

La percezione del colore

Chiara Della Libera

DSNV Università di Verona
 Sezione di Fisiologia Umana
 tel. 045 802 7198
 chiara.dellalibera@medicina.univr.it

Perché vedere a colori?

- La funzione principale del sistema visivo è quella di rilevare margini, gradienti di contrasto, al fine di suddividere la scena in oggetti e sfondo...
- Diamo per scontato che superfici appartenenti a oggetti diversi differiscano sempre in luminanza!
- Ma cosa succede quando ogni porzione della scena che vediamo è equiluminante?
- In alcuni casi il colore è l'unico elemento utile!

Perché vedere a colori?



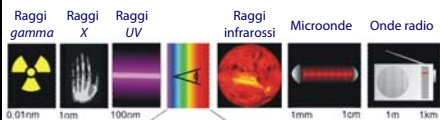
Senza l'informazione relativa al colore è quasi impossibile distinguere questi fiori dalle foglie!

Perché vedere a colori?



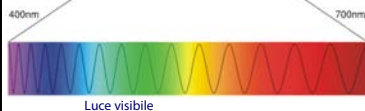
Il contrasto di luminanza rimane comunque l'informazione chiave per il rilevamento dei bordi...

La luce visibile



I recettori visivi sono stimolati da radiazioni elettromagnetiche con lunghezze d'onda fra 400 e 700 nm.

Ma la luce non ha colore!!!

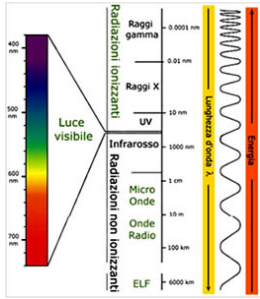


Luce: onde e particelle...

Le caratteristiche delle radiazioni elettromagnetiche sono determinate da:

- 1) Fotoni:
 - "Pacchetti" di energia che costituiscono la luce
 - Viaggiano percorrendo traiettorie lineari
 - Fotoni diversi possiedono diversi livelli di energia
- 2) Onde:
 - Fenomeno ciclico, a velocità costante
 - Caratterizzate dalla *lunghezza d'onda*
 - L'energia liberata dai fotoni determina la *frequenza* dell'onda elettromagnetica

Onde elettromagnetiche



Frequenza: numero di oscillazioni in 1 secondo.
Lunghezza d'onda: distanza fra due creste successive.

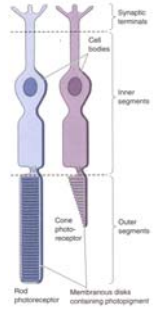
C'è una relazione inversa tra la frequenza dell'onda e la sua lunghezza d'onda.

Lunghezze d'onda maggiori corrispondono a segnali con frequenza più bassa (e minore energia).

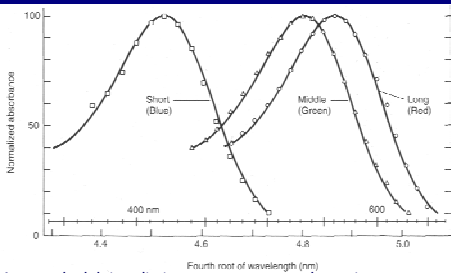
I recettori dello stimolo luminoso

Coni e bastoncelli rilevano la presenza di uno stimolo luminoso perché i fotoni interagiscono con un **fotopigmento**, innescando una reazione a catena che porta il recettore ad inviare un segnale nervoso.

- I bastoncelli contengono tutti lo stesso tipo di pigmento, la **rodopsina**.
- Ogni cono invece contiene uno di tre pigmenti possibili, le **opsine dei coni**.



Tre tipi di coni



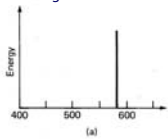
A seconda del tipo di pigmento contenuto da ogni cono, questo risponderà soltanto quando stimolato da una luce con una gamma limitata di lunghezze d'onda.

Stimolare i coni

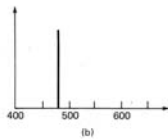
- I coni rispondono alla luce che proviene dagli oggetti che emettono luce o che la riflettono.
- Raramente si osserva una luce puramente *monocromatica*, più spesso la luce che arriva ai nostri occhi è una miscela di lunghezze d'onda diverse.
- Ciò è dovuto al fatto che l'energia trasportata dai fotoni non è omogenea.

La luce monocromatica

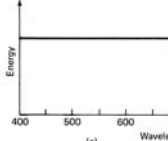
Luce monocromatica gialla



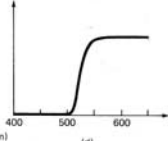
Luce monocromatica blu



Luce bianca

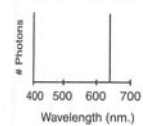


Luce vista attraverso un filtro giallo

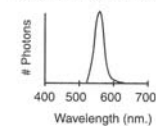


Luce monocromatica e non

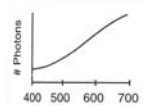
A. Helium Neon Laser



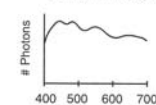
B. Gallium Phosphide Crystal



C. Tungsten Lightbulb



D. Normal Daylight



La scoperta di Newton



Newton scoprì che la luce solare, che vediamo bianca, è in realtà composta da lunghezze d'onda diverse, osservando lo spettro delle lunghezze d'onda visibili.

13

Miscelare i colori

- I coni della retina rispondono alle lunghezze d'onda "centrate" sui colori *blu*, *verde* e *rosso*.
- Tutto ciò che noi vediamo colorato riflette o emette luce in questa gamma di lunghezze d'onda.
- La luce composta da tutte le lunghezze d'onda visibili è *bianca*.
- *R* (red) *G* (green) *B* (blue) sono proprio le coordinate usate per descrivere i colori nella grafica.
- Perché ci insegnano che i colori "fondamentali" sono il *magenta*, il *blu ciano* ed il *giallo*?

14

Miscela additiva

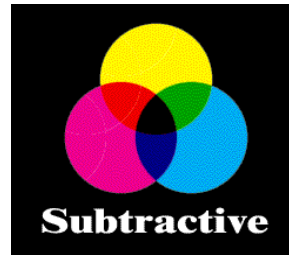


Additive

Se consideriamo un oggetto che *emette luce*, propria o riflessa, facciamo riferimento alle proprietà della luce (energia e lunghezza d'onda), e alle modalità con cui i nostri recettori riescono a cogliere segnali con caratteristiche diverse. La somma di sorgenti luminose con tutte le lunghezze d'onda visibili è una luce bianca.

15

Miscela sottrattiva

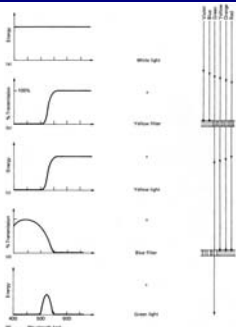


Subtractive

Se vogliamo assegnare un colore ad un oggetto usando dei pigmenti colorati, di fatto stabiliamo quali lunghezze d'onda saranno *assorbite* da quell'oggetto. Più saranno i pigmenti colorati miscelati fra loro e maggiore sarà la quantità di luce assorbita dalla miscela.

16

Verde = Giallo + Blu Una miscela sottrattiva

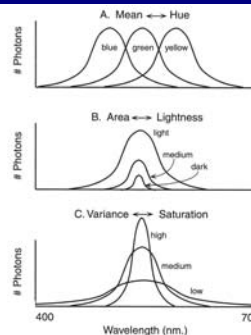


Usando dei filtri è possibile sottrarre alla luce bianca una particolare gamma dello spettro visibile. Sovrapponendo un filtro per il giallo ed uno per il blu, il risultato che si ottiene sarà una luce di colore verde.

NB: questo è possibile se i filtri *non* danno origine ad una luce monocromatica!

17

I parametri del colore



Tinta



Chiarezza



Saturazione



18

Descrivere i colori

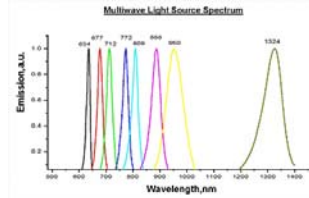
- Ogni tipo di colore può essere ottenuto dalla miscela additiva dei tre colori primari (blu, verde e rosso).



Aggiungendo un gradiente di chiarezza (maggiore all'interno del triangolo) si osservano infinite gradazioni di colore.

19

Analisi spettrale degli stimoli?



Il nostro occhio *non può* fare l'analisi spettrale degli stimoli luminosi che riceve. I coni rispondono in base alla *somma* delle lunghezze d'onda della luce che ricevono.

20

I metameri

- Sono colori percettivamente identici che possono essere creati con combinazioni diverse di luci con diversa lunghezza d'onda.
- A questo punto l'analisi spettrale dello stimolo non conta, vale la percezione soggettiva.

Colore da eguagliare

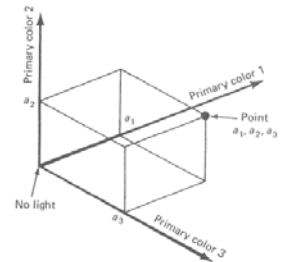


Colore da manipolare

21

Lo spazio cromatico

- Ogni colore può essere definito in base ad un sistema tridimensionale di coordinate.
- In questo sistema, detto spazio cromatico, ogni asse corrisponde alla quantità di uno dei colori primari.
- Una volta eguagliato il colore "test" con un suo metamero, possiamo collocare questo colore all'interno dello spazio cromatico.



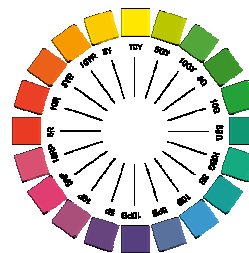
22

I sistemi colorimetrici

- Esistono diverse rappresentazioni dello spazio cromatico:
 - Sistema Munsell
 - Sistema Naturale dei Colori (*Natural Color System* – NCS)
 - Sistema CIE (*Commission Internationale de l'Eclairage*)

23

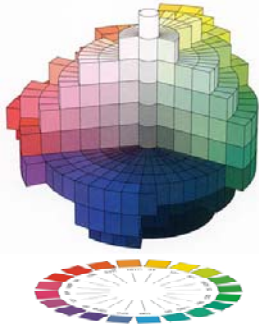
Il sistema Munsell



- Questo sistema è stato creato per poter classificare i colori in un modo che fosse condivisibile.
- Consiste in una ruota ideale, in cui sono disposte 100 tonalità diverse.
- Fra tonalità contigue ci sono *differenze percettive* uguali.

24

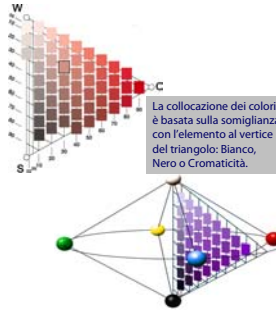
Il sistema Munsell



- Il sistema si sviluppa tridimensionalmente in altezza, come una specie di cilindro.
- Lungo l'altezza del cilindro varia la luminanza del colore.
- In ogni sezione parallela, dall'esterno verso l'interno viene modulata la saturazione.

25

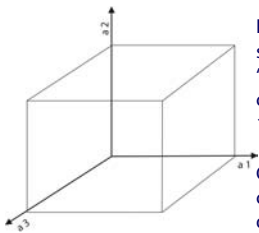
Il Sistema Naturale dei Colori (NCS)



- Il *Natural Color System* suggerisce che ogni colore possa essere rappresentato all'interno di un diagramma triangolare, diverso per ogni tonalità.
- Questo sistema si sviluppa tridimensionalmente assumendo la forma di due coni uniti alla base.

26

Lo spazio cromatico

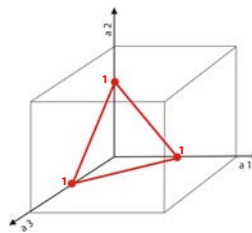


Individuare un colore in questo spazio cromatico corrisponde a "suddividere" l'energia totale del colore (convenzionalmente pari a 1) fra i tre colori disponibili.

Conoscendo la quantità di due colori è possibile derivare la quantità del terzo.

27

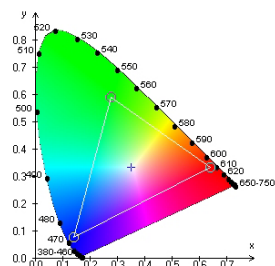
Lo spazio cromatico



Possiamo tracciare un triangolo corrispondente all'unità. Tutti i colori che si trovano in questo triangolo hanno energia totale pari a 1. Quindi questo triangolo contiene tutti i colori possibili!

28

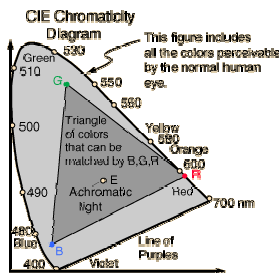
Lo spazio cromatico CIE



L'area del triangolo ideale dell'unità può anche essere rappresentata bidimensionalmente in questo modo. Al centro di questa specie di triangolo c'è l'area di uguale energia, che genera la percezione del bianco.

29

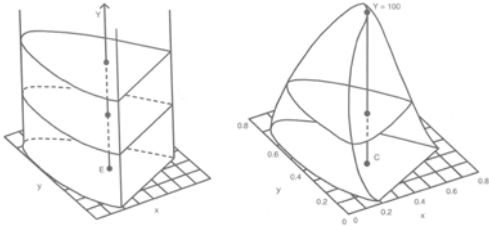
Lo spazio cromatico CIE



A differenza degli altri sistemi colorimetrici, questo spazio cromatico si basa sulle proprietà fisiche della stimolazione (lunghezza d'onda della luce emessa dall'oggetto colorato).

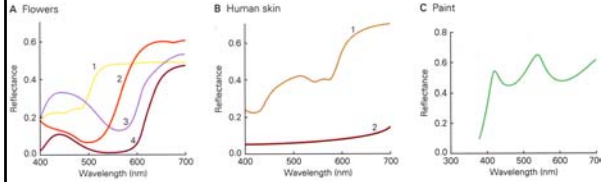
30

Lo spazio cromatico CIE



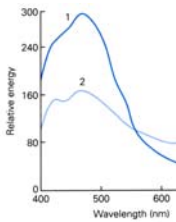
Anche nel sistema CIE si considera uno sviluppo tridimensionale del diagramma, lungo un valore Y che rappresenta la luminanza. La forma del solido cambia se invece di rappresentare il colore emesso da stimoli luminosi si considera quello che può essere riflesso dalle superfici riflettenti: il valore di riflettanza.

Le funzioni di riflettanza



Riflettanza: Proporzione di luce incidente che una data superficie è in grado di riflettere. Il valore di riflettanza cambia per superfici diverse e per stimoli luminosi con diverse lunghezze d'onda. Solo poche miscele di radiazioni possono essere riflesse con alti valori di riflettanza, questo limita l'espansione tridimensionale del diagramma CIE.

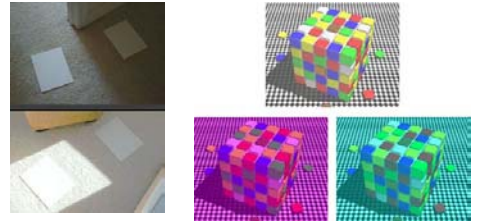
Riflettanza e costanza cromatica



Ogni superficie ha una data funzione di riflettanza. L'energia della luce riflessa dalla superficie però può essere molto diversa a seconda delle lunghezze d'onda contenute nella sorgente di luce, l'*illuminante*. Nonostante ciò, la nostra percezione del colore rimane inalterata dalle condizioni di illuminazione, un effetto noto come *costanza cromatica*.

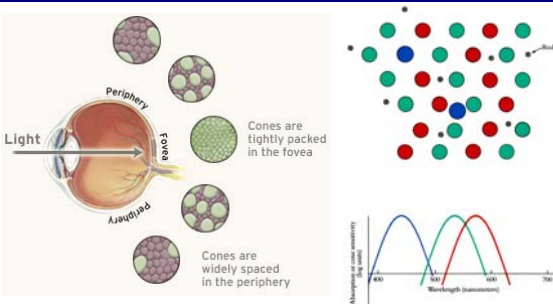
33

La costanza cromatica

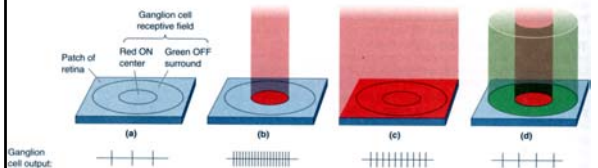


34

Dai coni alla corteccia



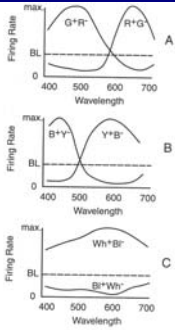
Dai coni alla corteccia



Così come esistono cellule gangliari centro-on e centro-off per la rilevazione del contrasto di luminanza, ci sono cellule gangliari analoghe per la detezione del *contrasto cromatico*.

36

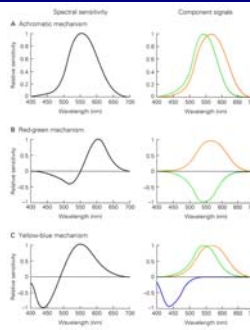
Opponenza cromatica



- Le cellule che mostrano *opponenza cromatica* sono di tipo *P* (*sistema parvocellulare*):
 - Opponenza Rosso-Verde
 - Opponenza Giallo-Blu

37

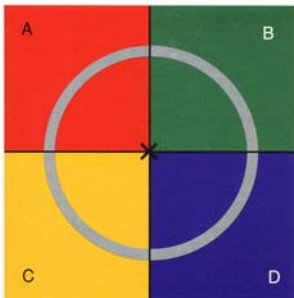
Opponenza cromatica



- L'opponenza è determinata dalle connessioni che i coni stabiliscono con le cellule gangliari.

38

“Accorgersi” dell’opponenza



Contrasto simultaneo cromatico:
Nonostante il cerchio grigio sia di un colore uniforme, quando è sovrapposto ad un quadrato colorato tenderà ad apparire più simile al colore opposto.

39

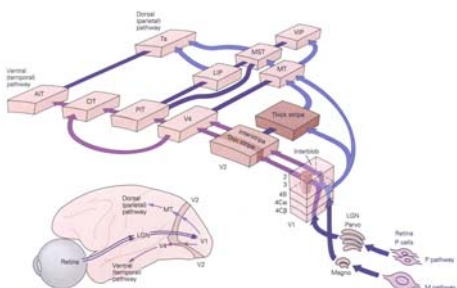
“Accorgersi” dell’opponenza



Effetti postumi cromatici:
In seguito all'adattamento ad una particolare immagine colorata, osservando poi una superficie bianca si avrà l'impressione di vedere un'immagine postuma dei colori opposti a quella di adattamento.

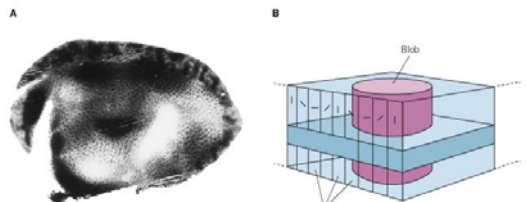
40

Dalle cellule gangliari ai Blobs



41

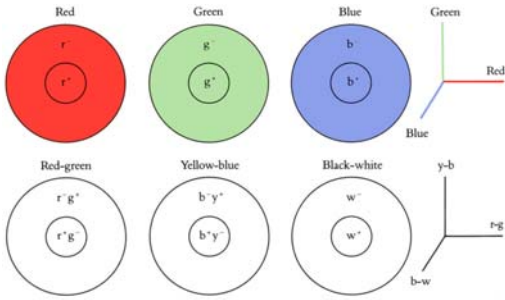
I Blobs



I blobs sono gruppi di cellule in V1 che rispondono selettivamente quando nel loro campo recettivo è presente uno stimolo colorato. Queste cellule ricevono informazioni dalla via parvocellulare e possono essere classificate in base al pattern di risposta a stimoli colorati.

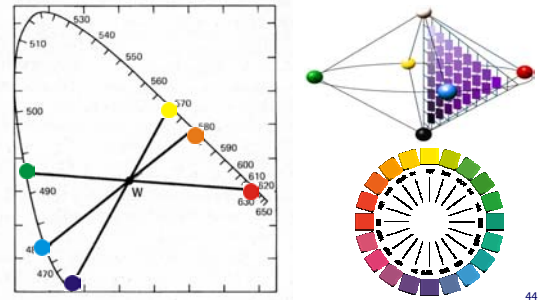
42

Blobs e opponenza cromatica



43

L'opponenza cromatica nei sistemi colorimetrici



44

Difetti nella visione del colore

- Alcune persone hanno una percezione diversa del colore. Considerano "simili" colori che per la maggioranza delle persone sono molto diversi.
- Il *Daltonismo* è in genere determinato da anomalie genetiche a carattere recessivo nel cromosoma X.
- Per questo motivo i soggetti Daltonici sono più spesso uomini che donne.

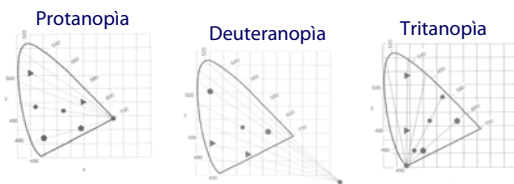
45

Tipi di Daltonismo

- Le diverse forme di Daltonismo sono causate dalla funzionalità compromessa di alcuni tipi di coni:
 - *Protanopia*: Compromissione dei coni per le alte lunghezze d'onda: rosso.
 - *Deuteranopia*: Compromissione dei coni per le medie lunghezze d'onda: verde.
 - *Tritanopia*: Compromissione dei coni per le basse lunghezze d'onda: blu.

46

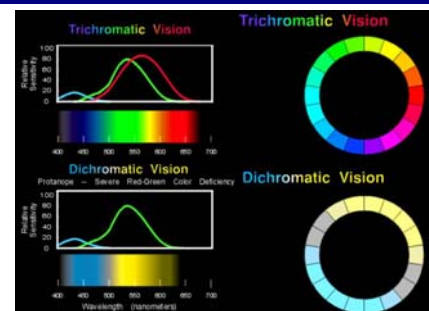
Le linee di confusione



Per i soggetti Daltonici i colori situati su una linea di confusione non vengono distinti fra loro, ma appaiono del tutto simili.

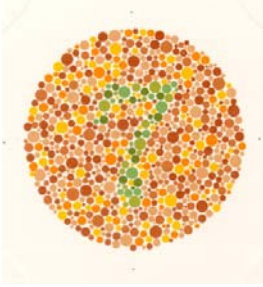
47

Vedere come un Daltonico protanope



48

Le tavole di Ishihara

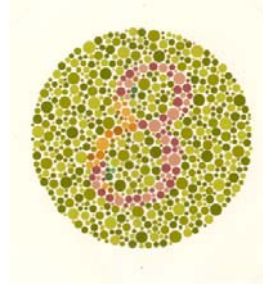


Queste tavole sono create in modo da permettere un raggruppamento degli elementi basato sul colore. Solo potendo riconoscere i colori è possibile segregare la figura dallo sfondo.

Il 7 in questa tavola non viene visto dalla maggior parte dei Daltonici.

49

Le tavole di Ishihara



Mentre la maggior parte delle persone vede 8, i Daltonici protànopi vedono nettamente 3.

50

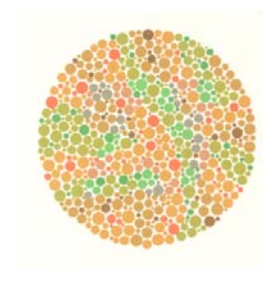
Le tavole di Ishihara



I Daltonici protànopi vedono solo il 5.
I Daltonici deuterànopi vedono solo il 3.
Solo i non Daltonici possono vedere entrambi i numeri!

51

Le tavole di Ishihara



Qui non si vede proprio nulla!

I Daltonici protànopi però vedono il numero 73!!
Questo numero è visibile se si potesse usare soltanto l'informazione relativa alle differenze di luminanza fra i pallini colorati.
La tendenza a segregare le aree in base al colore però maschera l'informazione sulla luminanza.

52