

Principi e modelli della percezione

Luigi Manci
Samuele Pietro de Santis

Come riceviamo le informazioni?

Riceviamo stimoli dal mondo
esterno attraverso i 5 sensi



Vista



Udito



Gusto



Olfatto



Tatto

Com'è fatto l'occhio?

le componenti principali

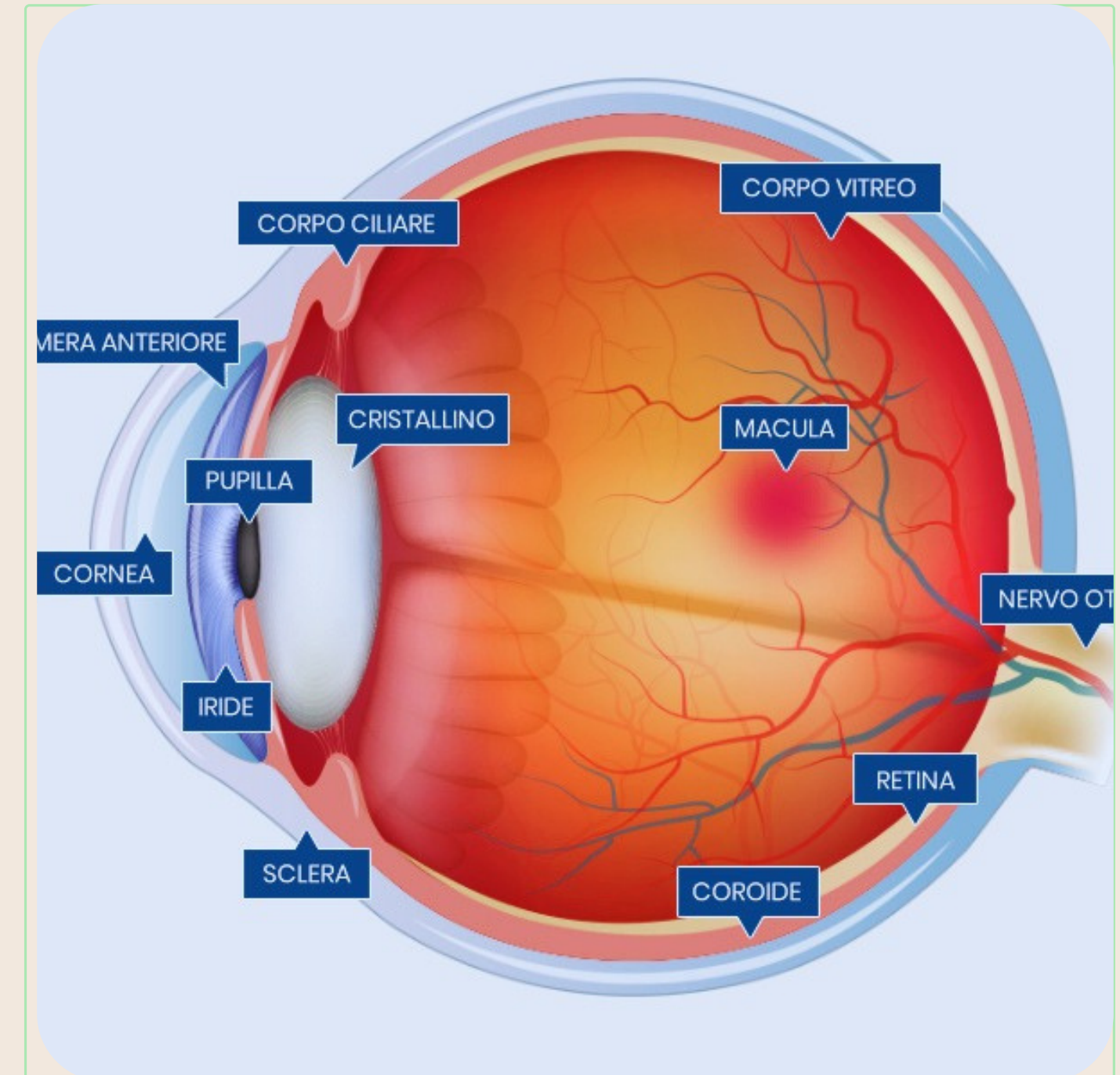
Nervo ottico: porta gli stimoli al cervello

Retina: membrana sensoriale, considerata parte del cervello, che ci permette di vedere grazie ai **fotorecettori**:

- **coni**(colori)
- **bastoncelli** (luce)

La retina si divide in;

- **macula:** area centrale della retina composta da:
 - **fovea:** piccola area composta da coni
- **retina periferica:** zona retinica che si estende intorno lungo la parete del bulbo oculare, composta da bastoncelli



Com'è fatto l'occhio?

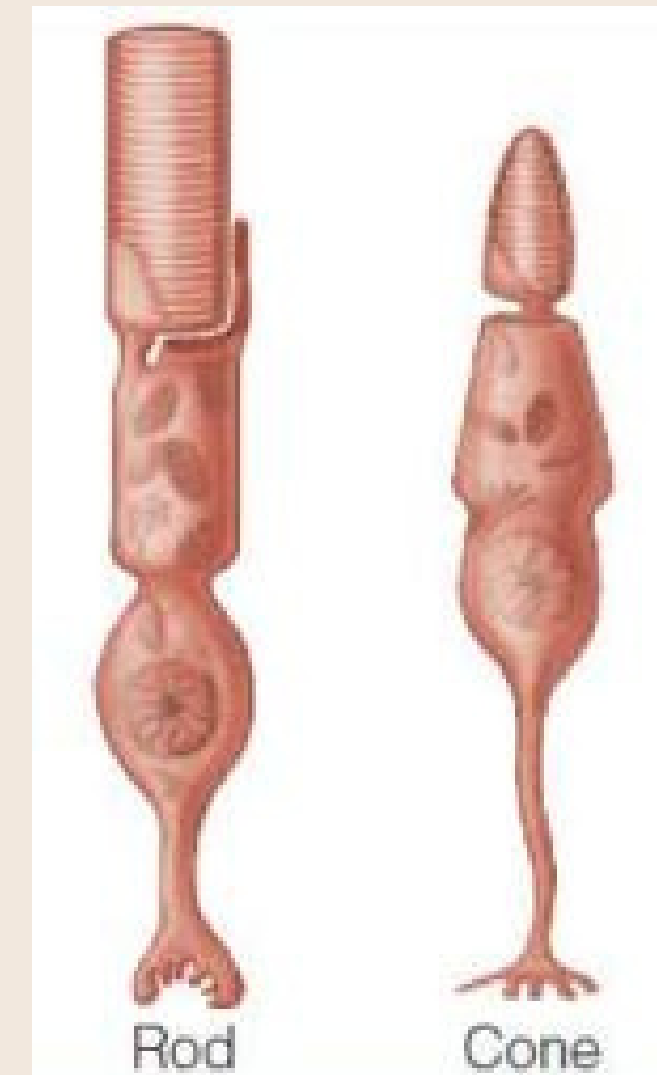
le componenti principali

Fotorecettori: cellule in grado di trasformare la luce in un impulso elettrico che arriva al cervello tramite il nervo ottico

- **bastoncelli:** fotorecettori che si attivano in condizioni di luce bassa e insensibili ai colori
- **coni:** fotorecettori che funzionano in condizioni di luce piena e deputati alla visione dei colori
 - coni blu, rossi, verdi

DALTONISMO

Il daltonismo è dovuto al non funzionamento corretto dei coni, determinando la mancanza di capacità totale o parziale da parte dei soggetti di riconoscere specifiche tonalità



Com'è fatto l'occhio?

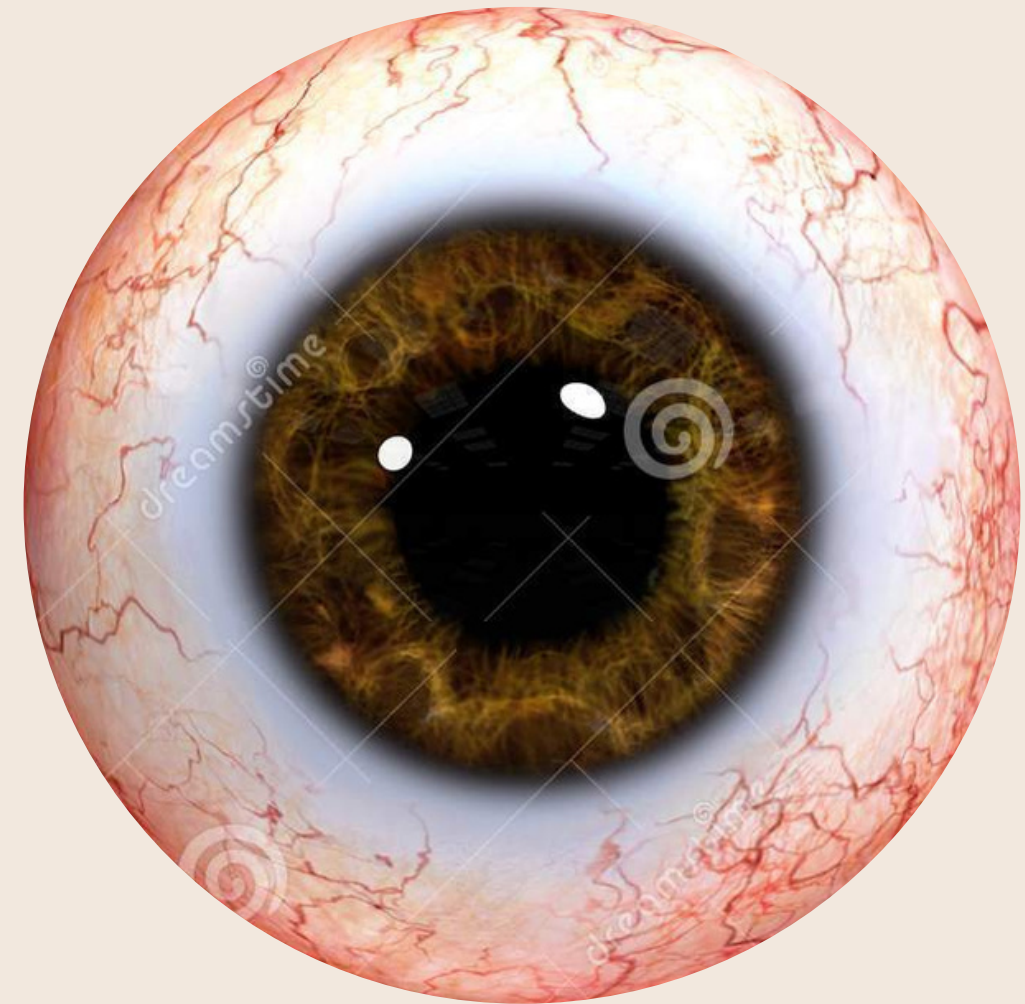
le componenti principali

Iride: muscolo che si ingrandisce o diminuisce di dilatazione in base alla luce che entra nell'occhio

Pupilla: insieme all'iride regolano la quantità di luce che entra nell'occhio

Cornea: lenti protettive

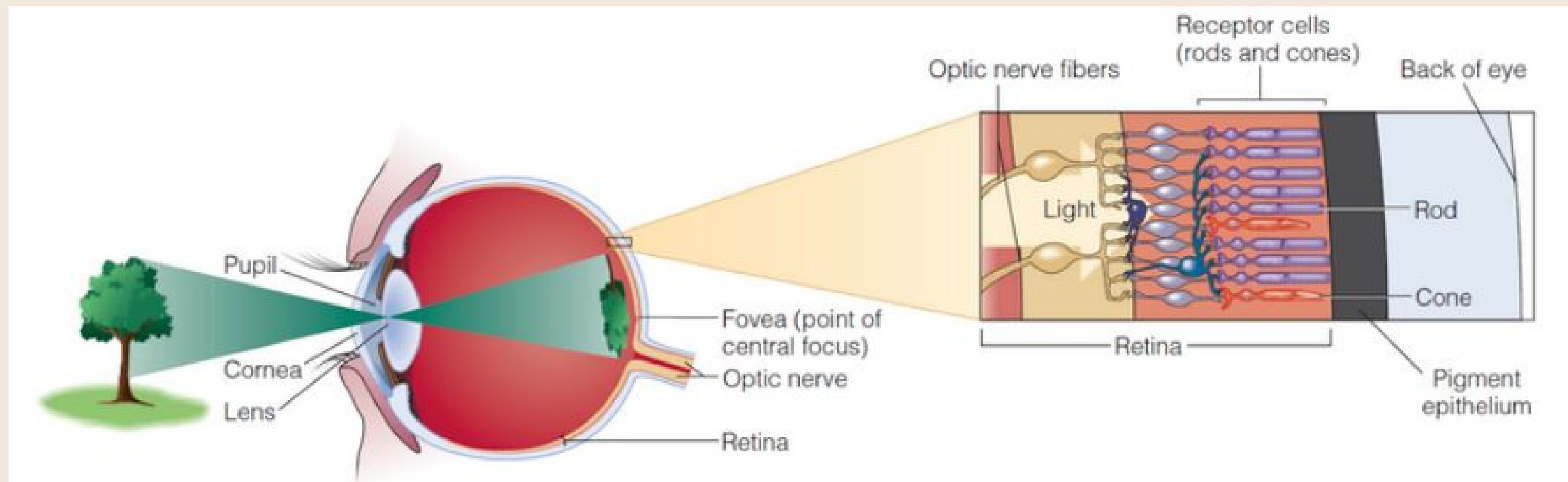
Cristallino: organo trasparente a forma di disco che aiuta a mettere a fuoco la luce sulla retina. E' regolabile e utilizza un muscolo chiamato **muscolo ciliare** per cambiare forma e aiutarci a mettere a fuoco gli oggetti a diverse distanze



Come viene processato lo stimolo esterno?

Trasduzione

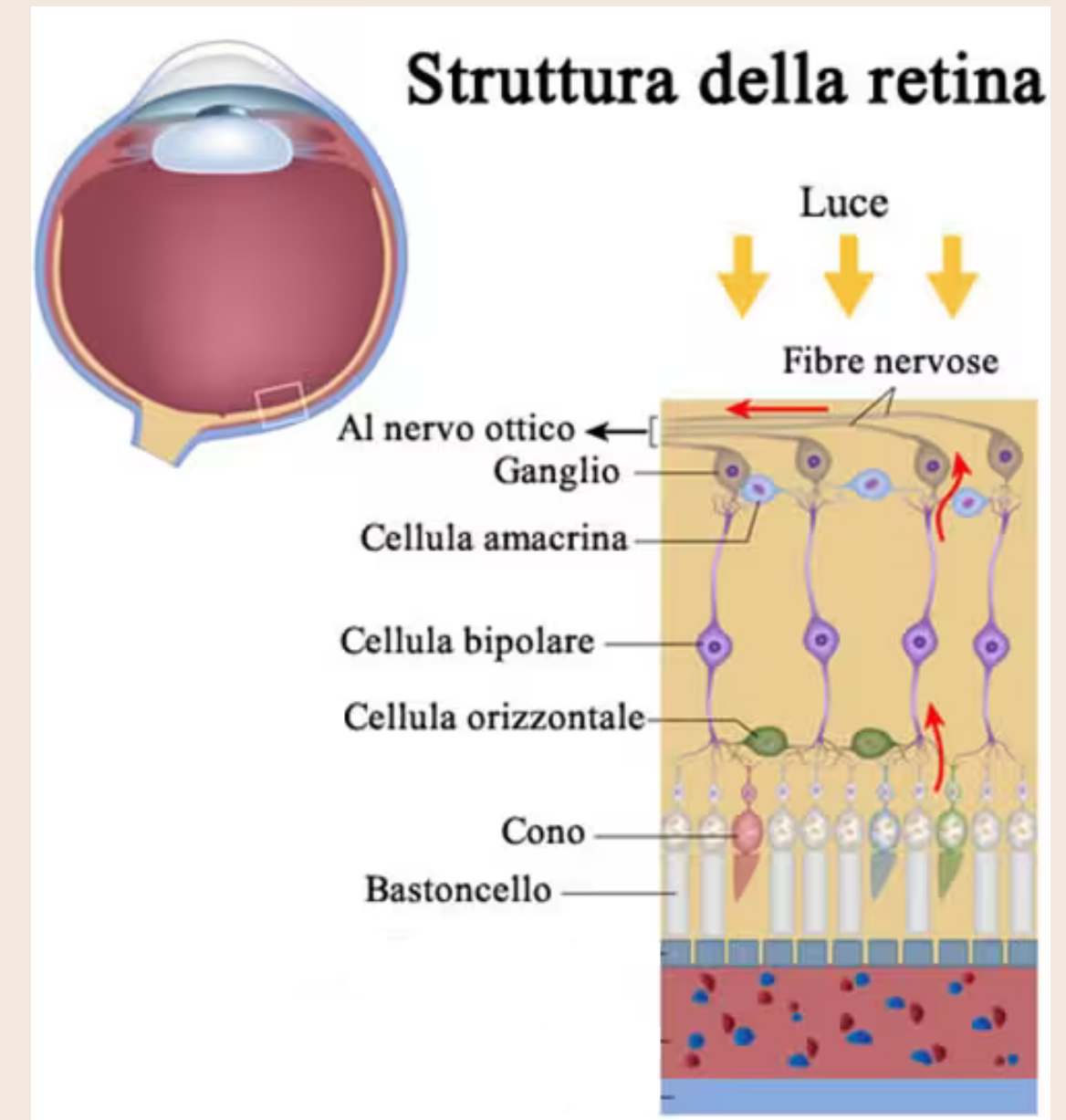
processo mediante il quale l'energia luminosa viene convertita in segnali elettrici, poi trasmessi fino all'encefalo attraverso il nervo ottico, viaggiando per un network di neuroni



Com'è organizzata la Retina?

Mappatura cellulare Retina

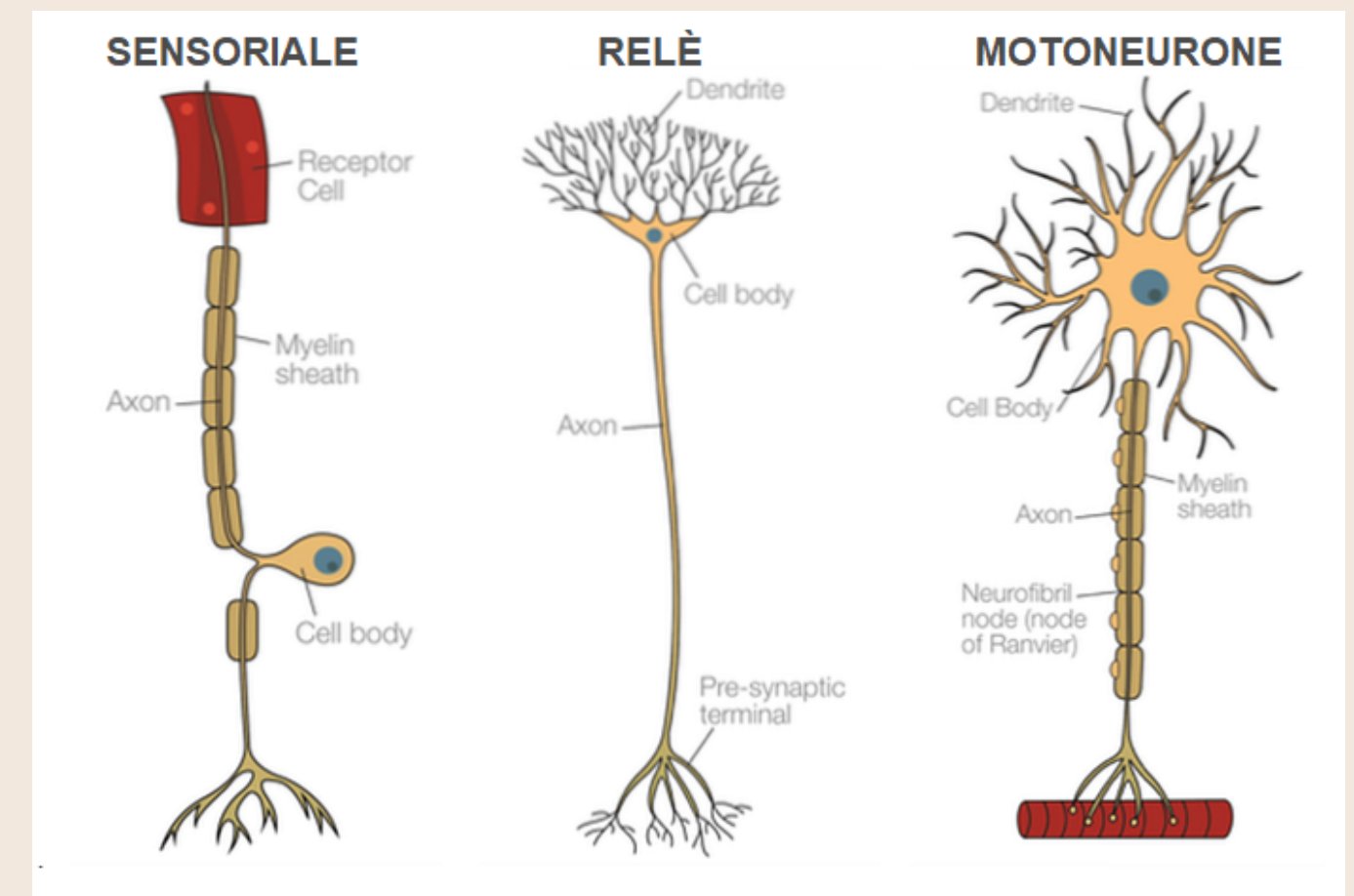
- **Fotorecettori:** sensori (bastoncelli e coni) che trasformano la luce in segnali elettrici.
- **Cellule bipolari:** neuroni sensoriali che trasferiscono il segnale dal sensore al sistema nervoso centrale (cervello).
- **Cellule gangliari:** i neuroni sensoriali più complessi nella retina. Elaborano l'input dalle cellule bipolari e amacrine e lo inviano ai neuroni nel cervello.
- **Cellule orizzontali:** ricevono informazioni dai fotorecettori e le trasmettono a diversi neuroni bipolari circostanti.
- **Cellule amacrine:** ricevono i loro input dalle cellule bipolari e fanno la stessa cosa con i neuroni gangliari: attivano quelli che sono nelle loro vicinanze.



Com'è organizzata la Retina?

Tipologie di neuroni

- **Neuroni sensoriali:** si occupano di trasportare i segnali dai recettori sensoriali al midollo spinale ed al cervello che insieme costituiscono il sistema nervoso centrale.
- **Neuroni relè:** trasportano messaggi da una parte all'altra del sistema nervoso centrale. Sono multipolari: un assone e molti dendriti (concetti spiegati nel seguito).
- **Motoneuroni:** servono a spostare segnali dal sistema nervoso centrale a un effettore, ovvero una parte del corpo che produce la risposta al segnale. Essi includono muscoli e ghiandole.



Daltonismo

Color Vision Deficiency

Daltonismo: generalità

Perché simulare le carenze di visione dei colori (CVD)?

Esistono molti programmi disponibili per la simulazione del daltonismo online, ma molti sono in realtà parecchio imprecisi.

Le carenze della visione dei colori (CVD), comunemente chiamate "daltonismo" colpiscono:

- 8% della popolazione maschile;
- 0,4% della popolazione femminile.

La maggior parte delle persone daltoniche sono maschi, perché la forma più comune, chiamata **daltonismo rosso-verde**, è codificata sul cromosoma X e quindi legata al sesso.

Daltonismo: tipologie

Perché simulare le carenze di visione dei colori (CVD)?

Il termine **daltonismo rosso-verde** è spesso usato ma in realtà non è del tutto corretto. Ogni tipo di carenza di visione dei colori colpisce l'intero spettro cromatico e quindi non può essere ridotto solo a determinati colori.

I tipi più frequenti sono la:

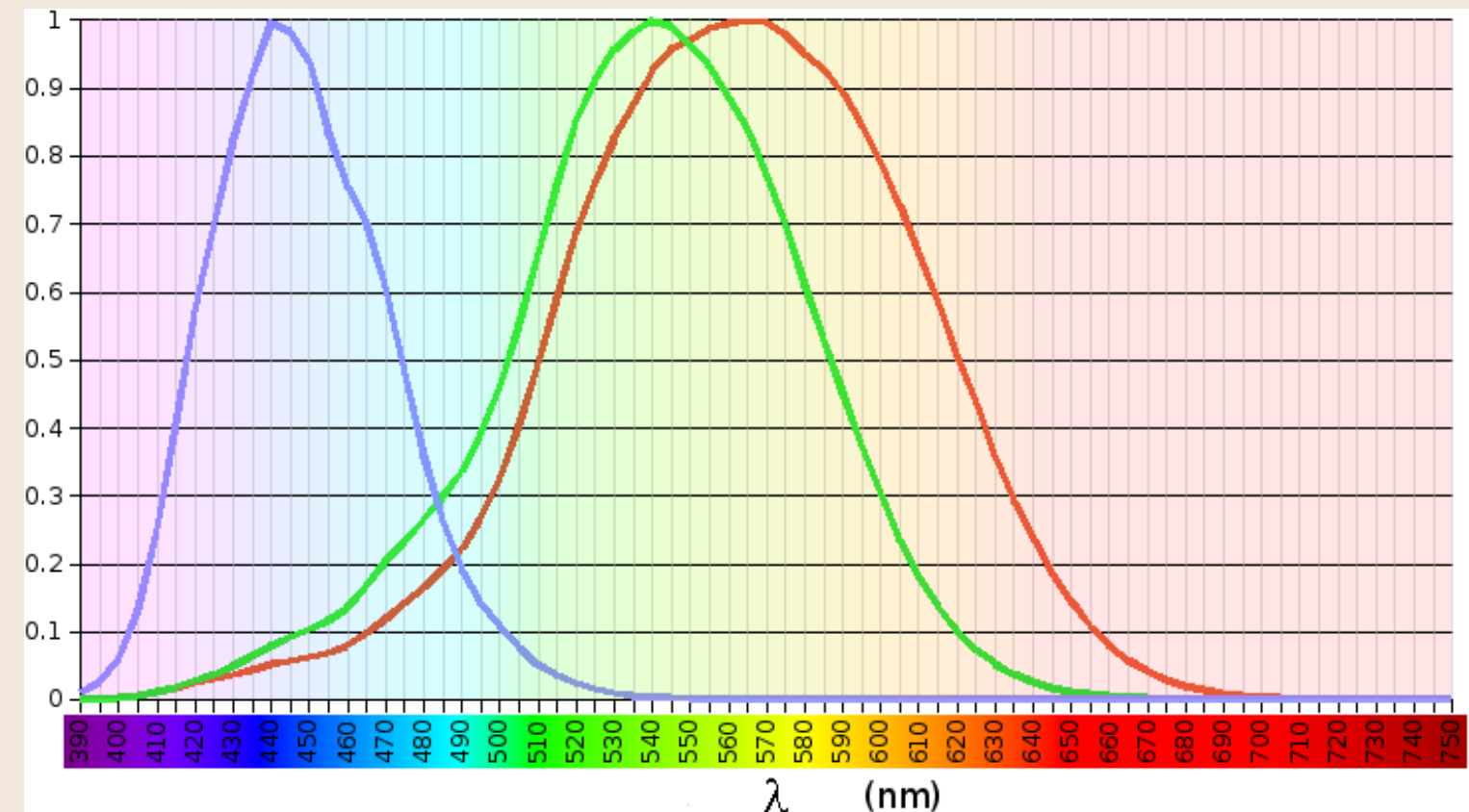
- **protanomalia**: la forma più lieve e cioè la debolezza al rosso;
- **protanopia**: cecità completa nei confronti del colore rosso;
- **deuteranomalia**: la debolezza al colore verde;
- **deuteranopia**: cioè la completa cecità al colore verde, i colori rosso e verde sono quelli più problematici e fraintesi o indistinguibili.

Oltre al daltonismo rosso-verde ci sono anche forme di carenza di visione dei colori che sono uniformemente distribuite tra maschi e femmine.

Daltonismo: cellule coniche

Perché simulare le carenze di visione dei colori (CVD)?

- La percezione del colore umano si ottiene attraverso le **cellule coniche** nella retina. Gli esseri umani con vista normale hanno 3 tipi di cellule, sensibili a diverse lunghezze d'onda della luce:
 - **coni L** catturano la lunghezza d'onda lunga (~rosso)
 - **coni M** catturano la lunghezza d'onda media (~verde)
 - **coni S** catturano la lunghezza d'onda corta (~blu).



Daltonismo

Note di vocabolario

Poiché può creare confusione, ecco un riepilogo dei termini principali per descrivere le varianti CVD:

- **dicromia:** si riferisce a un tipo di cellule coniche completamente mancanti. Le carenze corrispondenti per ogni tipo sono chiamate protanopia, deuteranopia e tritanopia:
 - Lo spazio colore delle persone con dicromia (dicromati) è fondamentalmente 2D anziché 3D.
- **tricromia anomala:** si riferisce all'avere un tipo di cellule coniche con una disfunzione solo parziale. Le carenze corrispondenti sono chiamate protanomalia, deuteranomalia e tritanomalia.

Panoramica dei principali approcci esistenti

Coblis e la funzione HCIRN Color Blind Simulation [LINK](#)

color-blindness.com ha un ottimo materiale introduttivo, ma propone anche un simulatore CVD, chiamato **Coblis**. Essendo uno degli strumenti più antichi e semplici da testare, ha ispirato molti altri software.

- accuratezza discutibile;

Il simulatore ora si basa sul **codice sorgente di MaPePeR**. Implementa due diverse funzioni:

- una basata sull'**algoritmo "Color-Matrix"**;
- l'altra basata sulla "**funzione HCIRN Color Blind Simulation**";

L'algoritmo "Color-Matrix" ha convertito la "funzione HCIRN Color Blind Simulation" che funziona nello spazio colore in una matrice più veloce che funziona direttamente sui valori RGB. Lo ha fatto eseguendo la funzione completa su 3 valori RGB (rosso puro, verde puro, blu puro) per dedurre le matrici di trasformazione 3x3.

Panoramica dei principali approcci esistenti

Per quanto riguarda la corretta ***funzione HCIRN Color Blind Simulation***, il primo codice pubblico è stato sviluppato da Matthew Wickline e reso disponibile come libreria per daltonismo in linguaggio JS. L'autore dice nei ringraziamenti di averlo scritto adattando del codice Java che ha ricevuto da Thomas Wolfmaier dopo aver letto un suo articolo che spiega che hanno implementato un metodo che è stato il primo a proporre un vero e proprio algoritmo per simulare CVD, nello spazio colore. Tuttavia l'implementazione di Wolfmaier non è stata convalidata sperimentalmente.

Panoramica dei principali approcci esistenti

- **Algoritmo ColorMatrix** utilizzato nella prima versione di Coblis è stato un hack di una notte che semplifica notevolmente il codice JS di Matthew Wickline, che a sua volta era un adattamento del codice Java di Thomas Wolfmaier nel 1999. L'autore stesso di ColorMatrix ha affermato che non si dovrebbe usarlo e dovrebbe essere rimosso il codice, quindi dovremmo smettere di usarlo.
- **Codice di Thomas Wolfmaier** è stato ispirato dal documento Meyer e Greeberg che era un'opera solida. Ma l'implementazione stessa non è stata convalidata con attenzione e la convalida sperimentale nel documento del 1988 non è stata del tutto convincente.

Panoramica dei principali approcci esistenti

Alcuni esempi di software che utilizzano la funzione HCIRN Color Blind Simulation o ColorMatrix sono:

- : funzione di simulazione daltonico HCIRN. [LINK](#)
- **Sim daltonismo**: funzione HCIRN Color Blind Simulation, implementata in OpenGL. [LINK](#)
- **Daltonismo**: utilizza ColorMatrix. Aggiornamento del novembre 2021 per cui ora utilizza Viénot 1999. [LINK](#)
- **G'MIC**: utilizza ColorMatrix. Aggiornamento del novembre 2021 per cui ora utilizza Viénot 1999. [LINK](#)
- **Lokno GIST**: utilizza ColorMatrix. [LINK](#)

Simulazione di algoritmi del daltonismo

Quindi quale dovremmo usare?

- **tritanopia:** approccio Brettel 1997 è ancora la scelta più solida e sostanzialmente l'unica valida. Per la tritanomalia è consigliato anche con un fattore di interpolazione con l'immagine originale, ma questo è più discutibile.
- **protanopia e deuteranopia:** Viénot 1999, Brettel 1997 e Machado 2009 sono scelte solide, con un leggero vantaggio per Viénot perché si comporta un po' meglio con valori estremi.
 - Per la protanomalia e la deuteranomalia, Machado è più basato sui principi dell'interpolazione lineare con l'immagine originale, quindi potrebbe essere una scelta migliore.
- **Coblis V2** può andare bene per protanopia e deuteranopia (idealmente dopo averlo regolato per utilizzare sRGB invece di una gamma generica), ma data la licenza restrittiva e la mancanza di un'attenta convalida meglio di no.

Simulazione di algoritmi del daltonismo

Quindi quale dovremmo usare?

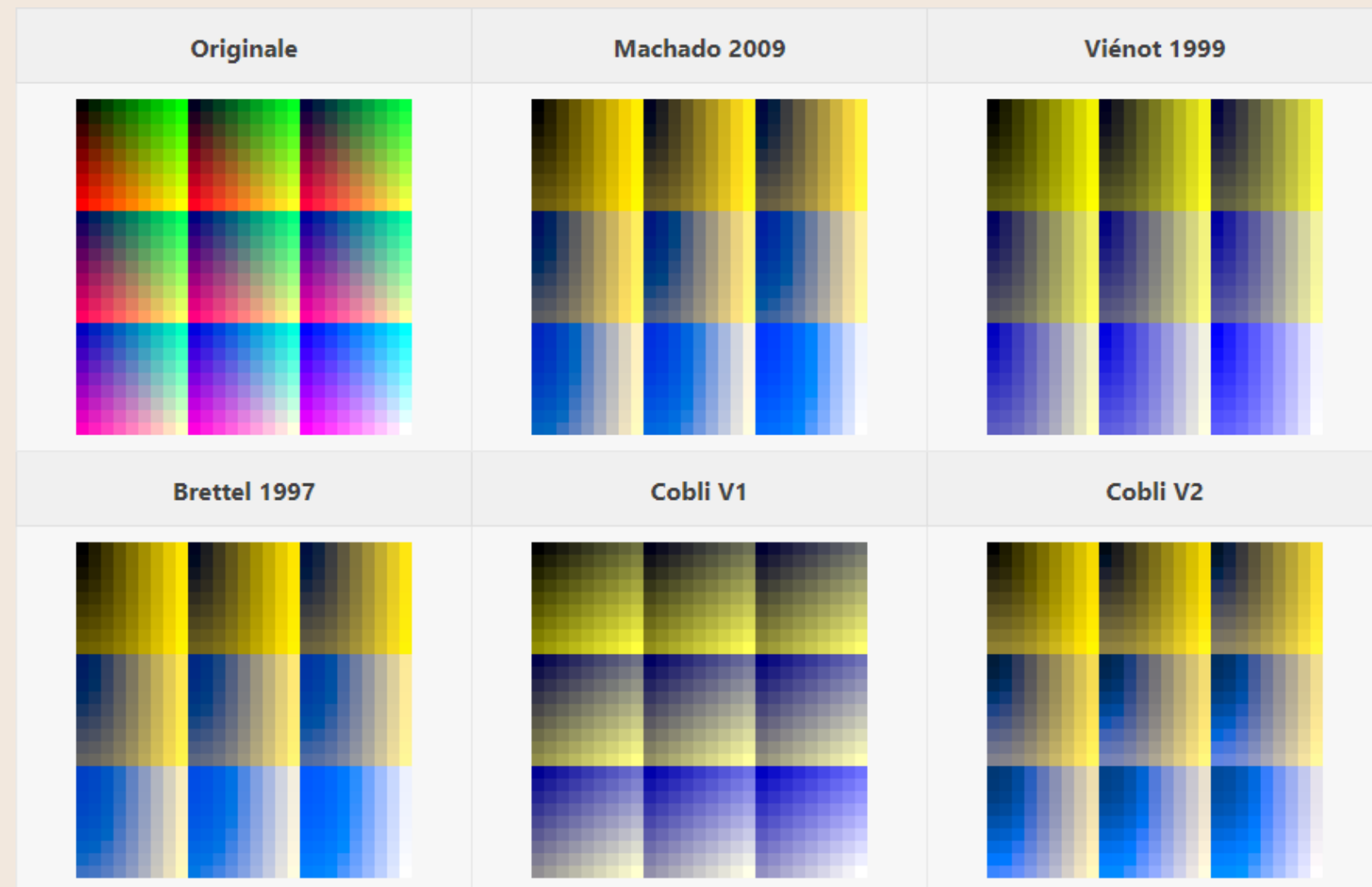
Diamo un'idea dell'output di ciascun metodo. L'immagine in ingresso copre l'intera gamma RGB. Questi risultati sono per la dicromia completa, quindi le persone con una CVD lieve vedranno probabilmente differenze significative tra l'immagine originale e quella simulata per tutti i modelli.

Le immagini sono state generate utilizzando l'implementazione di ciascun metodo Python, ad eccezione di Coblis V1 e V2. Nel complesso si conferma che Coblis V1 (il ColorMatrix) non funziona. Gli altri algoritmi presentano alcune differenze ma fortunatamente ancora generalmente concordano per protanopia e deuteranopia. Per la tritanopia Brettel 1997 è significativamente diverso e dovrebbe essere più accurato poiché gli altri modelli non sono stati progettati per essere compatibili con la tritanopia.

Simulazione di algoritmi del daltonismo

Quindi quale dovremmo usare?

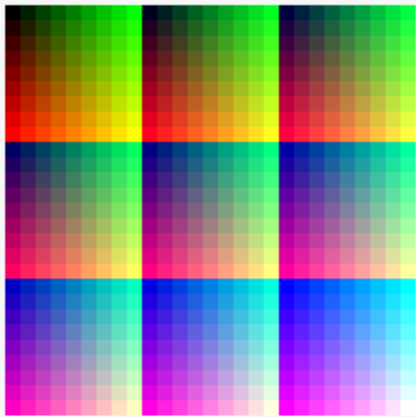
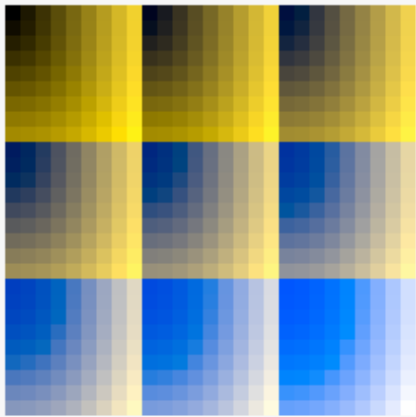
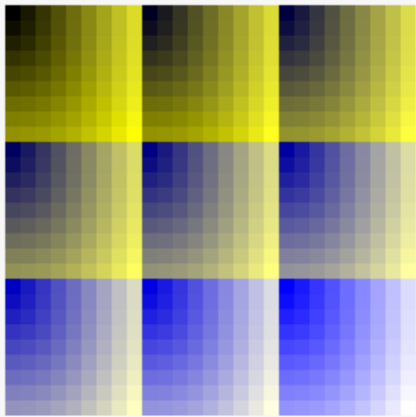
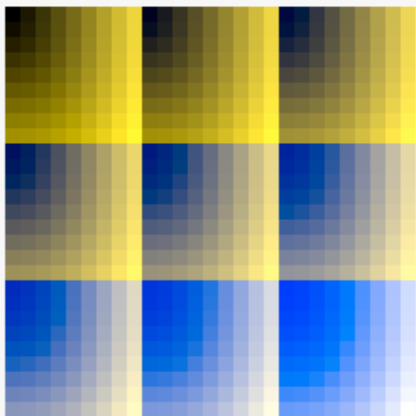
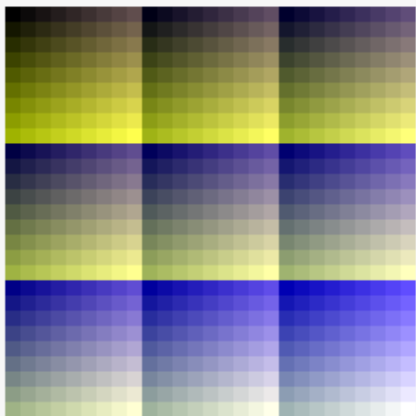
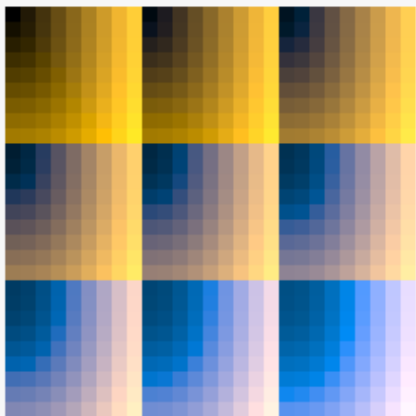
Per quanto riguarda la **protanopia**
(alterazione congenita del senso
cromatico, con incapacità di percezione
del colore rosso):



Simulazione di algoritmi del daltonismo

Quindi quale dovremmo usare?

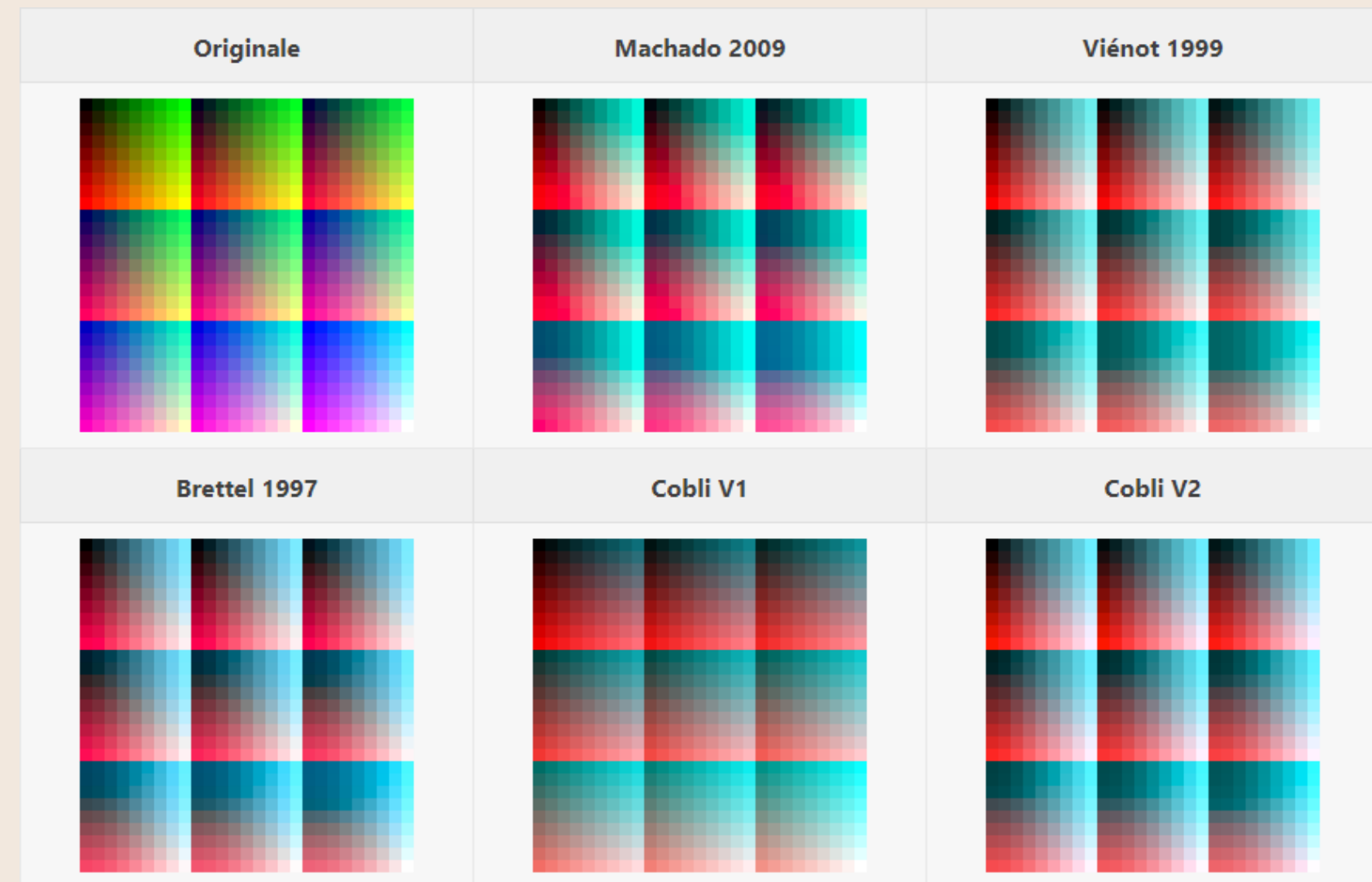
Per quanto riguarda la **deuteranopia** (cecità completa per il secondo colore fondamentale, ossia il verde):

| Originale | Machado 2009 | Viénot 1999 |
|---|---|---|
|  |  |  |
| Brettel 1997 | Cobli V1 | Cobli V2 |
|  |  |  |

Simulazione di algoritmi del daltonismo

Quindi quale dovremmo usare?

Per quanto riguarda la **tritanopia** (cecità per il blu e il violetto cioè la parziale o insufficiente capacità discriminativa per il blu e il violetto):



Simulazione di algoritmi del daltonismo

Quanto sono accurate queste simulazioni?

Brettel 1997, Viénot 1999 e Machado 2009 hanno un background teorico abbastanza solido, ma rimangono ancora modelli matematici approssimativi della complessa percezione umana dei colori.

Quindi quanto sono bravi a simulare come una persona con CVD percepisce i colori?

Diversi studi hanno tentato di convalidarli sperimentalmente. Un primo passo è chiedere a una persona con CVD di convalidare se l'immagine originale e l'immagine simulata sembrano simili, come ha fatto Brettel 1997. Studi più elaborati hanno confrontato il modo in cui le persone con CVD e le persone con vista normale si comportano nei test del colore o nelle attività relative al colore. Sulle immagini originali ci si aspetta che le persone con una vista normale abbiano prestazioni migliori, ma quando vengono fornite le immagini simulate dovrebbero funzionare in modo simile alle persone con il CVD corrispondente, se la simulazione è accurata.

Simulazione di algoritmi del daltonismo

Quanto sono accurate queste simulazioni?

Tuttavia, ci sono ancora dei limiti seri, quindi tutti questi modelli devono essere presi con le pinze:

- Finora abbiamo discusso principalmente della dicromia, dove manca del tutto un tipo di cono. Ma la maggior parte delle persone ha in realtà una tricromia anomala, in cui i coni carenti sono ancora presenti ma con densità minore, o spostati verso un altro cono, limitandone il potere discriminante.
- Tutti questi modelli sono basati su osservatori medi. Ma ci sono grandi variazioni individuali. Ad esempio Brettel 1997 ha notato che alcuni esperimenti su 4 deuteranopi hanno mostrato che due avevano un picco spettrale di 558 nanometri per due di loro e 563 nanometri per gli altri due. Quindi idealmente i parametri dei modelli dovrebbero essere adattati per ogni persona.
- Questi modelli presumevano che solo il livello più basso di percezione del colore fosse interessato e ignorassero la plasticità del cervello che può potenzialmente adattarsi e modificare la percezione del colore a livelli più alti.

Simulazione di algoritmi del daltonismo

Quanto sono accurate queste simulazioni?

- Gli esperimenti di validazione sono generalmente effettuati su una popolazione molto piccola, raramente più di 10 persone. E i tritanopi non vengono praticamente mai valutati poiché sono molto rari e difficili da trovare.
- La maggior parte delle persone guarderà queste simulazioni sullo schermo di un computer non calibrato in una stanza con una sorta di illuminazione di fondo. Senza una corretta calibrazione del monitor, gli stimoli che corrispondono a ciascun valore sRGB saranno imprecisi e l'illuminazione di fondo potrebbe essere lontana dal previsto D65 (normale all'aperto). Anche le impostazioni di luminosità, contrasto e bilanciamento del colore del monitor possono modificare in modo significativo l'aspetto del colore.

Simulazione di algoritmi del daltonismo

Conclusioni

- Lato positivo è che ci sono alcune soluzioni per simulare i CVD.
- Lato negativo è che c'è ancora molto codice obsoleto e anche per gli sviluppatori ben intenzionati è abbastanza difficile valutare se l'output della loro simulazione è corretto o meno.

Un secondo problema è che i metodi facili da implementare sono generici e sono stati sviluppati da dati sperimentali raccolti su osservatori medi (e anche molto tempo fa).

Ci manca ancora un ottimo modo pratico per modellare i profili individuali di carenza di visione dei colori e inserirli in un simulatore. Il lavoro di Flatla & Gutwin (2012) e MacAlpine & Flatla (2016) va in quella direzione, ma non esiste un codice open source per questo.

Grazie dell'attenzione!
