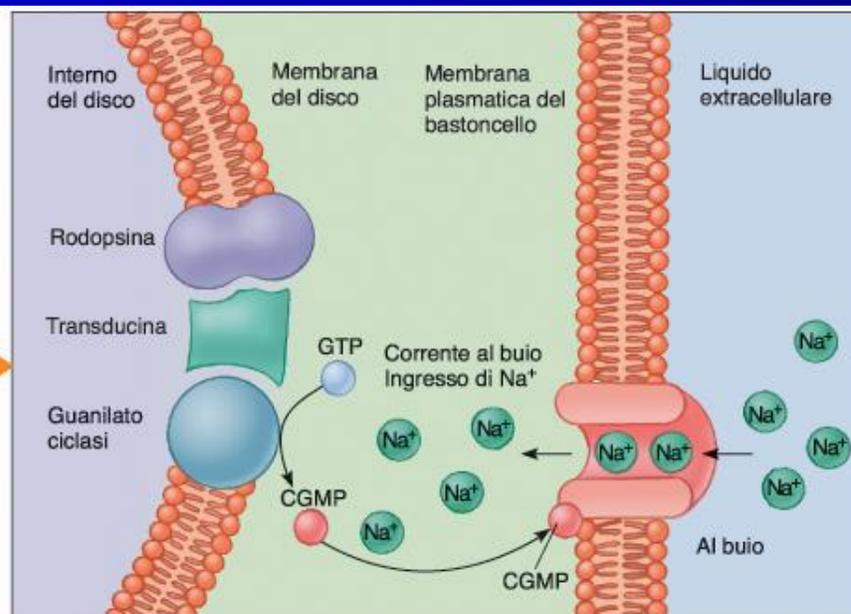
**CICLO VISIVO:** processo che permette al ftopigmento di ritornare alla configurazione sensibile alla luce, avviene nell'epitelio pigmentato dove ci sono enzimi che convertono il retinolo *tutto trans* in *11-cis* che poi viene trasportato all'interno del segmento esterno.

La reazione può essere bloccata dall'enzima *rodopsinachinasi* che lega una molecola di *arrestina* alla metarodopsina II.

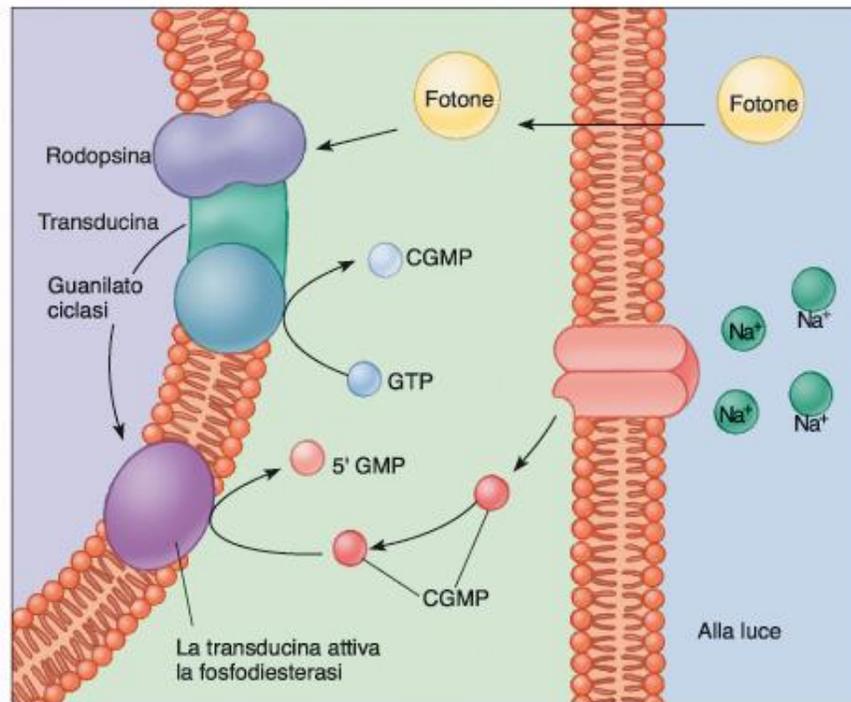




(a)



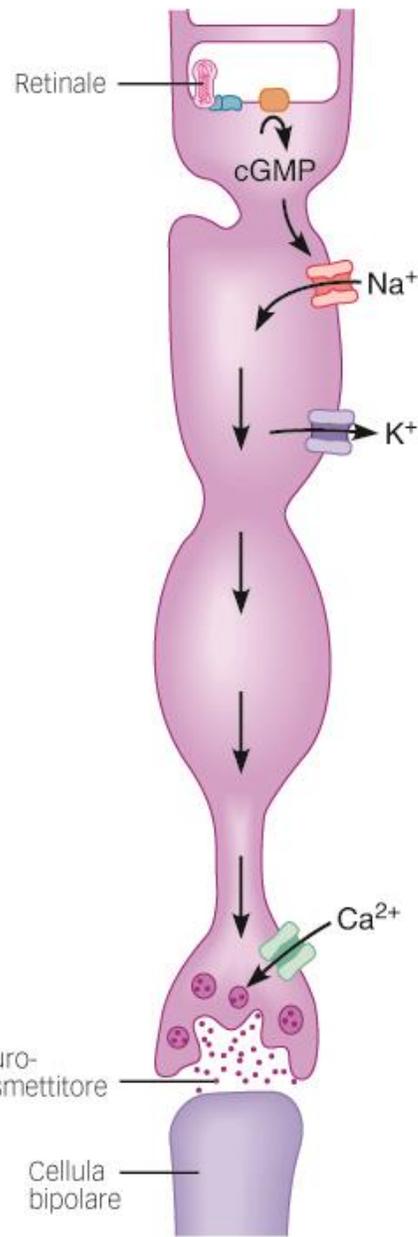
(b)



# FOTOTRASDUZIONE

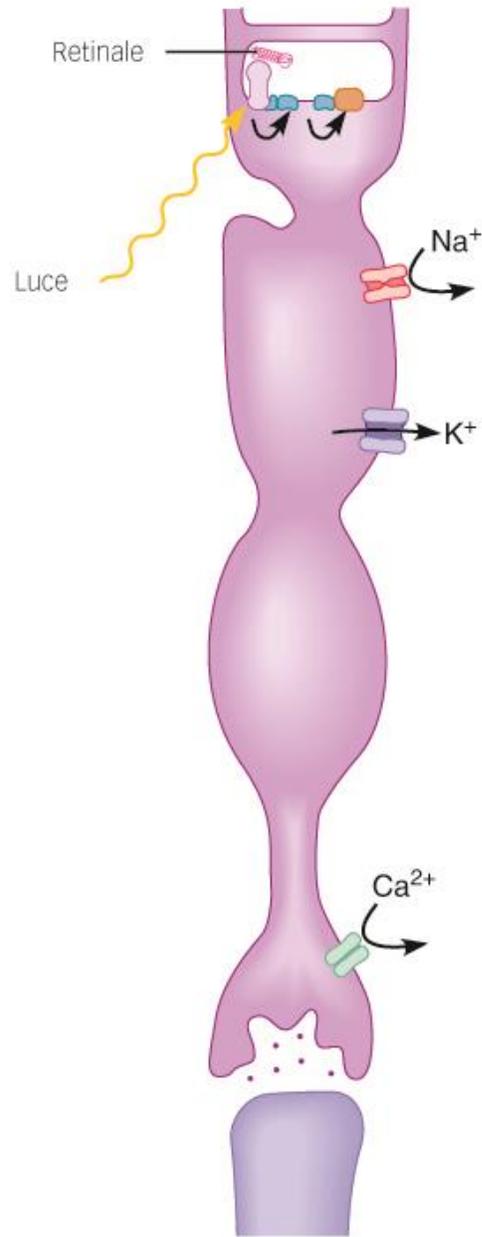
Al buio c'è una elevata concentrazione di cGMP che tiene aperti i canali al  $\text{Na}^+$  e  $\text{Ca}^{2+}$ : corrente al buio.

L'arrivo di un fotone determina la diminuzione della  $[\text{GMPc}]$  e la chiusura dei canali al  $\text{Na}^+$  con conseguente IPERPOLARIZZAZIONE ( $\text{K}$  continua ad uscire)



(a) Risposta del fotorecettore al buio

- ① I livelli di cGMP nel citoplasma sono alti
- ② I canali per il sodio sono aperti
- ③ In sodio entra nella cellula determinando una depolarizzazione che viaggia dal segmento esterno al terminale del fotorecettore
- ④ I canali per il calcio si aprono in risposta alla depolarizzazione
- ⑤ Il calcio entra nella cellula attivando l'esocitosi del neurotrasmettitore
- ⑥ Il neurotrasmettitore genera dei potenziali graduati nella cellula bipolare



(b) Risposta del fotorecettore alla luce

- ① La luce è assorbita dal fotopigmento
- ② Il retinale e l'opsina si dissociano
- ③ Viene attivata la trasducina
- ④ Viene attivata la fosfodiesterasi
- ⑤ I livelli di cGMP nel citoplasma diminuiscono
- ⑥ I canali per il sodio si chiudono
- ⑦ Il minor ingresso di sodio iperpolarizza la cellula
- ⑧ I canali per il calcio si chiudono
- ⑨ Diminuisce il rilascio di neurotrasmettitore
- ⑩ Nella cellula bipolare i potenziali graduati sono più piccoli

L'iperpolarizzazione del bastoncello determina una riduzione della liberazione di neurotrasmettitore che evoca l'insorgenza di PA nel nervo ottico

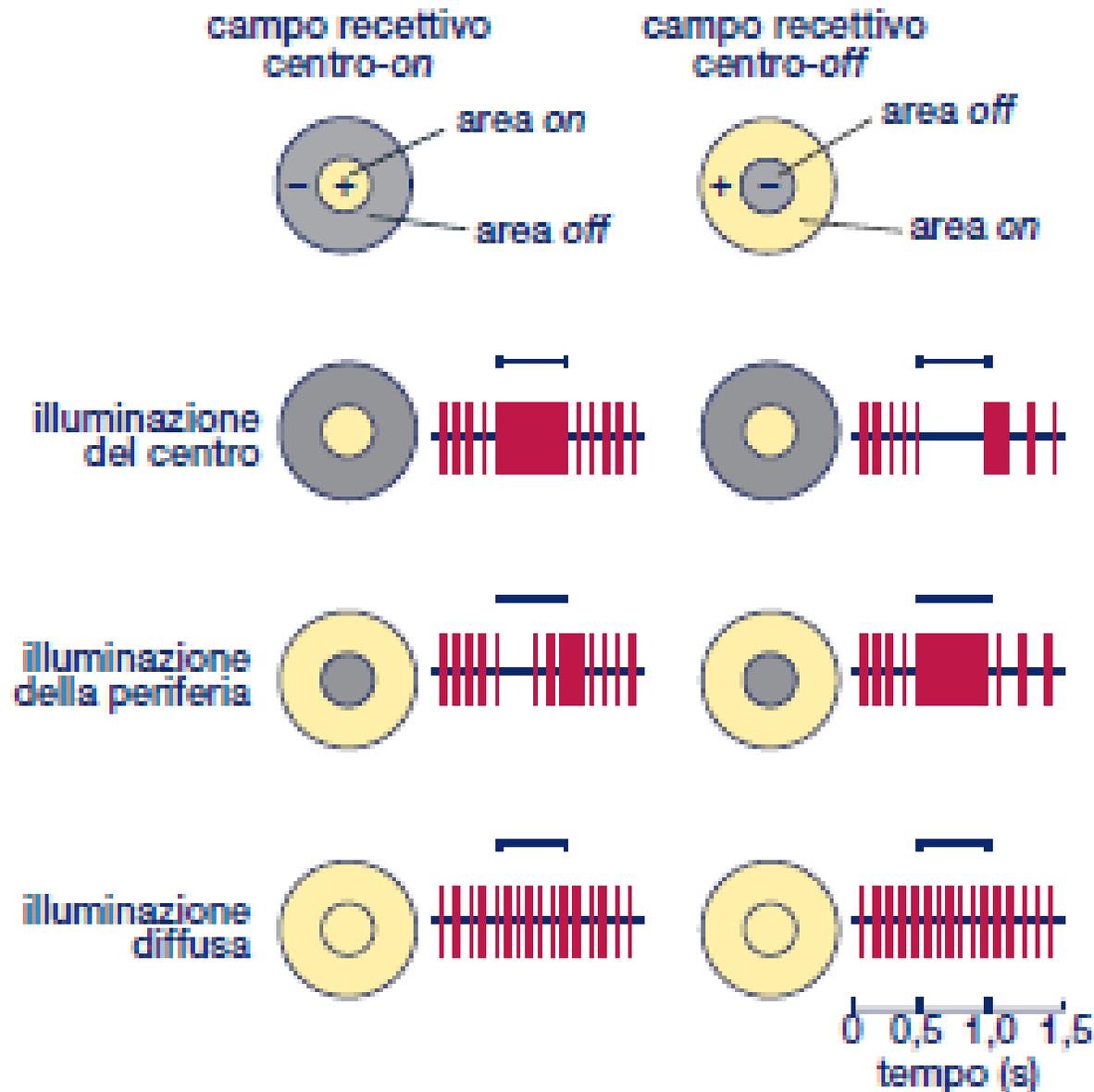
Fenomeni di adattamento alla luce, regolati dalla conc di Ca nel segmento est che determina cambiamenti che riducono la sensibilità alla luce

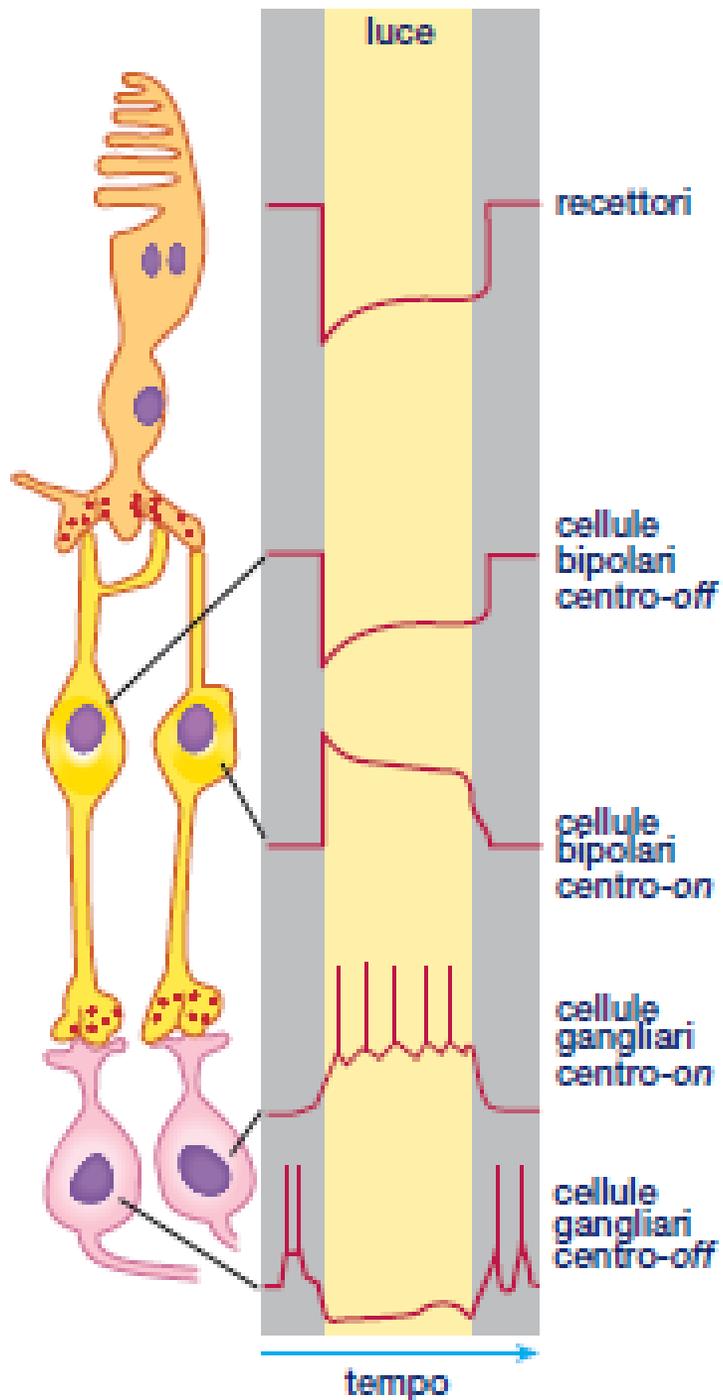
# ANTAGONISMO CENTRO-PERIFERIA delle cellule bipolari

Possono essere :

**CENTRO-ON** (rispondono ad aumenti della luminosità nel centro del CR) recettori metabotropici mGluR6

**CENTRO-OFF** (rispondono a diminuzioni della luminosità nel centro del CR), hanno recettori ionotropi AMPA e Kainato





Le cellule bipolari producono potenziali graduati che, tramite il rilascio di Glut, inducono scariche di PA nelle c. gangliari.

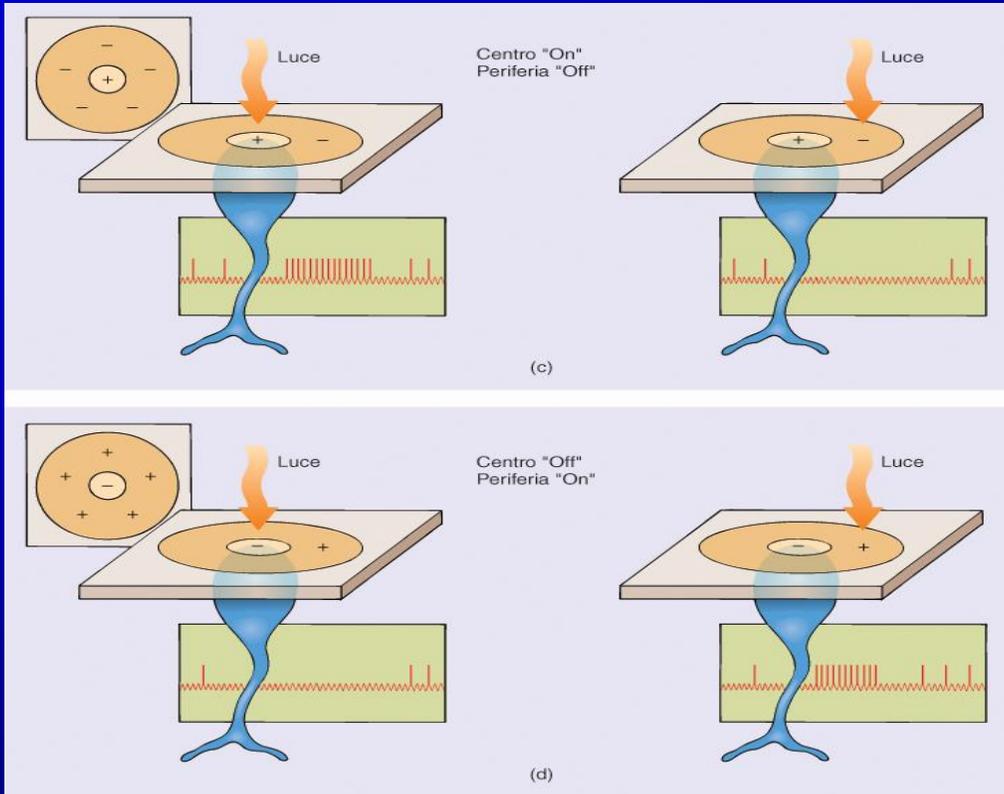
Al buio l'interazione del Glut con i rec mGluR6 (sulle c. bipolari centro-on) determina iperpolarizzazione della c. bipolare.

Quando arrivo la luce diminuisce la liberazione di Glut dai fotorecettori iperpolarizzati e la c. bipolare si depolarizza, mentre al le centro Off (rec AMPA e Kainato) si iperpolarizzano

# ANTAGONISMO CENTRO-PERIFERIA delle cellule gangliari

Le cellule gangliari **CENTRO-ON** si attivano in risposta a stimoli luminosi verso il centro del CR.

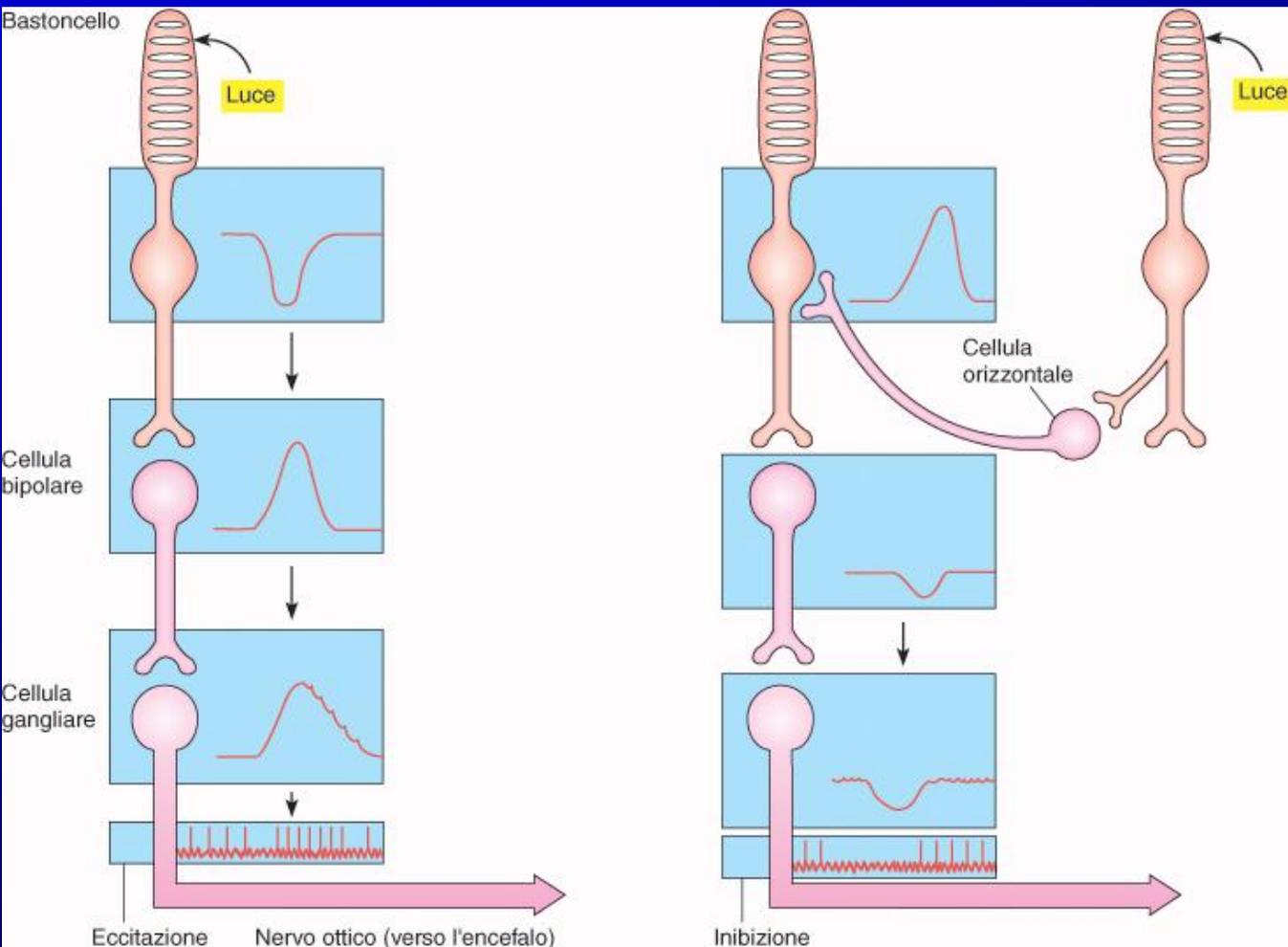
Le cellule gangliari **CENTRO-OFF** sono inibite da uno stimolo luminoso nel centro del CR e rispondono con una forte scarica quando questo cessa, inoltre aumentano la frequenza di scarica in seguito ad una diminuzione della luminanza del centro del CR.



La frequenza di scarica basale delle cellule gangliari è bassa, e questo tipo di cellule è in grado di rilevare stimoli caratterizzati da un contrasto di luminosità (in + o in -).

La specifica sensibilità delle c. gangliari a centro on e off rispettivamente a stimoli + o - luminosi rispetto allo sfondo deriva dalle proprietà funzionali delle c. bipolari da cui ricevono i segnali.

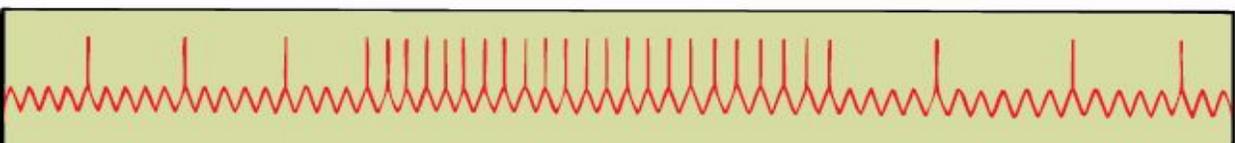
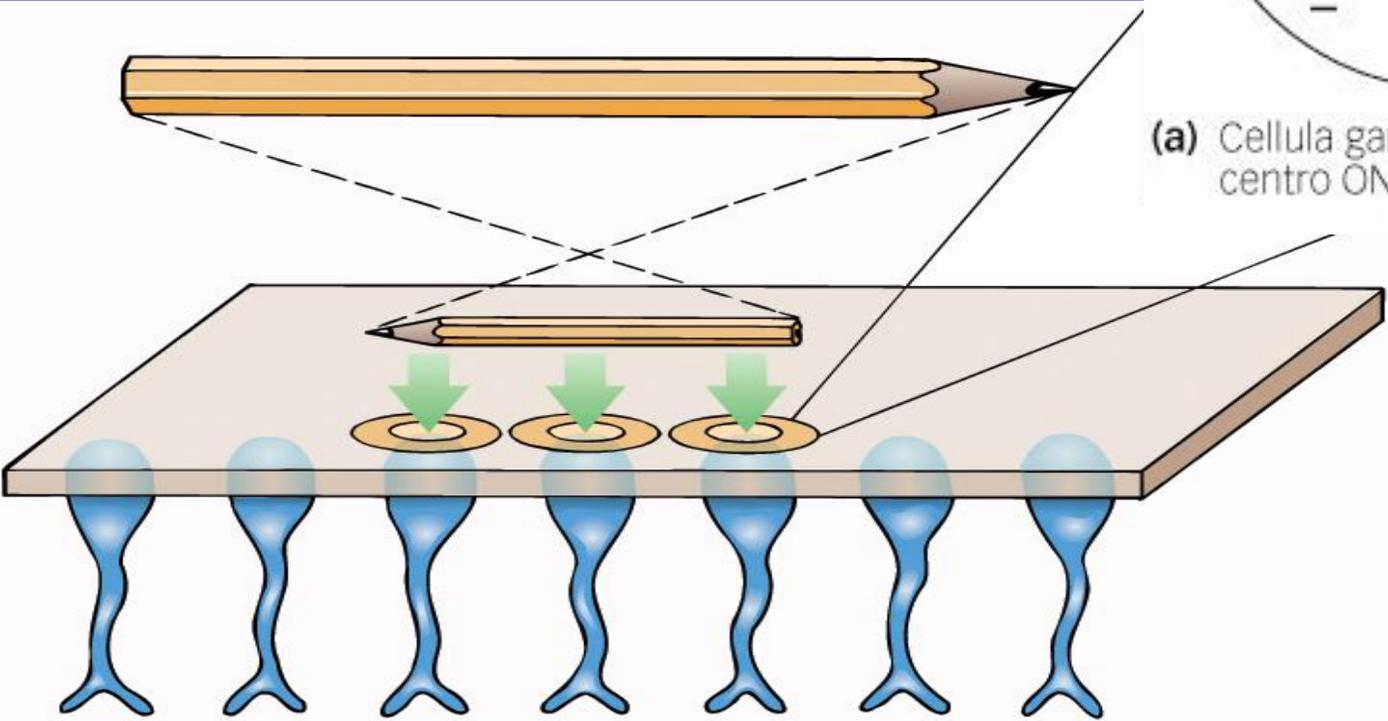
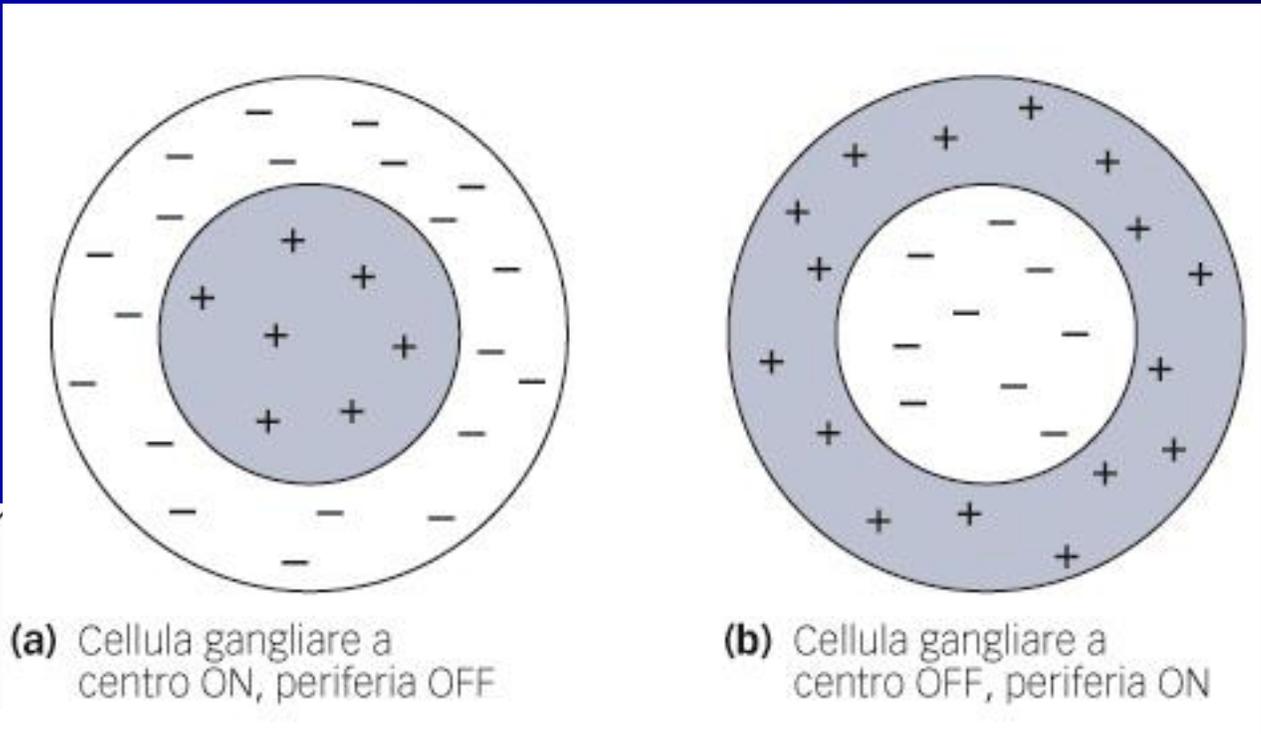
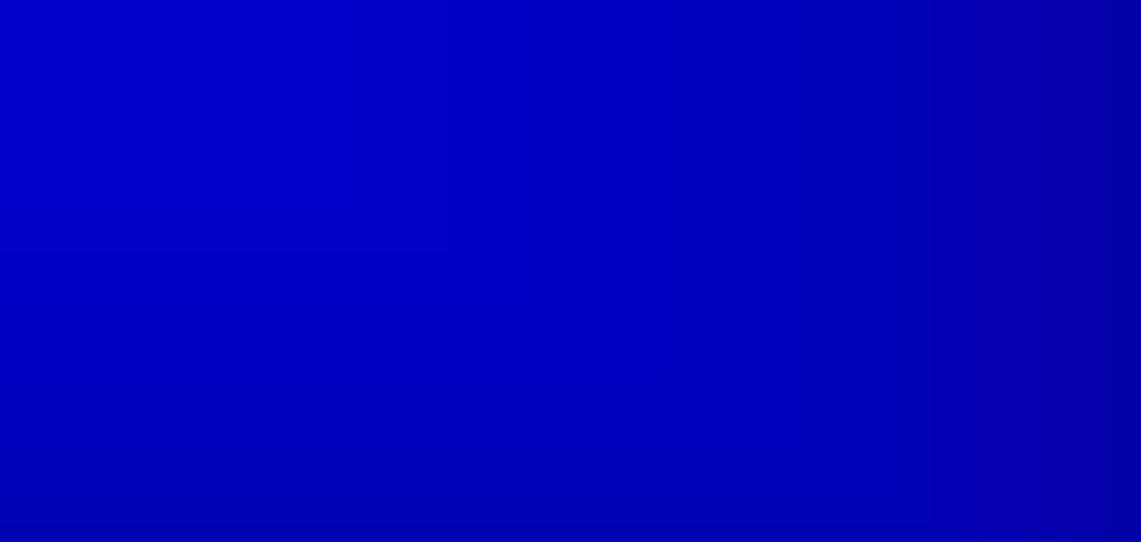
# ANTAGONISMO CENTRO-PERIFERIA delle cellule gangliari



Si ritiene che le cellule orizzontali siano alla base dell'antagonismo centro-periferia del CR delle cellule gangliari. Ogni cellula orizzontale è influenzata dalla stimolazione di ampie regioni del campo visivo.

In seguito all'illuminazione di un fotorecettore situato nella periferia del CR di una cellula gangliare centro-on le cellule orizzontali diminuiscono la liberazione di neurotrasmettitore sulla cellula bipolare da parte di un fotorecettore nella zona centrale, tramite inibizione laterale.

L'iperpolarizzazione delle cellule orizzontali determina una diminuzione di liberazione di GABA con conseguente depolarizzazione del fotorecettori nel centro.



La posizione delle cellule gangliari attivate codifica l'immagine dell'oggetto

Le cellule gangliari possono venire classificate in tre gruppi: cellule M (magni), cellule P (parvi) e cellule K (konios) sia on che off.

### Cellule M:

- ✓ campi recettivi grandi
- ✓ risposte fugaci durante l'esposizione protratta alla luce
- ✓ rispondono bene a stimoli di grandi dimensioni
- ✓ analisi del movimento
- ✓ Bassa soglia (sensibili a contrasto luminosità)

### Cellule P:

- ✓ campi recettivi piccoli
- ✓ Poca sensibilità al contrasto
- ✓ percezione delle forme e dei colori (dettagli fini)

Cellule K piccole cellule che ricevono input dai coni S della retina, combinandoli in modo sottrattivo con segnali provenienti dai coni M e L, responsabili della sensibilità cromatica lungo l'asse giallo-blu.

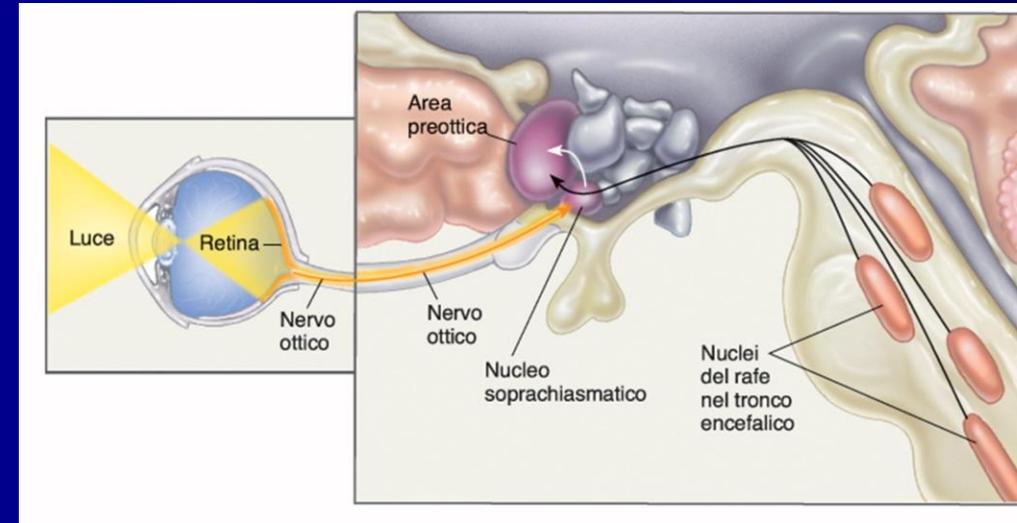
L'ANTAGONISMO CENTRO-PERIFERIA delle cellule gangliari contribuisce alla capacità retinica di adattarsi alle condizioni di illuminazione: ADATTAMENTO ALLA LUCE.

Maggiore è l'illuminazione generale e quindi l'inibizione data dalla periferia del CR, maggiore dovrà essere l'intensità dello stimolo luminoso che colpisce il centro del CR per evocare una risposta nella cellula. L'attività delle cellule gangliari è 'normalizzata' rispetto al livello di fondo dell'illuminazione.

In questo modo il sistema visivo è in grado di codificare come costante il contrasto degli oggetti in diverse condizioni di illuminazione.

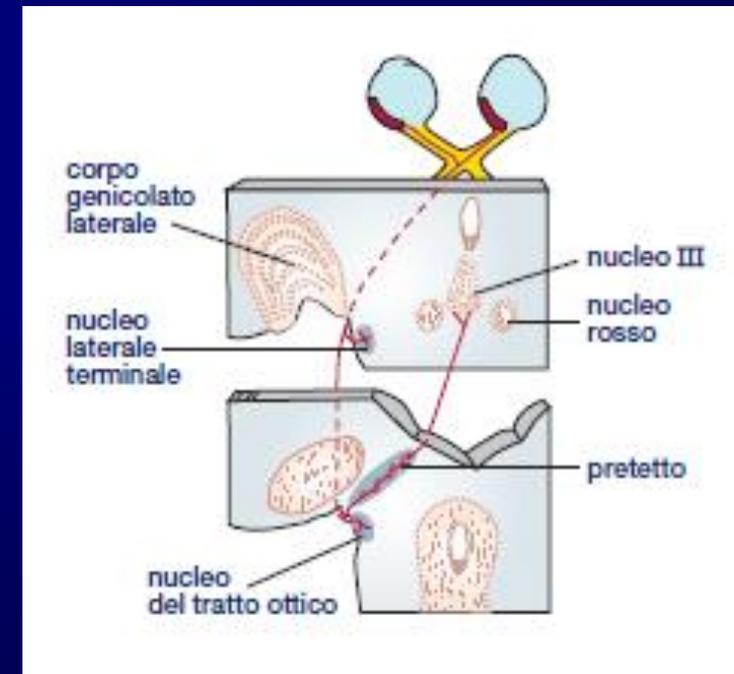
## PROIEZIONI RETINICHE SECONDARIE:

**VIA RETINO-IPOTALAMICA:** regolazione ritmi circadiani correlati ai cicli luce-buio. Le cellule che proiettano all'ipotalamo esprimono melanopsina e quindi producono risposte alle variazioni di luce in assenza di segnali provenienti dai fotorecettori.



**VIA RETINO-PRETETTALE:** controllo *riflesso alla luce* nucleo di Edinger-Westphal situato a livello mesencefalico da cui parte l'innervazione parasimpatica del ganglio ciliare che controlla lo sfintere dell'iride. Proiezione bilaterale: riflesso diretto e consensuale.

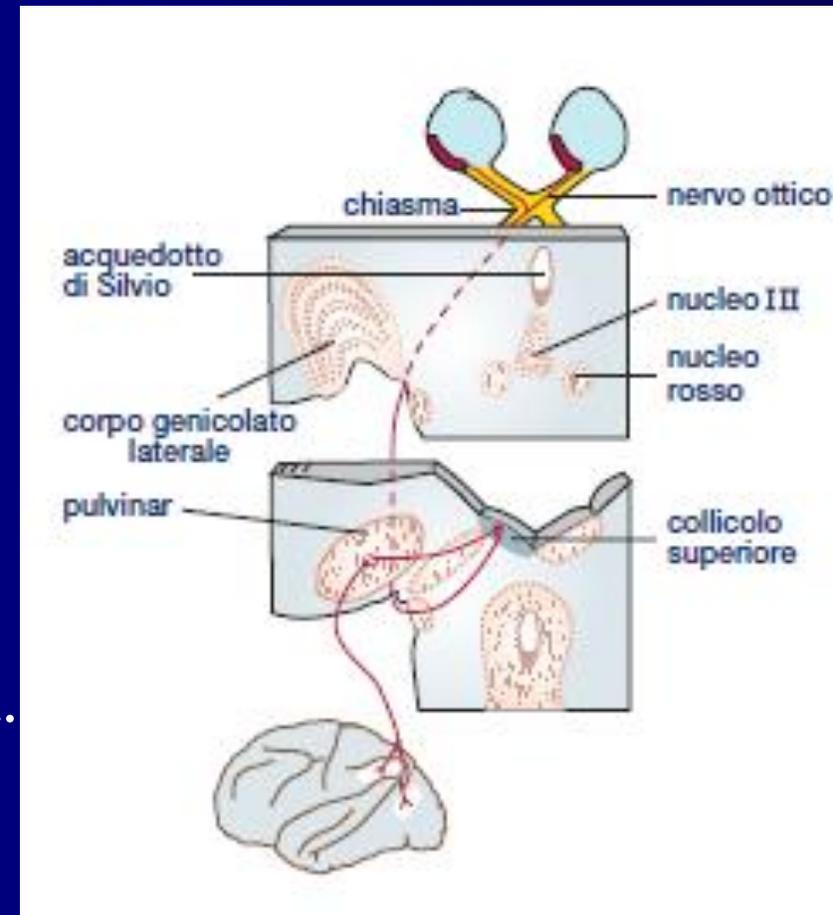
*Riflesso optocinetico orizzontale* movimento oculare compensatorio innescato dallo scivolamento retinico, stabilizza le immagini sulla retina.



**VIA RETINO-TETTALE:** controllo dei movimenti degli occhi e della testa al servizio dell'osservazione visiva, uditiva e tattile dell'ambiente circostante.

Le cellule gangliari retiniche proiettano direttamente agli strati superficiali del collicolo superiore che poi proiettano agli strati intermedi e profondi e ad ampie regioni corticali visive attraverso il nucleo talamico del pulvinar, formando una via che raggiunge la corteccia visiva extrastriata indipendente dalla via visiva primaria.

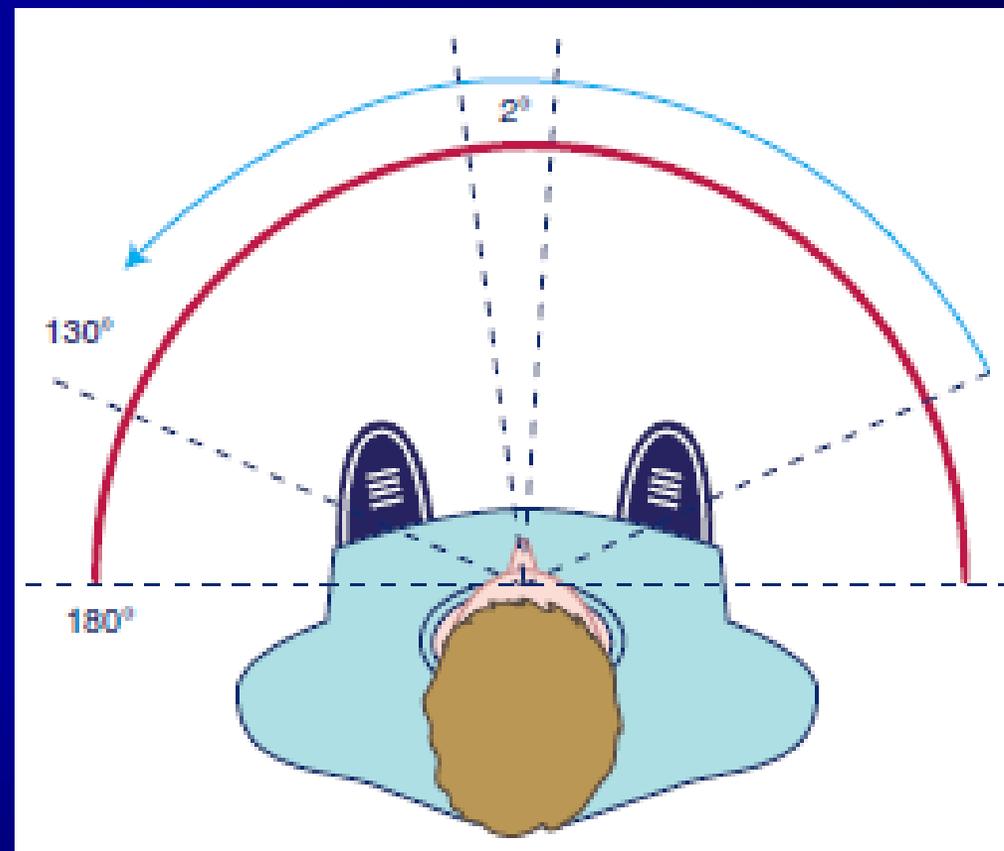
A questo livello è codificata una mappa di movimento implicata nell'esecuzione dei movimenti saccadici con direzione e ampiezza specifiche. Importante anche per il riflesso di orientamento: movimento molto rapido che permette di foveare un bersaglio visivo rapidamente e di orientarsi verso una certa posizione dello spazio.



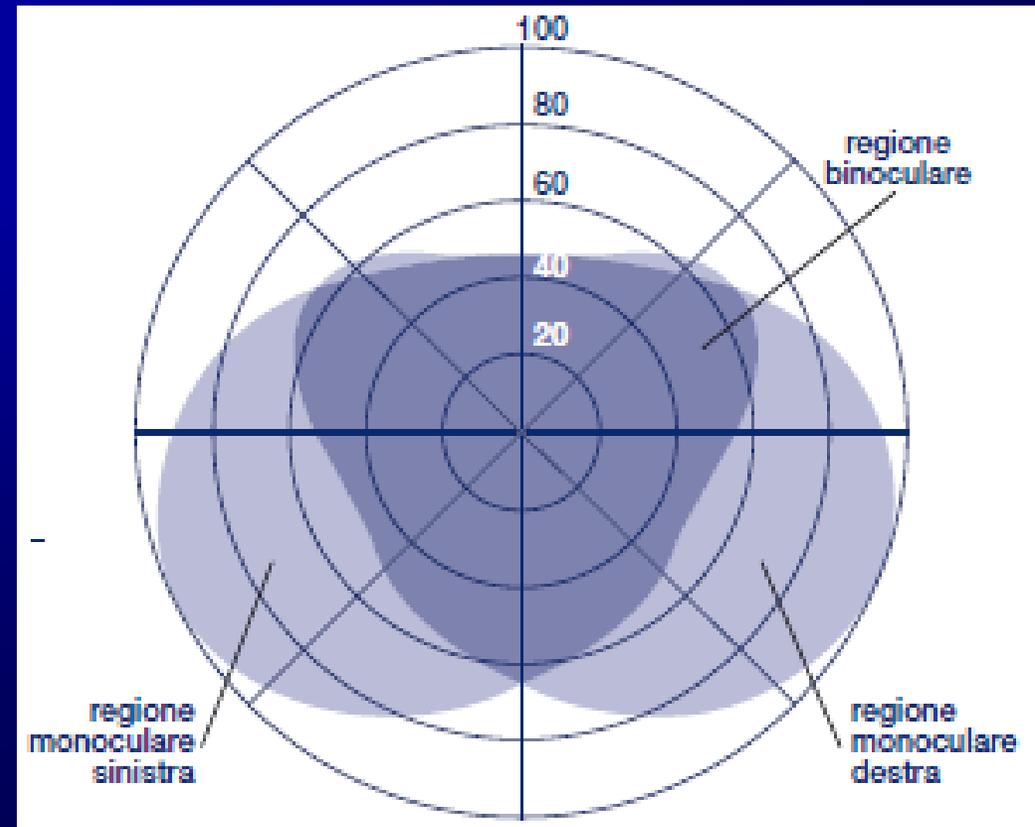
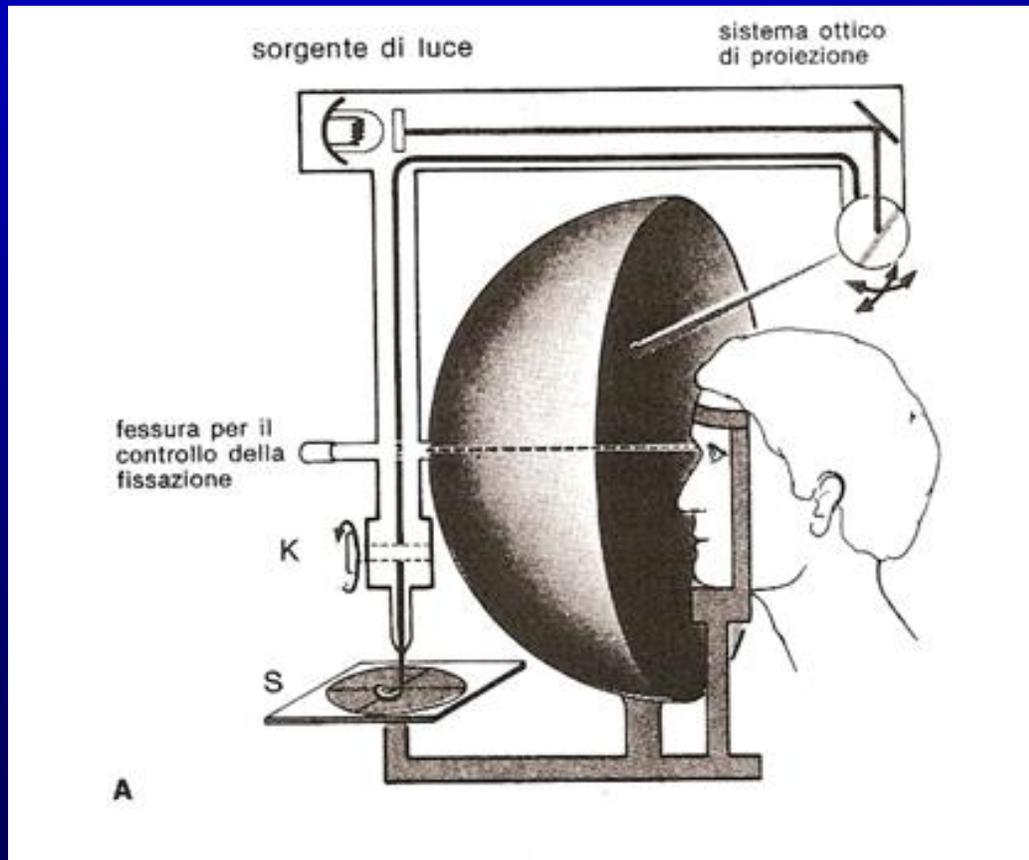
**CAMPO DELLO SGUARDO:** parte del mondo esterno che può essere visto muovendo i due occhi in assenza di movimenti del capo (circa  $180^\circ$ ).

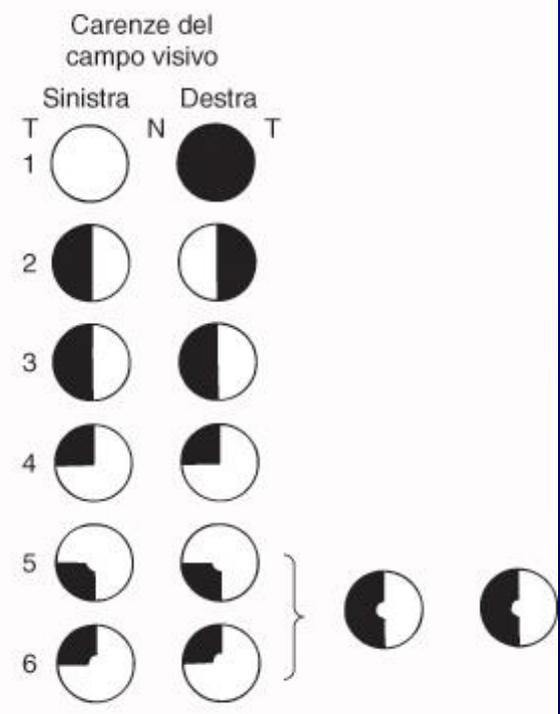
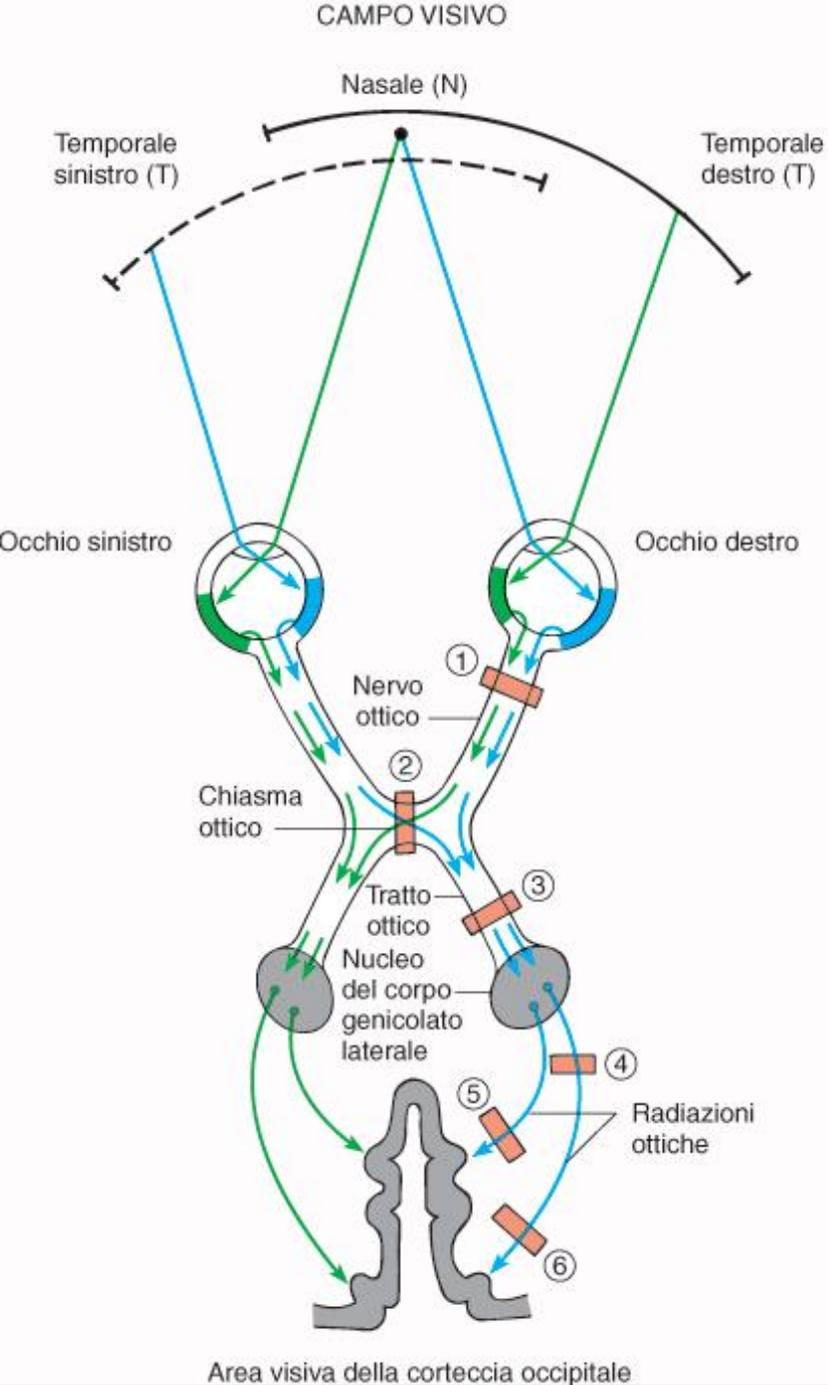
**CAMPO VISIVO BINOCULARE:** porzione di spazio che può essere percepita mantenendo gli occhi fissi su un punto davanti a noi e in assenza di movimenti del capo, è circa  $130^\circ$ .

**CAMPO VISIVO MONOCULARE:** parte dell'ambiente visivo percepibile con 1 solo occhio immobile (circa  $25^\circ$  per lato).



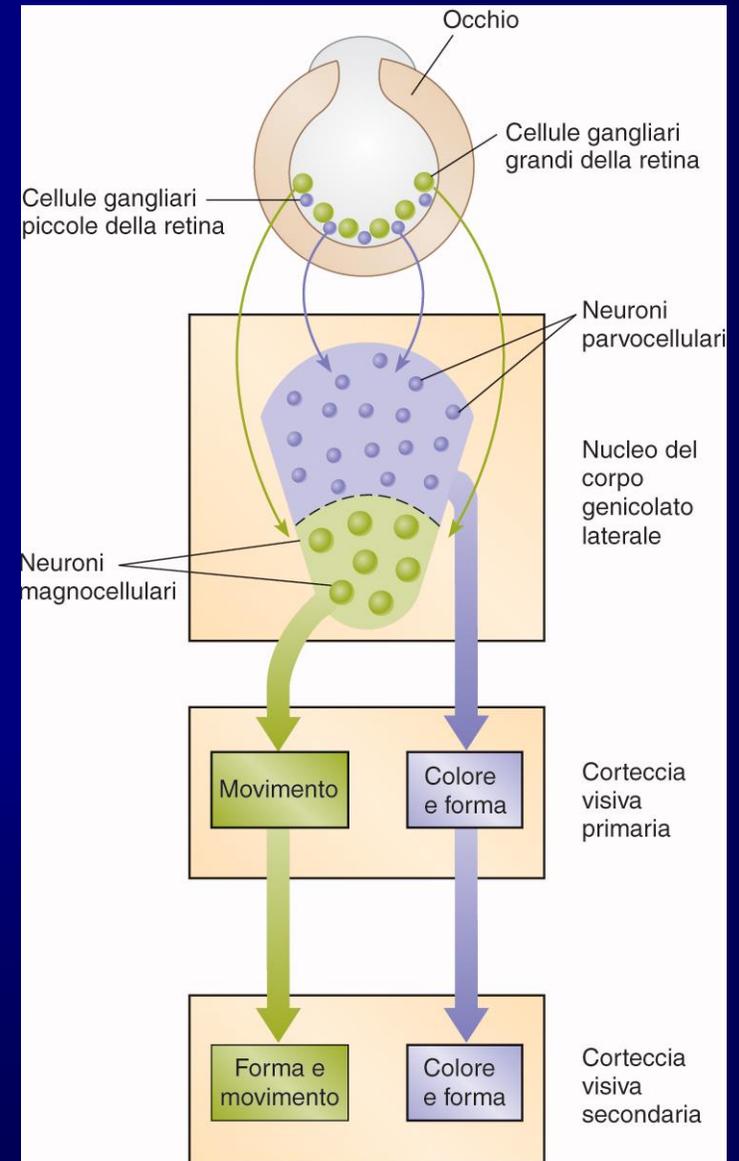
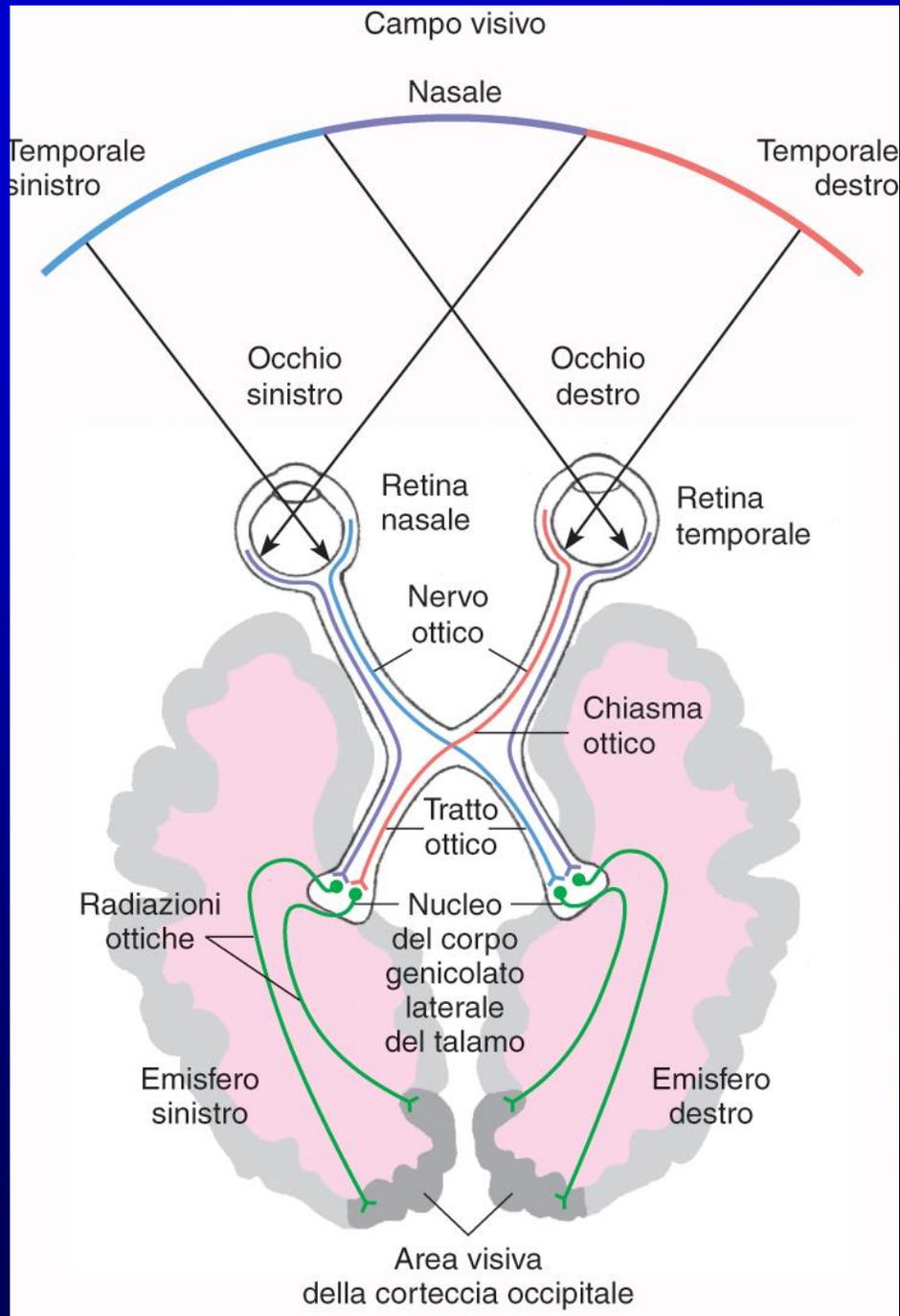
**CAMPIMETRIA O PERIMETRIA:** permette di valutare la funzione visiva nella periferia del campo visivo, proiettato nelle regioni extrafoveali del fondo oculare.

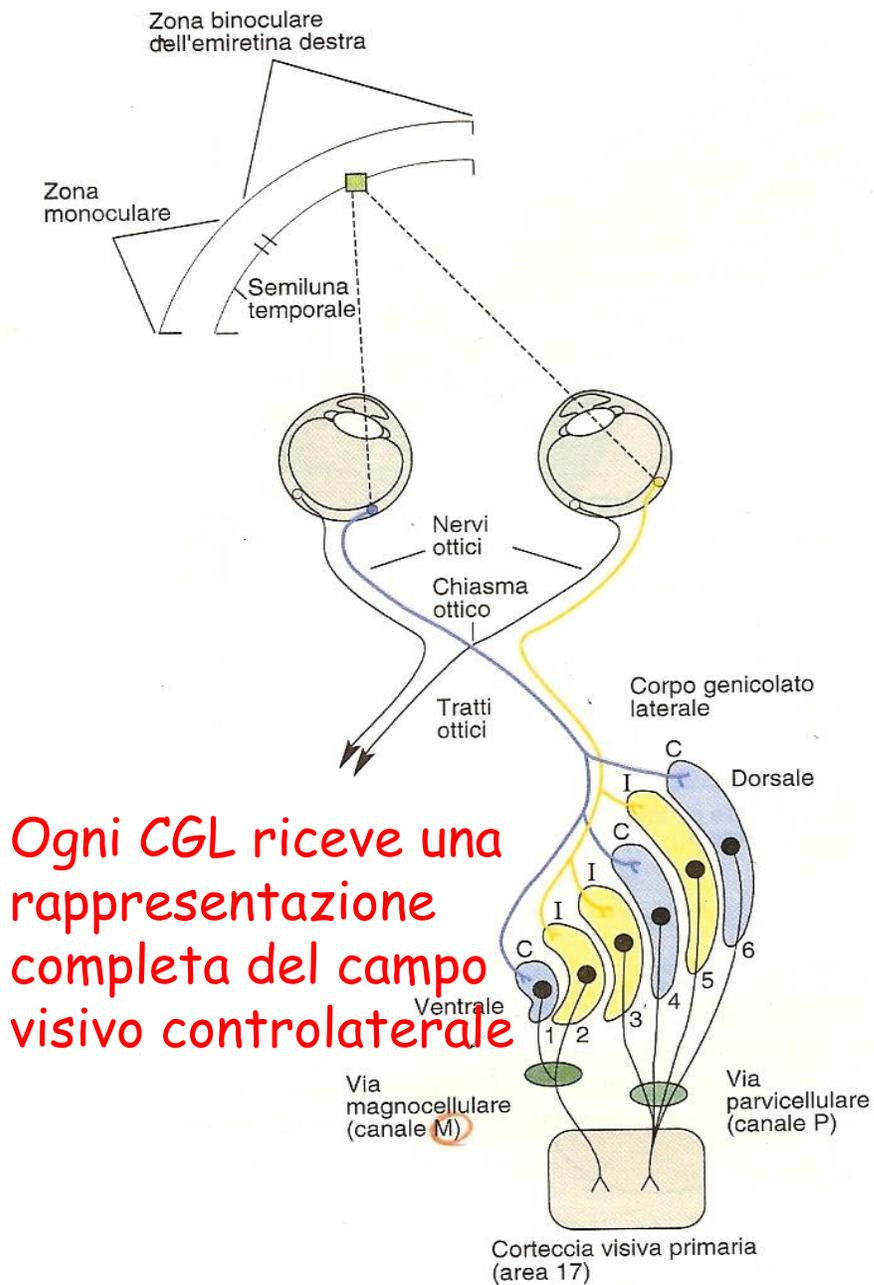




1. Cecità monoculare
2. Emianopsia bitemporale
3. Emianopsia omonima controlaterale
4. Quadrantopsia omonima controlaterale
- 5-6 emianopsia omonima controlaterale con visione centrale conservata

# VIA RETINO-GENICOLO-STRIATA O VIA VISIVA PRIMARIA





# CORPO GENICOLATO LATERALE

Vi arrivano il 90% delle fibre retiniche.

La metà è occupata dalle afferenze dalla fovea.

6 strati di cellule centro on e centro off, campo recettivo concentrico con antagonismo centro-periferia e risposta massimale alle variazioni di luminosità coincidenti con i margini fra le diverse regioni del CR.

3 tipi di cellule: M, P e K

	M	P	K
Contrasto di luminanza	++	+	+
Frequenza temporale stimoli	++	+	+
Frequenza spaziale stimoli	+	++	+
Sensibilità cromatica	-	++	++

## VISIONE DEI COLORI

La percezione dei colori serve per accentuare i contrasti e costituisce un'evoluzione della percezione della luminosità (500 gradi di luminosità/7 milioni di gradazioni di colore).

Nella psicofisica della percezione dei colori si distinguono due categorie principali di colore:

1. le valenze cromatiche (rosso, verde, blu..)
2. le valenze acromatiche (grigi)

Le valenze cromatiche sono caratterizzate da 3 attributi:

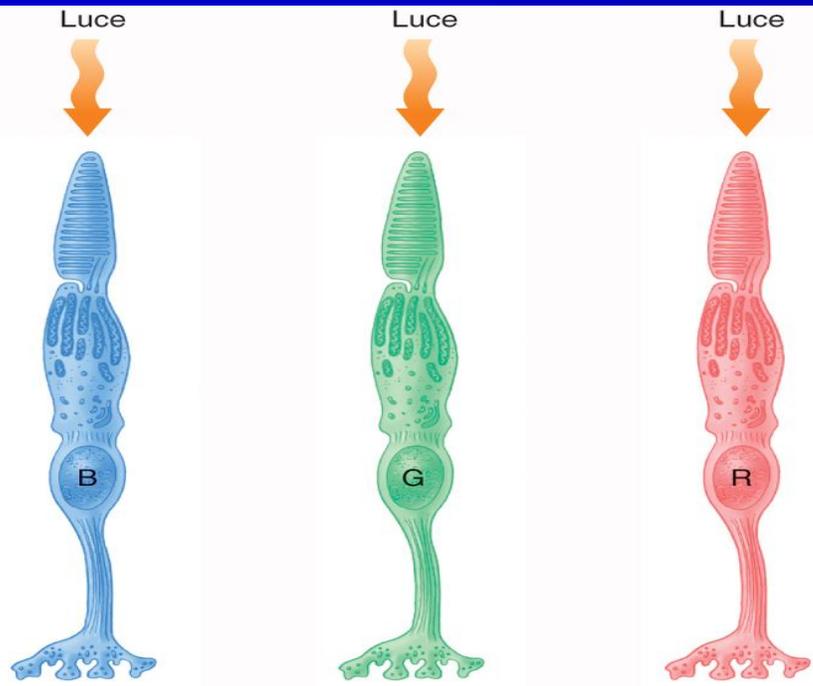
- **tinte:** colori puri, ma possono essere mischiate con valenze acromatiche per ottenere sfumature diverse;
- **saturazione:** misura della quantità relativa delle sue componenti cromatiche e acromatiche;
- **grado di scuro:** determinato dalla posizione della componente acromatica nella scala dei grigi.

Si ha una miscela cromatica additiva quando luce composta da diverse  $\lambda$  cade nel medesimo punto della retina.

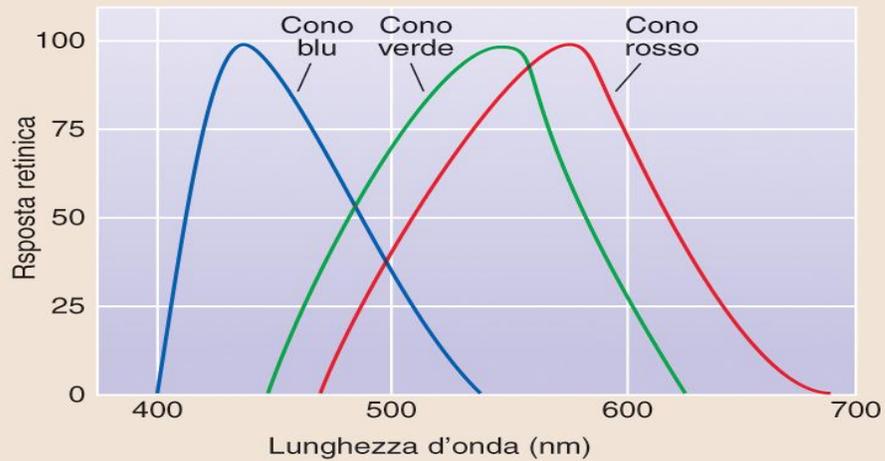
Si ha una miscela cromatica sottrattiva quando si fa passare attraverso un filtro giallo ad ampia banda e poi un filtro blu ad ampia banda, una luce bianca; si ottiene una miscela verde, perché soltanto la parte verde dello spettro può passare attraverso entrambi i filtri.

Il colore è un proprietà degli oggetti, ma la miscela di lunghezza d'onda della luce riflessa da un oggetto è determinata anche dalla  $\lambda$  della luce ambientale.

La visione dei colori è in grado di compensare queste variazioni facendo sì che gli oggetti ci appaiano sempre dello stesso colore (COSTANZA CROMATICA).



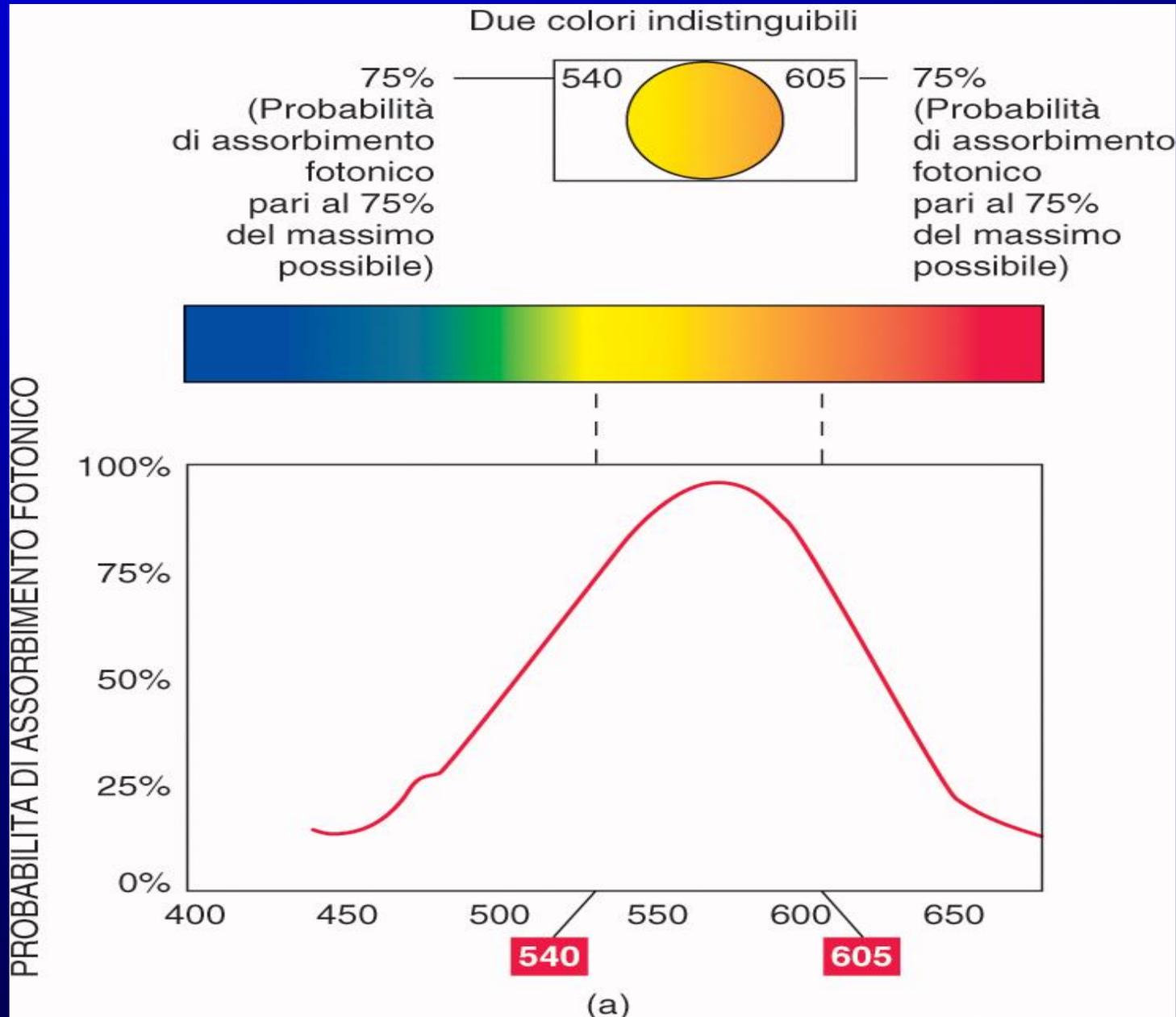
(a)



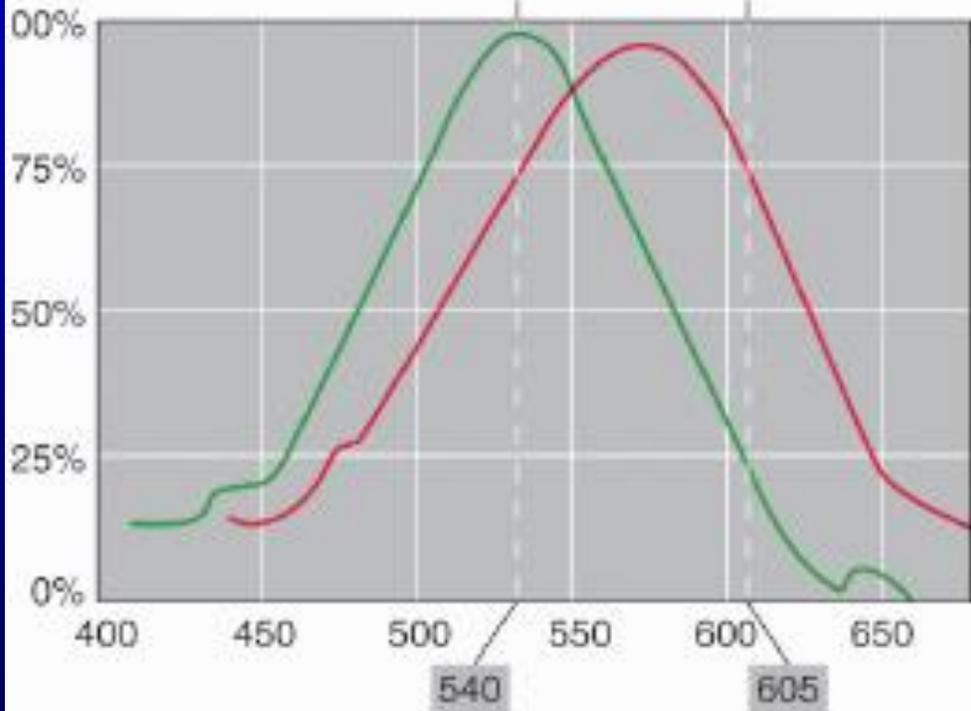
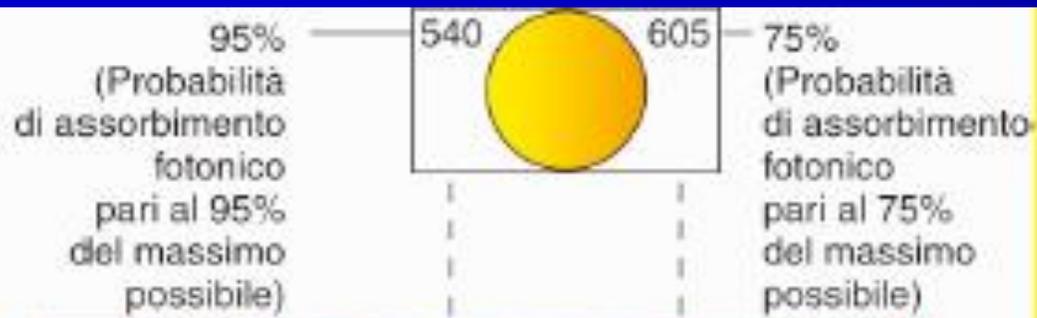
(b)

**TEORIA TRICROMATICA:** (Young, Maxwell e Von Helmholtz 1960). Nella visione fotonica 3 diversi tipi di coni agiscono come sistemi ricevitori indipendenti. I segnali provenienti da questi coni vengono analizzati in combinazione da 2 sistemi neuronali, 1 per la luminosità e uno per i colori. A sostegno di questa teoria c'è il modo in cui vengono percepiti i colori ai limiti più bassi di sensibilità fotonica, dove si possono discriminare solo le tre tinte rosso, verde e blu.

Esistono tre tipi di coni che differiscono nel loro spettro d'assorbimento. Le persone con una normale visione dei colori riconoscono i colori composti dalle miscele di radiazioni luminose di qualsiasi  $\lambda$  combinando i tre colori primari: blu, rosso e verde. TRIVARIANZA.



Una persona dotata solo di cono per il rosso non è in grado di distinguere due colori con la stessa probabilità di assorbimento fotonico, ma la presenza di secondo tipo di cono (visione dicromatica) permette la distinzione tra due tipi di colori se il secondo tipo ha una diversa e > probabilità di assorbire fotoni ad una delle lunghezze d'onda in gioco.



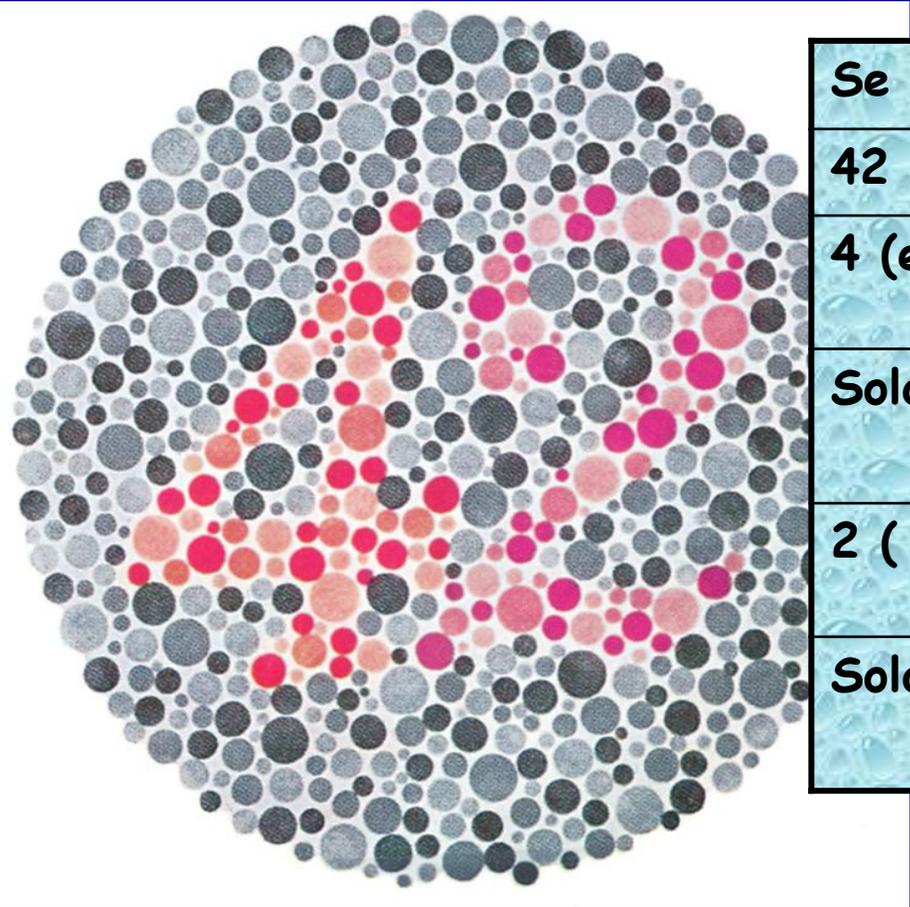
(b)

Il riconoscimento dei colori richiede la presenza di almeno due tipi di fotorecettori, ma in un tale sistema divariante (come è nella fovea in cui mancano i coni di tipo B), molte combinazioni di colori possono risultare invisibili se proiettate su uno sfondo particolare, mentre in un sistema trivariante si riducono tali ambiguità.

La > parte di noi ha una visione tricromatica

# Test di Ishihara per rilevare difetti della visione cromatica nel campo rosso-verde

La cecità cromatica rosso-verde colpisce soprattutto i maschi (cromosoma X)



Se uno vede:	fenotipo
42	normale
4 (e - il 2)	poco sensibile al verde
Solo il 4	cieco per il verde
2 (e - il 4)	poco sensibile al rosso
Solo il 2	cieco per il rosso

Protanopia: difetto di assorbimento delle  $\lambda$  più lunghe.

Deuteranopia: difetto di assorbimento delle  $\lambda$  medie

Esiste anche la cecità al blu-giallo: difetto sintesi pigmento dei coni S (blu) (cromosoma 7) impedisce l'assorbimento delle  $\lambda$  corte. TRITANOPIA

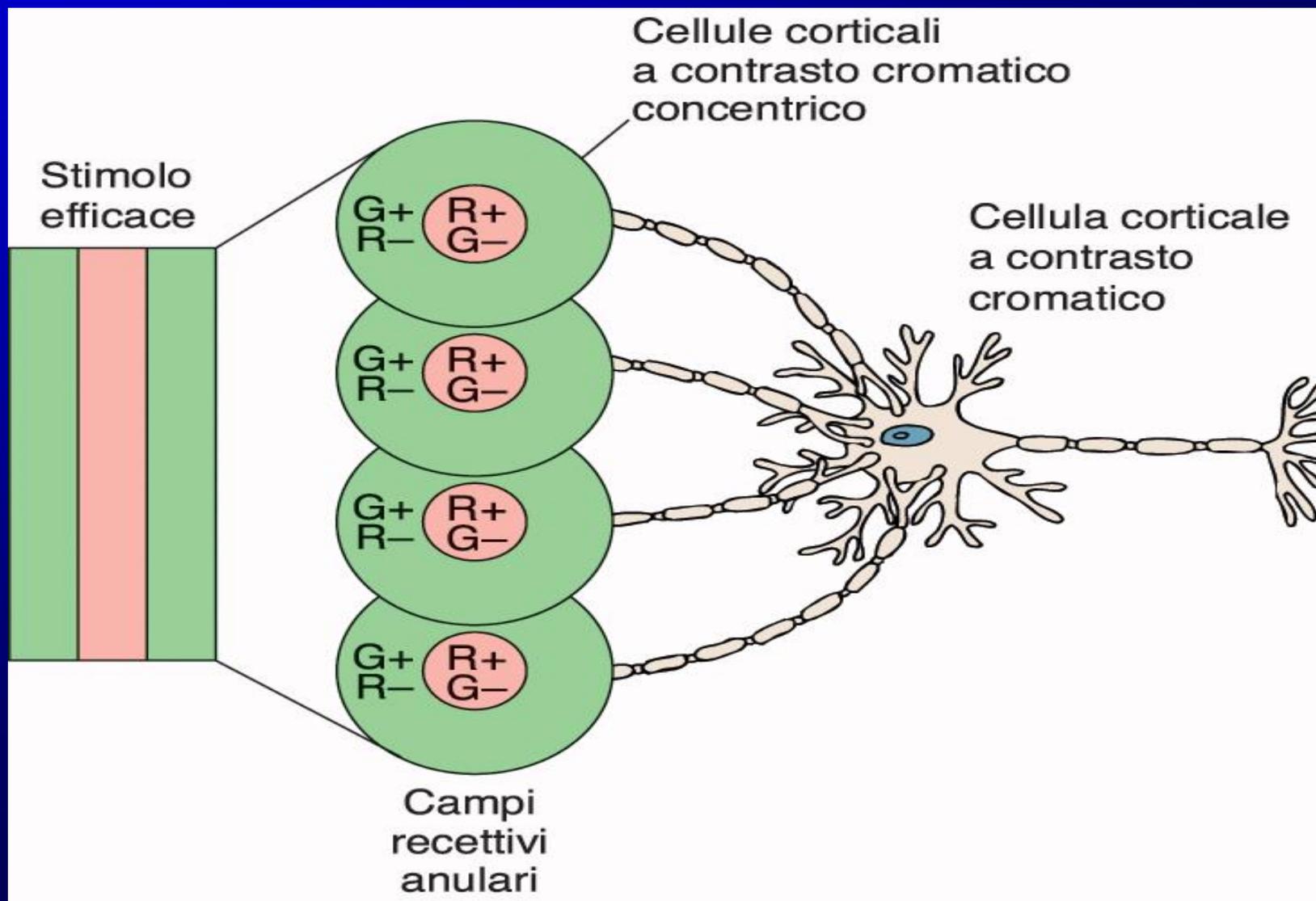
La visione dei colori non è utile per discriminare i fini dettagli delle immagini, infatti esistono due fattori limitanti:

1. la visione dei colori è incerta quando i colori presenti sulla superficie di un oggetto sono così vicini tra di loro, che la luce riflessa da parti dell'oggetto colorate diversamente va a colpire i singoli coni adiacenti.

2. Nella fovea, dove è massima l'acuità visiva, mancano i coni B: quando il cristallino mette a fuoco sulla retina luce di lunghezza d'onda lunga (es rosso), la luce di lunghezza d'onda corta (blu) viene focalizzata davanti alla retina stessa: **ABERRAZIONE CROMATICA.**

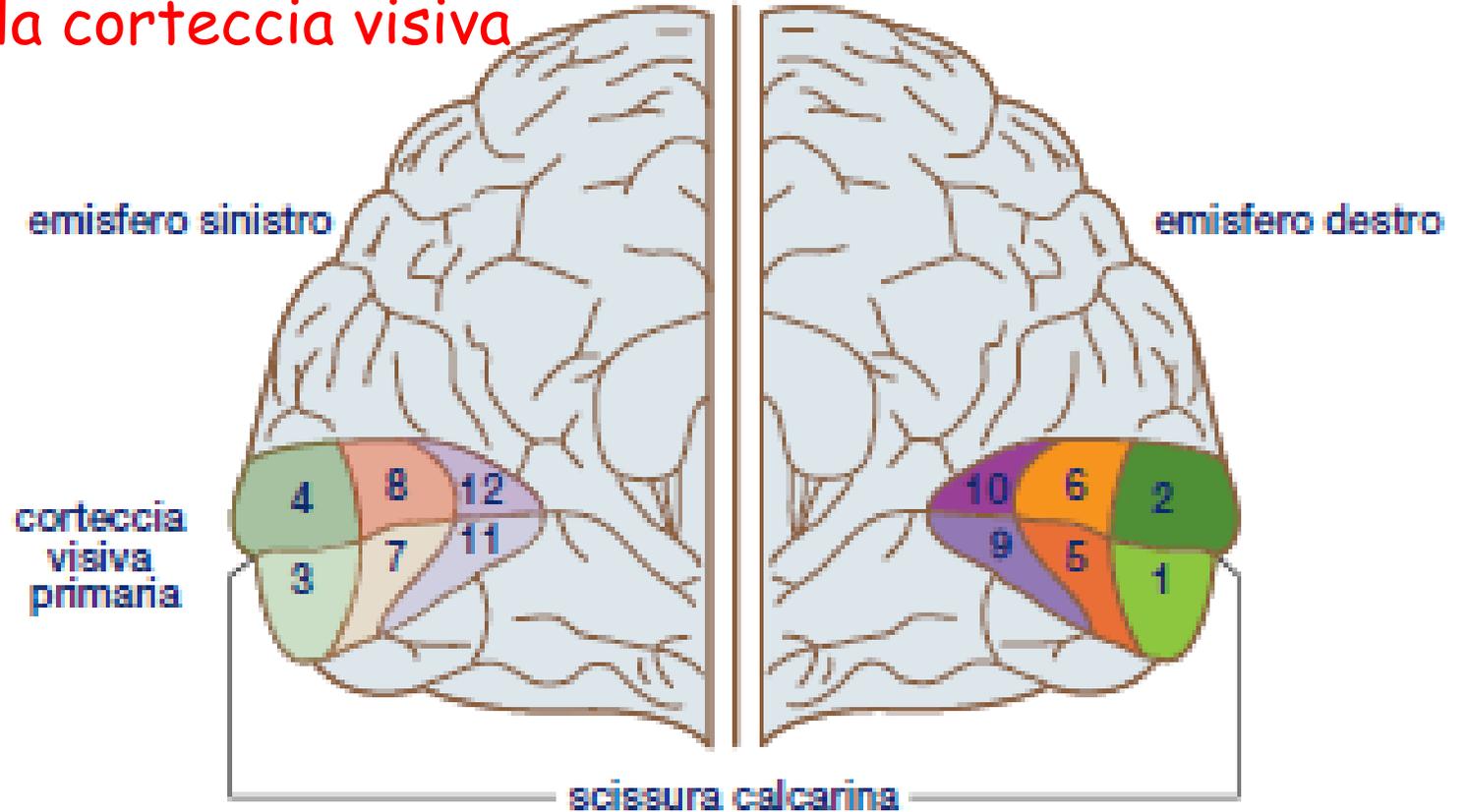
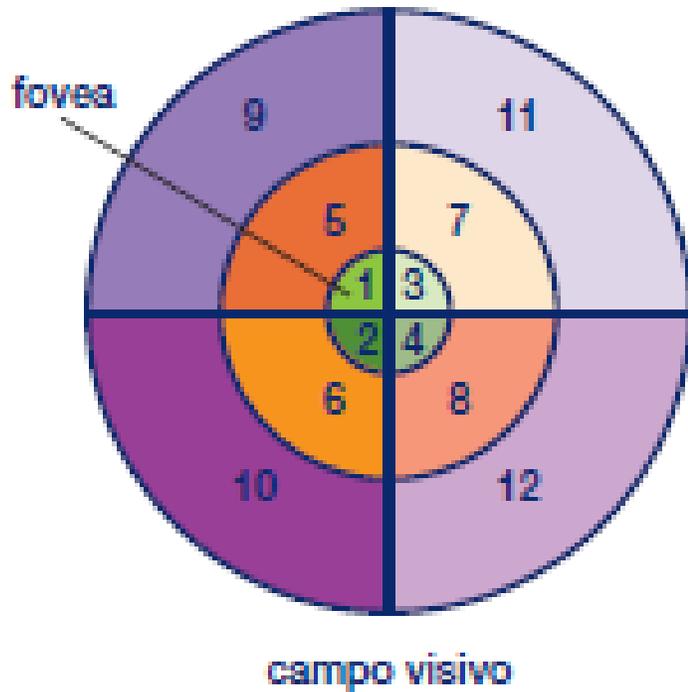


I campi recettivi anulari di certe cellule ad opposizione doppia della corteccia visiva si sovrappongono parzialmente formando un campo recettivo cromatico rettangolare



La maggior parte dei segnali in uscita dal CGL arriva alla corteccia visiva primaria (V1, area 17 di Brodmann) sulla superficie mediale del lobo occipitale e all'interno della scissura calcarina.

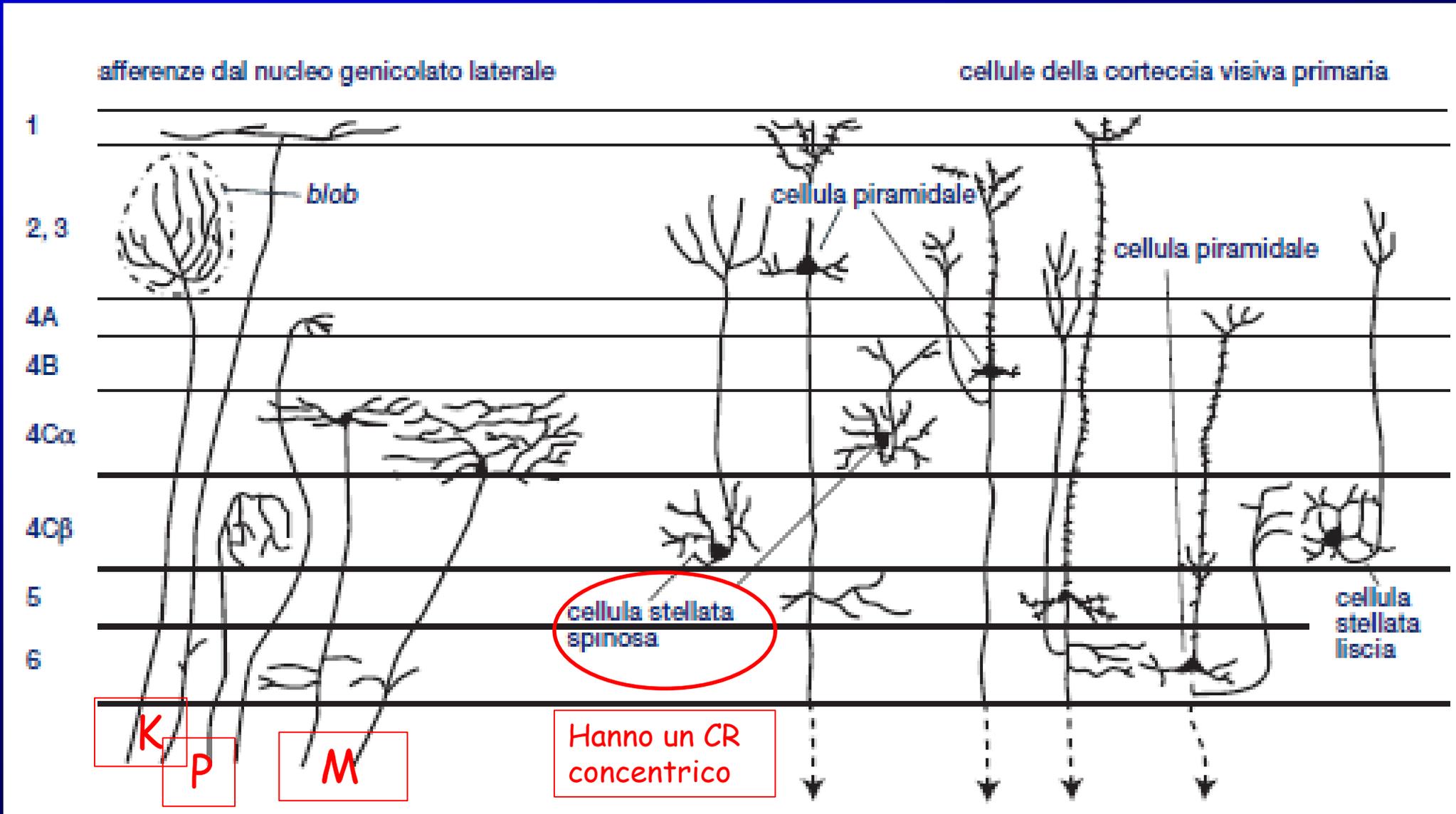
## Organizzazione retinotopica della corteccia visiva primaria

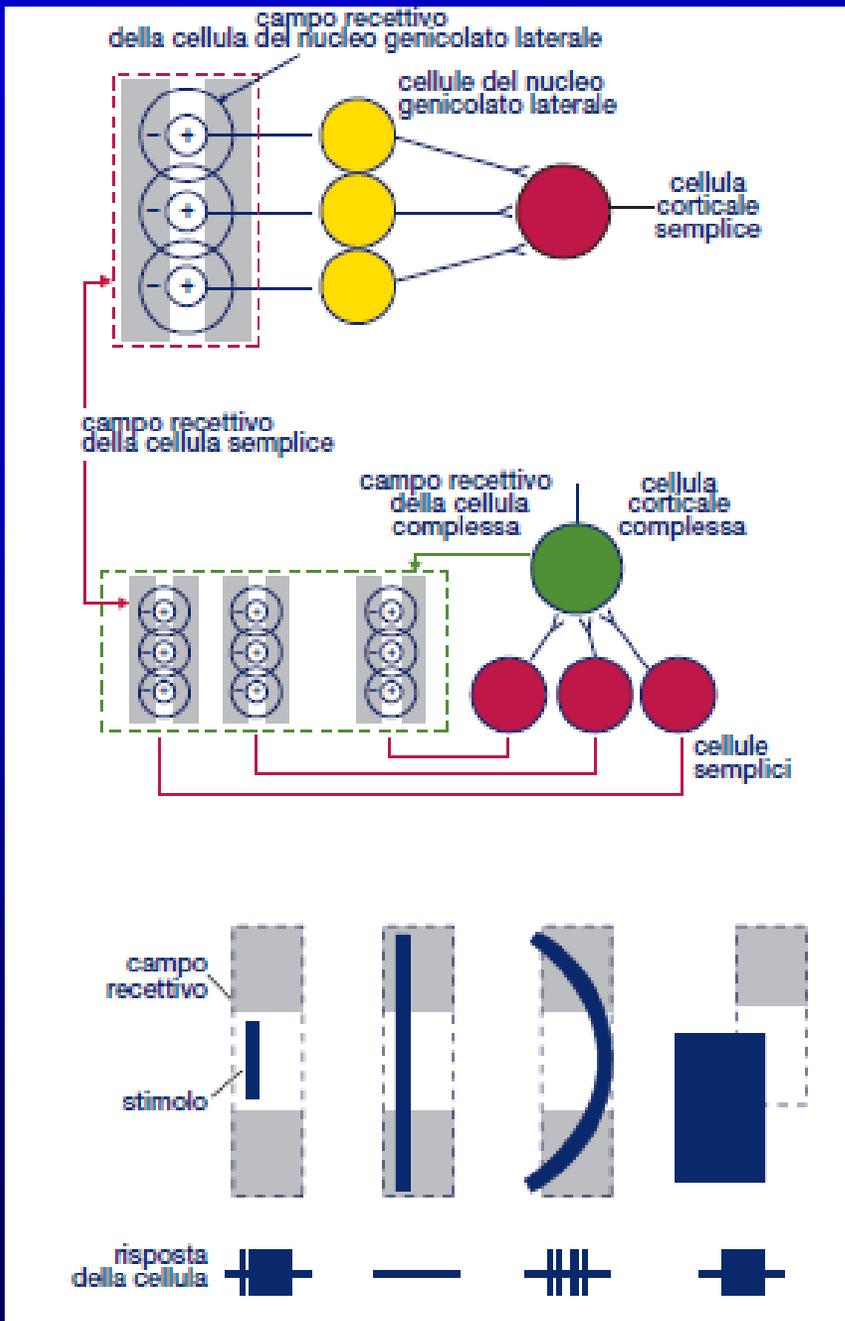


# Corteccia visiva primaria

Spessore 2 mm

Stria di Gennari (corteccia Striata)





Cellule corticali semplici: CR con zone eccitatorie e zone inibitorie di forma allungata. Lo stimolo efficace è quindi uno stimolo luminoso di tale forma, con lo stesso asse di orientamento del campo recettivo.

Cellule corticali complesse: rispondono a stimoli di forma allungata, ma non c'è antagonismo centro periferia e quindi la risposta non è influenzata dalla posizione che occupano nel campo recettivo. Sono sensibili a stimoli in movimento lungo una precisa traiettoria lineare.

Esistono cellule con CR con regioni inibitorie disposte lungo l'asse di orientamento preferito, che determinano risposta massima se tale stimolo non oltrepassa il limite tra reg eccitatoria centrale e reg inibitoria : end inhibition.

## ORGANIZZAZIONE COLONNARE DI V1

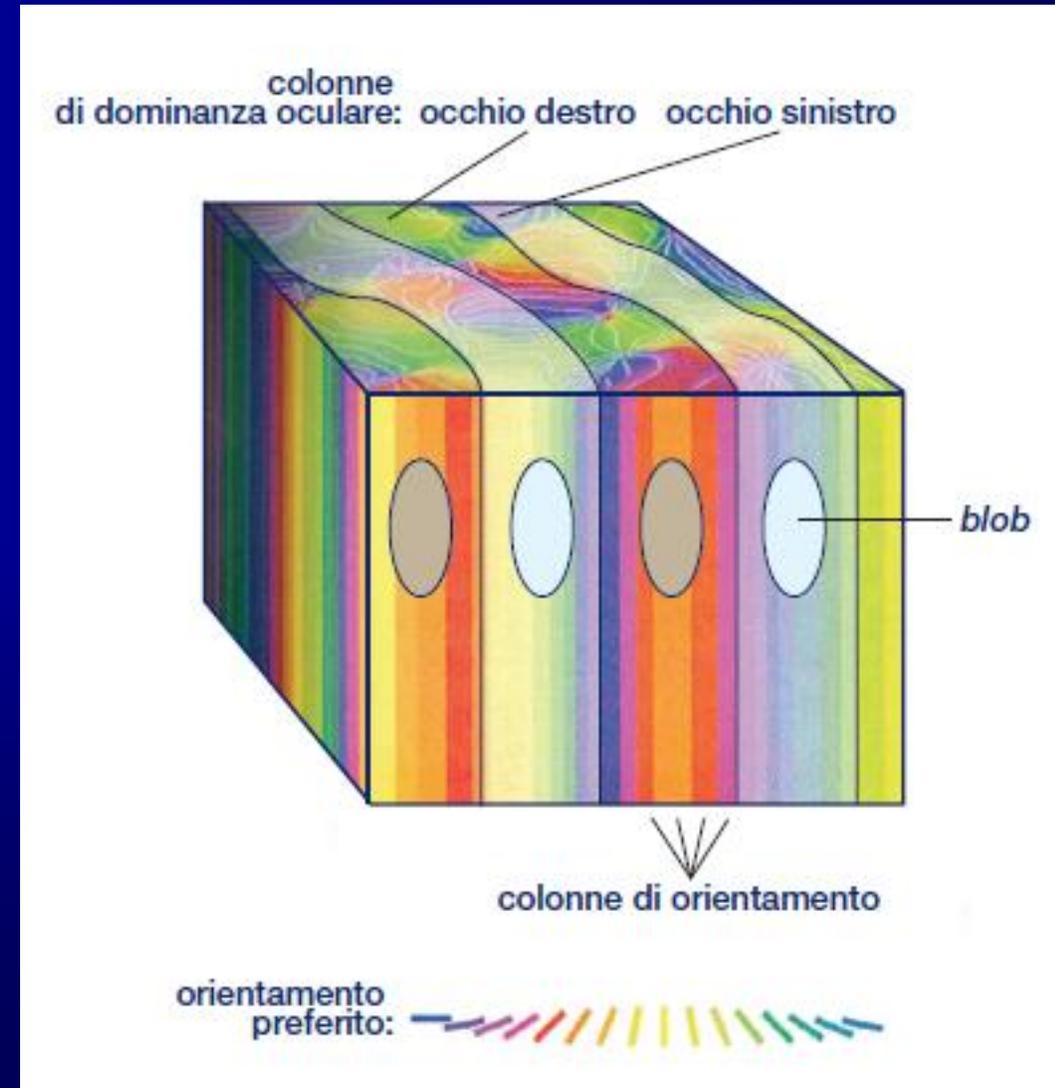
E' possibile suddividere V1 in moduli cellulari di 30-100 $\mu$ m, formati da:

Colonne di orientamento: cell semplici e complesse che rispondono massimamente a stimoli con lo stesso orientamento (10° di differenza tra una colonna e l'adiacente).

Colonne di dominanza oculare: regioni alternate in cui si trovano cellule con preferenza per le informazioni provenienti dall'uno o dall'altro occhio.

BLOB: agglomerati di cellule che fanno sinapsi con quasi tutte le cellule P e tutte le K, si trovano in tutti gli strati corticali ad eccetto del 4A e 4C, separate dalle regioni INTERBLOB. Rispondono a stimoli di det  $\lambda$ .

**IPERCOLONNA:** insieme di tutte le colonne di orientamento i cui campi recettivi corrispondono ad una stessa posizione retinica.



Nei BLOB delle regioni corticali che rappresentano la fovea il centro del CR dei neuroni codifica le informazioni inviate dal un singolo cono, mentre le ragioni che rappresentano zone più periferiche della retina il CR risponde a segnali proveniente da gruppi di cono, sensibili ad una  $\Delta$ .

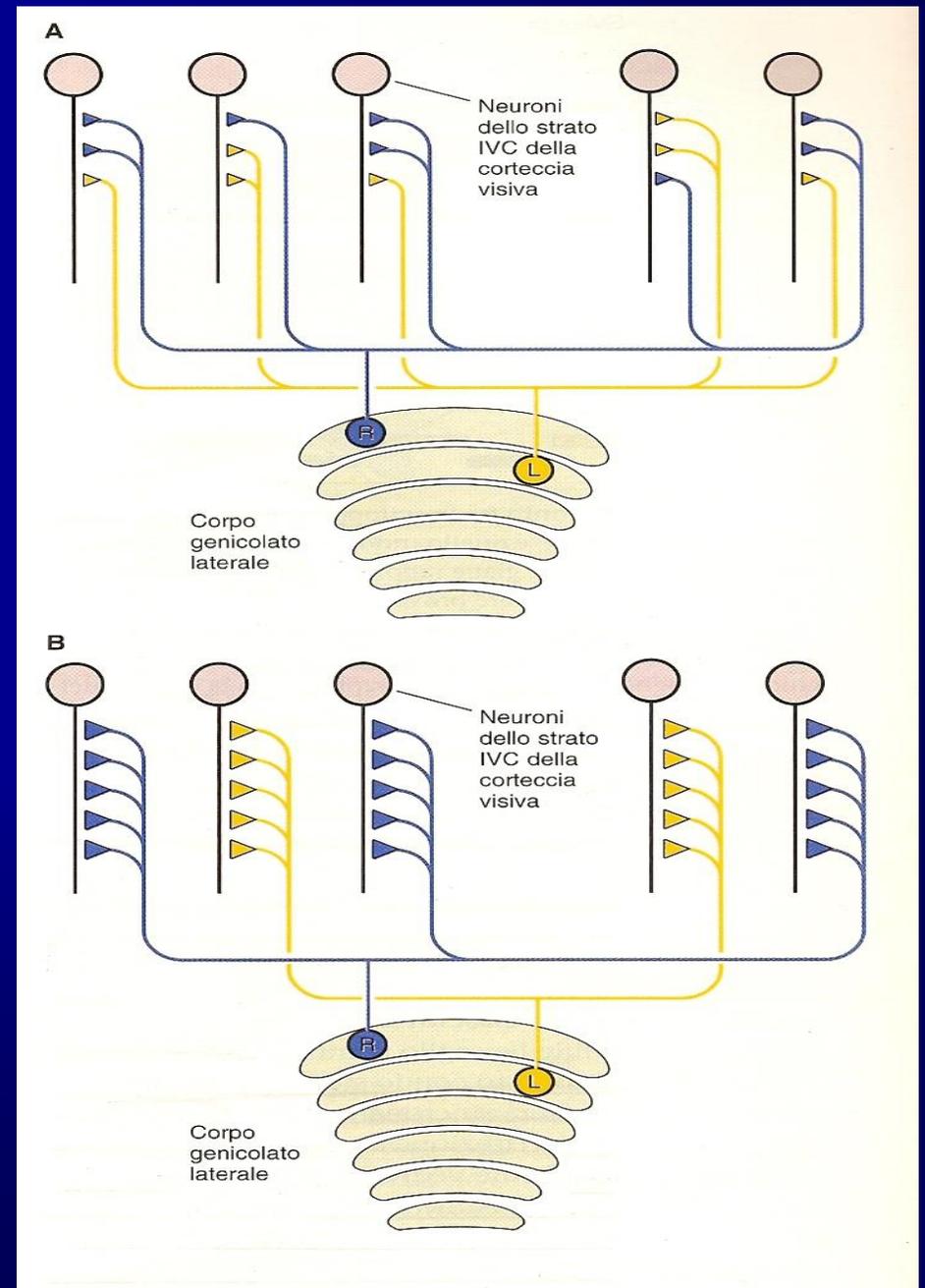
Le cellule negli interblob ricevono afferenze dalle cellule P e in minima parte dalle K, e sono implicate nell'elaborazione dei dettagli fini non cromatici degli stimoli visivi (forma, orientamento e contrasto di luminanza)

Grazie a questa organizzazione colonnare nello spazio di  $1\text{mm}^2$  sono presenti moduli completi per l'analisi degli stimoli visivi.

Solo le cellule stellate spinose sono strettamente monoculari, e in V1 sono organizzate in regioni contigue di dominanza oculare. La maggior parte delle cellule di V1 (sopra e sotto strato 4) risponde a stimolazioni di entrambi gli occhi (INTEGRAZIONE BINOCOLARE), con prevalente risposta in seguito alla stimolazione di un occhio: DOMINANZA OCULARE.

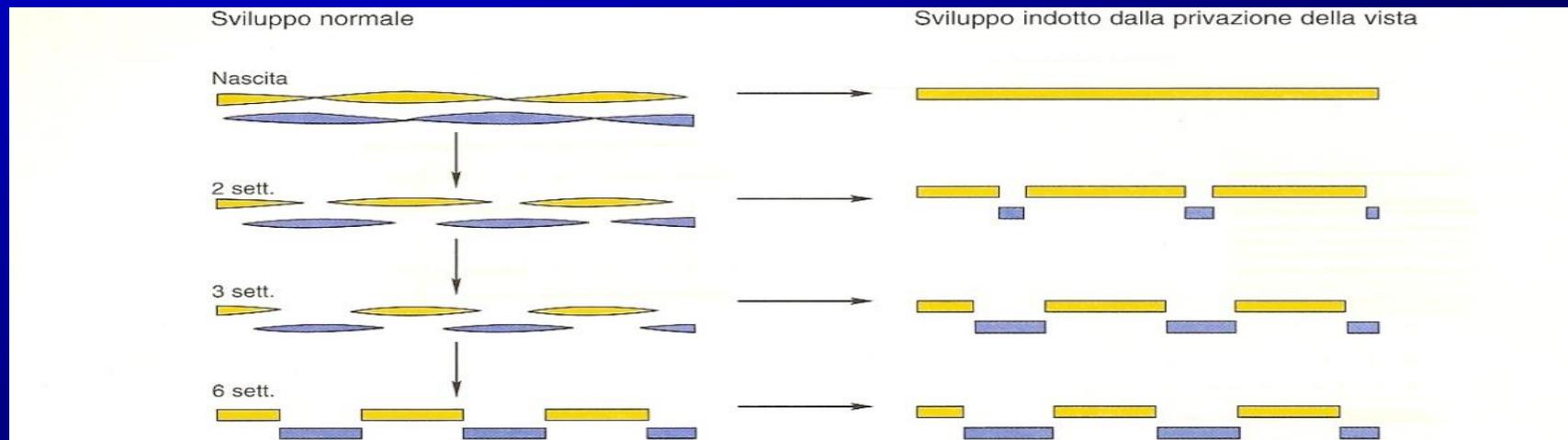
Nelle prime fasi dello sviluppo gli assoni dei neuroni del corpo genicolato laterale che raggiungono lo strato 4C di V1 sono ampiamente sovrapposti.

La competizione e la cooperazione sono fattori importanti per la segregazione delle afferenze sensoriali nelle colonne di dominanza oculare.



## Sviluppo delle connessioni corticali:

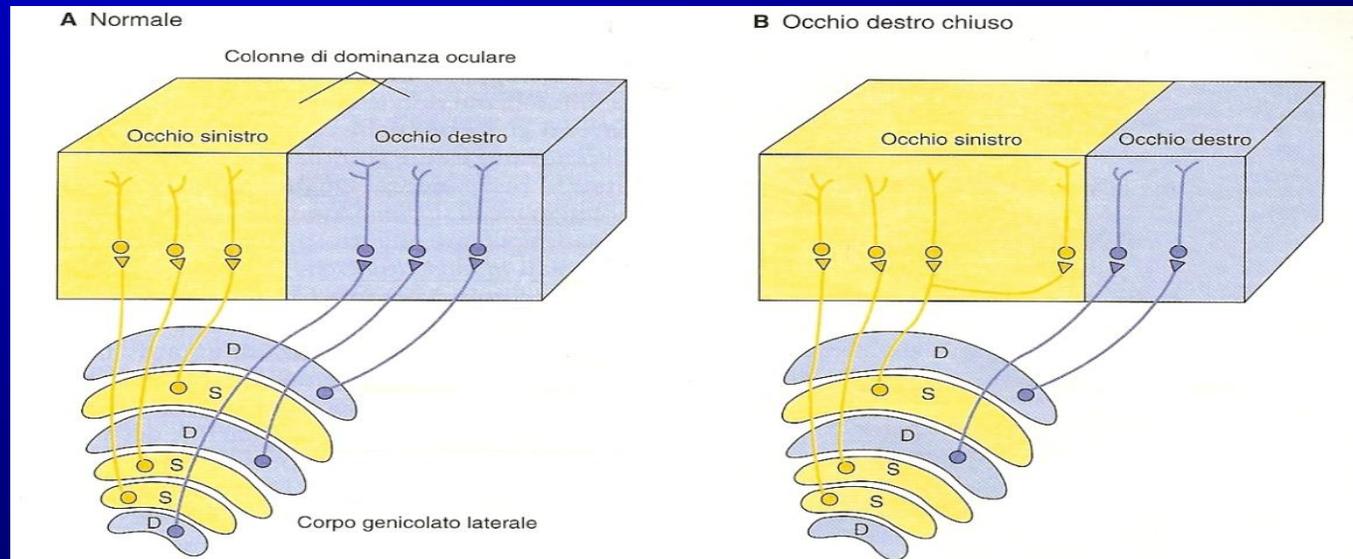
Studi sulle scimmie: basta una privazione visiva di appena 1 settimana nei primi 6 mesi di vita per portare alla perdita completa della responsività dei neuroni corticali alla stimolazione dell'occhio che era stato privato della vista.



**Figura 25-6** Confronto fra lo sviluppo normale delle colonne dello strato IVC e quello indotto dalla chiusura di un occhio. Le bande gialle rappresentano le terminazioni, nello strato IVC, delle fibre provenienti dal corpo genicolato laterale che sono in rapporto con un occhio; le bande blu rappresentano le terminazioni in rapporto con l'altro occhio. La lunghezza di ogni banda rappresenta la densità delle terminazioni a livello di ogni punto dello strato IVC. I due gruppi di colonne sono stati riportati l'uno sopra l'altro per maggior chiarezza, ma in realtà in corteccia essi sono disposti l'uno accanto all'altro. Nel corso dello sviluppo normale (a sinistra) lo strato IVC viene gradualmente suddi-

viso in zone alternate innervate da fibre i rapporto con ciascuno dei due occhi. Le conseguenze della privazione della vista da un occhio (a destra) dipendono dall'epoca in cui viene effettuata la chiusura dell'occhio. La chiusura effettuata alla nascita provoca la dominanza completa dell'occhio rimasto aperto (**bande gialle**), in quanto a quest'epoca è avvenuta soltanto una modesta segregazione. La chiusura effettuata dopo 2, 3 e 6 settimane ha effetti progressivamente minori sulle colonne di dominanza oculare, in quanto, col tempo, queste si sono già progressivamente segregate. (Modificata, da Hubel, Wiesel e LeVay, 1977.)

Se la privazione monocolare avviene nelle fasi successive al periodo critico, quando le colonne di dominanza oculare sono quasi completamente segregate, gli assoni dei neuroni in rapporto con l'occhio rimasto aperto emettono nuovi rami che vanno ad occupare le aree precedentemente lasciate libere



L'instaurarsi ed il mantenimento della visione binoculare normale richiede non solo la presenza di un'attività elettrica sincrona a livello delle fibre del nervo ottico di ciascun occhio, ma anche di un'attività asincrona fra le fibre che prendono origine dai due occhi, con formazione di colonne di dominanza oculare.

Perché nel corso dello sviluppo alcune terminazioni si retraggono e altre sopravvivono e si rafforzano?

Gli assoni vicini in rapporto con lo stesso occhio tendono a scaricare in maniera sincrona e quindi **cooperano** fra di loro nella depolarizzazione e nell'eccitamento della cellula bersaglio.

Contemporaneamente le fibre afferenti in rapporto con i due occhi **competono** fra di loro per la formazione di connessioni più forti sulle cellule bersaglio comuni e le connessioni più forti che sono in rapporto con 1 dei due occhi tendono ad inibire l'accrescimento degli assoni in rapporto con l'altro occhio.

In CORTECCIA la segregazione avviene dopo la nascita e l'attività necessaria per la formazione delle connessioni viene generata dall'esperienza visiva.

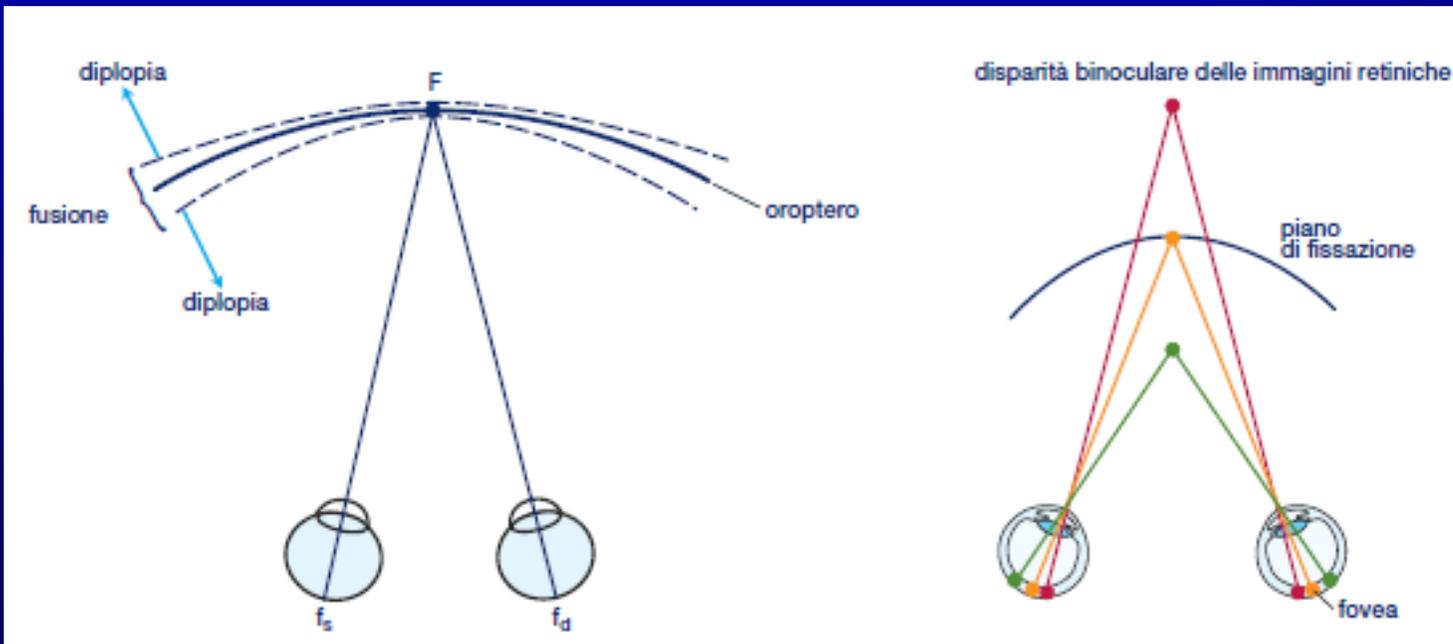
Nel CGL la segregazione avviene prima della nascita. Durante la vita intrauterina le fibre del nervo ottico sono spontaneamente attive, indipendentemente dall'informazione visiva.

Nella RETINA fetale le cellule vicine tendono a diventare attive insieme, generando raffiche sincrone di PA della durata di pochi sec, separate da periodi silenti di 1-2 min. Questo sembra sia in grado di rafforzare quelle sinapsi le cui fibre presinaptiche sono attive in modo sincro (COOPERAZIONE, con meccanismo mediato dai rec NMDA) e di indebolire quelle inattive e quelle che scaricano in modo asincro (COMPETIZIONE).

## ELABORAZIONE STEREOSCOPICA IN V1

I neuroni binoculari della V1 elaborano informazioni che cadono nel campo visivo binoculare, con risposta max quando i due CR sono stimolati contemporaneamente.

Le immagini proiettate sulle 2 retine saranno leggermente diverse, ma quando si fissa un oggetto gli elementi sono alla stessa distanza del punto di fissazione (sono sull'oroptero) e proiettano le loro immagini su punti corrispondenti: sulla fovea.



Solo le immagini che si trovano sull'oroptero o nelle sue vicinanze verranno fuse in un'immagine unica: **VISIONE CICLOPICA**, cioè la percezione unitaria e integrata del mondo visivo nonostante le immagini vengano acquisite da due occhi separati.

La fusione binoculare è il meccanismo alla base della VISIONE STEREOSCOPICA, cioè la percezione tridimensionale della scena e degli oggetti nel campo visivo, partendo da immagini 2D proiettate sulla retina.

La percezione della 3D e della distanza degli oggetti è garantita da una popolazione dei neuroni binoculari che rispondono selettivamente per diversi gradi di disparità retiniche.

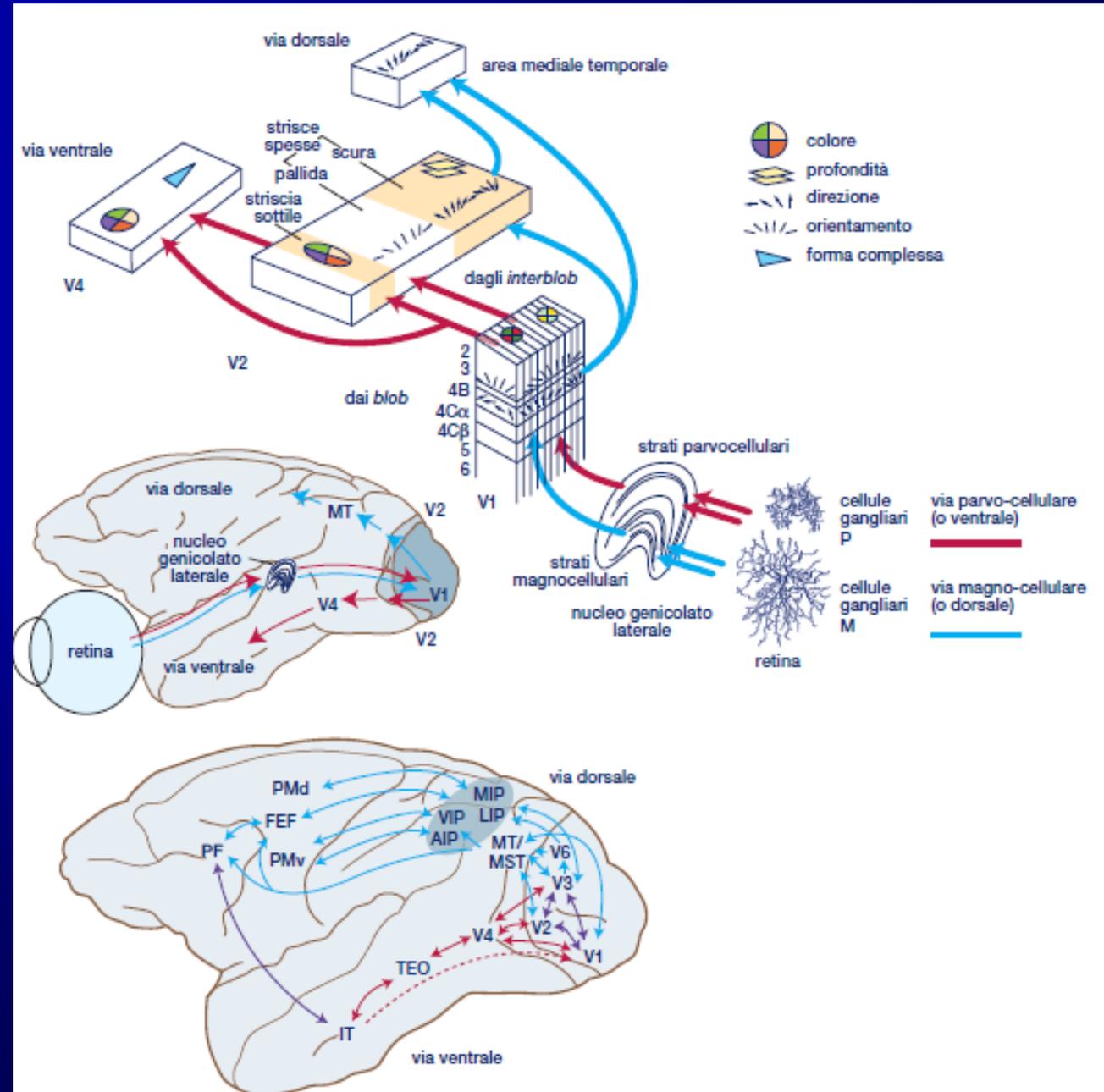
# AREE VISIVE EXTRASTRIATALI

Da V1 proiezioni a V2, con organizzazione retinotopica simile a V1, e alternanza di strisce scure (sottili e spesse) e strisce pallide spesse.

Via ventrale: riconoscimento degli oggetti (forma e colore), vi arrivano via P e K.

Via dorsale: analisi informazioni visuo-spaziali (vi arrivano le strisce spesse di V2 e la via M).

L'analisi stereoscopica in V1 e V2 contribuisce alla percezione della forma 3D degli oggetti, che si completa in aree extrastriate

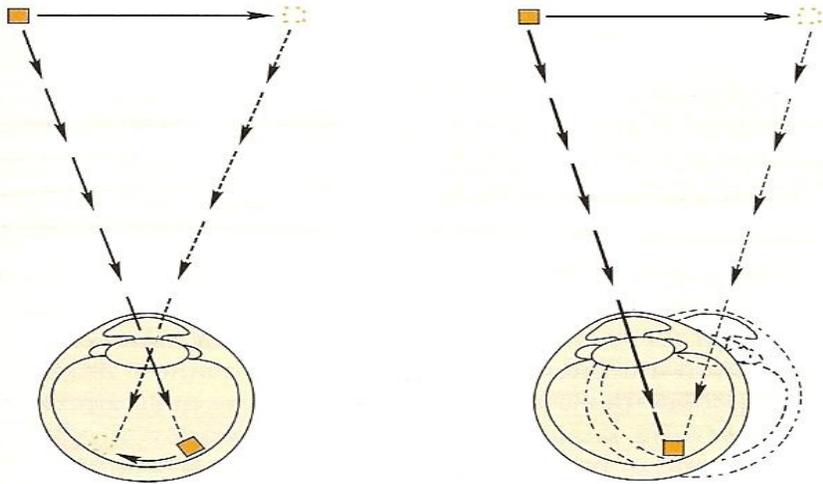


## ANALISI DEL MOVIMENTO

La percezione visiva è il risultato di un'interazione tra l'attività motoria e sensoriale dell'occhio e il SNC (ogni 200-600 ms cambia l'immagine retinica, per movimenti involontari e volontari degli occhi).

Anche quando non ci muoviamo, o non si muovono gli oggetti che attirano il nostro interesse, le immagini che si proiettano sulla retina si muovono perché né gli occhi, né il capo sono mai esattamente fermi, ma noi percepiamo l'oggetto come fermo.

Il nostro cervello riesce a costruire una percezione *unitaria e continua* del mondo visivo stazionario sulla base di immagini retiniche *discontinue*.



**A** Occhio fermo,  
immagine in movimento

**B** L'occhio si muove  
inseguendo l'immagine

**Figura 23-21** Il movimento nel campo visivo può venir analizzato dal cervello in due modi.

**A.** Se gli occhi vengono mantenuti fermi, l'immagine di un oggetto in movimento attraversa la retina. L'informazione relativa al movimento viene trasmessa al cervello dalla scarica, in successione, di diversi recettori retinici.

**B.** Quando gli occhi inseguono un oggetto, l'immagine dell'oggetto in movimento rimane fissa in un punto della retina e il sistema nervoso valuta l'entità del movimento dell'oggetto in base all'entità del movimento degli occhi e della testa.

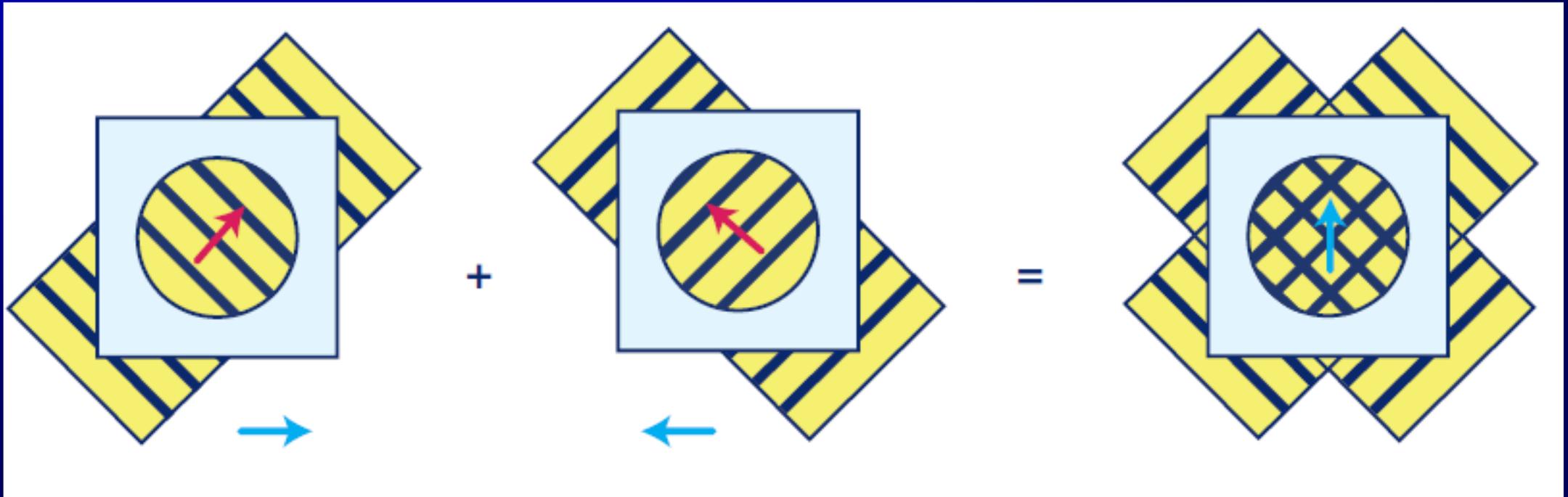
Il sistema visivo ha due modi per riconoscere il movimento: uno in relazione al movimento delle immagini e l'altro in relazione al movimento degli occhi e del capo.

Solo nei primati più evoluti il sistema visivo è in grado di rispondere anche ad oggetti che non si muovono.

## VIA MAGNOCELLULARE

L'informazione sul movimento prende origine dalle cellule gangliari retiniche di tipo M, che rispondono bene a stimoli di forma circolare il cui contrasto di luminosità, nel campo recettivo, sia variabile nel tempo. Da qui i segnali vengono trasmessi, attraverso gli strati magnocellulari del CGL, a diversi strati di V1, dove vengono analizzati da cellule semplici e complesse che rispondono in maniera selettiva alla **direzione** del movimento. In V1 ogni cellula risponde a spostamenti perpendicolari al proprio asse di orientamento. I segnali poi vengono ulteriormente elaborati a livello di V5 e V5a (MT, medio-temporale e MST, medio-temporale superiore) e ritrasmessi all'area visuo-motoria del lobo parietale, in cui la frequenza di scarica dei neuroni rispecchia sia la velocità sia la direzione dello spostamento degli oggetti nel campo visivo.

I neuroni di V1 e la maggior parte dei neuroni di MT rispondono bene solo al movimento di ciascuno dei componenti dei due reticoli sovrapposti, mentre non rispondono alla direzione del movimento globale. Vengono perciò detti neuroni selettivi per le componenti della direzione del movimento.



Il MOVIMENTO GLOBALE è analizzato in MT da n. sensibili (20%) alla sagoma complessiva dell'oggetto, in base alle informazioni afferenti dai n. di V1 e MT selettivi per le singole componenti della direzione del movimento.

Anche in MT mappa retinotopica sulla velocità e la direzione del movimento delle immagini che provengono dall'emicampo visivo controlaterale; organizzazione colonnare, e i n. di ogni colonna sono attivati dal movimento in una direzione. La direzione preferenziale varia sistematicamente da una colonna all'altra in modo da creare in MT, per ogni punto del campo visivo, una rappresentazione completa del movimento in ogni direzione possibile.

## Coordinazione binoculare dei movimenti oculari

L'occhio umano si muove tramite l'azione di 6 muscoli estrinseci innervati da 3 paia di nervi cranici:

- Oculomotore comune
- Trocleare
- Abducente

Per studiare la coordinazione binoculare dei movimenti oculari si tiene ferma la testa del soggetto e si registrano i movimenti di fissazione. In tale situazione si registrano i seguenti programmi motori:

1. **movimenti oculari coniugati:** gli occhi si muovono insieme, sopra, sotto, a dx o a sx dello spazio extrapersonale;
2. **movimenti di vergenza:** i due occhi si muovono insieme in maniera speculare rispetto alle coordinate della testa.

**Convergenza:** lontano  $\rightarrow$  vicino

**Divergenza:** vicino  $\rightarrow$  lontano

Se il soggetto inclina la testa di lato si hanno **movimenti ciclorotatori** dei due occhi sul piano fronto-parallelo. Accompagnano marcati **movimenti di convergenza**.

Le informazioni sul movimento servono:

1. per la percezione visiva del movimento delle immagini;
2. per il mantenimento del movimento d'inseguimento degli occhi;
3. per guidare i movimenti dell'individuo nell'ambiente.

I movimenti oculari di un osservatore attento portano la zona della fovea sull'oggetto d'interesse. Lo sguardo esplora l'oggetto tramite piccoli movimenti oculari a scosse: le *SACCADI*.

**SACCADI** quando ci si guarda intorno i nostri occhi si spostano da un punto di fissazione all'altro con movimenti rapidi, **SACCADI**, di durata da 10 a 80 ms. La loro ampiezza varia da pochi minuti d'arco (**MICROSACCADI**) fino ad oltre 90°, in caso di movimenti saccadici volontari.

Se si sposta lo sguardo meno di 10° dal piano dell'orizzonte si fanno movimenti prevalentemente oculari; se lo spostamento è maggiore i movimenti saccadici sono sempre seguiti da movimenti della testa. Si hanno prima i movimenti oculari e poi quelli della testa, anche se gli impulsi per i muscoli oculari e quelli del collo partono contemporaneamente, perché la testa pesa di più. Durante il movimento della testa gli occhi si spostano lentamente in direzione opposta per mantenere fisso lo sguardo sul punto d'interesse.

## **PAUSE DI FISSAZIONE**

Quando ci si guarda intorno in uno spazio visivo ricco, le saccadi sono separate da pause di fissazione di 0.2-0.6 sec. Con uno sforzo volontario ci si può trattenere per vari sec dal fare movimenti oculari saccadici.

## MOVIMENTI LENTI DI INSEGUIMENTO

si verificano quando si segue con gli occhi un oggetto in movimento. Se la velocità è inferiore a  $60-80^\circ/s$  la v. del movimento oculare corrisponde a quella dell'oggetto fissato. Durante questi movimenti eventuali spostamenti dell'immagine dal centro della fovea dovuti ad una asincronia fra il movimento oculare e quello dell'oggetto, vengono compensati da piccole saccadi di correzione. Quando la v. di spostamento dell'oggetto fissato è  $> 80^\circ/s$ , la v. del movimento oculare è  $<$  a quella dell'oggetto, per continuare a seguire l'oggetto, è quindi necessaria una combinazione di movimenti d'inseguimento, ampie saccadi di correzione, e movimenti della testa.

Quando si fissa un oggetto fermo e contemporaneamente si muove la testa o tutto il corpo si verificano movimenti d'inseguimento in direzione opposta.

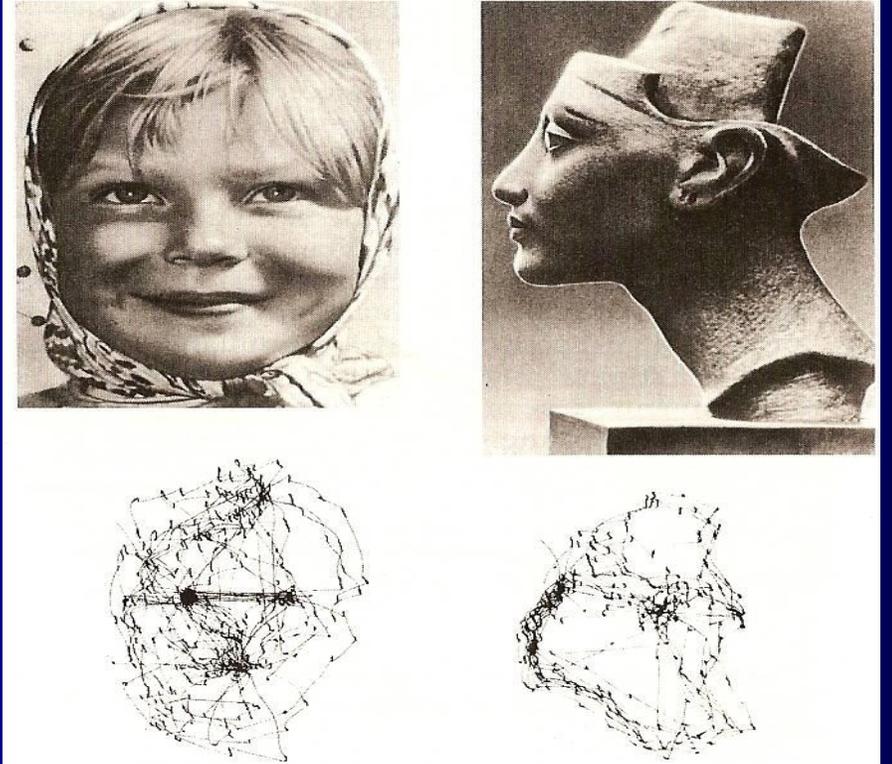
**NISTAGMO OPTOCINETICO (NOC)** Nistagmo: alternarsi periodico di movimenti lenti d'inseguimento e di saccadi (se si guarda dal finestrino di un treno in corsa un oggetto fuori). Gli occhi eseguono dei movimenti d'inseguimento coniugati nella direzione del movimento apparante degli oggetti fuori dal finestrino (opposta a quella del treno). Quando l'oggetto scompare, si ha una saccade di riposizionamento che sceglie un nuovo punto di fissazione che sarà poi mantenuto per un certo tempo da un altro movimento d'inseguimento con cui inizia un'altra fase lenta del nistagmo. Il NOC può essere evocato in laboratorio usando stimoli a strisce che si muovono; si può variare sia la velocità che la direzione dello stimolo in movimento.

La misurazione quantitativa del NOC può permettere di valutare disturbi della motilità oculare dovuti a lesioni del sistema oculomotore del tronco dell'encefalo, lesioni cerebellari o delle aree cerebrali parietali o del sistema vestibolare.

## Movimenti oculari durante l'osservazione di stimoli complessi.

Quando un soggetto osserva la fotografia di un volto si può constatare che i punti di fissazione si concentrano soprattutto sui contorni, sui margini interrotti e sulle intersezione delle linee. Inoltre l'interesse verso l'oggetto determina la frequenza con cui una struttura viene fissata. Generalmente gli occhi e la bocca sono quelli maggiormente fissati, e la metà destra più della sinistra. Quindi il sistema oculomotore non è regolato solo dagli attributi strutturali formali dello stimolo, ma anche dal significato del segnale visivo per l'osservatore.

ISBN 88-408-0991-0



**Figura 23-20** Quando guardiamo un oggetto, i nostri occhi esplorano continuamente la superficie dell'oggetto stesso. L'esplorazione viene eseguita mediante movimenti saccadici, che in questo caso consistono in rapidi movimenti impercettibili degli occhi, che saltano da un punto all'altro dell'oggetto, insistendo soprattutto sui punti che risvegliano il maggior interesse. Durante i movimenti di esplorazione l'immagine dell'oggetto si muove sulla retina, ma a noi l'oggetto appare fermo. Sotto ciascuna delle due fotografie rappresentate in figura vi è la registrazione dei movimenti oculari fatti nel corso di una osservazione della fotografia sovrastante, della durata di 2 minuti. A **sinistra**, fotografia di "Una fanciulla del Volga"; a **destra**, testa della regina egiziana Nefertiti, circa 1350 anni A.C. (Da Yarbus, 1967.)