



*2° Convegno di Didattica delle
Scienze*



Vedere la luce, vedere i colori

Nicoletta Berardi

Università degli studi di Firenze
Dipartimento di Neuroscienze,
Psicologia, Area del farmaco, Salute
del bambino (NEUROFARBA)

Il funzionamento del sistema visivo è stato spesso paragonato a quello di una macchina fotografica. Infatti, come accade per la macchina fotografica, le lenti dell'occhio mettono a fuoco su una "pellicola sensibile", la retina, un'immagine rimpicciolita ed invertita degli oggetti.

L'analogia, però, finisce qui: infatti il processo della visione non è un processo passivo di riproduzione di una immagine, che demanda ad altri sistemi il riconoscimento di quanto riprodotto.

La visione è un processo attivo, conoscitivo.

Vedere è il risultato della trasformazione del mondo esterno, fisicamente esistente, nel mondo percettivo, che implica l'attivazione di specifiche cellule visive ma anche la nostra precedente conoscenza, il nostro stato d'animo, la nostra cultura.

Ciò che siamo abituati a considerare la 'realtà' percettiva è una costruzione del nostro cervello e dipende quindi da come il nostro cervello è costruito.

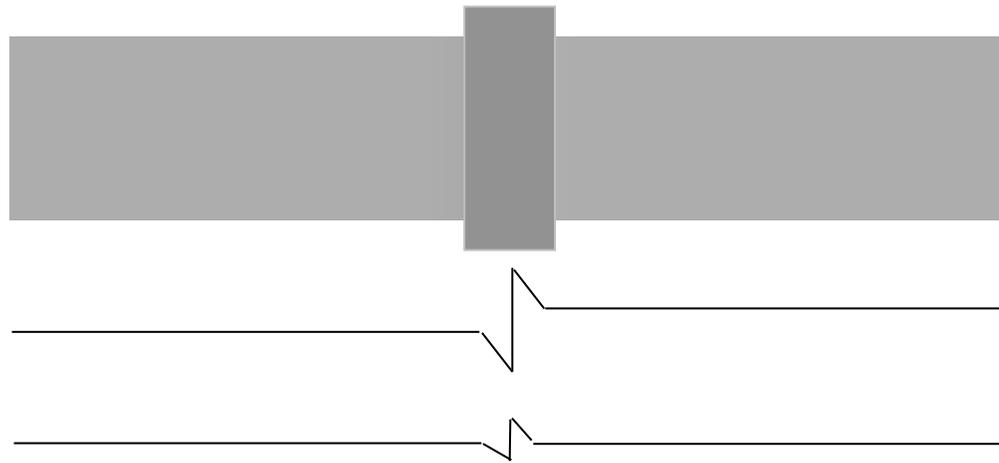
Helena:

"Love looks not with the eyes but with the mind."

A Midsummer Night's Dream (I, i, 234)

David Hume "Beauty is in the mind of the beholder"

La “realtà” è una costruzione del nostro cervello



Percepiamo quello che le nostre cellule ci
consentono di percepire

Percepiamo quello che abbiamo imparato a
percepire

Percepiamo quello che ci interessa
maggiormente percepire

Percepiamo ciò che le nostre cellule ci consentono di percepire

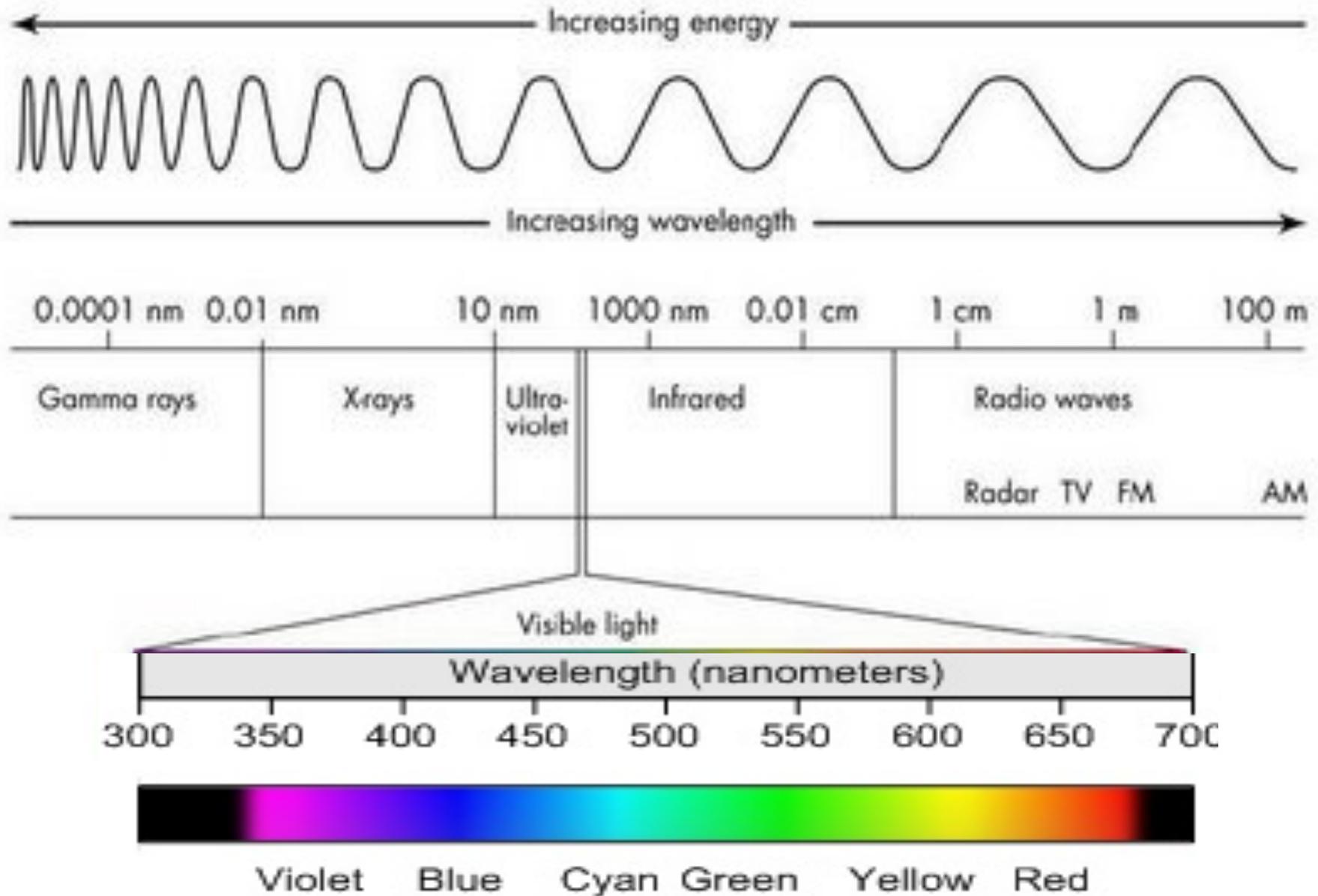
Tutti i processi percettivi iniziano con la **trasduzione**

La trasduzione segna il passaggio fra evento “esterno” a noi ed evento “interno”, in particolare, fra stimolo esterno e segnale nervoso. E’ il primo e necessario passo verso la percezione e pone il primo limite all’intervallo del percepibile.

Ciò che distingue un tipo di sensazione da un'altra non è la qualità dello stimolo (radiazioni elettromagnetiche, onde di pressione, vibrazione sulla pelle) ma il tipo di cellule nervose attivate dallo stimolo.

La luce visibile per l'uomo è quell'insieme di radiazioni elettromagnetiche la cui frequenza consente loro di essere assorbite e trasdotte dai fotorecettori della retina umana.

Lo stretto spettro del visibile umano



Quello che è luce per gli insetti non lo è per noi

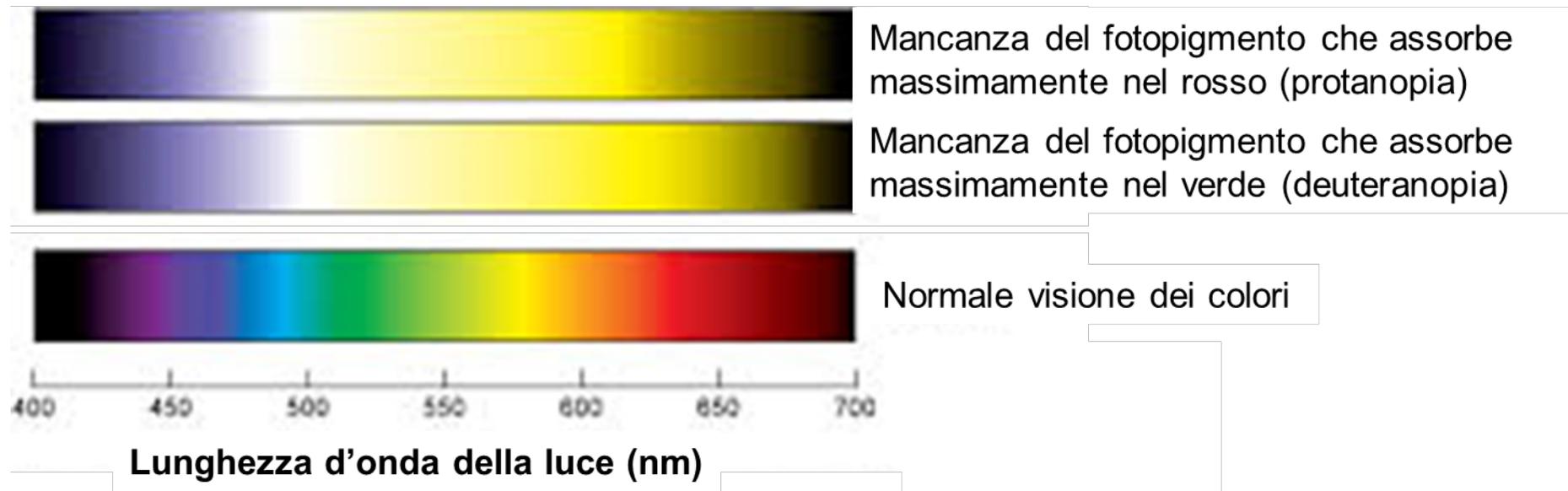
Noi



Insetti



Quello che è luce di un certo colore per la maggior parte di noi è luce di un colore differente o non è luce per alcuni di noi



Percepiamo ciò che le nostre cellule ci consentono di percepire

Una volta trasdotta in segnale nervoso, l'informazione relativa agli eventi esterni viene elaborata lungo le vie sensoriali specifiche per condurre alla percezione.

La organizzazione dei circuiti di elaborazione pone altri limiti alle nostre capacità percettive e ne definisce le caratteristiche.

W M E

S=1.99 D=20 C=100

W M W E

S=2.5 D=16 C=80

W E M W

S=3.2 D=12.5 C=63

E M W

S=4 D=10 C=50

W M E W

S=5 D=8 C=40

M W E

Table at Snellen Fraction is:

S=6.3 D=6.3 C=32

4 m S/10 or 20/C (pref.)

E W W M

2 m S/20 10/C

S=8 D=5 C=25

W M W E

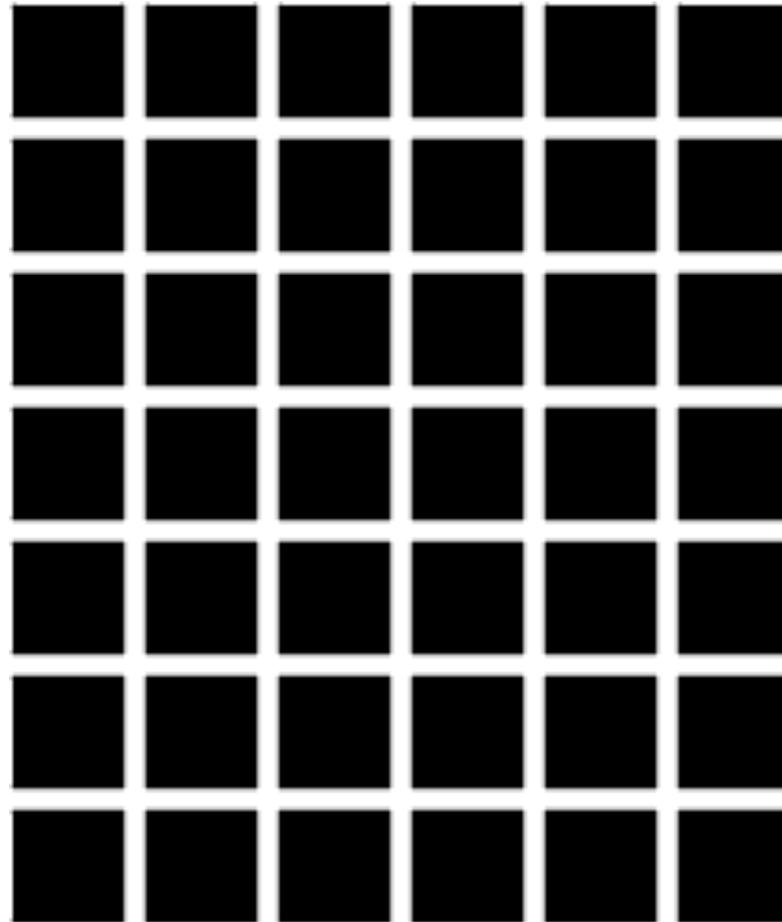
1 m S/40 5/C

S=10 D=4 C=20

W M W W

S=12.5 D=3.2 C=16

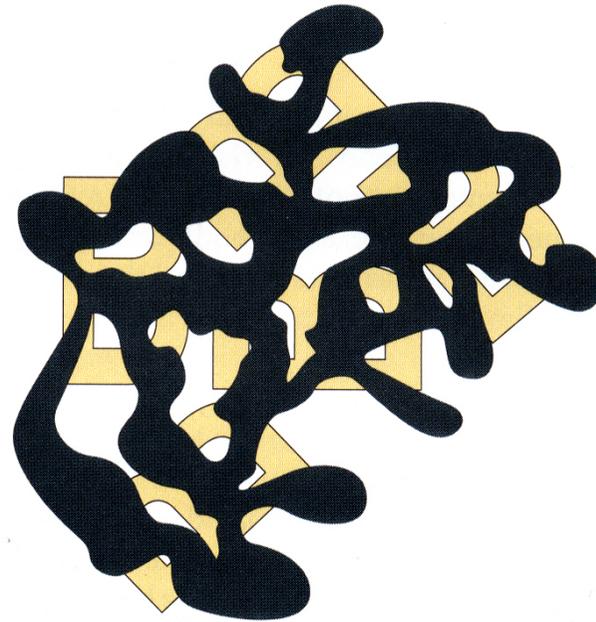
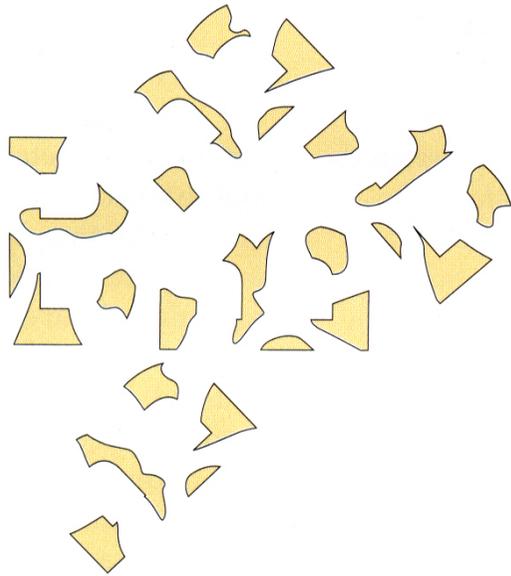
A volte vediamo quello che non c'è



Griglia di Hermann

Vediamo quello che abbiamo imparato a vedere
(best hypothesis)

Vediamo ciò che abbiamo imparato a vedere



Il sistema visivo è in grado di fornire il livello di descrizione di un oggetto richiesto in quel momento.

In effetti, a seconda dei casi, la caratteristica di maggior interesse di un oggetto può essere la sua forma, il suo colore, la sua distanza, la sua posizione.

A seconda delle richieste il sistema visivo sembra recuperare dalla stessa distribuzione di luminanza in ingresso diversi tipi di informazione, ad esempio il colore e la forma, e sembra metterne altre in secondo piano.

Questo modo di procedere suggerisce che il sistema visivo è in grado di svolgere in parallelo una molteplicità di compiti e che, a seconda delle richieste, è in grado di **focalizzare l'attenzione** sul risultato di uno o più processi simultanei.

Dalla stessa rappresentazione iniziale, la distribuzione di luminosità a livello dei fotorecettori, le informazioni relative ai parametri diversi di uno stimolo, quali il contrasto o la posizione, verrebbero estratte in parallelo con processi successivi e smistate lungo vie nervose diverse, che terminano in aree corticali separate. Alla percezione cosciente arriva solo una parte di tutta l'informazione presente in una scena visiva.

In alcuni casi potremmo proprio dire che noi vediamo quello che ci serve vedere, quello che ci interessa vedere.

Dall'energia luminosa al segnale nervoso

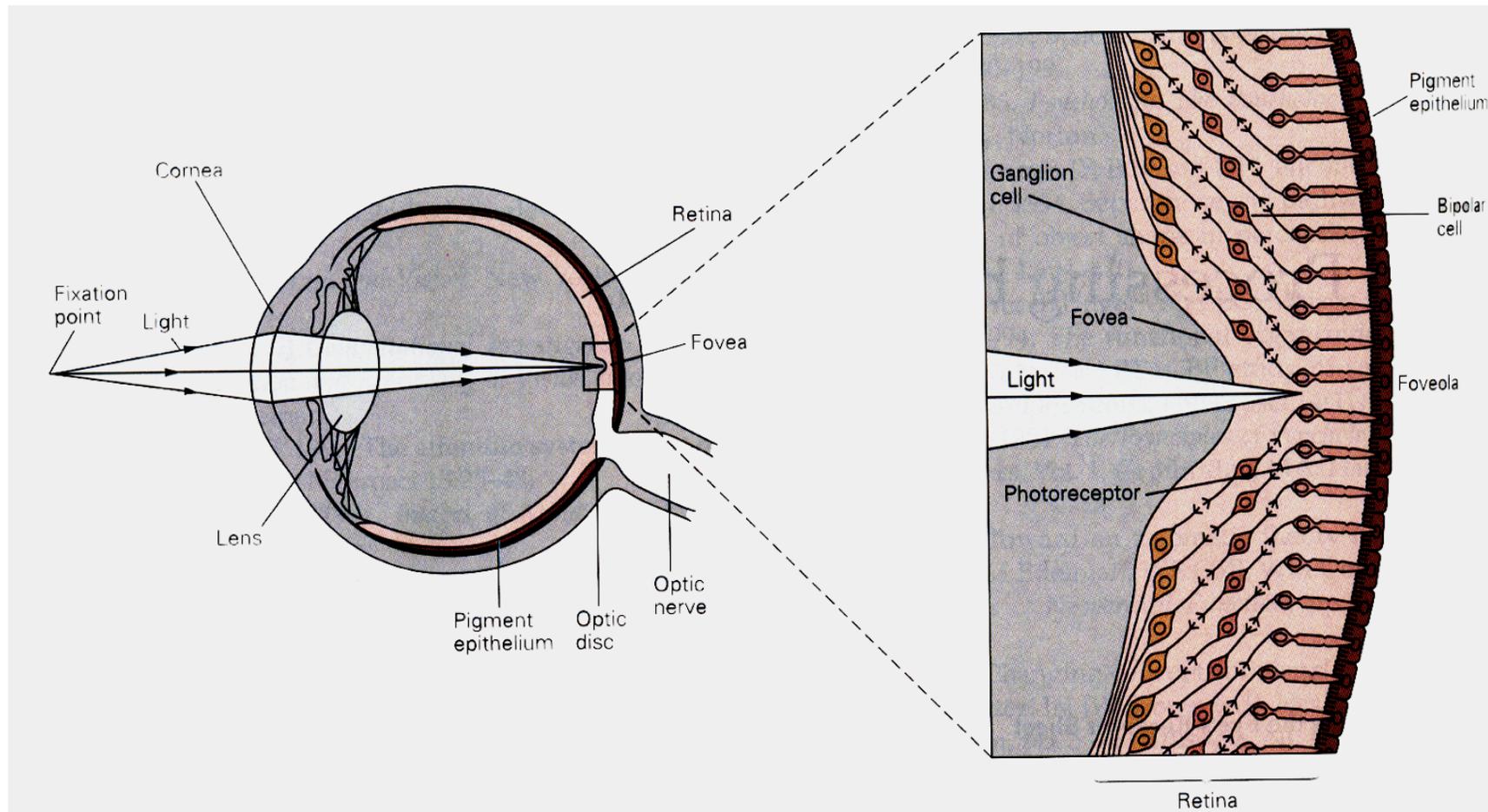


L'occhio: dallo stimolo luminoso al segnale nervoso

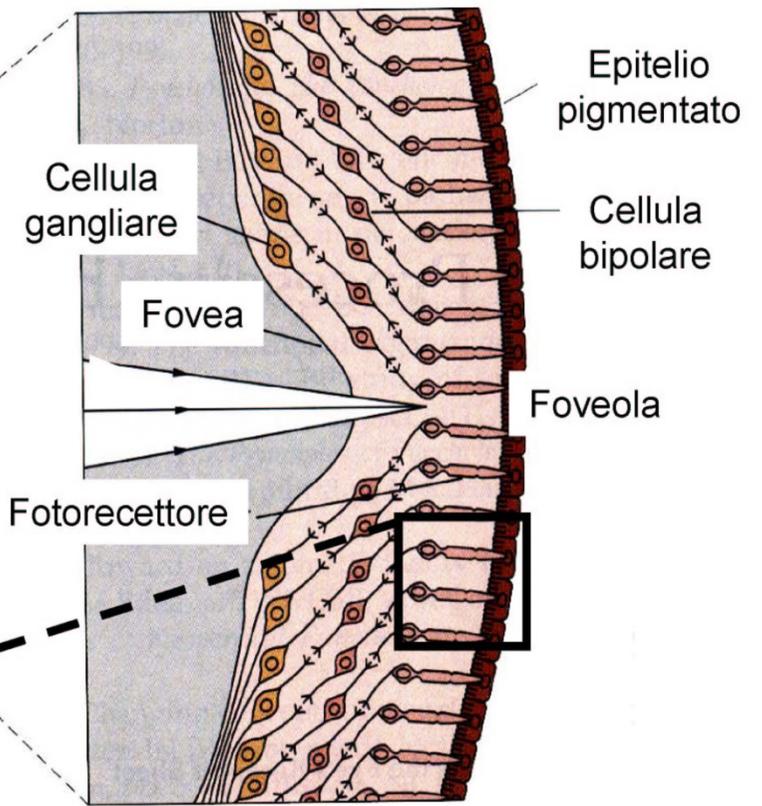
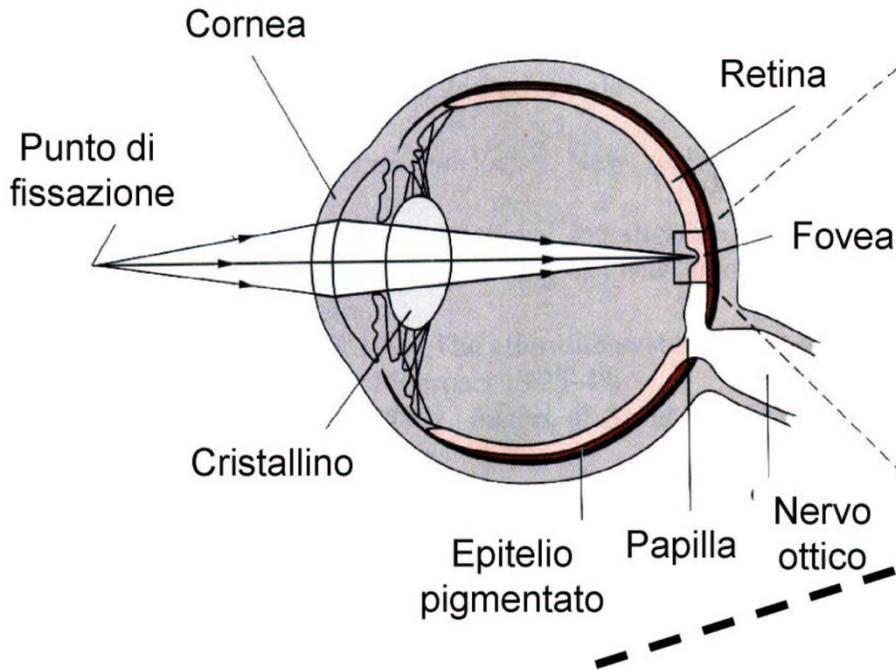
La retina contiene i neuroni coinvolti nella fototrasduzione e nella prima elaborazione dell'informazione visiva. L'unica uscita dalla retina è costituita dagli assoni delle cellule gangliari retiniche che formano il nervo ottico.

La retina è costituita da strati che contengono 5 tipi di neuroni, all'interno stanno le gangliari all'esterno i fotorecettori, quindi la luce attraversa tutto lo spessore della retina prima di arrivare ai fotorecettori.

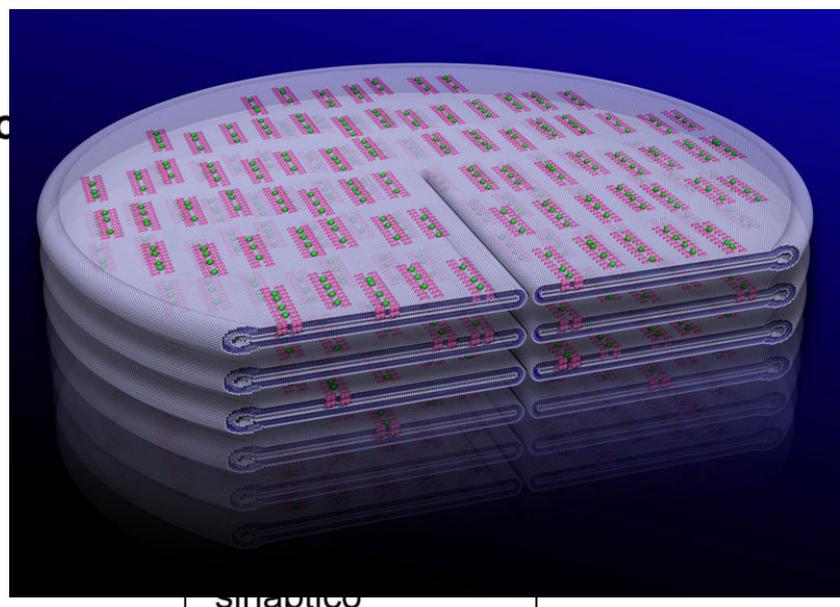
Fa eccezione la fovea, la struttura specializzata per la massima risoluzione spaziale.



La retina



I foto



Sinaptico

Membrana
 Segmento esterno
 Segmento interno
 Terminale sinaptico

Fototrasduzione

Retina

Tabella 22-1 Differenze fra bastoncelli e coni e fra i rispettivi sistemi neurali

<i>Bastoncelli</i>	<i>Coni</i>
Sensibilità elevata: specializzati per la visione notturna	Sensibilità inferiore: specializzati per la visione diurna
Molto fotopigmento, catturano molta luce	Quantità inferiori di fotopigmento
Amplificazione elevata, mettono in evidenza singoli fotoni	Amplificazione minore
Fotopigmento: rodopsina	Fotopigmento: tre diverse opsine
Bassa risoluzione temporale: risposta lenta, tempo d'integrazione lunga	Risoluzione temporale elevata: risposta rapida, tempo di integrazione breve
Più sensibili alla luce diffusa	Più sensibili alla luce diretta assialmente

Sistema dei bastoncelli

Bassa acuità visiva: vie retiniche altamente convergenti, non è presente nella fovea

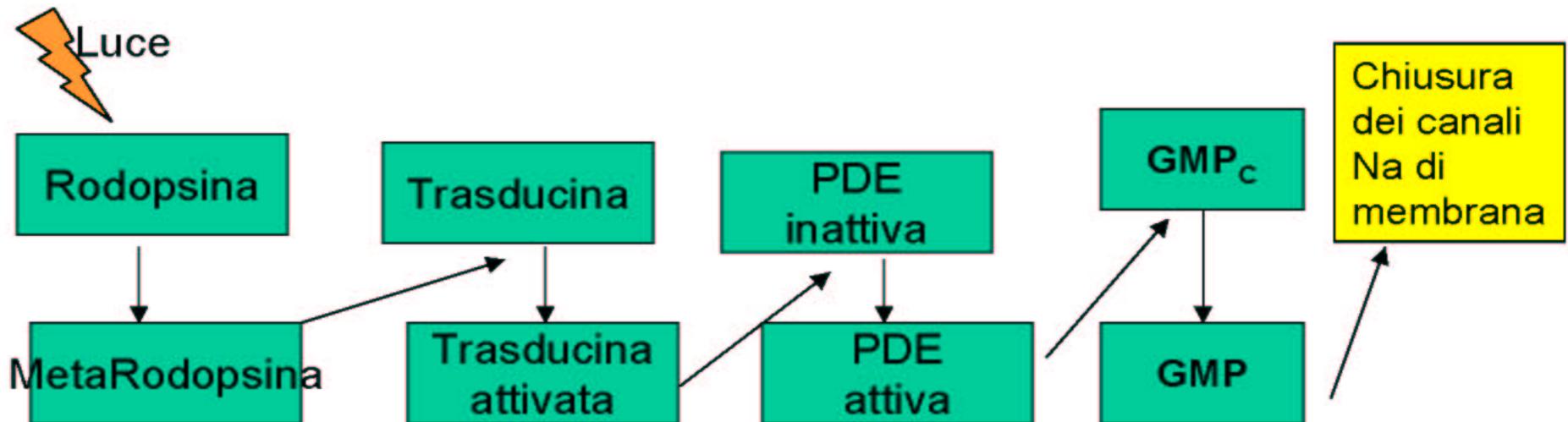
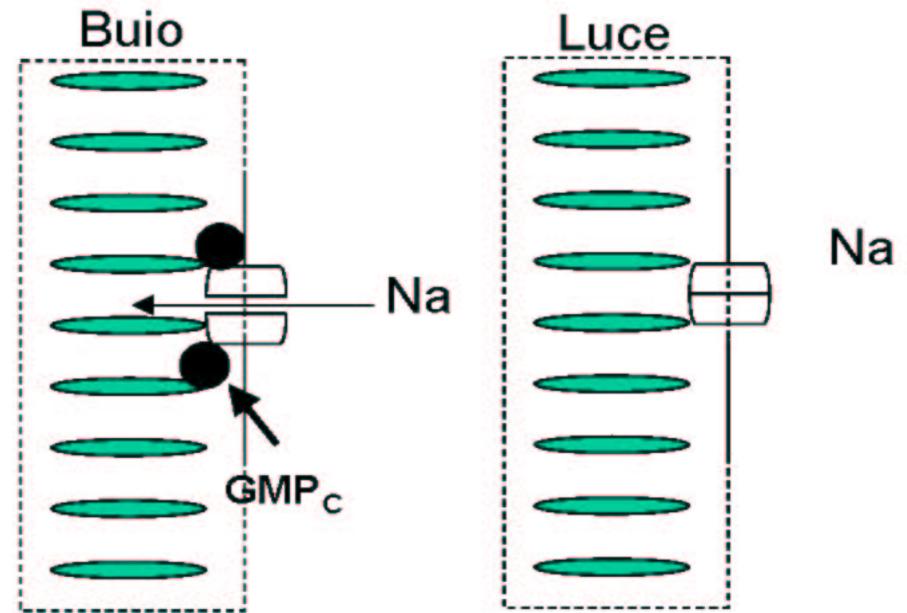
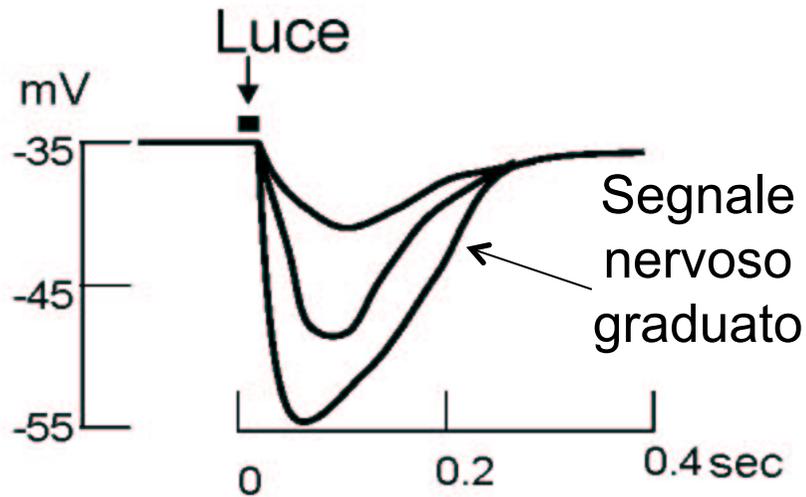
Acromatico, è presente un solo tipo di pigmento

Sistema dei coni

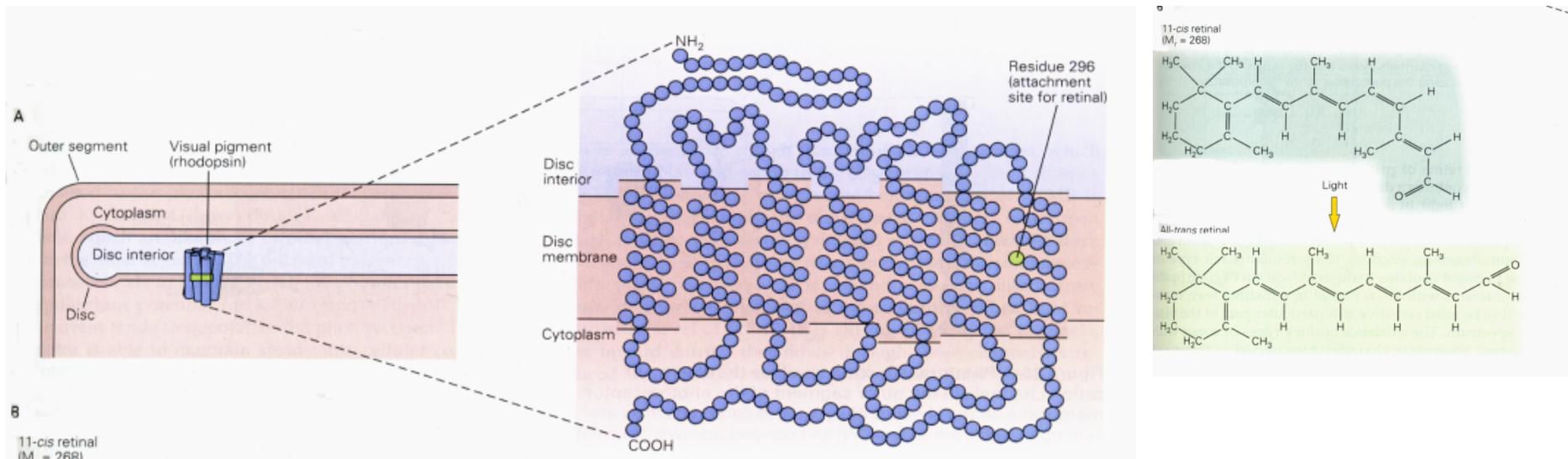
Acuità visiva elevata: vie retiniche meno convergenti, particolarmente concentrato nella fovea

Cromatico: esistono tre tipi di coni, ciascuno dei quali possiede un pigmento diverso ed è particolarmente sensibile a una parte dello spettro visibile

La fototrasduzione: l'assorbimento dei fotoni da parte dei ftopigmenti genera un segnale nervoso nei fotorecettori



I fotorecettori: risposta alla luce



La luce causa l'**isomerizzazione** del retinale (che ha come precursore la vitamina A) che fa sì che la rodopsina diventi metarodopsina 2 (instabile) la quale attiva la transducina che a sua volta attiva la fosfodiesterasi che elimina il cGMP.

- **Grande amplificazione** 1 molecola di rodopsina può determinare l'idrolisi di 100000 cGMP. **L'amplificazione è variabile.**

- Punti di chiusura:

- 1) La transducina si inattiva idrolizzando il GTP
- 2) L'opsina viene fosforilata e inattivata dall'arrestina

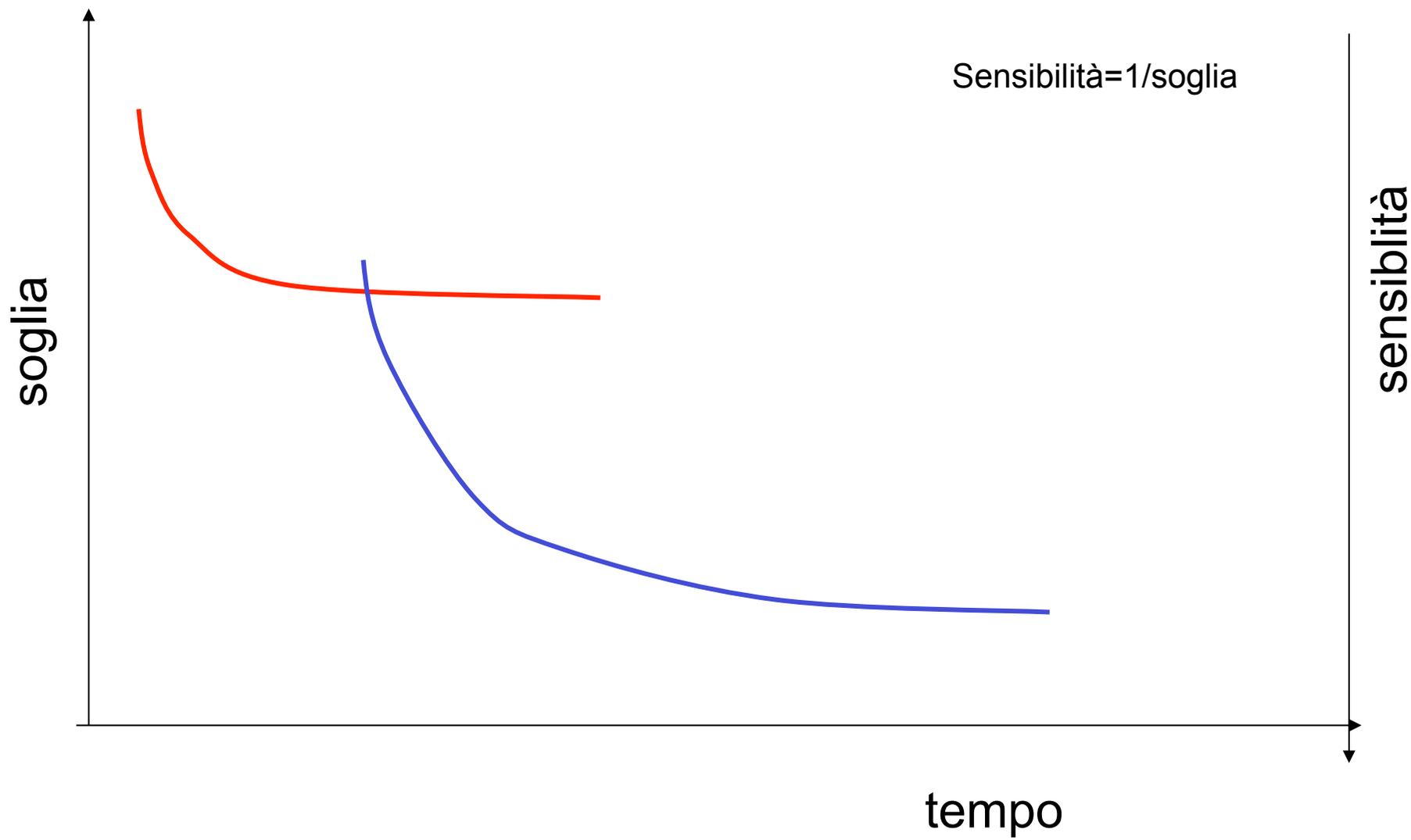
Fenomeni di adattamento alla luce nei fotorecettori

l'amplificazione del processo di fototrasduzione cambia con la quantità di luce disponibile:

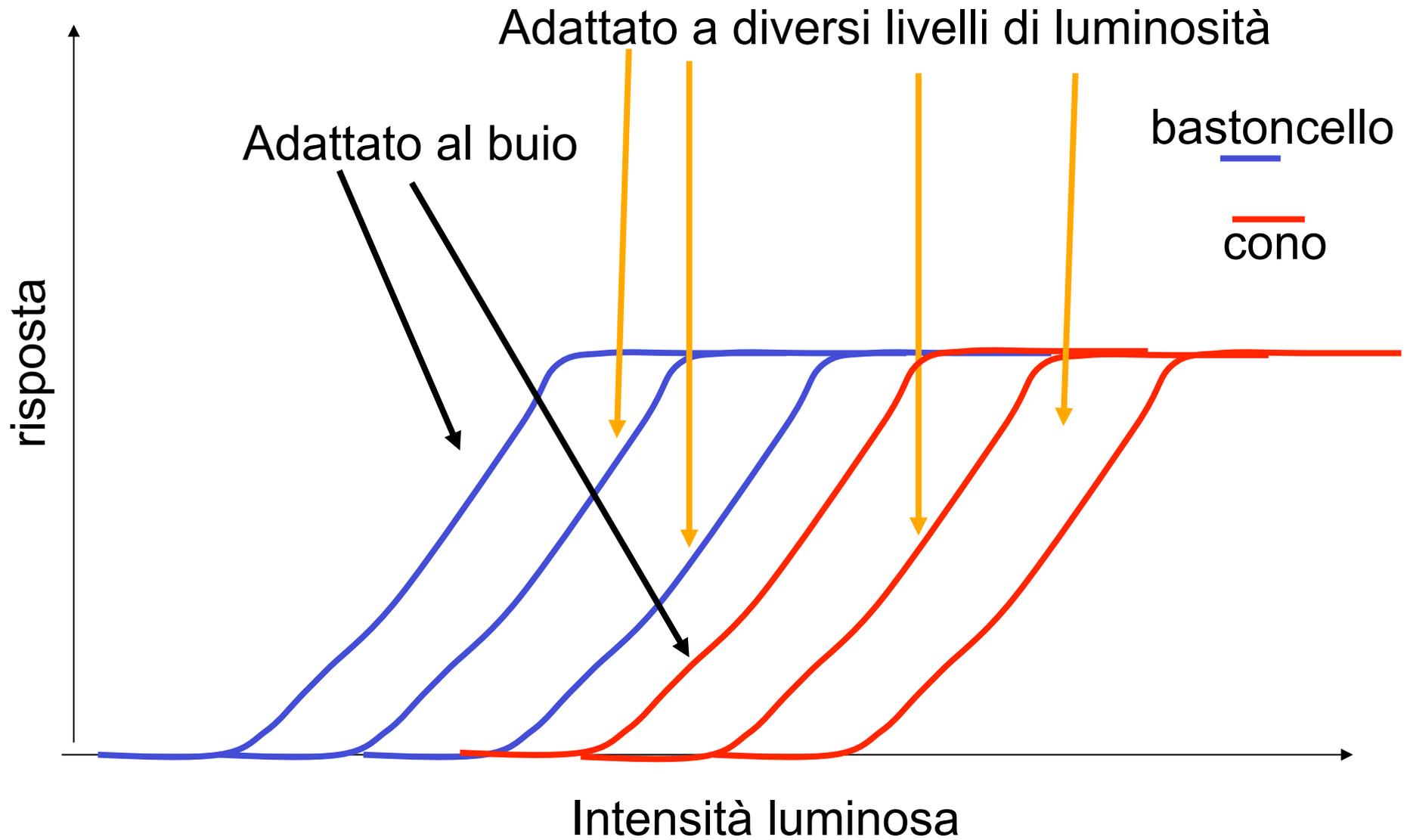
se la quantità di luce disponibile è scarsa,
l'amplificazione è alta

se la quantità di luce disponibile è alta, l'amplificazione
è bassa

L'adattamento al buio



L'adattamento a livello dei fotorecettori



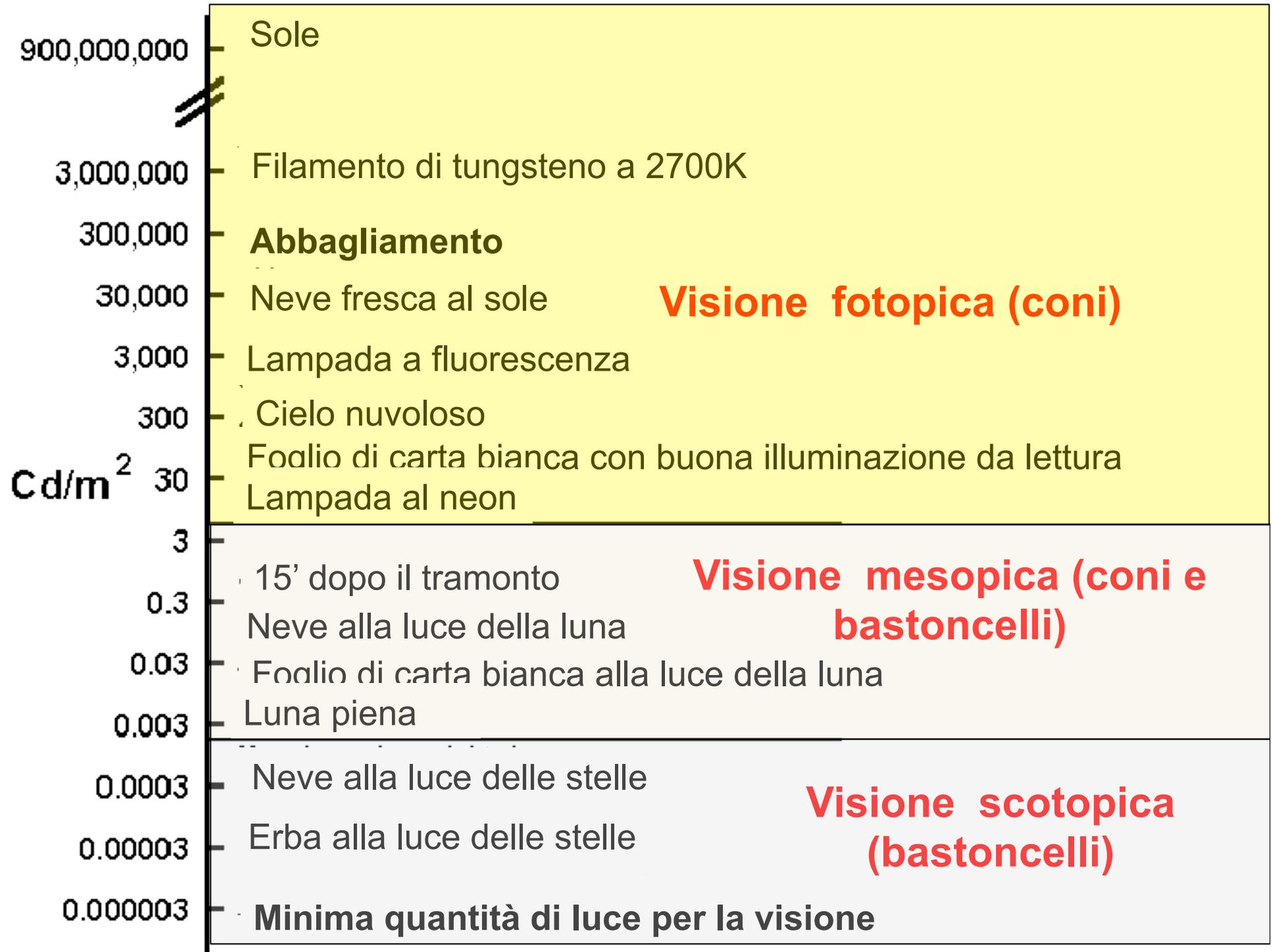
Se la luce ambientale è scarsa ci serviremo della grande sensibilità dei bastoncelli per vedere mentre se la luce ambientale è elevata, i bastoncelli saranno saturati e ci serviremo dei coni.

L'esistenza di due tipi di recettori con **soglie** e **punti di saturazione** diversi ed il fatto che entrambi adattino, potendo così lavorare su un ampio intervallo di quantità di luce disponibili, fa sì che noi siamo in grado di usare il nostro sistema visivo a fronte di variazioni della quantità di luce disponibile di **un fattore 10^{11}** !

Ovvero, tra la minima quantità di luce per cui riusciamo ancora ad intravedere i contorni degli oggetti e la massima quantità di luce oltre la quale siamo abbagliati c'è un rapporto di 100 miliardi.

Nessuna macchina fotografica con pellicola era in grado di fare questo, bisognava cambiare la pellicola, passando da pellicole molto sensibili a pellicole poco sensibili.

Ebbene, i coni ed i bastoncelli sono come due pellicole, una poco sensibile e l'altra molto sensibile, e si “cambiano da soli”, in funzione della quantità di luce!

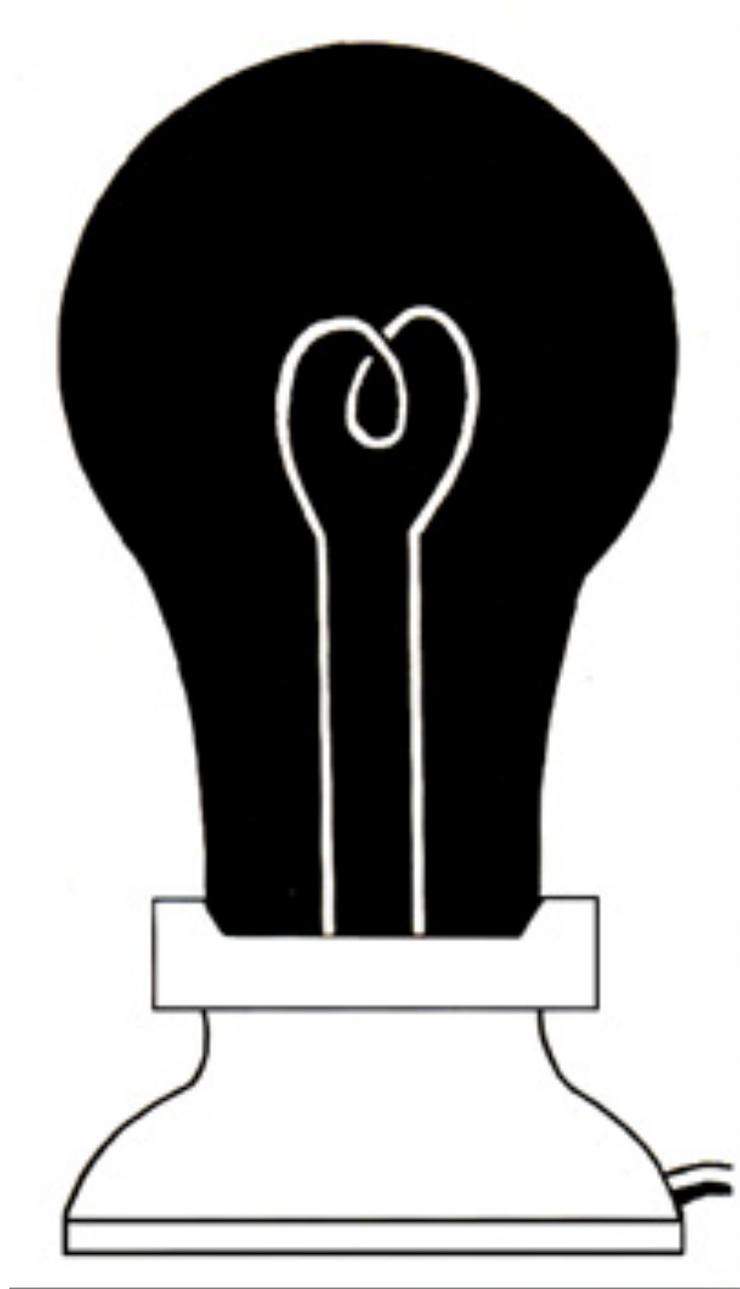


Processi di adattamento alla luce (fotorecettori, fototrasduzione):

Estensione dell'intervallo dinamico della visione

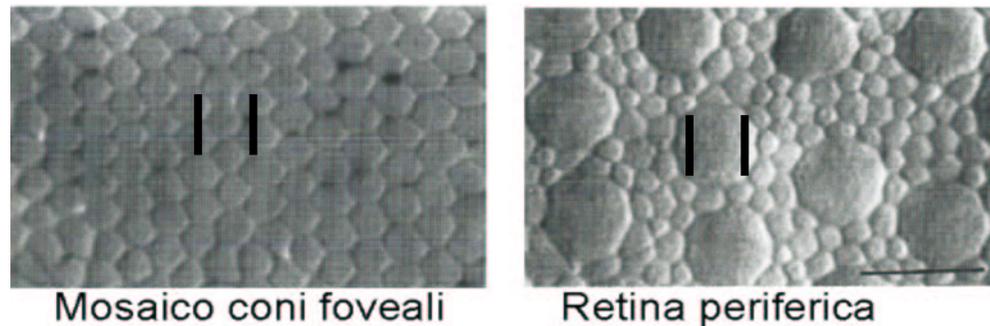
Insensibilità alla luminosità costante nel tempo

Postimmagini



L'organizzazione spaziale dei fotorecettori nella retina e le caratteristiche delle modalità di trasmissione dell'informazione fra coni e bastoncelli e le altre cellule della retina pone degli altri limiti alle nostre capacità visive, in particolare alla risoluzione spaziale (acuità visiva)

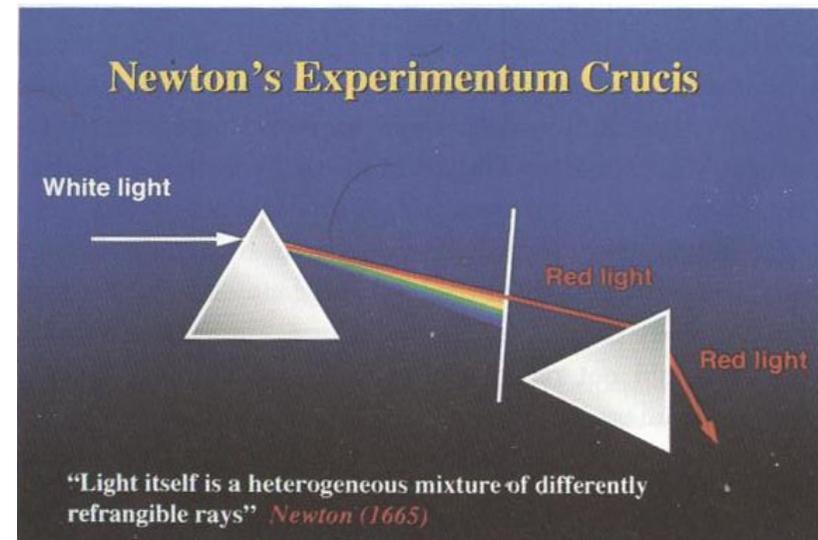
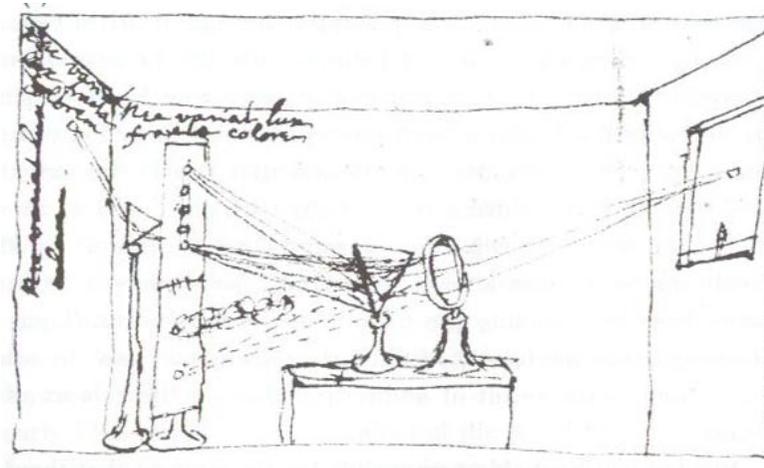
I coni foveali, a causa del loro fitto impacchettamento e dell'assenza di convergenza, ci consentono un'alta acuità visiva, purché la luminosità sia sufficiente per il loro funzionamento.



Un'altra notevolissima differenza fra il sistema dei coni ed il sistema dei bastoncelli è il contributo alla visione dei colori, dato solamente dai coni.

Come vediamo i colori?

Il colore non è oggettivo, è costruito dalla mia percezione, dipende dalla mia capacità di utilizzare le lunghezze d'onda della luce emesse da una sorgente o riflesse da un oggetto. La luce 'bianca' è un insieme di radiazioni diverse, che, separatamente, ci danno una sensazione di colore. Esperimento di Newton.



Come è verde il mio “verde”?

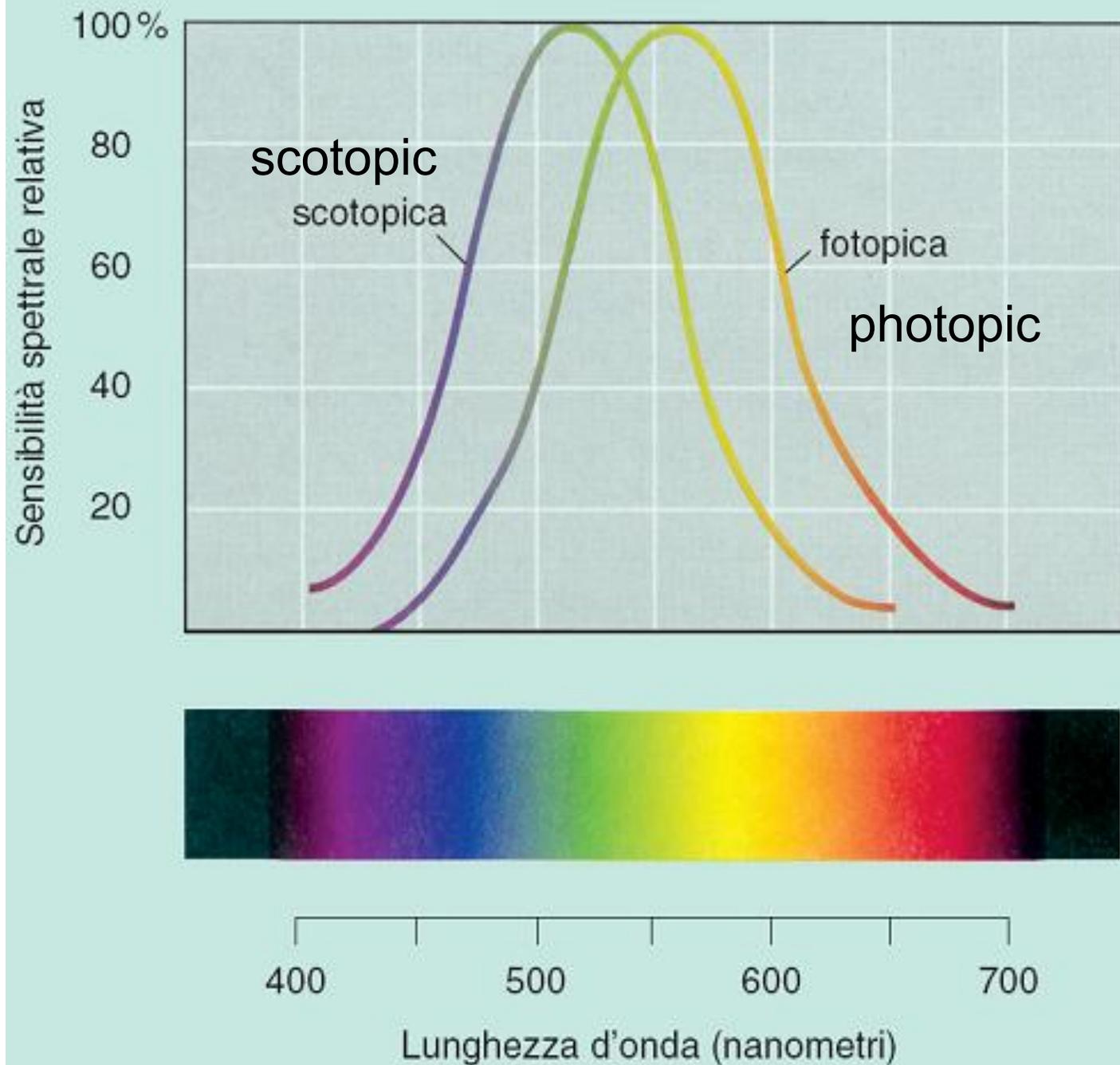


Colour is a private affair (W. Rushton)

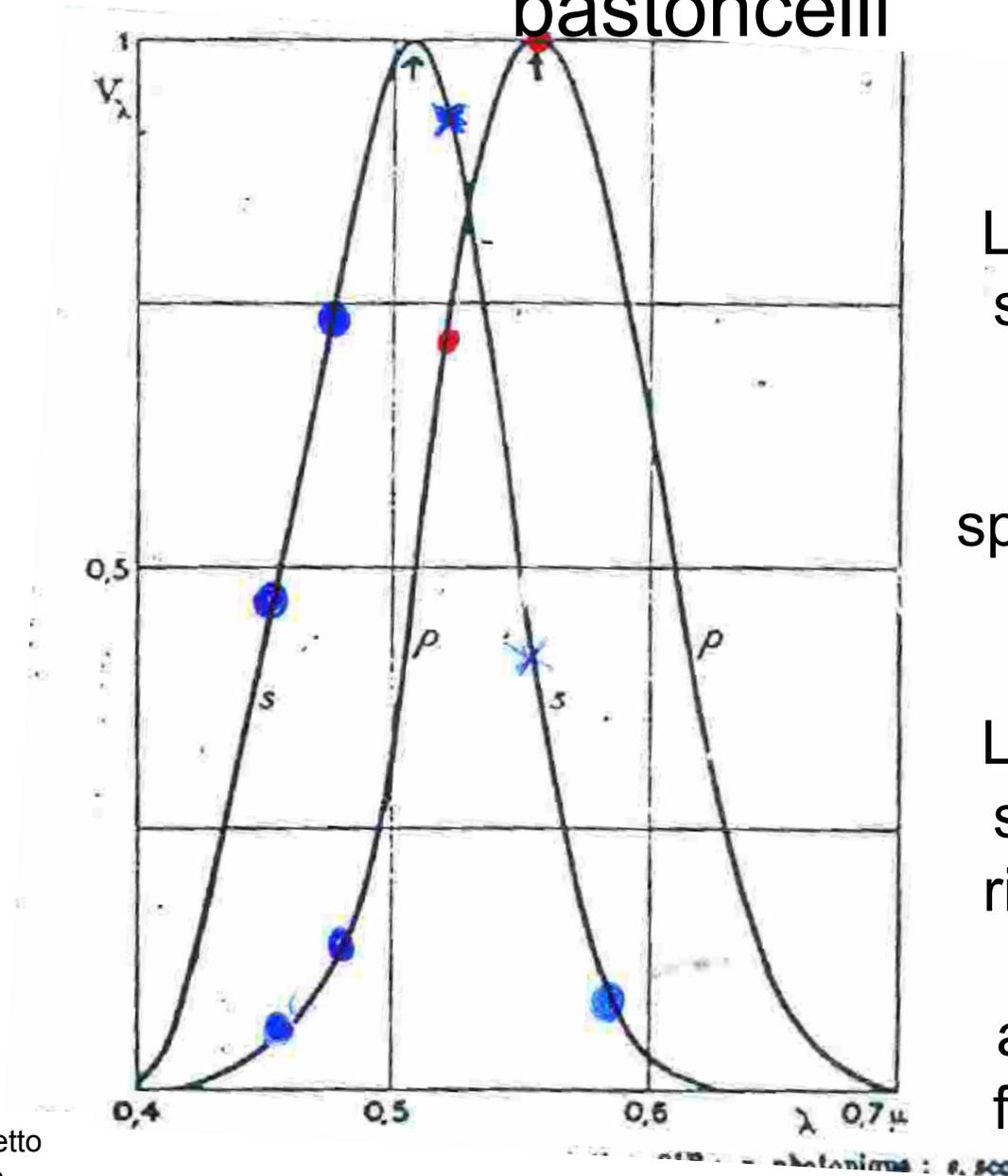
La capacità di vedere i colori e il modo in cui li percepiamo dipende da numerosi fattori il primo dei quali, **necessario ma non sufficiente**, è la presenza di **fotopigmenti con spettro di assorbimento diverso nel sistema dei coni.**

Nell' uomo, esistono tre fotopigmenti diversi nei cono, il che dà origine a tre sottoinsiemi di cono, ciascuno caratterizzato dalla presenza di uno specifico fotopigmento.

Curve di sensibilità spettrale nell'uomo



Curve di sensibilità spettrale diverse per coni e bastoncelli



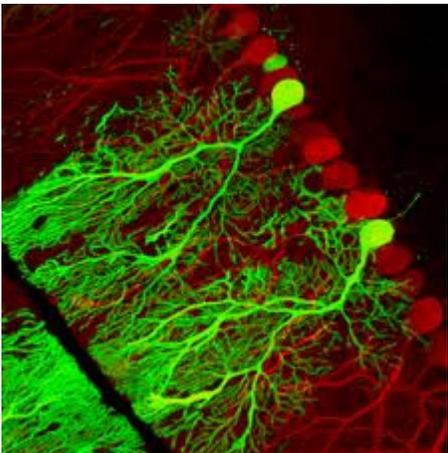
La curva di sensibilità spettrale scotopica è completamente spiegabile con lo spettro di assorbimento della rodopsina.

La curva di sensibilità spettrale fotopica è il risultato dell'involuppo delle curve di assorbimento dei tre fotopigmenti dei coni.

Da qui l'effetto Purkinje

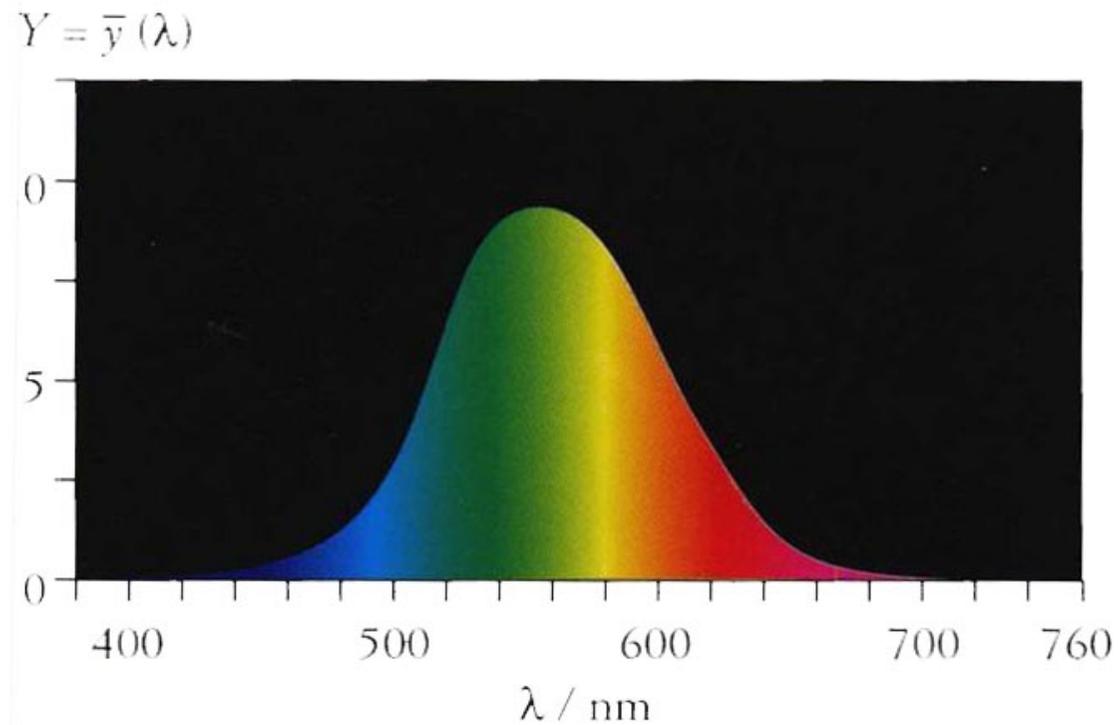


Jan Evangelist Purkinje 1787 –1869

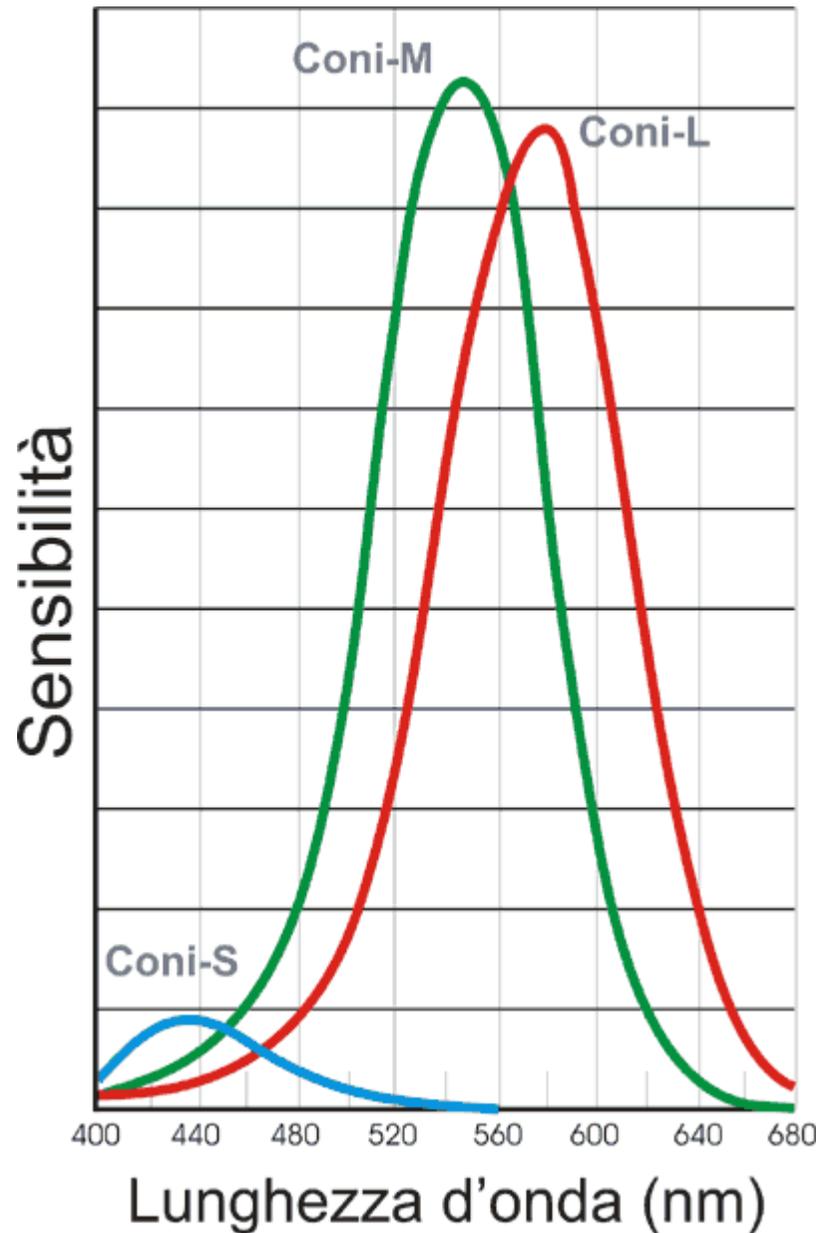


Curva di sensibilità spettrale fotopica

Luminosità percepita,
ampiezza di risposta di
insiemi di fotorecettori



La finestra del visibile come lunghezza d'onda della luce



Curve di assorbimento della luce da parte dei tre tipi di coni sperimentalmente individuati

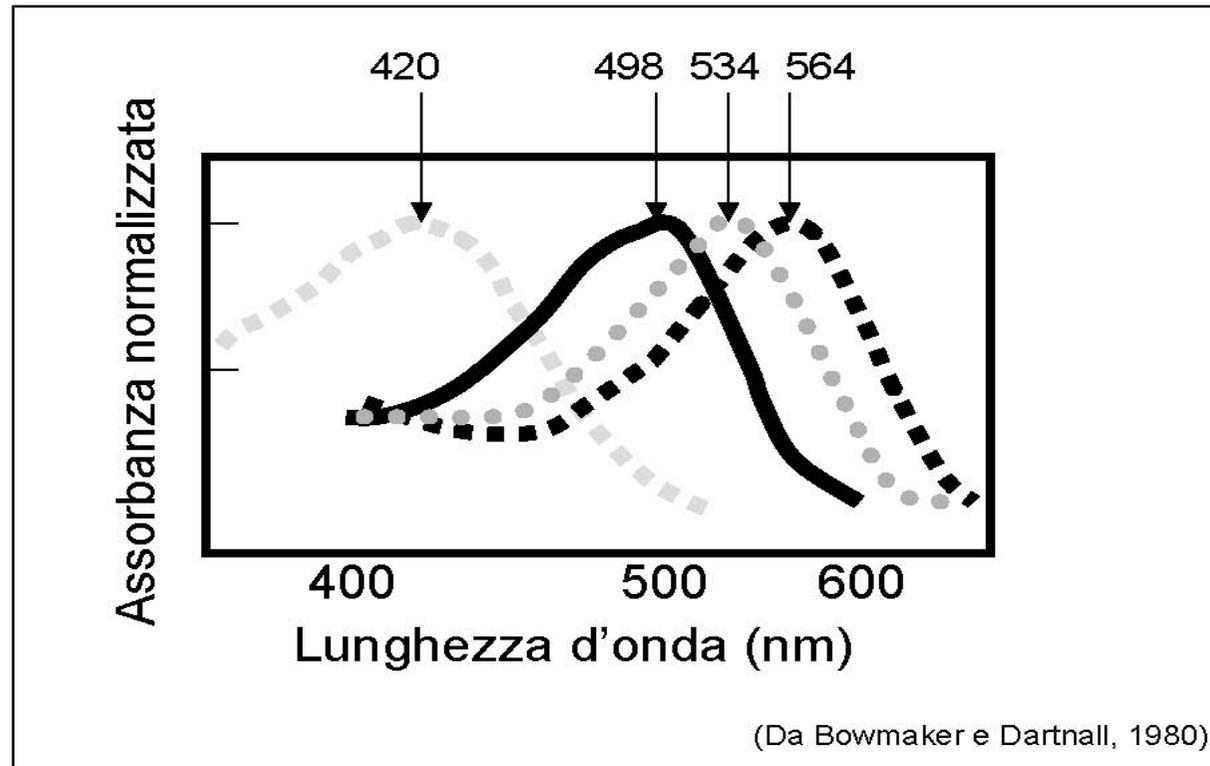


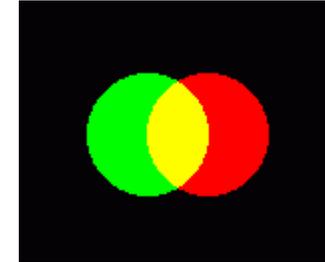
Fig. 5. Sono riportati gli spettri di assorbimento dei fotopigmenti dei coni dell'uomo (Bowmaker e Dartnall, 1980), ovvero l'assorbimento dell'energia luminosa in funzione della lunghezza d'onda della luce, qui riportata in nanometri (nm). Per ogni fotopigmento, l'energia luminosa viene preferenzialmente assorbita per determinate lunghezze d'onda della luce. Il fotopigmento dei bastoncelli, la rodopsina (curva continua) ha un massimo di assorbimento a 498 nm (lunghezza d'onda che genera la percezione del turchese). I tre fotopigmenti dei coni (curve tratteggiate) hanno un massimo di assorbimento, rispettivamente, a 420 nm (blu), 534 nm (verde), 564 nm (rosso). La presenza di tre diversi fotopigmenti nei coni è necessaria per avere una normale visione dei colori. La mancanza di un fotopigmento produce vistosi difetti nella visione dei colori,

Ogni singolo colore percepito può essere sia l'effetto di una **radiazione monocromatica** (ad esempio un'onda a banda ristretta di 700 nm in grado di generare la visione del rosso) sia l'effetto del **sommarsi in un'unica stimolazione di più radiazioni, ciascuna di lunghezza d'onda differente.**

Questa osservazione porta in primo piano un'importante caratteristica della percezione visiva, che la rende profondamente differente, ad esempio, dalla percezione uditiva.

Mentre, infatti, il sistema uditivo è in grado di discriminare, in un accordo musicale, le singole note componenti, quello visivo non è in grado di separare, in una stimolazione luminosa composta dalla mescolanza di più luci diverse, le singole frequenze componenti.

La percezione visiva è sintetica piuttosto che analitica: una luce rossa ed una luce verde che colpiscono insieme un medesimo punto della retina avranno come risultato la percezione del giallo; non vedremo né il rosso né il verde.



Ciò significa che, nel contatto della radiazione elettromagnetica con i recettori della retina, **l'informazione sulla lunghezza d'onda si perde.**

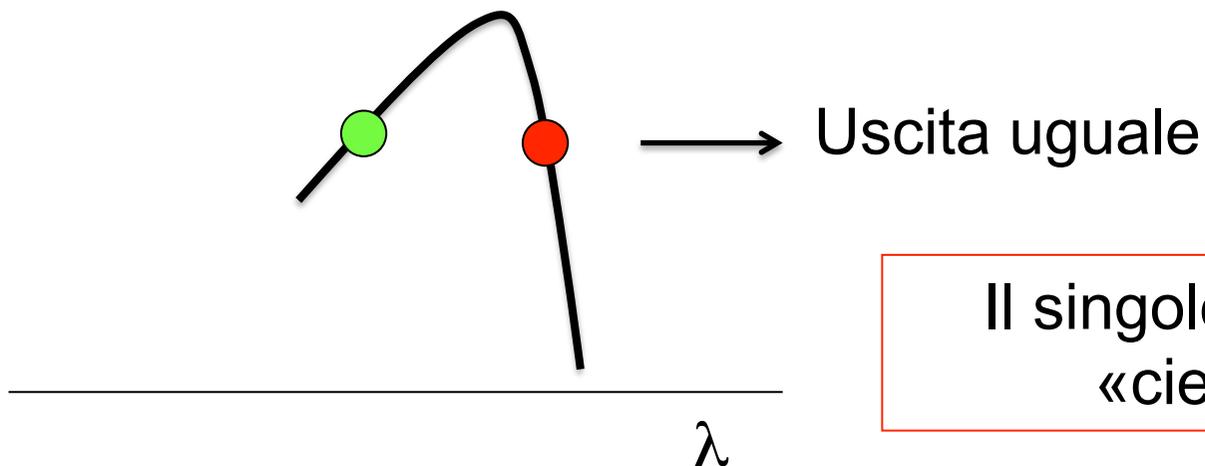
Al suo posto rimane la misura dell'eccitazione suscitata, che è proporzionale sia all'intensità della luce incidente sia alla sensibilità del recettore in quella particolare zona dello spettro a cui appartiene la radiazione che lo ha colpito.

Principio di univarianza

Per ogni fotopigmento il segnale dipende solamente dal numero di fotoni catturati, non da «quali» fotoni sono catturati.

La lunghezza d'onda del fotone determina la probabilità di assorbimento

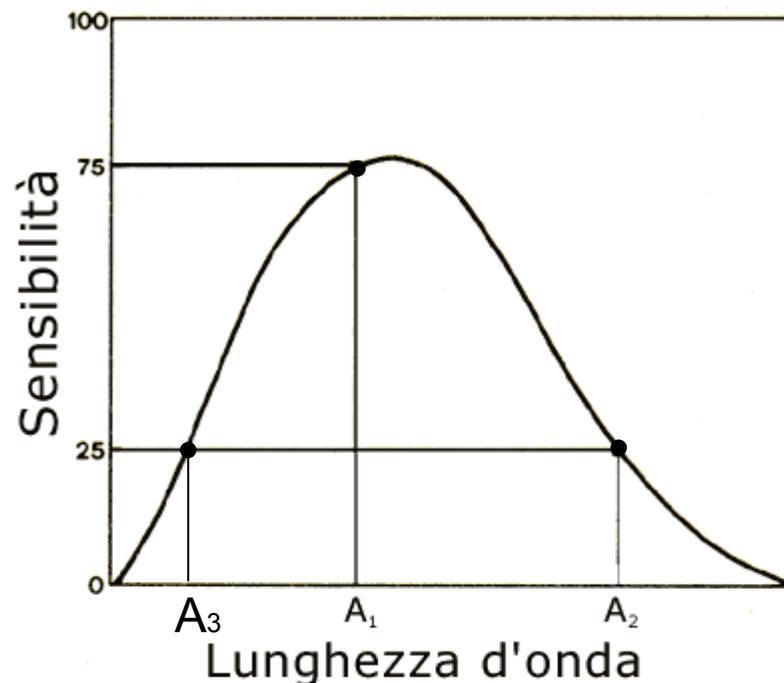
Fotoni di lunghezza d'onda diversa possono avere la stessa probabilità di assorbimento e dare quindi uno stesso segnale in uscita



Il singolo fotorecettore è «cieco» ai colori

Possiamo chiederci a questo punto: basterebbe un solo tipo di coni per spiegare la possibilità nella nostra visione di discriminare nella luce, allo stesso tempo, intensità e colori differenti?

La risposta a questa domanda è **no**. Per capire il perché occorre considerare il grafico sotto. La curva mostrata nel grafico rappresenta il differente grado di sensibilità di un unico ipotetico tipo di recettori fotosensibili, rispetto a luci monocromatiche di differente lunghezza d'onda. La radiazione monocromatica A1 ha una lunghezza d'onda corrispondente quasi alla massima sensibilità del recettore.



Le radiazioni monocromatiche A2 ed A3 hanno la medesima intensità, che è la stessa della radiazione A1, ma lunghezza d'onda differente, alla quale il recettore risulta tre volte meno sensibile, per cui l'effetto è una stimolazione tre volte meno intensa.

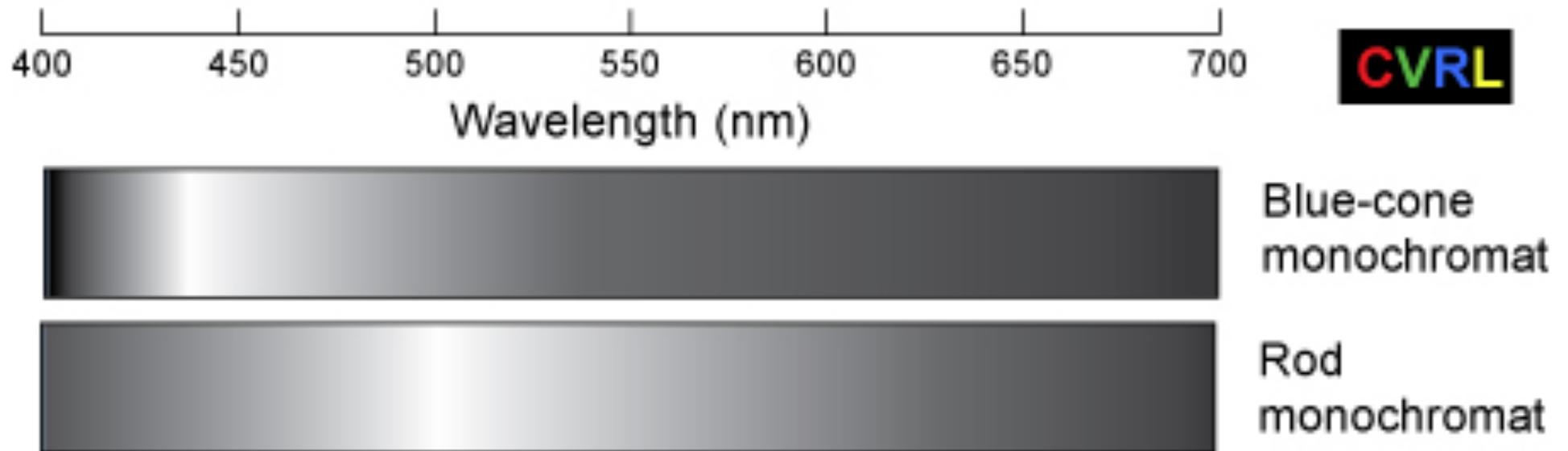
In un sistema di questo tipo **l'informazione sulla lunghezza d'onda si perde**, lasciando in sua vece **solo la segnalazione dell'intensità** dello stimolo.

Infatti A2 ed A3 daranno la stessa percezione di intensità e sarà possibile eguagliare l'intensità della percezione dipendente dalla radiazione A2 ed A3 con quella della radiazione A1 aumentando di tre volte l'intensità della radiazione A2 ed A3. In questo caso la percezione visiva suscitata da A1, A2 ed A3 sarebbe del tutto uguale; **con un simile sistema si possono percepire differenze di intensità luminosa, ma non di lunghezza d'onda. Non è possibile la discriminazione del colore**, dal momento che vedremmo come uguali due radiazioni monocromatiche dotate invece di differente lunghezza d'onda.

Questo è ciò che accade, all'incirca, nella visione scotopica dipendente dai soli bastoncelli.

Per avere **allo stesso tempo discriminazione dell'intensità luminosa e del colore** abbiamo bisogno di almeno **due** tipi differenti di recettori sensibili al colore.

Visione con un solo fotopigmento



CVRL

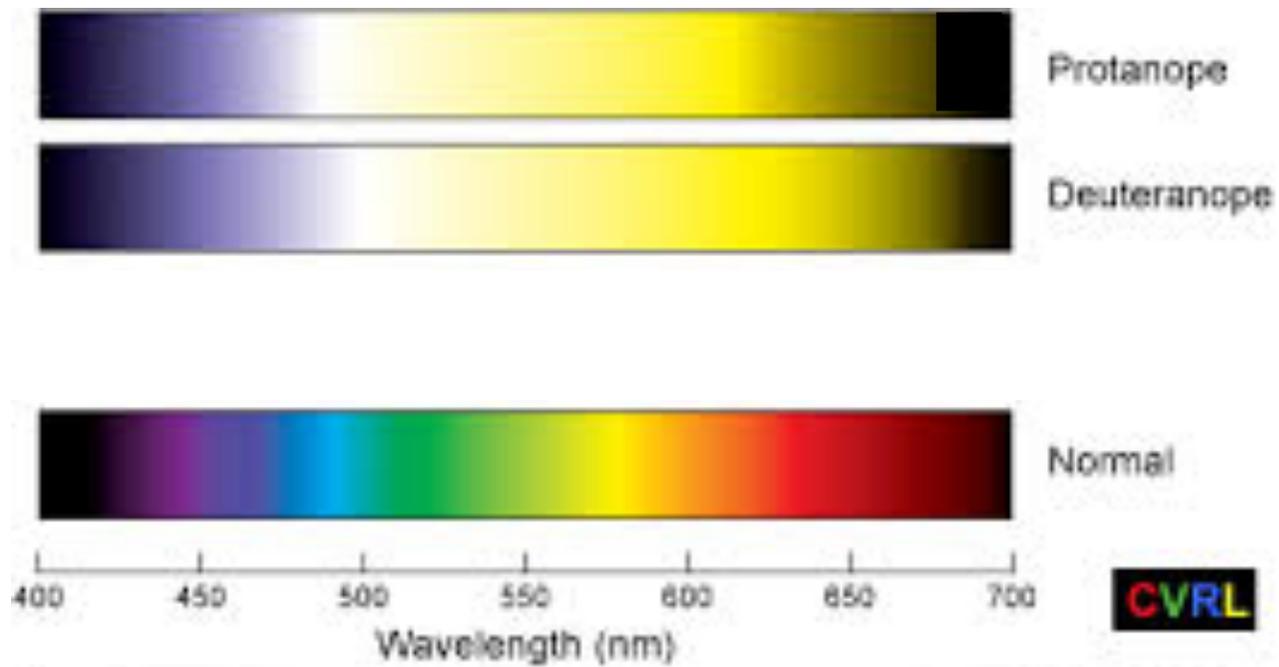
Blue-cone
monochromat

Rod
monochromat

Picco di assorbimento della rodopsina



Visione con
solo due
fotopigmenti



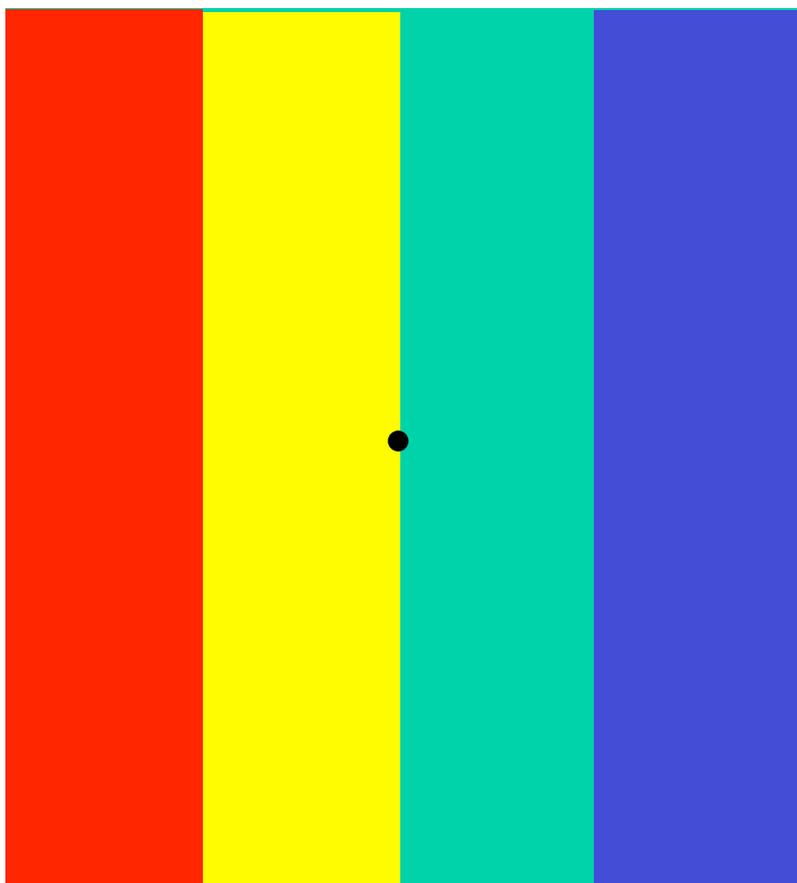
Al principio dell'800 il fisico inglese **Thomas Young** propose una teoria della visione in cui si sosteneva la presenza di tre differenti tipi di recettori, ognuno dei quali in grado di recepire un intervallo di specifiche lunghezze d'onda: dalla **combinazione dei segnali provenienti da ciascuno di essi**, risulterebbe la percezione dei colori nello spettro visibile.

Nella sua ipotesi iniziale, Young indicò come **colori primari** - cioè quelli alla base di ogni possibile combinazione - il rosso, il giallo e il blu. Successivamente modificò la sua teoria indicando come primari il **rosso, il verde e il violetto**.

Le tesi di Young furono riprese circa mezzo secolo dopo da **Hermann von Helmholtz**. Da allora la cosiddetta teoria **tricromatica** della visione, basata cioè sull'azione combinata di tre diversi tipi di recettori fotosensibili, è nota anche come **teoria di Young-Helmoltz**.

Il singolo cono è “cieco” ai colori, così come il singolo bastoncello. Per estrarre l'informazione sulla composizione spettrale della luce è necessario confrontare il segnale dei diversi tipi di cono. Questo viene fatto a livelli successivi dell'elaborazione dell'informazione lungo le vie visive.

Adattamento a diverse lunghezze d'onda: post-immagini colorate



Complementary after-images



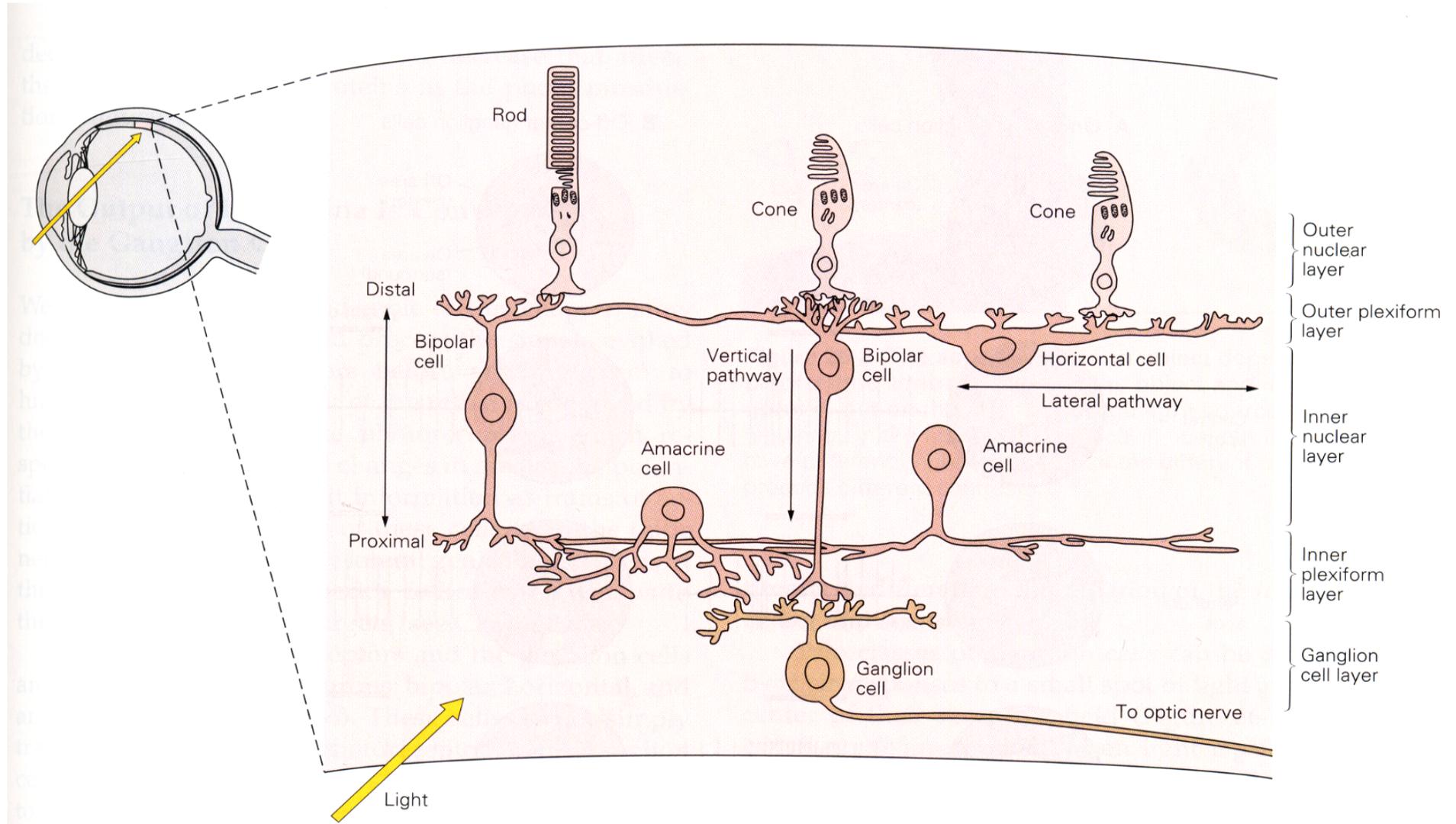
Complementary after-images



Complementary after-images

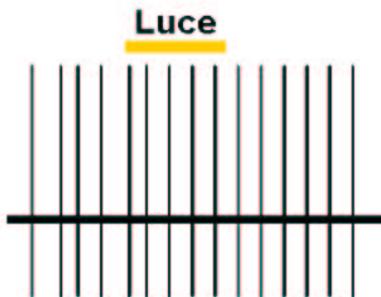
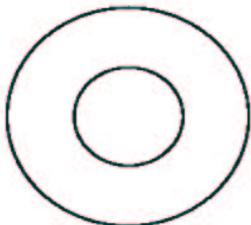
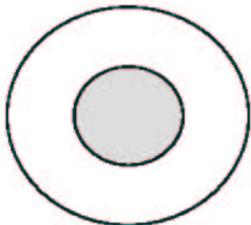
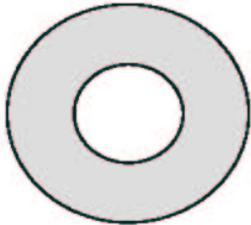
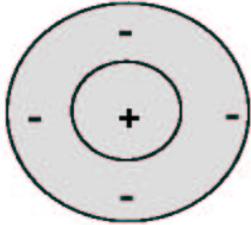


Elaborare il segnale dei fotorecettori

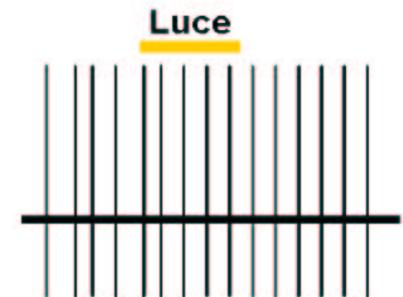
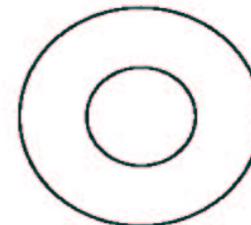
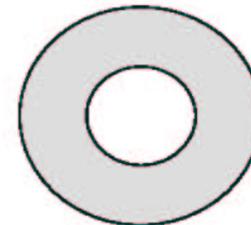
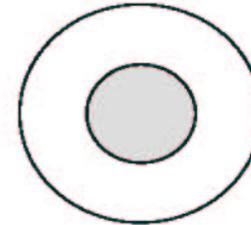
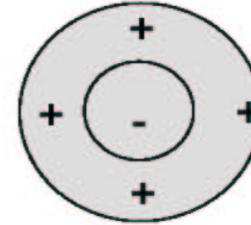


Campi recettivi delle cellule gangliari

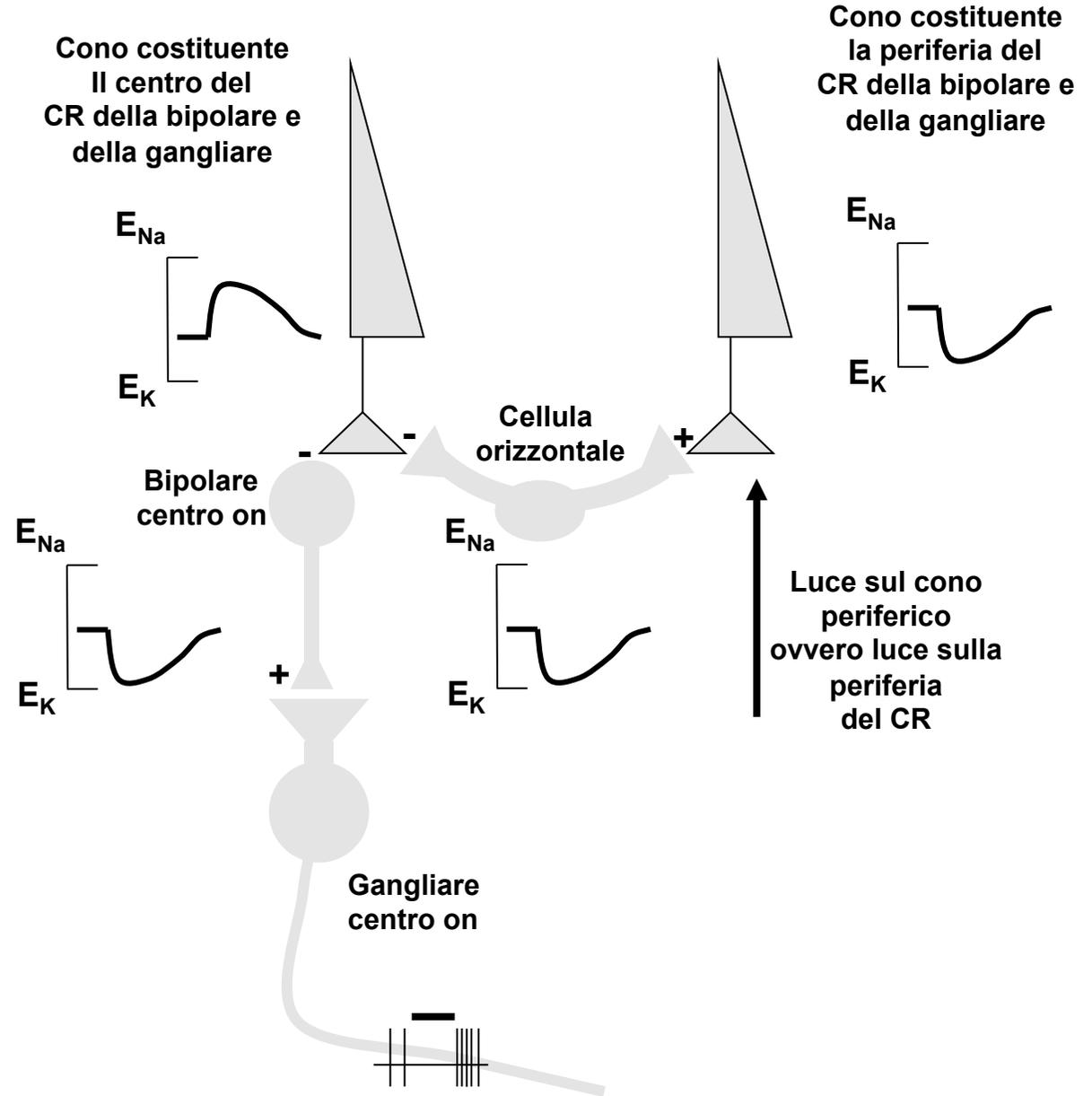
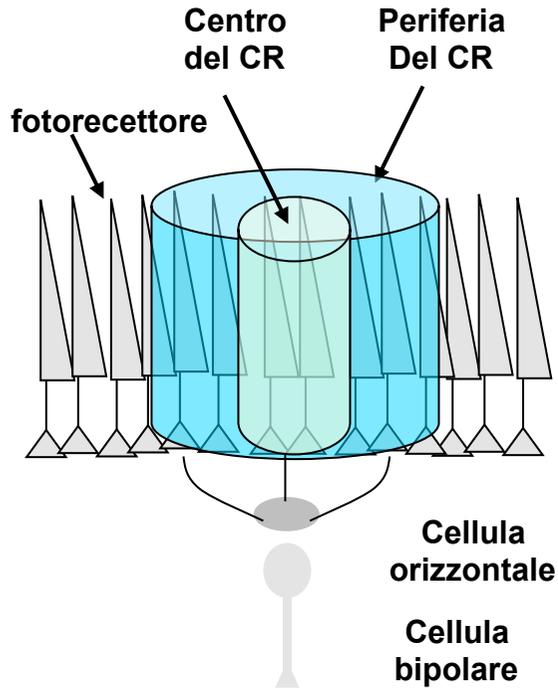
Cellula centro ON

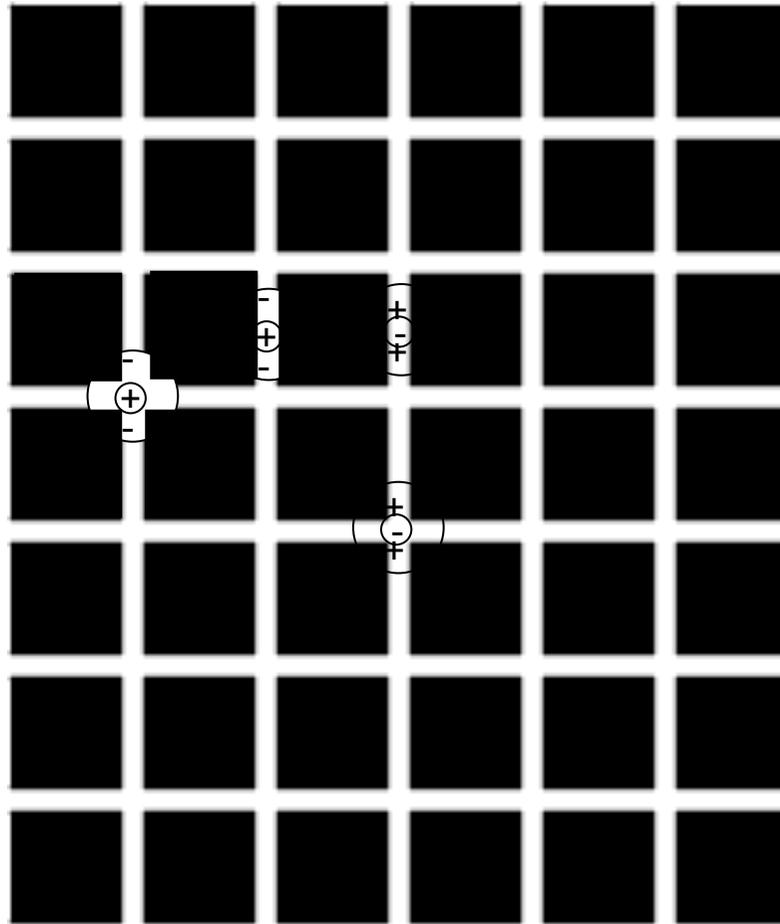


Cellula centro OFF

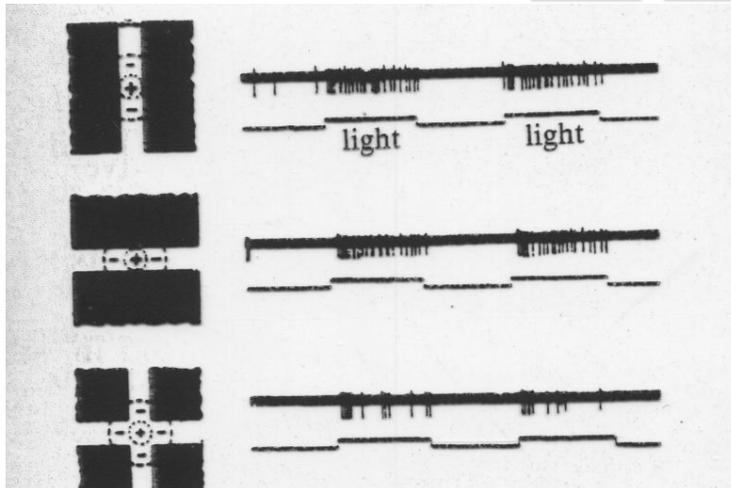


Come si genera l'opponenza della periferia del campo recettivo





Griglia di Hermann



Cellule con campo recettivo opponente per il colore

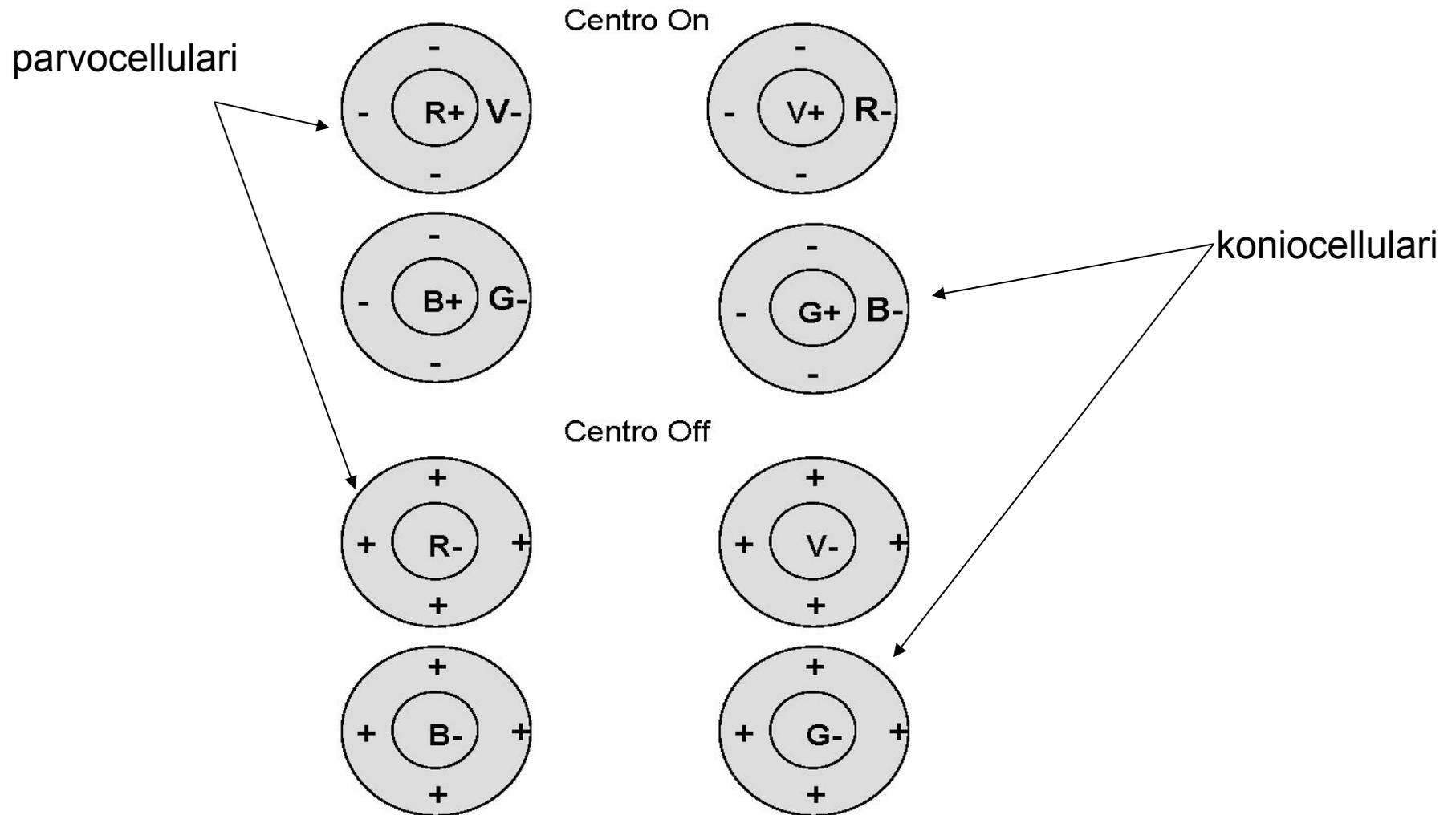
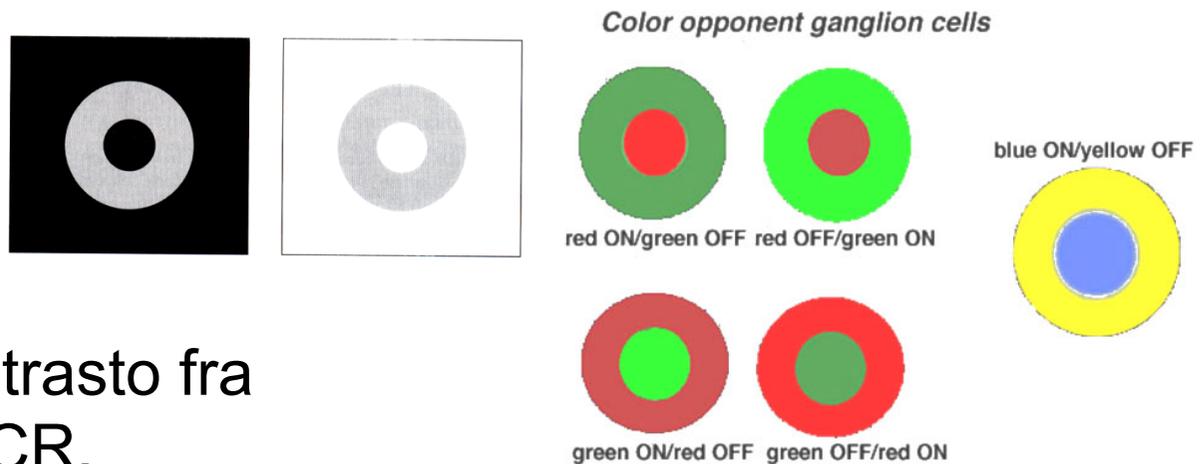


Fig. 9. Esempi di campi recettivi di cellule gangliari retiniche di tipo Koniocellulare (cellule K) e Parvocellulare (cellule P), le uniche ad avere un CR opponente per il colore. Lo schema è fatto separatamente per le cellule centro On e Centro Off. E' solo attraverso l'esistenza delle (P e K), che combinano, in maniera opponente, l'uscita di coni il cui fotopigmento assorbe su lunghezze d'onda diverse, che è possibile la visione dei colori. In assenza di tali cellule, la visione dei colori si perde completamente.

Cellule gangliari



-Sono rivelatori di contrasto fra centro e periferia del CR.

- Sono centro-on oppure centro-off, permettendo l'analisi di cambi veloci di luminosità del centro rispetto alla periferia sia a diminuire che ad aumentare.

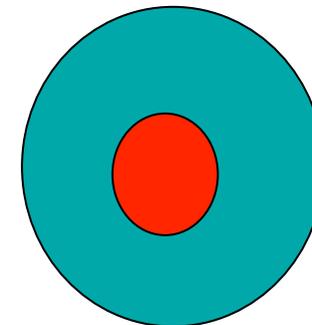
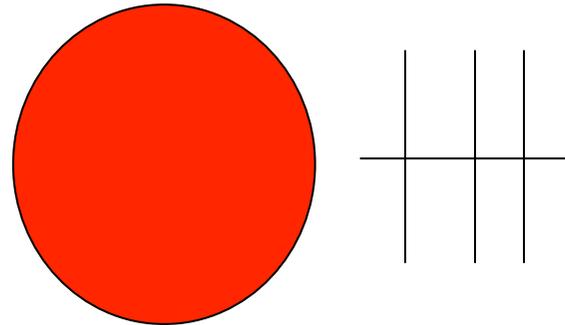
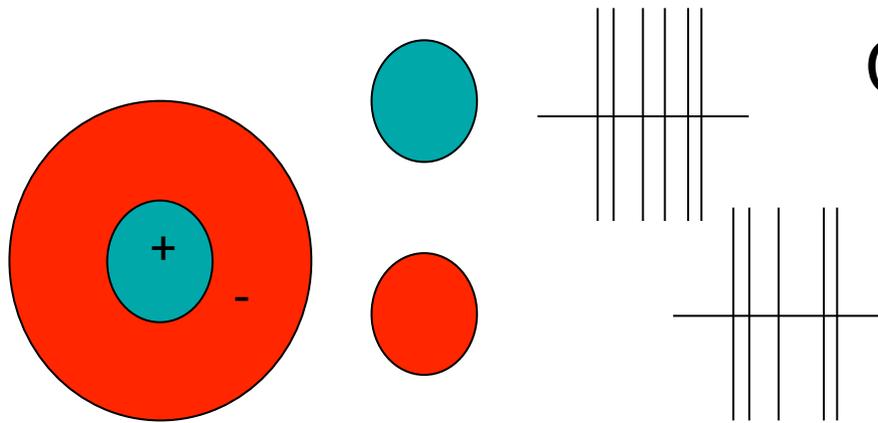
Sono di tipo **M** (magnocellulari, grandi, grandi campi recettivi, risoluzione spaziale bassa, risposta veloce, non discriminano i colori)

-**P** (parvocellulari, piccole, campi recettivi piccoli, forte periferia opponente, risoluzione spaziale alta per contrasto di luminosità, opponenza cromatica rosso-verde, R/G)

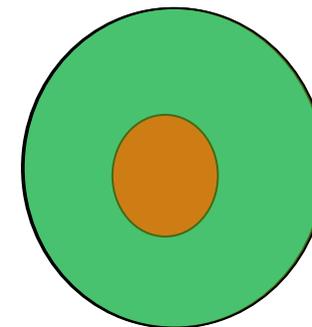
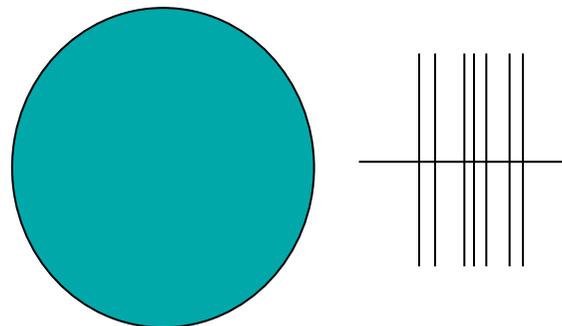
-**K** (koniocellulari, specializzate nell'analisi del contrasto giallo-blu, B/Y).

Campi recettivi cromatici “con opposenza semplice”

Non elimina lunghezze d'onda
comuni a sfondo e centro
(‘dominante’)



Trasmettono un
segnale misto di
contrasto di
luminanza per stimoli
“piccoli” rispetto al
centro del RF e di
colore per stimoli
“grandi”



La retina opera un filtraggio dell'informazione che elimina alcune informazioni (luminanza costante nello spazio o nel tempo) e ne esalta altre (contrasto di luminosità).

La retina invia i differenti tipi di informazione estratti alle strutture visive successive attraverso canali PARALLELI:

Cellule gangliari centro ON e centro OFF

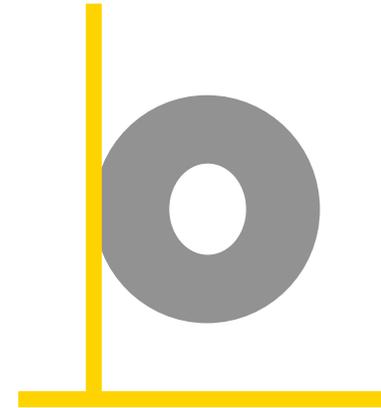
Cellule gangliari Magno- (contrasto di luminosità per stimoli grandi, movimento), Parvo- e Konio- (segnale cromatico, segnale di contrasto di luminosità per stimoli piccoli) cellulari

Cellule gangliari con campi recettivi piccoli (acuità visiva) o grandi

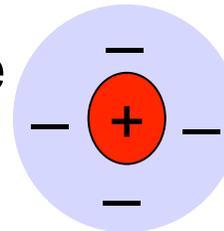
Cellule gangliari fotorecetrici

Informazioni NON estratte a livello retinico:

Orientamento di un bordo di contrasto

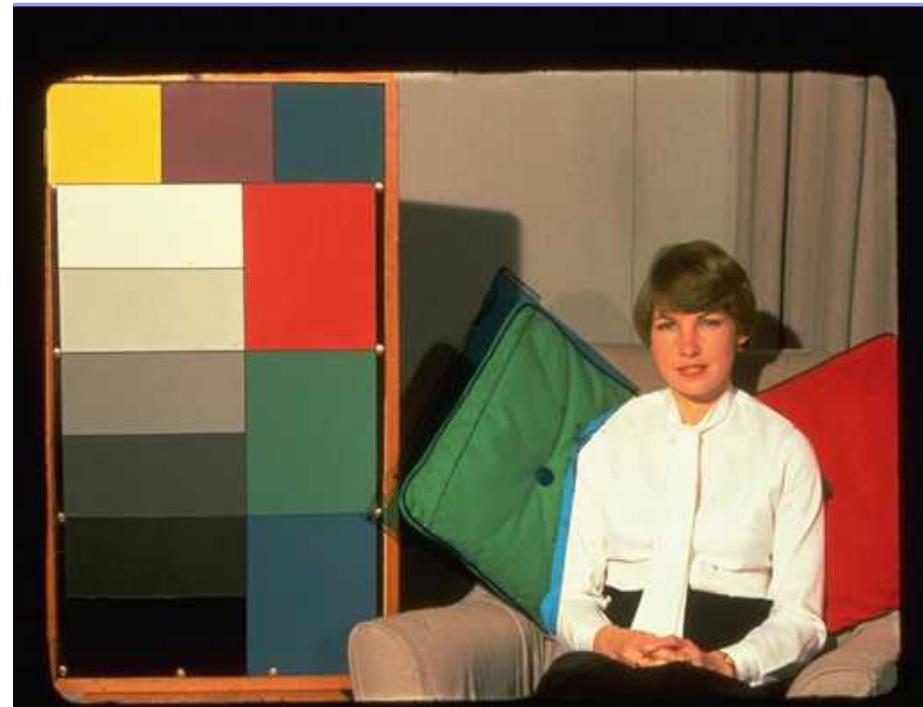


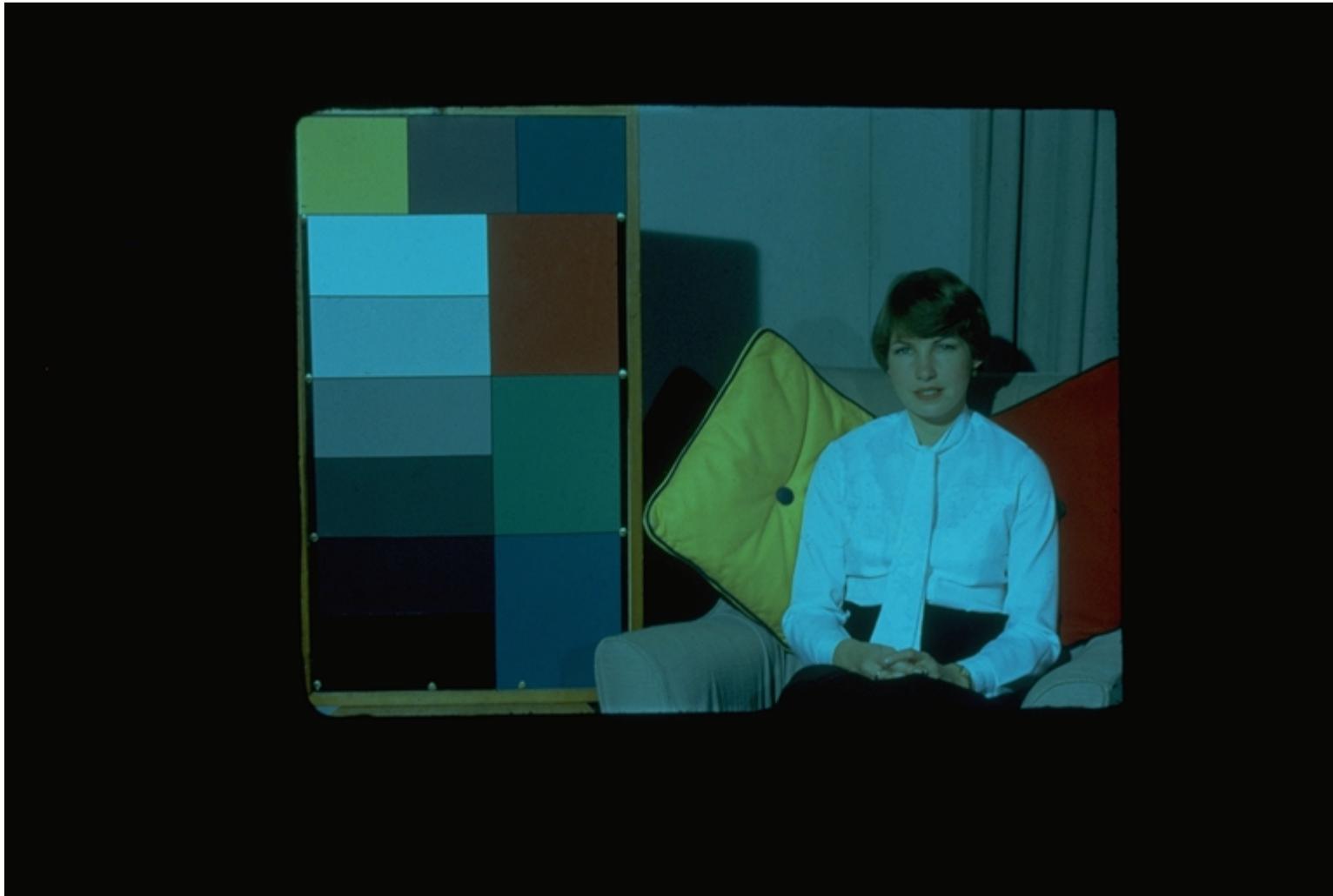
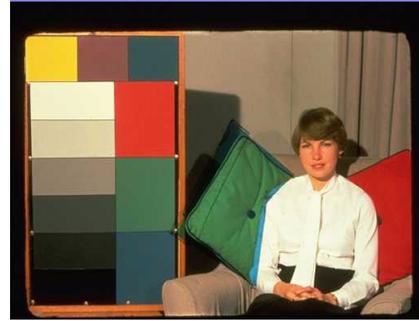
Contrasto cromatico
Indipendente dalla dominante



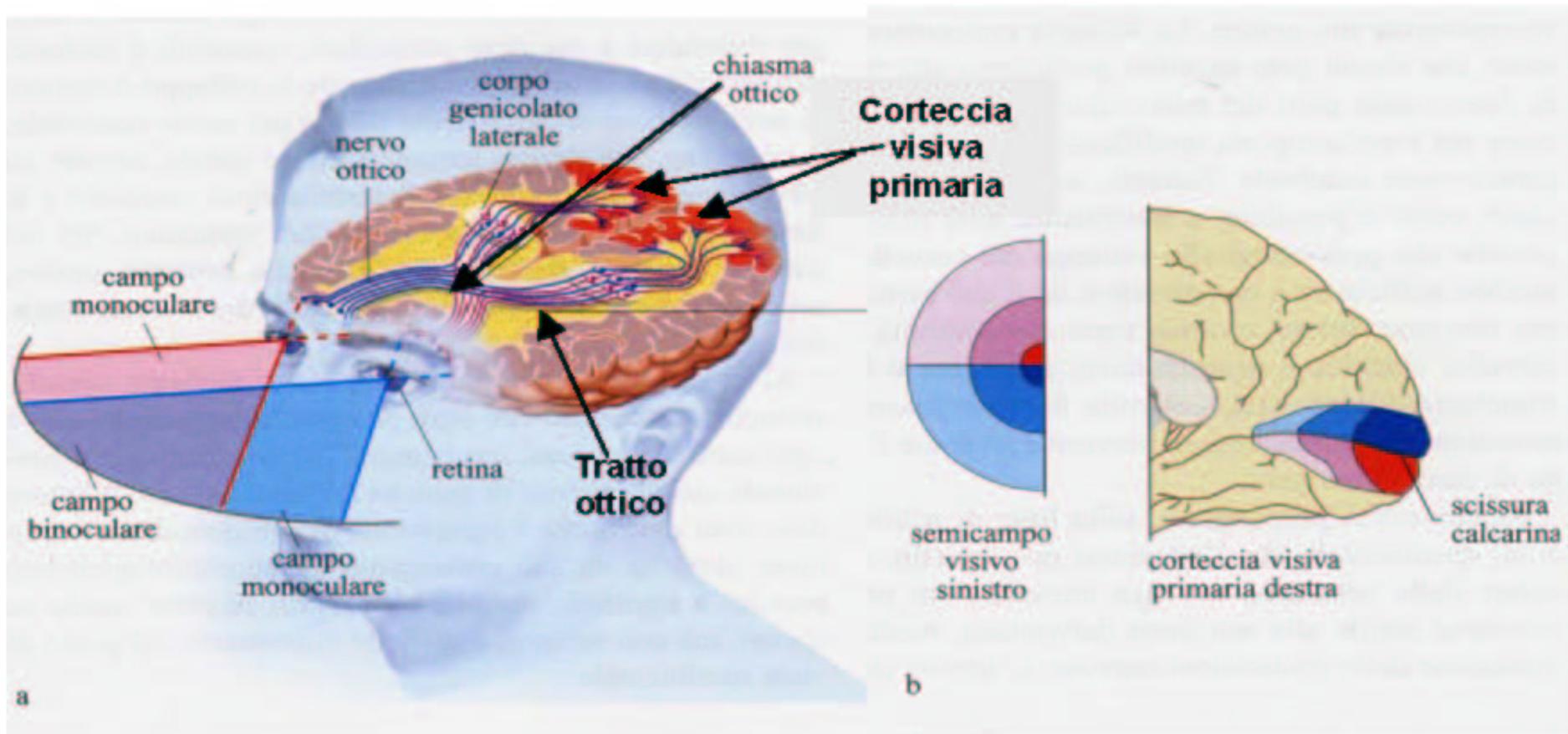
Interazioni binoculari

La costanza del colore non è spiegabile in base alle cellule della retina

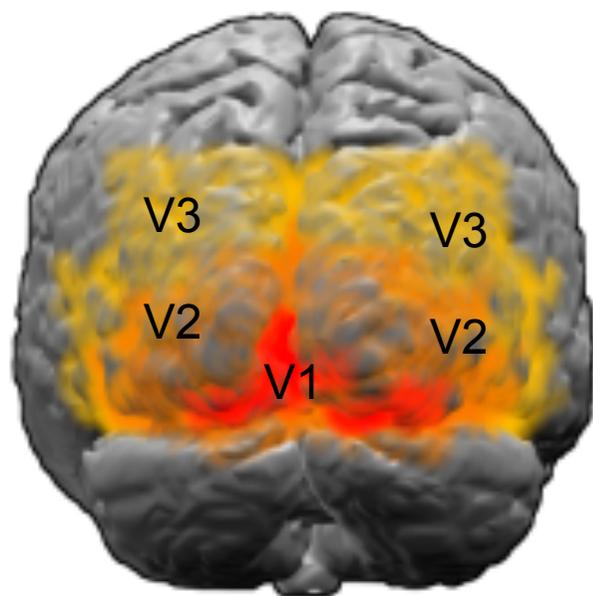




Le vie visive

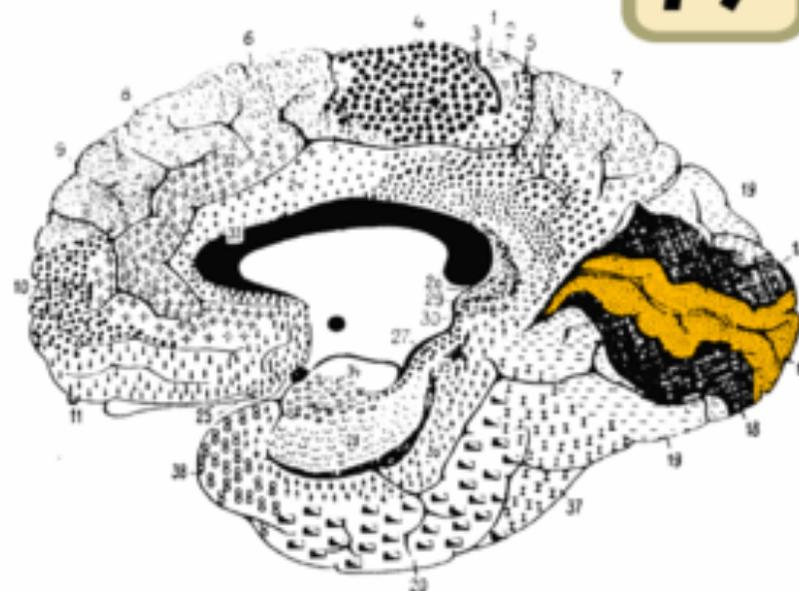


Corteccia visiva primaria (V1)



17

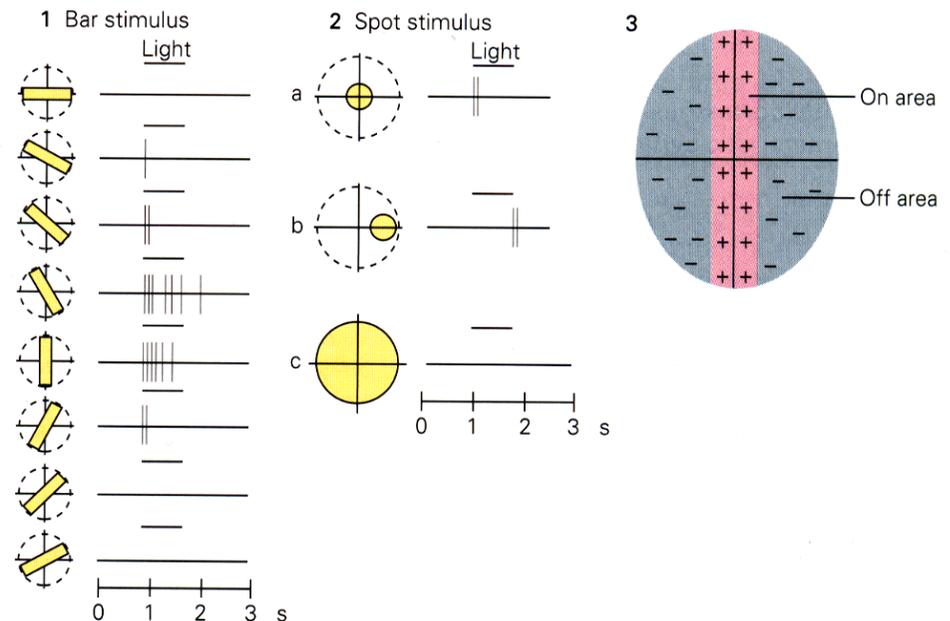
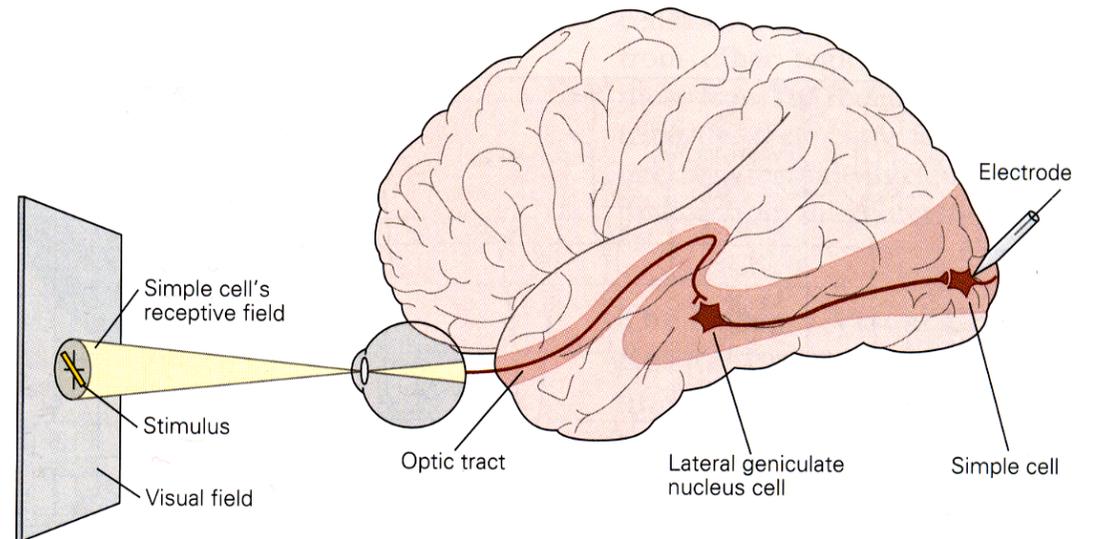
V1, corteccia striata, area 17



Campi recettivi delle cellule corticali

Le cellule corticali visive sono selettive per l'orientamento dello stimolo.

Le cellule corticali visive sono anche binoculari, con diversa ampiezza di risposta a ciascun occhio (dominanza oculare) e selettive per la direzione di movimento di uno stimolo.



Neuroni con campi recettivi nella stessa zona di campo visivo, che hanno la stessa dominanza oculare e che hanno lo stesso asse di orientamento si raggruppano in una ideale colonna che va dalla superficie piaie alla sostanza bianca, occupando tutto lo spessore della corteccia visiva.

Colonne che contengono cellule che preferiscono orientamenti e dominanze oculari progressivamente diversi si susseguono nello spazio della corteccia.

C'è quindi una architettura modulare nella corteccia visiva, con il modulo base che prende il nome di ipercolonna.

Questo modulo è in grado di estrarre dalla zona di campo visivo campionata, che è pari alle dimensioni medie dei campi recettivi delle cellule nell'ipercolonna, informazioni relative all'orientamento dei bordi orientati di contrasto locale di un oggetto, quindi ai suoi contorni, alla locale disparità retinica, al locale contrasto cromatico.

Questi sono tutti i fattori necessari per ricostruire la porzione dell'immagine visiva in quella zona.

L'ipercolonna successiva svolgerà le stesse operazioni su una zona dell'immagine leggermente diversa e così la successiva.

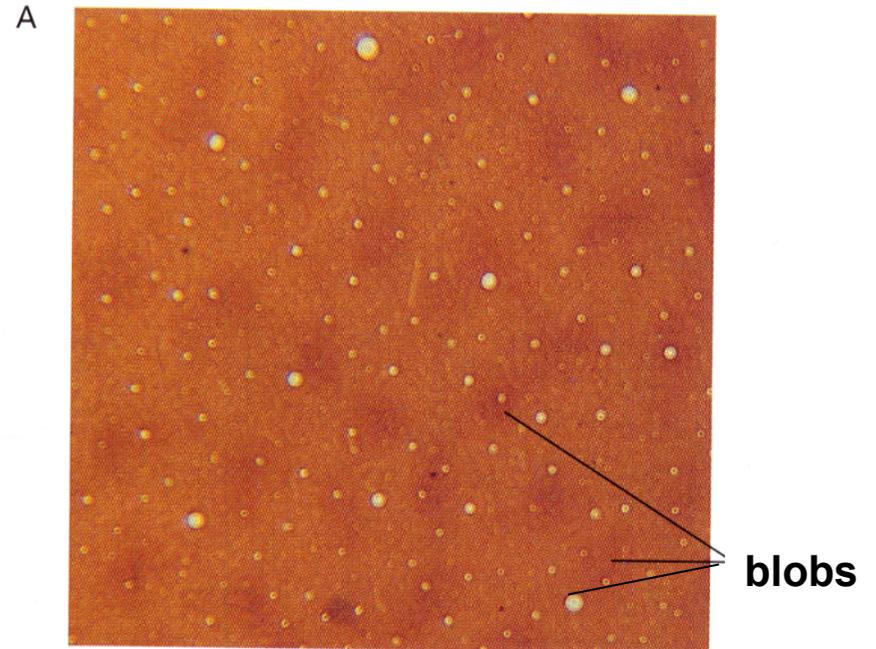
Vediamo meglio come si inserisce nell'ipercolonna corticale l'analisi dell'informazione di colore proveniente dal LGN.

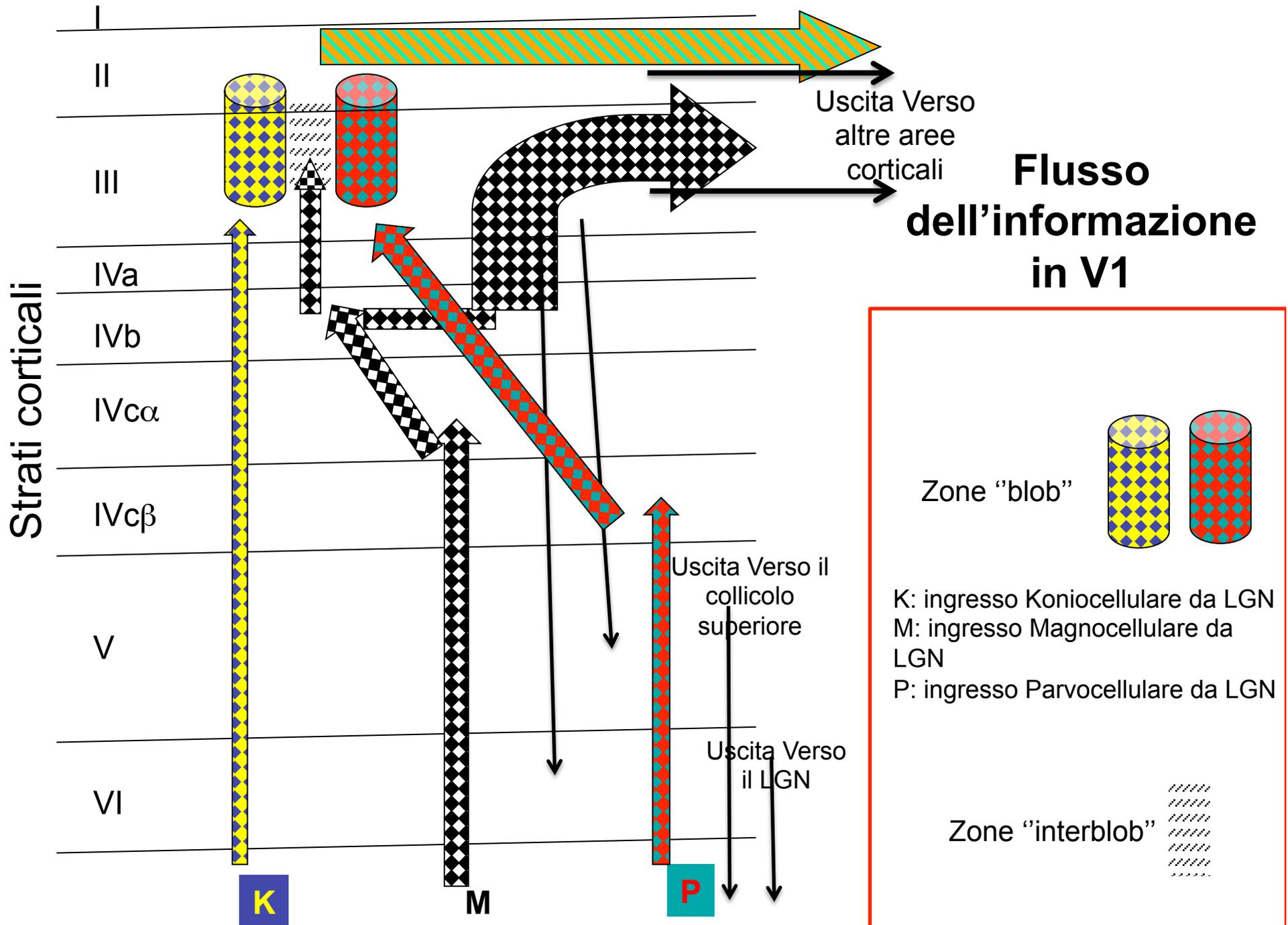
Organizzazione modulare della corteccia visiva: le mappe dei “blobs”

La mappa della opponenza cromatica

La marcatura per la presenza di un enzima, la citocromo ossidasi, ha rivelato che la corteccia visiva contiene, per ogni ipercolonna, piccole aree costituite da cellule con attività metabolica particolare, rivelabili con la colorazione per la citocromo ossidasi, appunto, dette “blobs”.

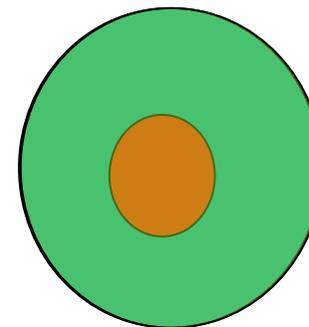
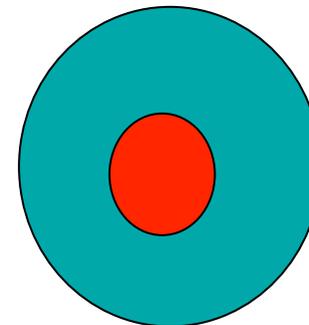
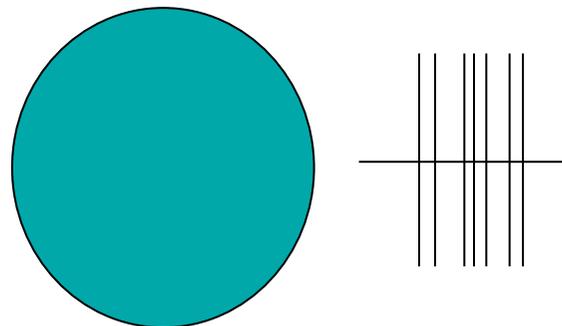
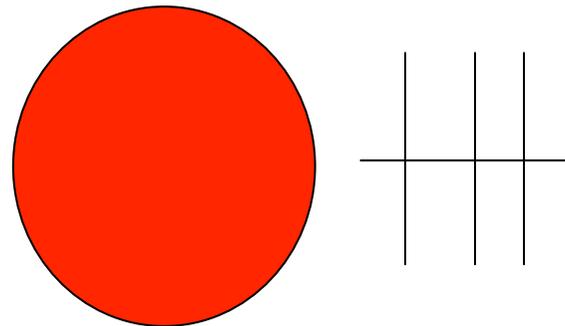
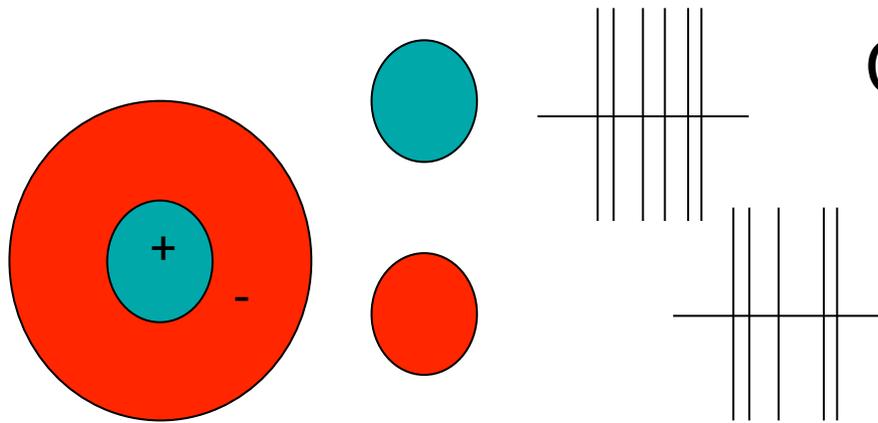
Le cellule dei “blobs” sono coinvolte nel riconoscimento dei colori (dimostrato da esperimenti di elettrofisiologia).





Campi recettivi cromatici in V1: "opponenza semplice"

Non elimina lunghezze d'onda comuni a sfondo e centro (no "costanza del colore")

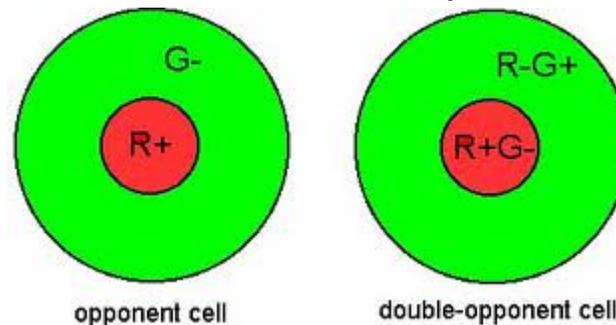


Trasmettono un segnale misto di contrasto di luminanza per stimoli "piccoli" rispetto al centro del RF e di colore per stimoli "grandi"

Nel primate esistono in V1 delle cellule dette doppiamente oppponenti per il colore

Queste cellule sono fuori dello strato IV. Nello strato $IV\beta$, ingresso delle cellule P, i neuroni hanno campi recettivi con opponenza semplice per le lunghezze d'onda, come nella retina e nel LGN. Esse estraggono quindi un segnale di colore per stimoli che coprono l'intero RF ed un segnale di contrasto di luminanza per stimoli a grana più fine.

Negli strati II e III alcune cellule rispondono a variazioni di colore tra zone diverse del RF. Alcune hanno un RF doppiamente oppponente per il colore (indipendenza dalla dominante, costanza del colore).



Cosa siamo in grado di “vedere” con le cellule di V1?

La V1 ci consente la visione dell'orientamento locale di bordi di contrasto

La visione del contrasto “orientato” locale su scale diverse

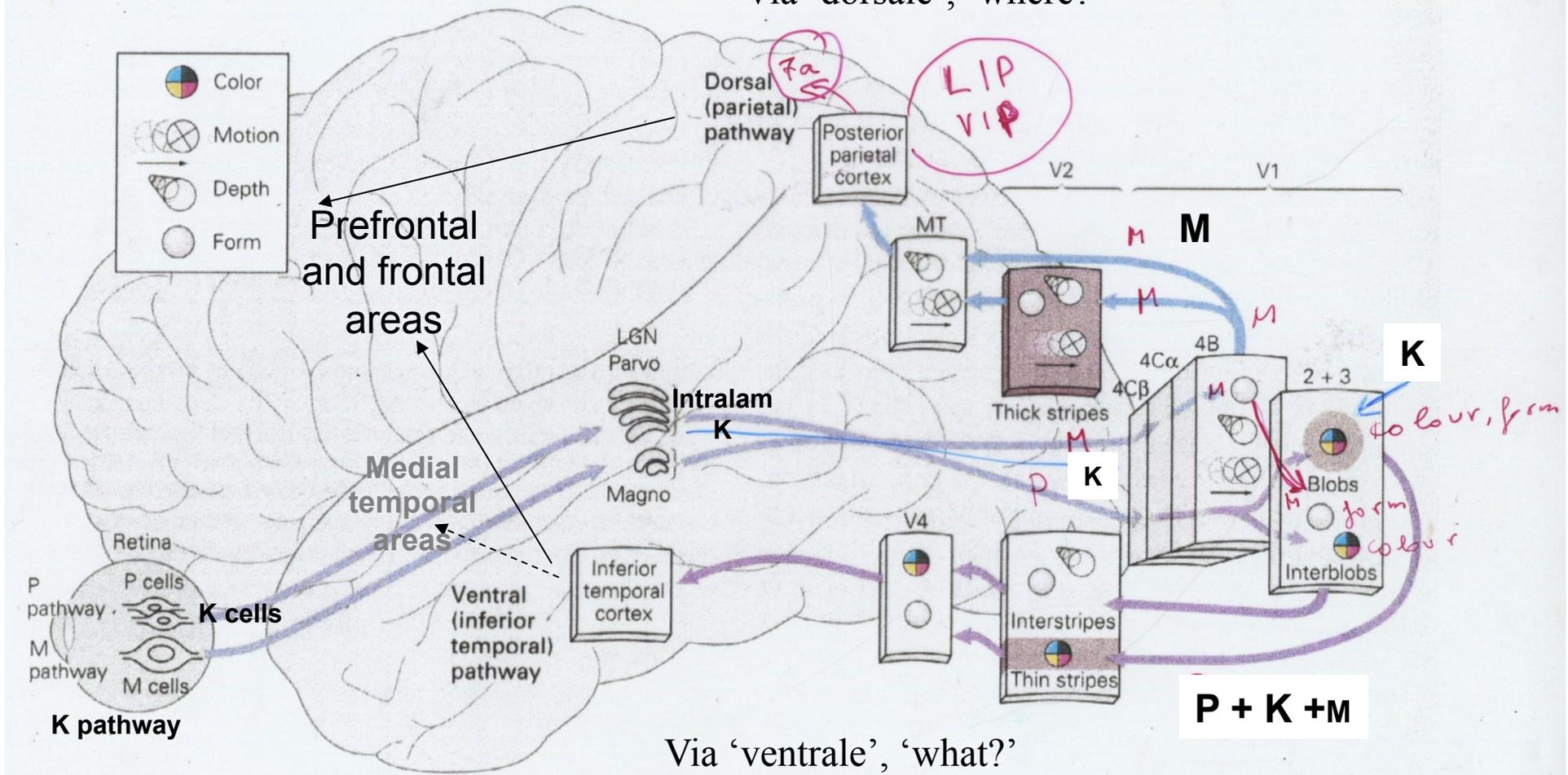
La visione locale del contrasto cromatico

La percezione locale della disparità retinica, necessaria per la visione binoculare in 3D

Oltre la corteccia visiva primaria (V1)

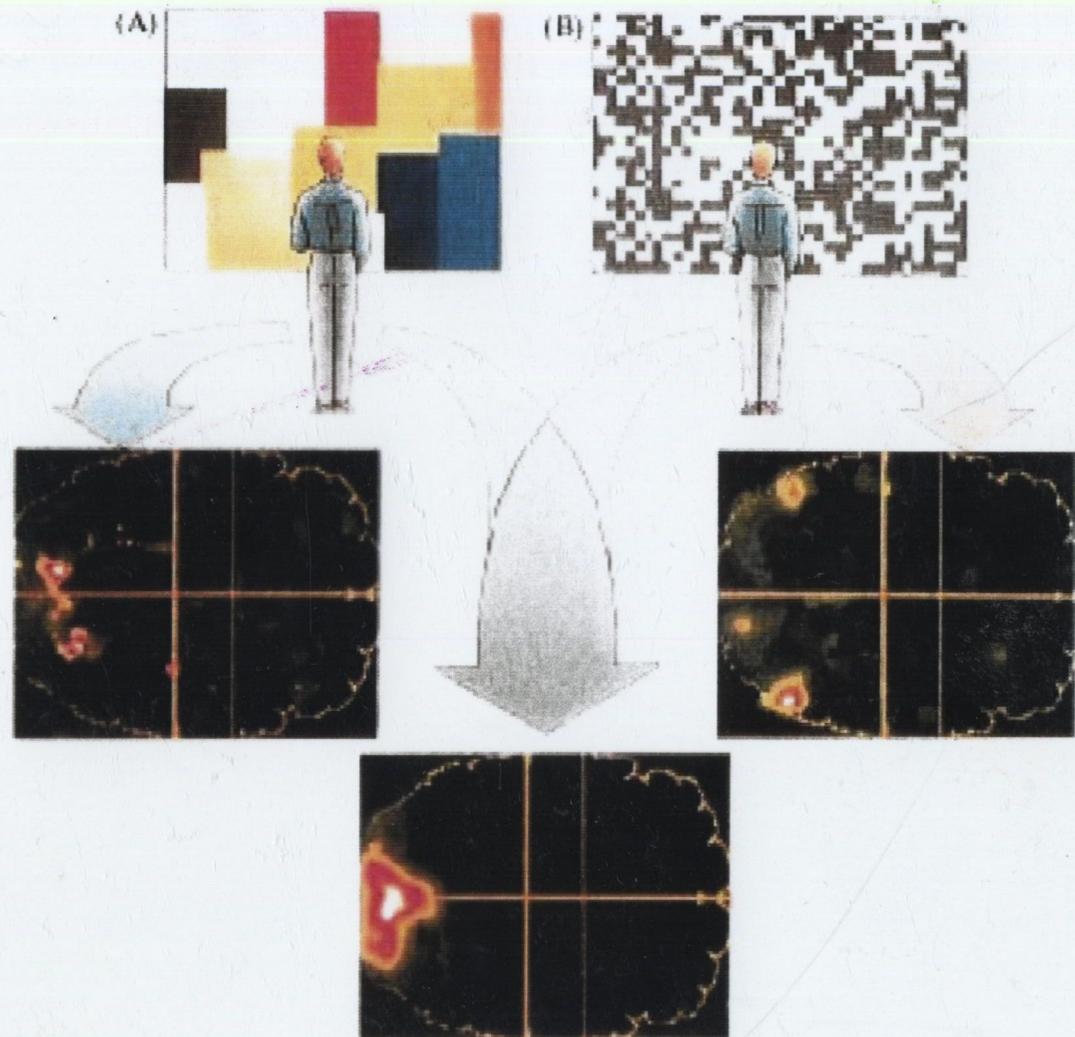
Riepilogo dell'analisi in parallelo di movimento, colore, tridimensionalità e forma nelle aree visive superiori.

Via 'dorsale', 'where?'



Oltre la corteccia visiva primaria (V1)

Aree visive superiori diverse si attivano per stimoli diversi, colore e stereogrammi attivano entrambi la V1 ma selettivamente il colore attiva la V4 mentre lo stereogramma attiva l'area medio-temporale (MT).



9 feki = V_4

Oltre la corteccia visiva primaria (V1)

La percezione del colore

l'acromatopsia corticale

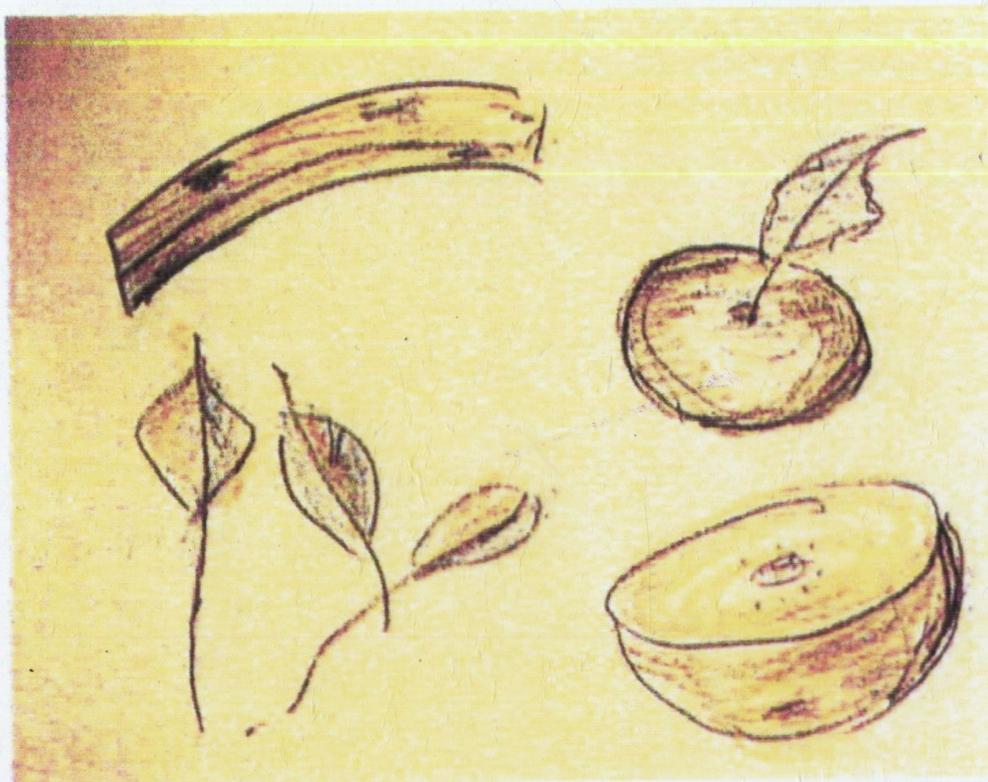
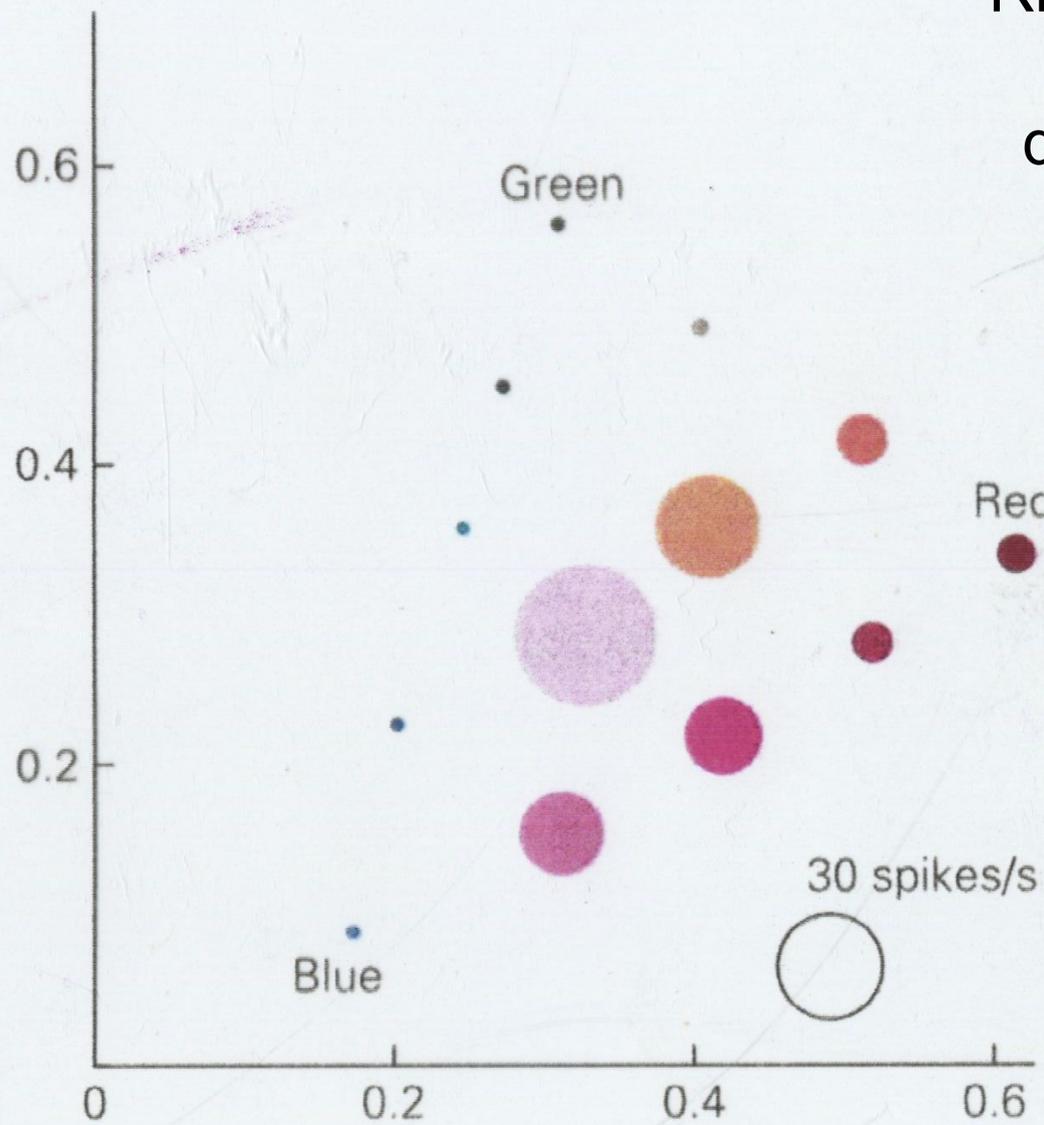


Figura 10.13

Questo disegno di una banana, un pomodoro, alcune foglie e una zucca, eseguito a memoria da un paziente pittore affetto da acromatopsia corticale, mostra come egli abbia conservato la visione delle forme, ma perso quella del colore. (da Zeki, 1993).

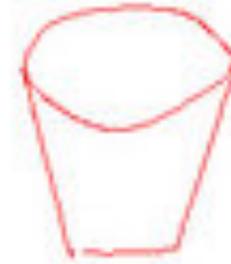
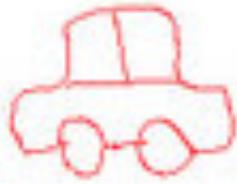
B Color selectivity



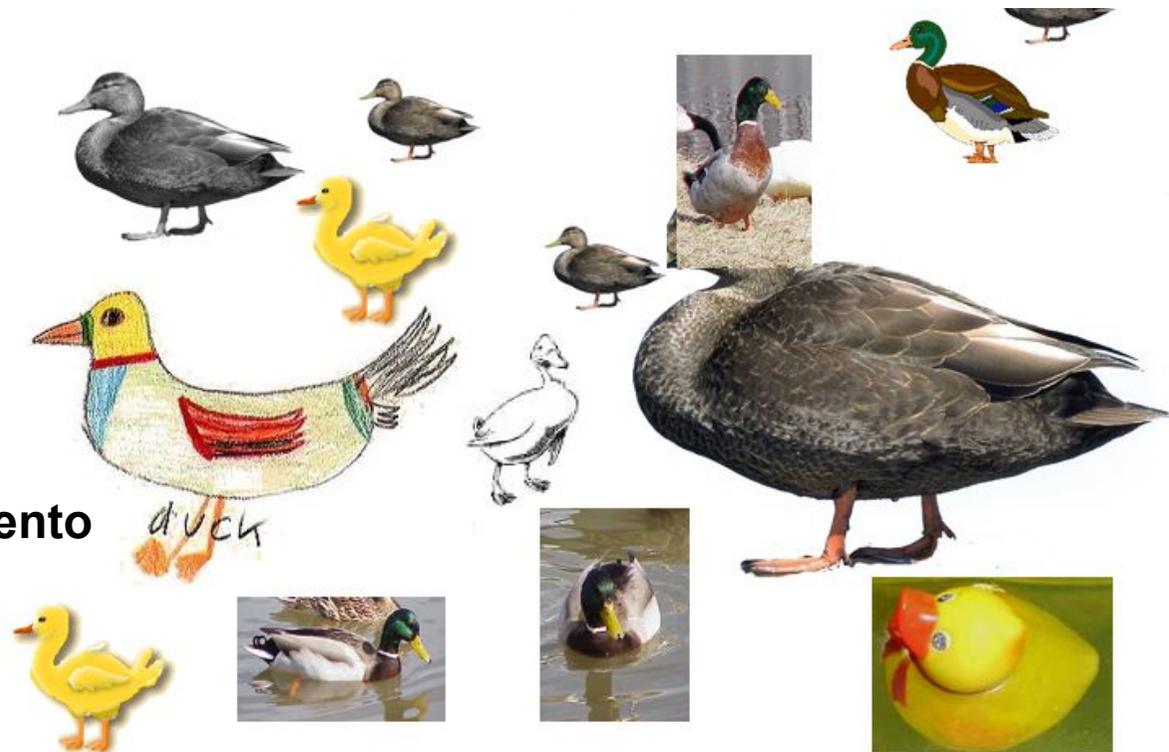
Risposta di neuroni nelle aree inferotemporali a stimoli di diverse lunghezze d'onda e saturazione

La percezione delle forme ed il riconoscimento degli oggetti

B



Il potere del segno



L'invarianza del riconoscimento

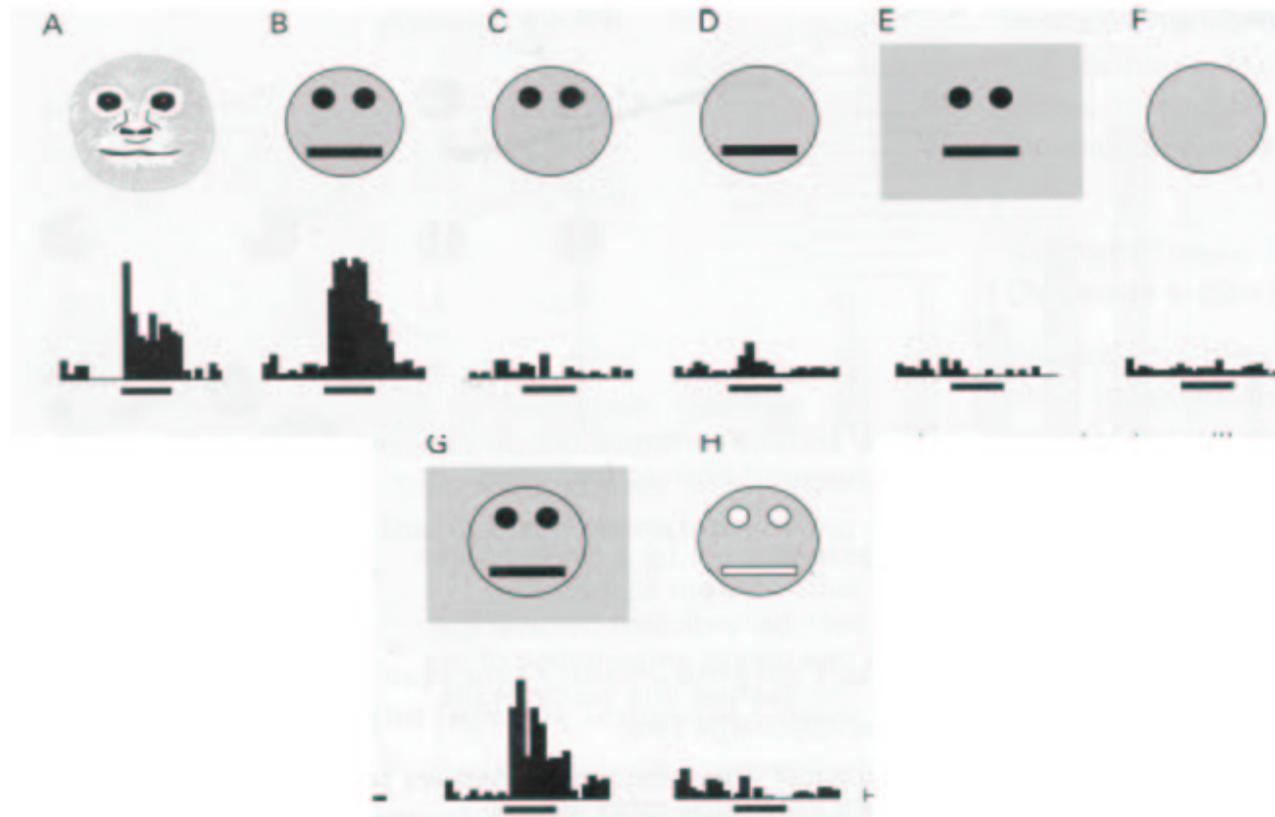


Fig. 15. I neuroni nella corteccia inferotemporale rispondono alla presentazione di stimoli complessi. Il neurone mostrato in figura, registrato in una scimmia, risponde vigorosamente (istogramma sotto lo stimolo) alla presentazione di un giocattolo con la forma della faccia di una scimmia (A). Le caratteristiche che determinano la risposta sono la presenza di due punti neri e di una barra nera in configurazione "tipo faccia", come si vede dalla risposta altrettanto vigorosa data allo stimolo in (B). La barra, i punti e il contorno circolare devono essere tutti presenti, come si vede dalla mancanza di risposta agli stimoli (C, D, E ed F). Il contrasto fra l'interno e l'esterno del contorno non è essenziale (vedi risposta allo stimolo G) ma i punti e la barra devono essere più scuri del "viso" (vedi H). Modificato da Kobatake e Tanaka, 1994.

A cosa serve il colore?

Segregazione figura-sfondo
Colour 'pops out'



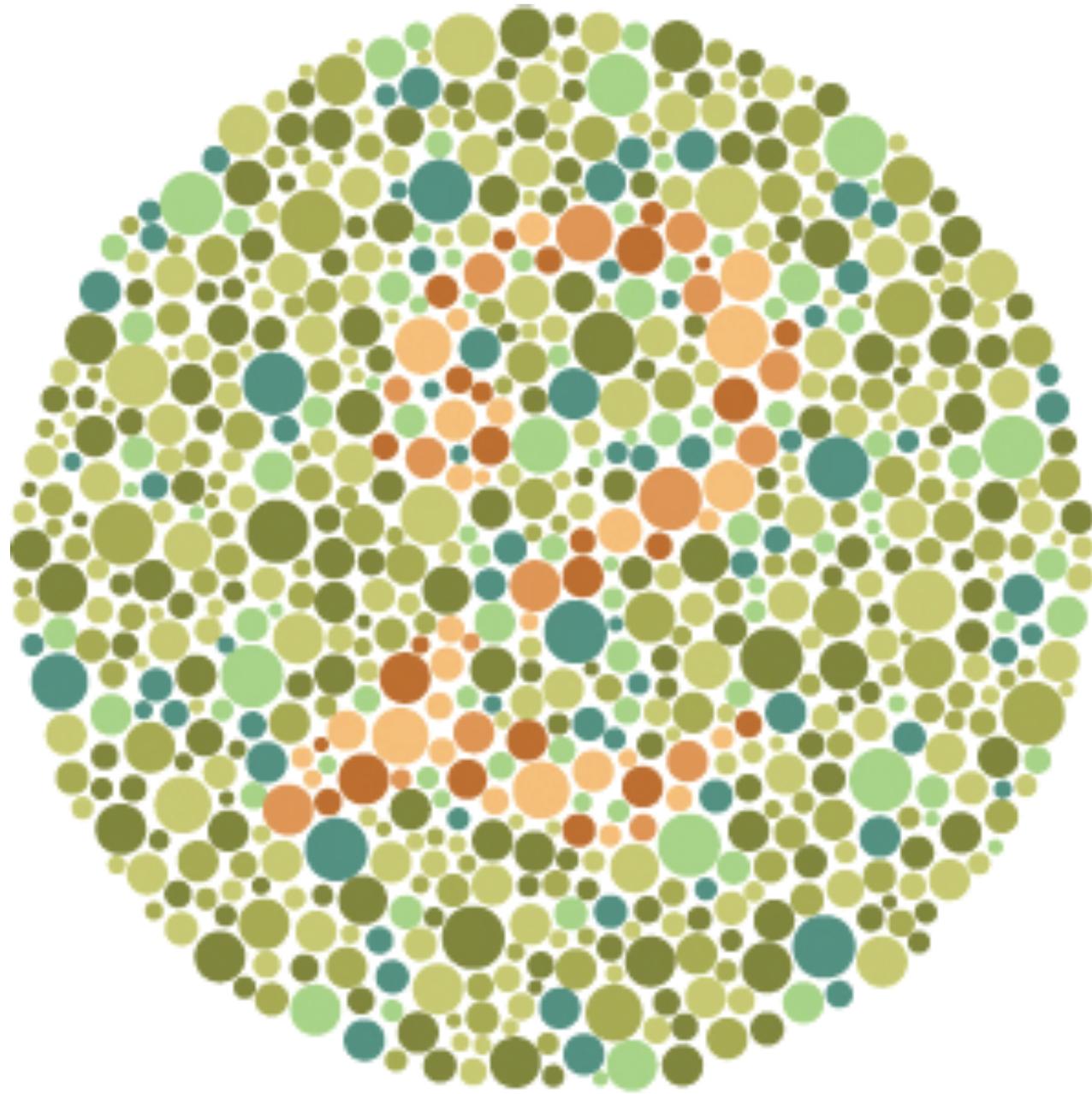


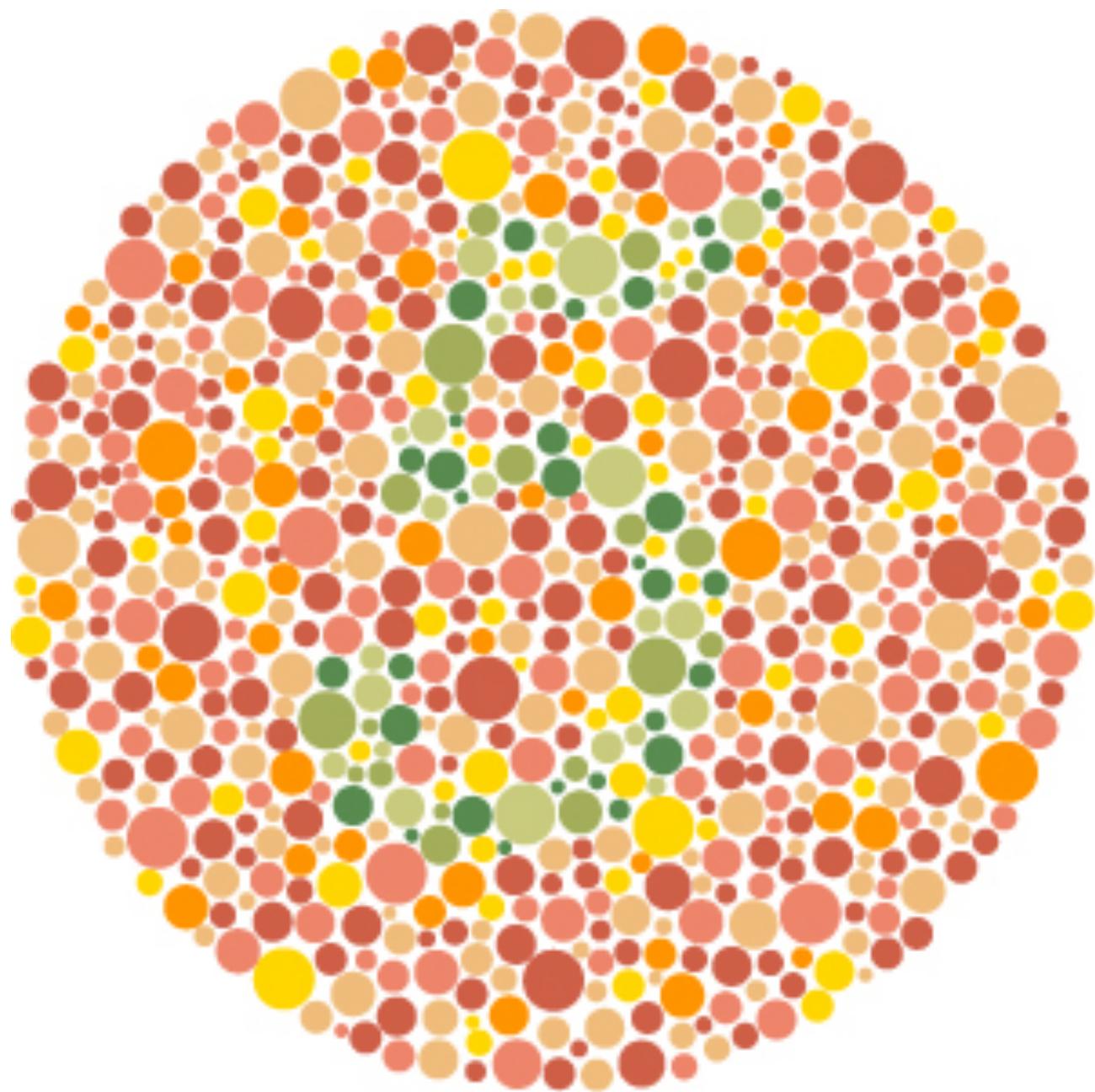


Trova i fiori con e senza colore



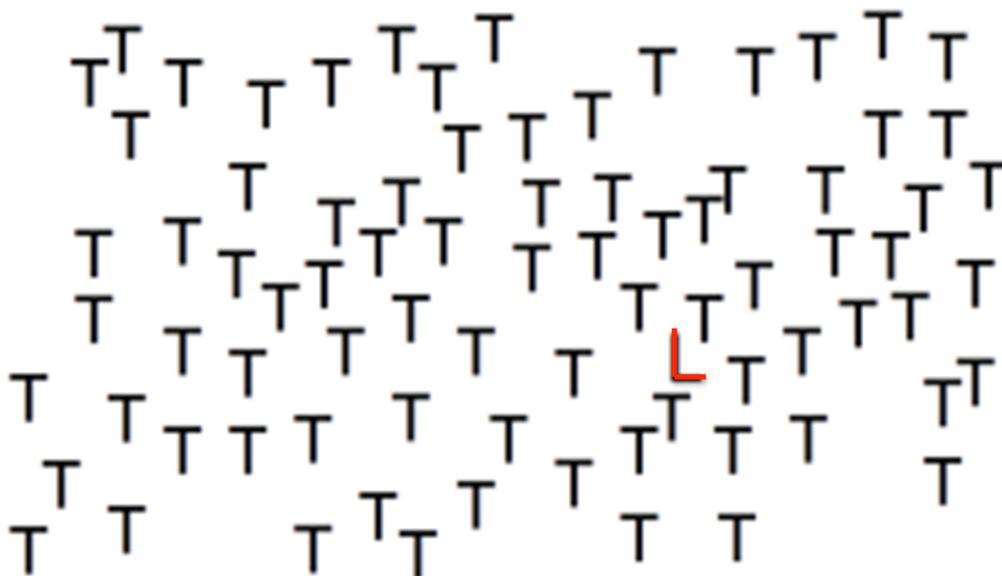
Fig. 15 shows how trivariant color vision distinguishes red from green, expanding the repertoire of colors.







Colour Pops-out



Effetto Stroop: più forte del colore

GIALLO BLU ARANCIO
NERO ROSSO VERDE
VIOLA GIALLO ROSSO
ARANCIO VERDE NERO
BLU ROSSO VIOLA
VERDE BLU ARANCIO

Santa Caterina, particolare (Raffaello, 1507)

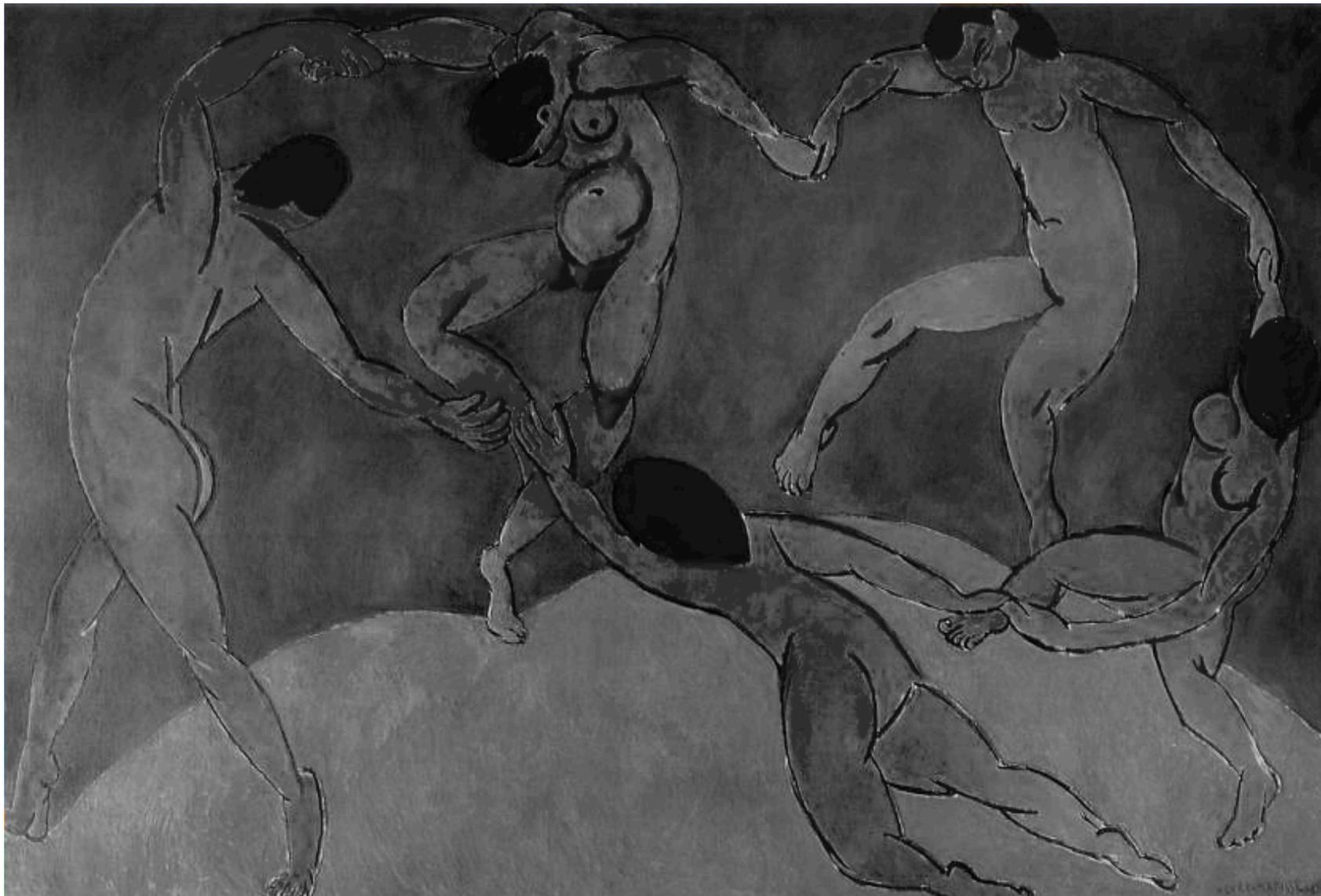
Il colore è 'bello'



Santa Caterina, particolare (Raffaello,
1507)







Il contenuto del quadro è il colore

Matisse, 1910, Hermitage, San Pietroburgo

Percezione e comunicazione

Quali elementi usiamo per comunicare?

Linguaggio, fonemi, ipotesi di Patricia Kuhl

(a) innate perceptual boundaries exist that are tailor-made for language processing at the phonetic level;

categorical perception, a phenomenon showing that infants' perceptual systems partition sound to roughly define the phonetic categories of language;

Le categorie fonemiche sono presenti anche in altre specie animali

Comunicazione visiva, “segni di base” visivi?

Il colore è un elemento di grande impatto comunicativo



Valcamonica 8000 anni a.C



Giardino Zen



Dipinti di macachi

Solo comunicare?
O anche creare
qualcosa di
“bello”?