

# 5

## La percezione del colore



# 5

## The Perception of Color

- I principi basilari per la percezione del colore
- Tricromaticità
- Processi di opponenza
- I colori vengono visti da tutti nella stessa identica maniera?
- Dal colore della luce ad un mondo di colori

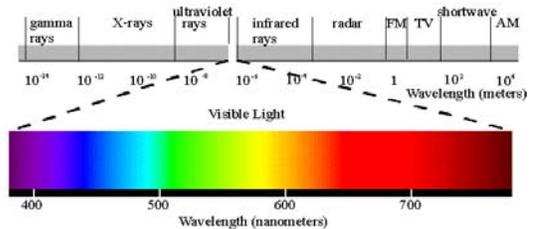
# 5

## Basic Principles of Color Perception

- Colore: Non è una proprietà fisica ma piuttosto una proprietà psicofisica
  - La maggior parte della luce che noi vediamo è luce riflessa ([click Here](#))
  - Tipiche fonti di luce sono: il sole, le lampadine ecc ecc, che emettono in un ampio spettro della radiazione elettromagnetica fra 400–700 nm

# 5

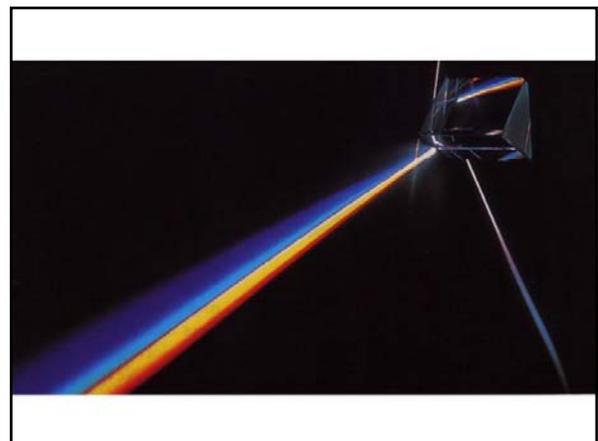
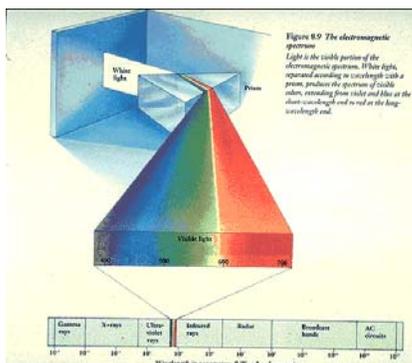
10 min

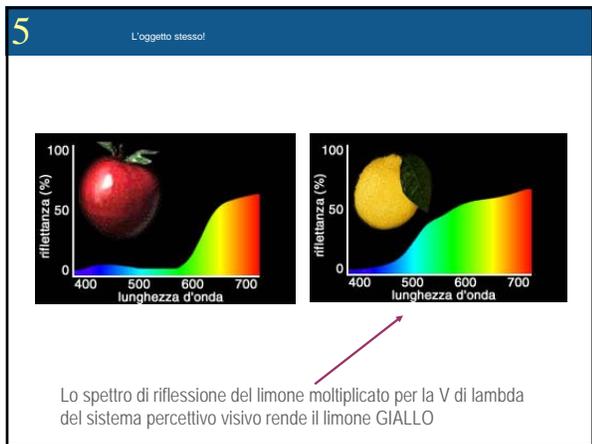
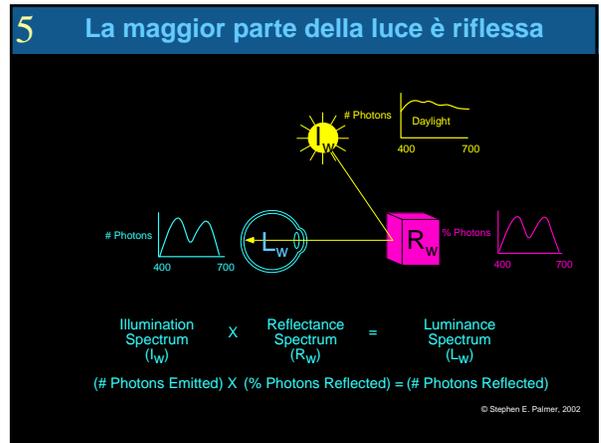
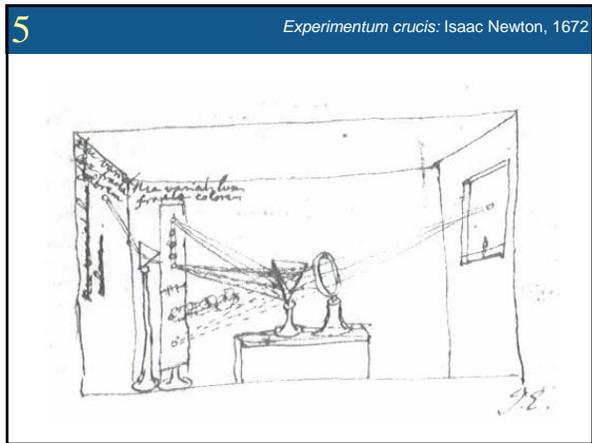
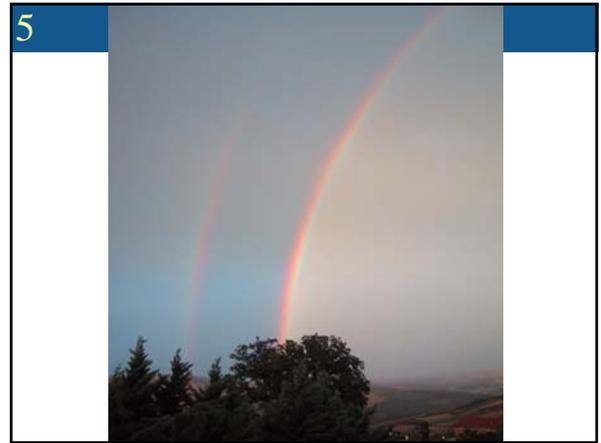
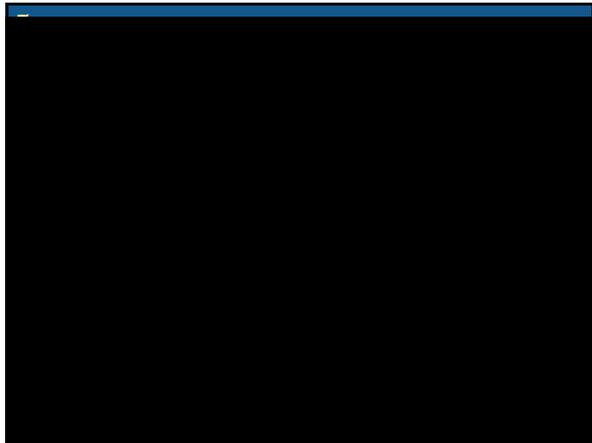


Va dai 380 ai 780 nm

# 5

## Lo spettro visibile



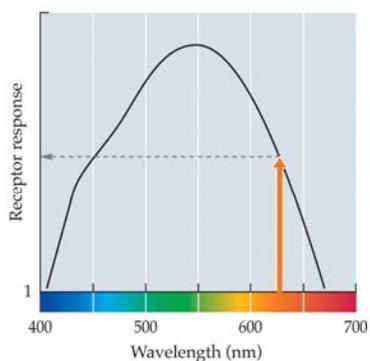


5

*Il problema dell'univarianza*

Un infinito insieme di combinazioni di intensità e lunghezza d'onda possono produrre una identica risposta da parte di UN tipo di fotorecettore

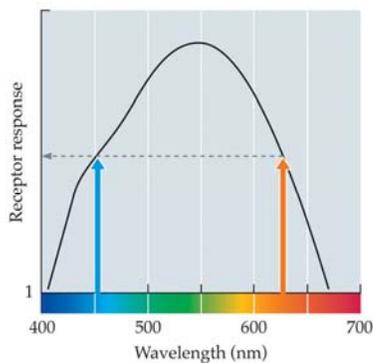
5 Photoreceptor Response



5 Basic Principles of Color Perception (cont'd)

- Quindi disponendo solo di un fotorecettore non è possibile discriminare fra lunghezze d'onda diverse ovvero discriminare fra colori diversi

5 The Problem of Univariance



5

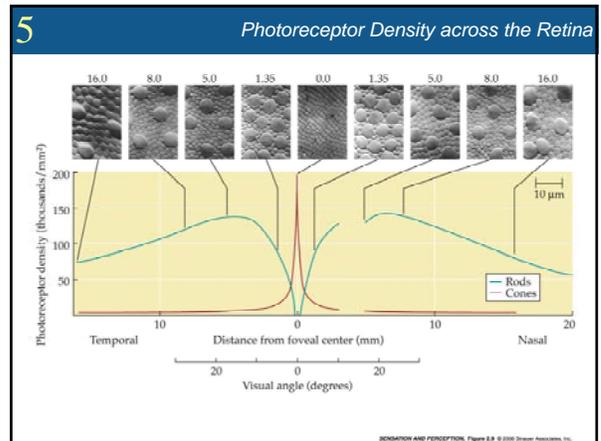
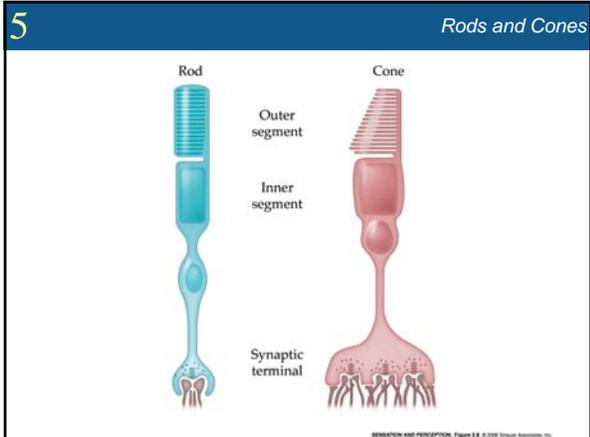
Il problema dell'univarianza: non si possono percepire i colori utilizzando un solo tipo di fotorecettori. Questo è anche il motivo per cui i colori non si vedono in una scena con una illuminazione molto debole

5 The Moonlit World



5 Retinal Information Processing (cont'd)

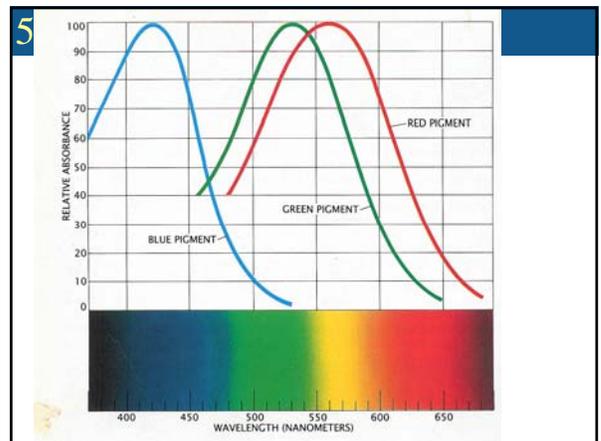
- La luce è trasmessa da due tipi di fotorecettori: i coni e i bastoncelli
- **Bastoncelli:** Fotorecettori specializzati per la visione notturna (scotopica)
- **Coni:** Fotorecettori specializzati per la visione diurna (fotopica), la visione dei dettagli fini e LA PERCEZIONE DEL COLORE



- 5 *Trichromacy*
- Scotopico: Questo aggettivo si riferisce ai livelli di illuminazione deboli, come riferimento si prenda livelli più bassi di quelli un chiaro di luna
  - I bastoncelli sono fotorecettori sensibili ai livelli di illuminazione scotopici
    - Tutti i bastoncelli contengono lo stesso tipo di pigmento: la rodopsina
    - Tutti i bastoncelli hanno la medesima sensibilità alle lunghezze d'onda, perciò tramite essi la discriminazione dei colori risulta essere impossibile!!!

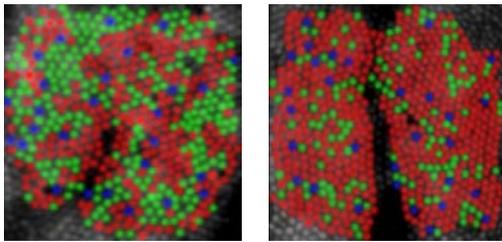


- 5 *Trichromacy (cont'd)*
- I coni: fotorecettori che si distinguono in tre categorie
    - Coni S: Coni che sono particolarmente sensibili a lunghezze d'onda corte. Massimo assorbimento a 420 nm. Frequenza 5-10% (NO coni blu)
    - Coni M: Coni che sono particolarmente sensibili a lunghezze d'onda medie. Massimo assorbimento a 530 nm. Frequenza ½ dei coni rossi (NO coni verdi)
    - Coni L: Coni che sono particolarmente sensibili a lunghezze d'onda lunghe. Massimo assorbimento a 565 nm. Frequenza 2 volte i coni verdi (NO coni rossi)



5

Distribuzione dei cono



L 50.6% M 44.2% S 5.2%

L:M=1.15

L 75.8% M 20.0% S 4.2%

L:M=3.79

Roorda e Williams *Nature* 397, 520 (1999)

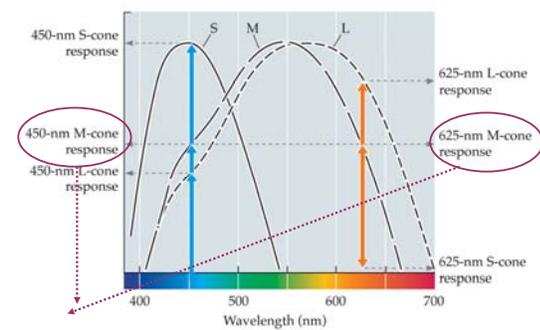
5

Trichromacy (cont'd)

- Disponendo di tre diversi tipi di cono è per noi possibile distinguere fra radiazioni luminose di lunghezze d'onda diverse e quindi *VEDERE I COLORI!!!*

5

Responses across the Three Types of Cones



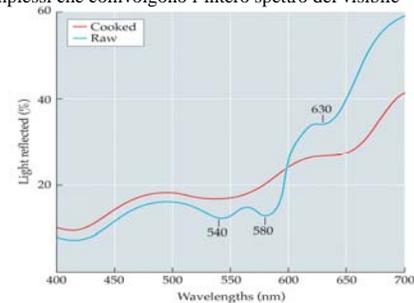
Ambiguità risolta!!

VISION AND PERCEPTION, Figure 5.4 © 2008 Sinauer Associates, Inc.

5

Reflected Light from Real-World Objects

Sino ad ora abbiamo considerato le risposte dei fotorecettori a singole lunghezze d'onda ma per la maggior parte del tempo noi non vediamo singole lunghezze d'onda ma pattern più complessi che coinvolgono l'intero spettro del visibile



5

Trichromacy (cont'd)

- **Metamerismo:** Combinazioni di lunghezze d'onda diverse che appaiono identiche. In generale il termine si riferisce a qualsiasi coppia di stimoli che sono percepiti essere identici nonostante le differenze a livello fisico

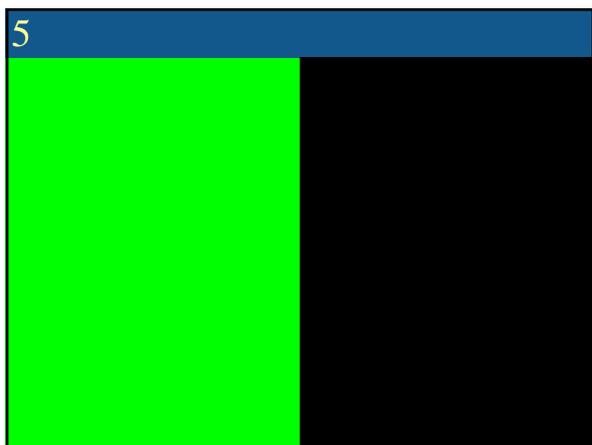
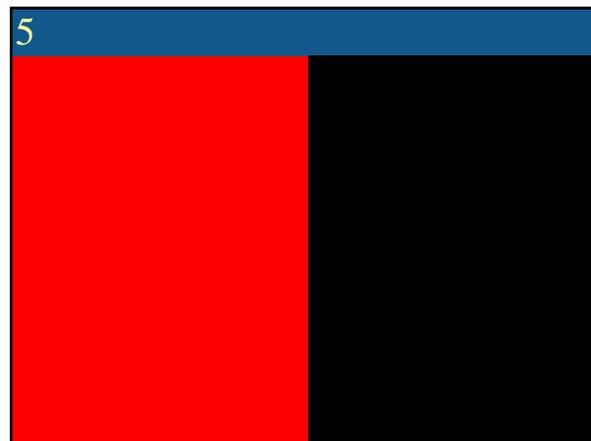
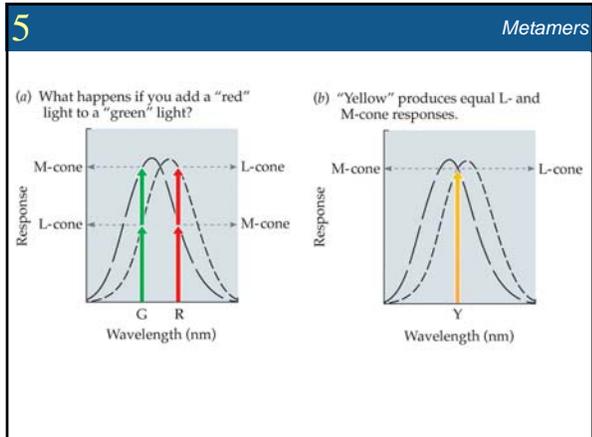
5

Trichromacy (cont'd)

Facciamo un piccolo esempio: prendiamo una luce verde e una luce rossa ed illuminiamo con queste un pezzo di carta bianca in modo che un mix di luce verde e rossa sia riflesso dalla carta indietro al nostro occhio.

Ammettiamo anche che il cono M produca 80 unità di risposta per la luce verde e 40 per quella rossa cos' come che il cono L produca 40 unità di risposta per la luce verde e 80 per quella rossa. *N.B. In questo esempio non consideriamo i cono S.*

Se assumiamo che si possano sommare insieme le risposte di ogni cono, entrambi (L e M) cono producono 120 unità di risposta



5 Trichromacy (cont'd)

Ricordatevi che il resto del sistema nervoso conosce solo la risposta fornita dai coni ed ignora la vera fonte di illuminazione!

Detto ciò risulta chiaro che la risposta dei coni nella situazione sopra presentata risulta indistinguibile da quella prodotta se ad illuminare il foglio di carta fosse stata un appropriata luce GIALLA

5 Trichromacy (cont'd)

- Due importanti avvertimenti:
  - Mischiare insieme le lunghezze d'onda non muta le lunghezze d'onda a livello fisico!
  - Per ottenere da una luce rossa e una verde un giallo perfetto si deve semplicemente scegliere con accuratezza la giusta quantità di rosso e verde.

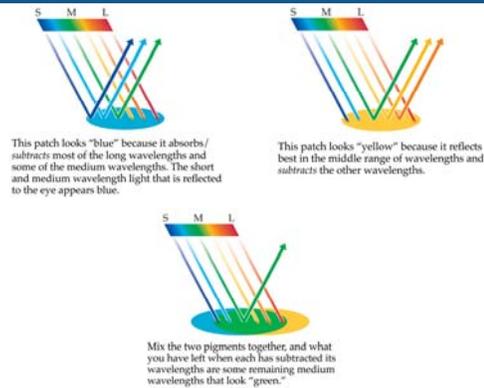
5 Trichromacy (cont'd)

- Combinazioni colorimetriche col metodo ADDITIVO (miscuglio di luci) : Se una luce A e una B sono riflesse da una certa superficie verso l'occhio, a livello percettivo l'effetto di queste due radiazioni si sommano insieme

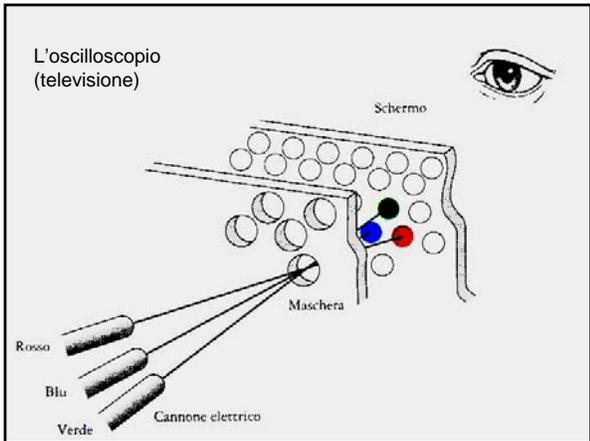
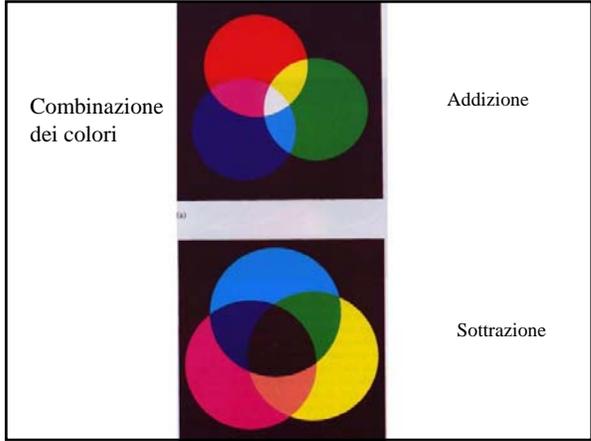
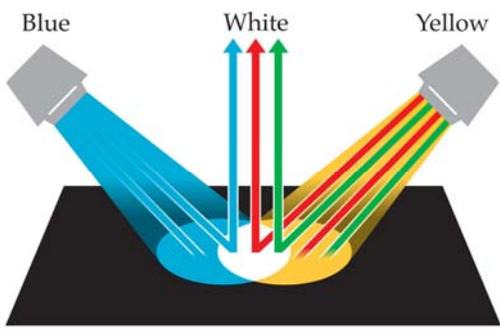
5 Trichromacy (cont'd)

- Combinazioni colorimetriche col metodo SOTTRATTIVO (dovute per esempio all'uso di pigmenti) Se i pigmenti A e B si mischiano, una certa quantità della luce riflessa da una superficie sarà sottratta da A, un po' da B e solo la quantità rimanente darà un contributo alla percezione dei colori

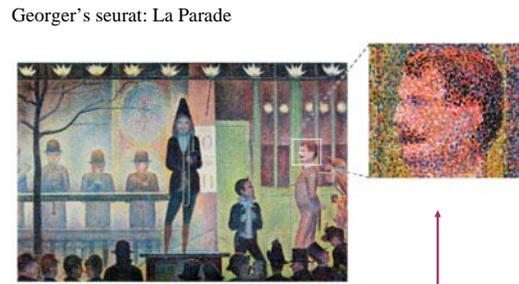
5 Subtractive Color Mixture



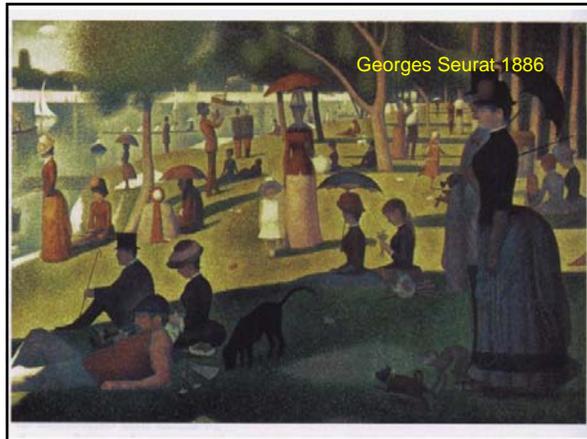
5 Additive Color Mixture



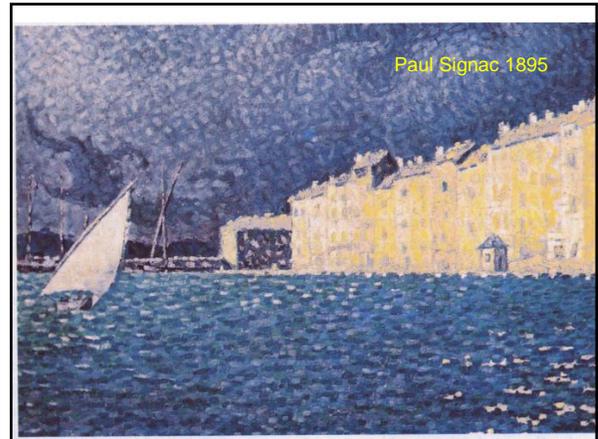
5 Additive Color Mixture with Paints



Visto da vicino il volto dell'uomo è formato da tanti punti di colore innaturale per una faccia



Georges Seurat-1886



Paul Signac. 1895

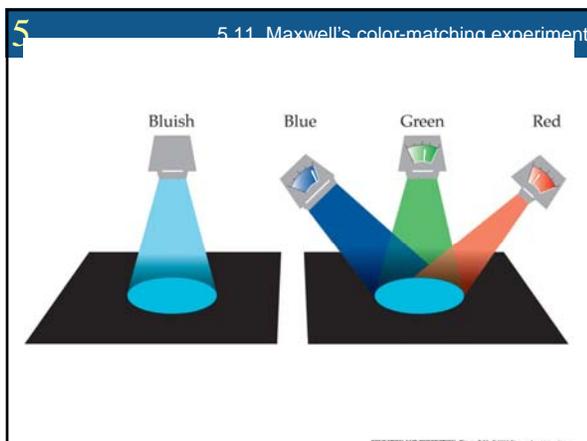
5 Trichromacy (cont'd)

- Lo spazio dei colori: E' dato da uno spazio tridimensionale ed è stato definito in modo da rappresentare le risposte dei tre tipi di coni in modo da comprendere tutti i colori visibili
- E' degno di essere notato che la teoria tricromatica del colore di Young (1773-1829) e Helmholtz (1821-1894) è stata sviluppata PRIMA che si conoscesse la natura dei pigmenti dei coni nel sistema percettivo visivo attraverso brillanti esperimenti in psicofisica.

5 Trichromacy (cont'd)

- Gli esperimenti condotti con la "color matching technique" di Maxwell consistevano nel chiedere ad un osservatore di creare con un mix di colori una tinta identica ad una di riferimento.

I risultati mostrarono che con soli TRE "primari" era possibile ricostruire qualsiasi colore dato!!!



5 Trichromacy (cont'd)

- Teoria Tricromatica: teoria che prevede che i colori siano percepiti dal sistema percettivo visivo come una tripletta di valori indicanti le risposte di tre tipi di recettori che adesso sappiamo essere i tre tipi di coni (Teoria di Young-Helmholtz)

5

Trichromacy (cont'd)

**Lo spazio dei colori:**

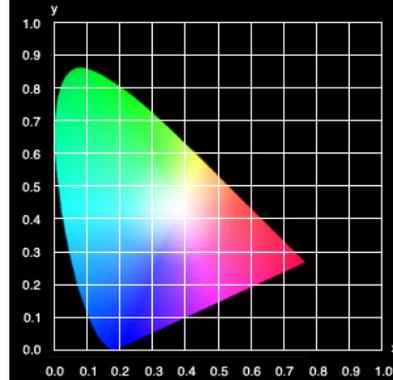
Nel 1931 la Commissione Internazionale per l'Illuminazione (CIE) definì un diagramma di cromaticità standard che comprendeva tutte le tinte visibili dall'occhio umano.

Esso si basava come altre codifiche note (RGB, CYM) sull'utilizzo di tre colori primari.

Dal sistema a tre primari immaginari (colori ipersaturi non visibili) si può passare tramite una operazione di normalizzazione a una rappresentazione a due parametri dello spazio dei colori visualizzabile su un piano.

5

Trichromacy (cont'd)



5

Trichromacy (cont'd)

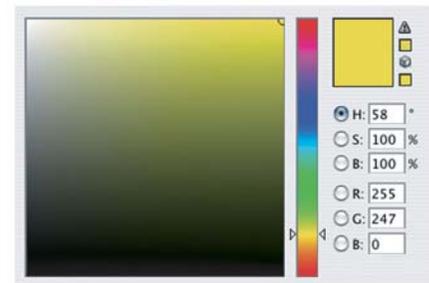
- Lo spazio dei colori:
  - Tinta: L'aspetto cromatico del colore
  - Saturazione: La "purezza" cromatica di una tinta. Una luce bianca ha saturazione zero mentre un rosso sangue è un rosso saturo.
  - Luminosità: La distanza dal colore nero nello spazio dei colori

5

A Color Picker

Luminanza

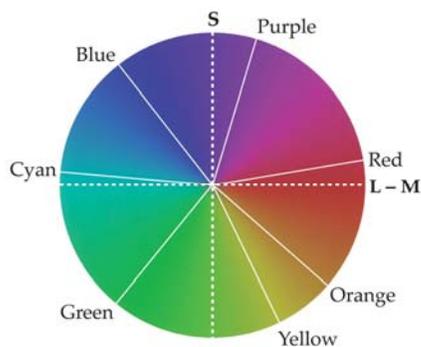
La luminanza è tenuta costante



Saturazione

5

Color Space



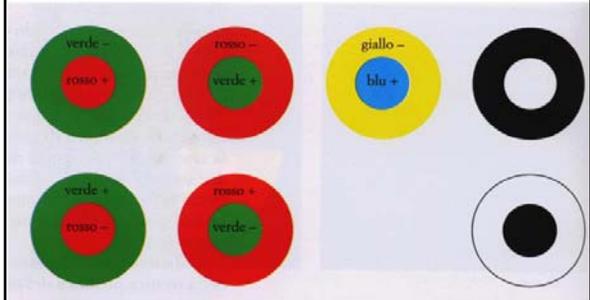
5

Opponent Processes (cont'd)

- **Teoria dell'opponenza cromatica.** Il modello dell'opponenza dei colori ha preso vita dall'intuizione di Hering (1834-1918) circa alcuni colori impossibili (e.g., un rosso verdognolo, o un blu ingiallito). La teoria dell'opponenza cromatica suggerisce allora che la percezione dei colori sia basata su la risposta di tre meccanismi che operano sull'opponenza di due colori: rosso-verde, blu-giallo (il terzo meccanismo bianco-nero è acromatico)

5 Opponent Processes (cont'd)

- Cellula ad opponenza cromatica: un neurone la cui attività è basata sulla differenza fra gruppi di coni



5 Opponent Processes

- Come vi ricorderete le cellule gangliari hanno una organizzazione centro periferia. Questa può essere la base per un meccanismo di opponenza cromatica. Nel Nucleo Genicolato laterale, le cellule P (sistema parvocellulare) mostrano meccanismi di opponenza cromatica. In effetti di questi meccanismi ne esistono 3
  - Opponenza rosso-verde
  - Opponenza blu-giallo
  - Opponenza Bianco-Nero (canale acromatico)

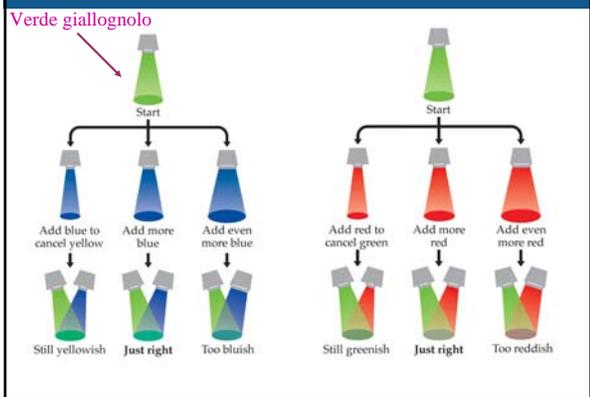
5 Opponent Processes

- In V1 il tipo di opponenza diviene ancora più complesso, si parla infatti di cellule a doppia opponenza!

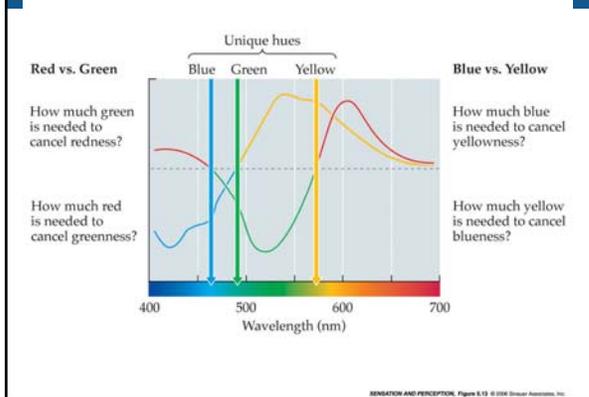
5

- Leo Hurvich e Dorothea Jameson (1957) trovarono un modo per dimostrare questa teoria dell'opponenza dei colori utilizzando la tecnica della cancellazione della tinta. Si parte da un verde giallognolo e si chiede quanto blu devo aggiungere per togliere del tutto il giallo?
- Questa tecnica porta ad individuare 4 colori univoci (unique hues): blu, giallo, verde e rosso (che però non ha un locus univoco)

5 Hue Cancellation Experiment



5 5.13 Results from a hue cancellation experiment



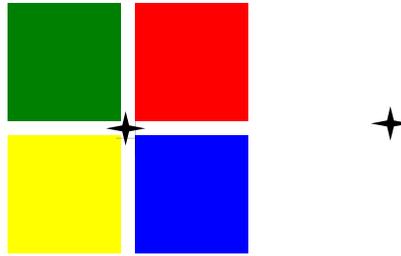
5

## Opponent Processes (cont'd)

- Post-immagine: Una immagine visiva che è ancora visibile dopo che lo stimolo è scomparso
  - Questo è un buon metodo per vedere l'opponenza dei colori in azione

5

## I colori complementari



5



5



5

## Opponent Processes (cont'd)

- Post-Immagine negativa: Una post immagine la cui polarità è opposta a quella dell'immagine di partenza. La luce produce post immagini nere. I colori post immagini complementari: rosso produce verde; giallo produce blu

5

## Complementary after-images



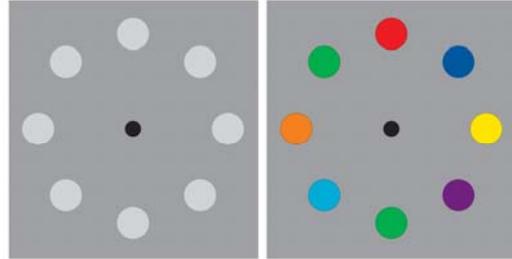
5

Complementary after-images



5

Negative Afterimage



SENSATION AND PERCEPTION, Figure 5.14 © 2003 Sinauer Associates, Inc.

5

Opponent Processes (cont'd)

- Acromatopsia: Una inabilità a percepire i colori dovuta a un danno del sistema nervoso centrale

5

Does Everyone See Colors the Same Way?

- I colori vengono visti da tutti alla stessa maniera? – SÌ!
  - C'è un consenso generale sui colori
  - Alcune variazioni sono dovute all'età (Eg ingiallimento del cristallino)

5

Does Everyone See Colors the Same Way? (cont'd)

- Tutti vedono i colori allo stesso modo? – NO!
  - Circa 8% dei maschi ma solo lo 0.5% delle femmine ha un qualche deficit di percezione cromatica

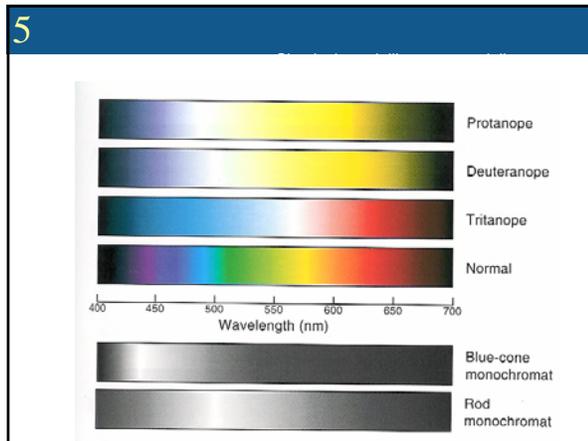
Perché secondo voi così poche donne sono soggette a deficit della percezione cromatica?

5

Daltonismo

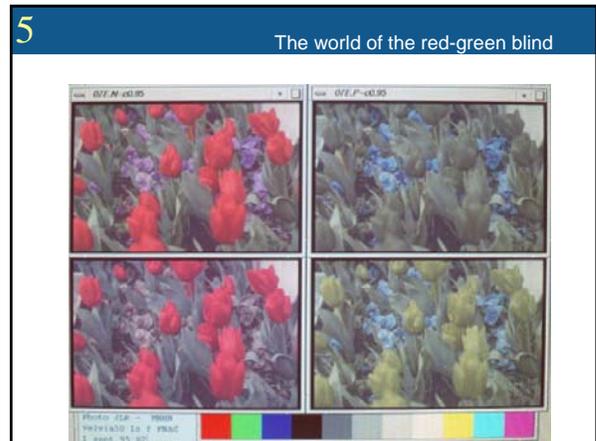
- **Protanopia** (assenza del pigmento rosso)
- **Deuteranopia** (assenza del pigmento verde)
- **Tritanopia** (assenza del pigmento blu)
- Geni:
  - I geni per l'opsina dei pigmenti rosso e verde sono vicini sul cromosoma X
  - Il gene per l'opsina blu sul cromosoma 7
  - Il gene per rodopsina e sul cromosoma 3

5

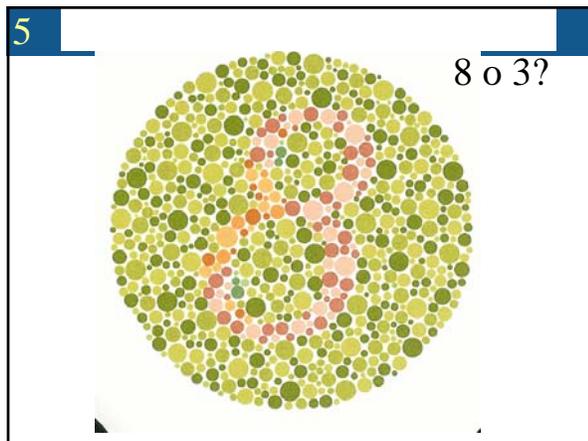


5

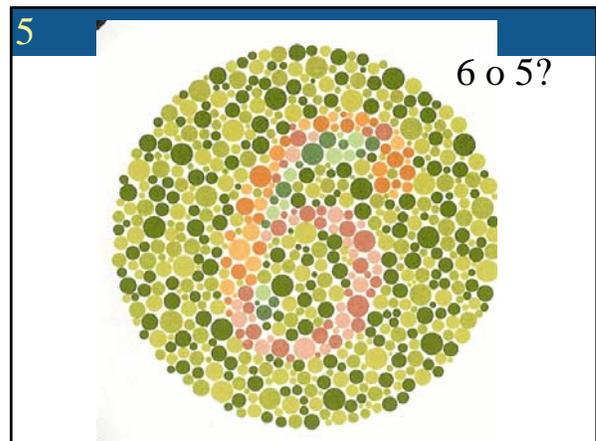
The world of the red-green blind



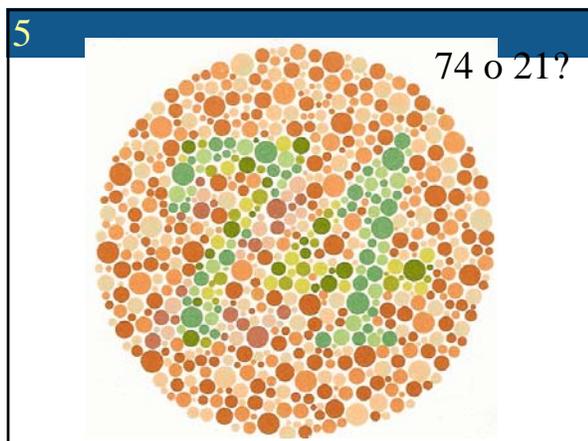
5



5



5



5

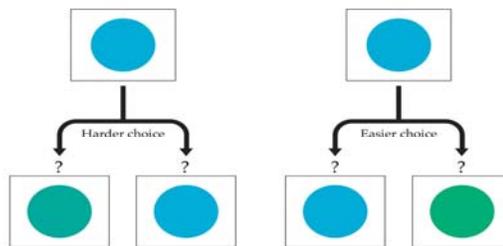
	Pigmento	Effetti	Basi genetiche	Manifestazione (%)
<i>Dicromie</i>				
Protanopia	Assenza del pigmento rosso	Confusione delle lunghezze d'onda nell'intervallo tra 520-700 nm	Gene rosso ibrido inattivo o che produce un pigmento verde	M: 1.0; F: 0.02
Deuteranopia	Assenza del pigmento verde	Confusione delle lunghezze d'onda nell'intervallo tra 530-700 nm	Delezione del gene verde	M: 1.1; F: 0.1
Tritanopia	Assenza del pigmento blu	Confusione delle lunghezze d'onda nell'intervallo tra 445-480 nm	Mutazione del gene blu	0.001-0.005 nessuna differenza tra i sessi
<i>Tricromie anomale</i>				
Protanomalia	Pigmento rosso ibrido	Associazione anomale tra i colori	Gene rosso ibrido	M: 1.0; F: 0.02
Deuteranomalia	Pigmento verde ibrido	Associazione anomale tra i colori	Gene verde ibrido	M: 4.9; F: 0.04

5 Does Everyone See Colors the Same Way? (cont'd)

- Culture differenti descrivono i colori in maniera differente
  - Idea di un relativismo culturale
  - Esperimento condotto da Elena Rosh in Nuova Guinea con una popolazione indigena che a livello linguistico comunicativo distingueva solo colori chiari-caldi (mola) e scuri freddi (mili).

5 Effect of Color Category

Questi colori per i dani sono tutti “mili” però se devono dire quale dei colori presentati successivamente è più simile a quello in alto, anche per loro il compito a destra è più facile di quello a sinistra



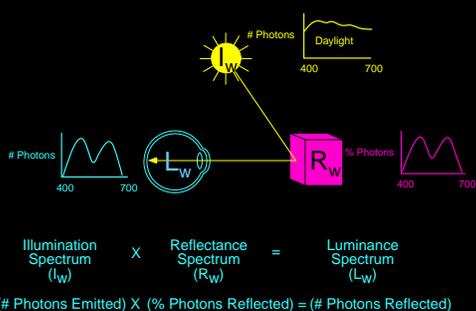
5 From the Color of Lights to a World of Color

- Colore scorrelato: Un colore che può essere percepito in isolamento
- Colore correlato: Un colore, come il marrone o il grigio che è percepito solo in relazione ad altri colori

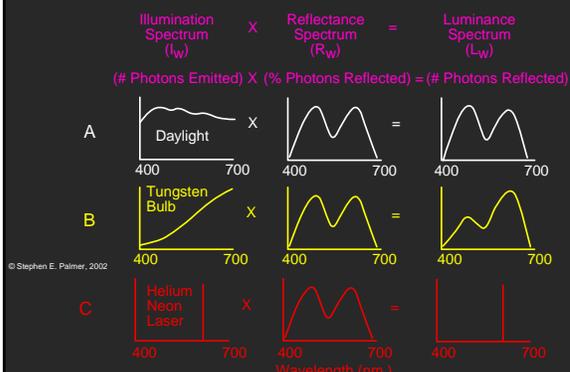
5 From the Color of Lights to a World of Color (cont'd)

- Alcuni problemi che emergono prepotentemente quando si studia i colori fuori dal laboratorio:
  - La costanza del colore
  - La riflettanza

5 Color Constancy

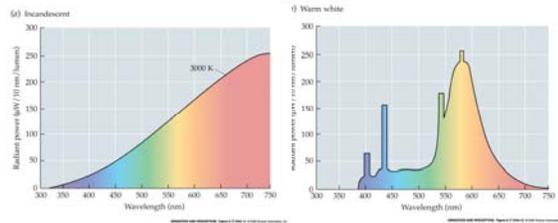


5 Color Constancy

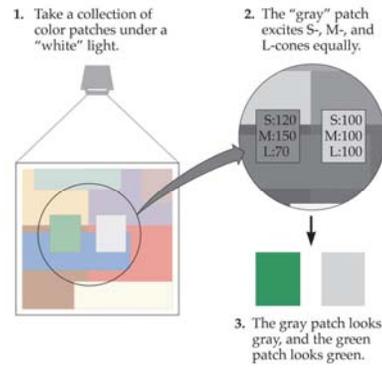


5 5.17 Spectral power distributions for two different lightbulbs

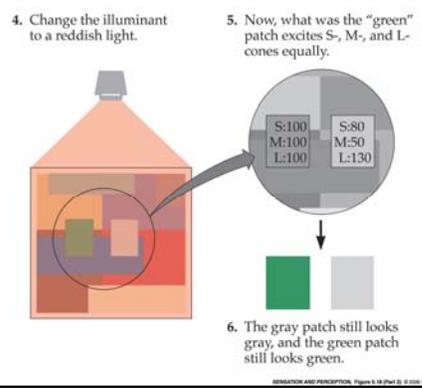
Florescent light



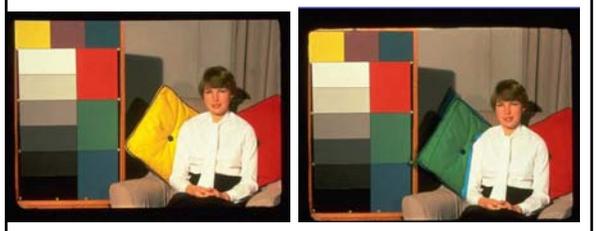
5 McCann, McKee, and Taylor Experiment (Part 1)



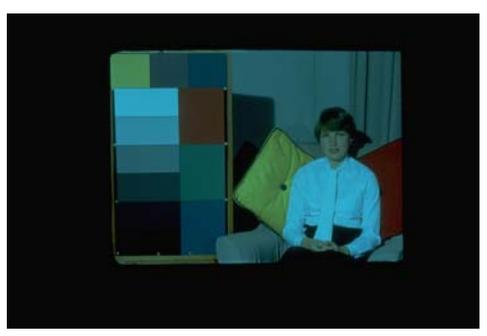
5 McCann, McKee, and Taylor Experiment (Part 2)



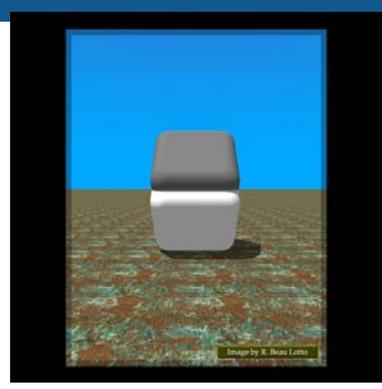
5 La costanza del colore

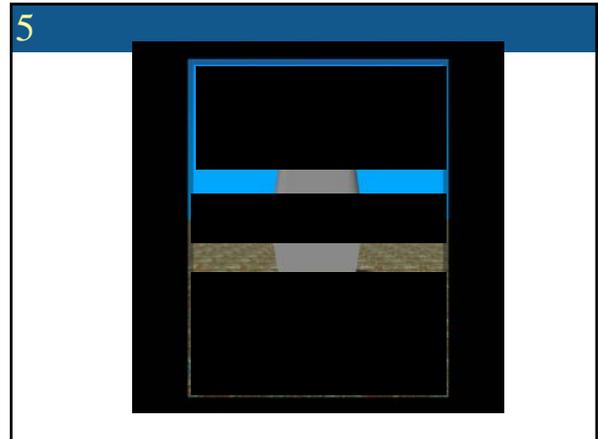
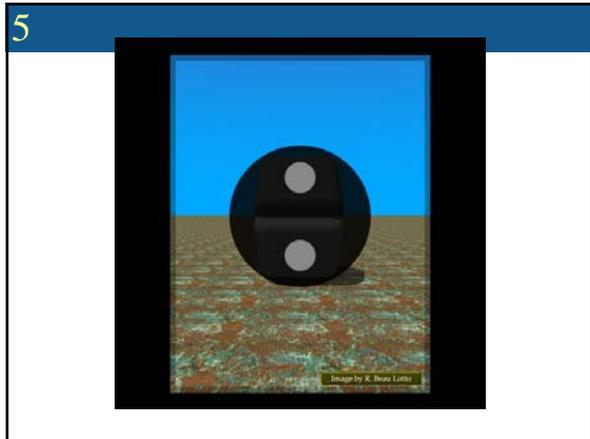


5 La costanza del colore

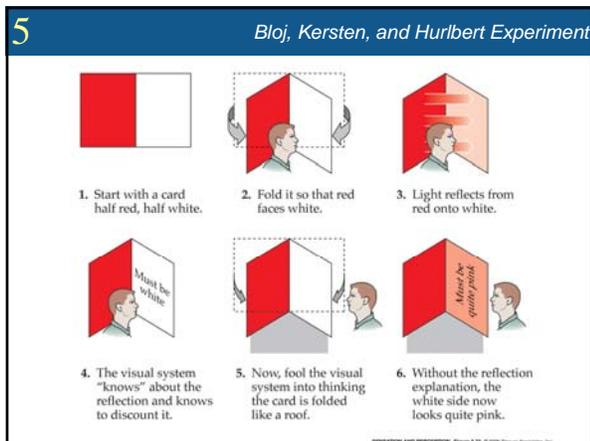


5





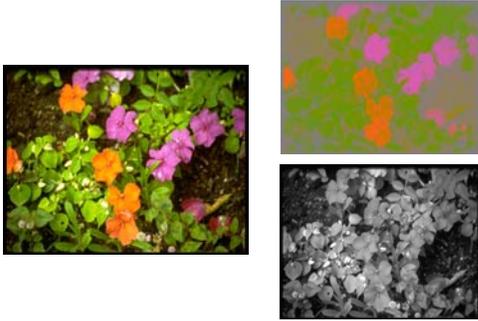
- 5 From the Color of Lights to a World of Color (cont'd)
- Constraints fisici che permettono la costanza del colore:
    - Una buona stima dell'illuminante
    - Assunzioni circa i fonti di luce
    - Assunzioni circa le superfici



- 5 L'evoluzione della visione dei colori nei primati
- Tutti i mammiferi non primati studiati finora sono dicromatici.
  - Si pensa che il secondo sito genico sul cromosoma X derivi da una duplicazione genica 35-40 milioni di anni fa
  - La tricromia e' un vantaggio nella gran parte delle situazioni (riconoscimento di frutta matura ecc)

5

Che serve il colore?



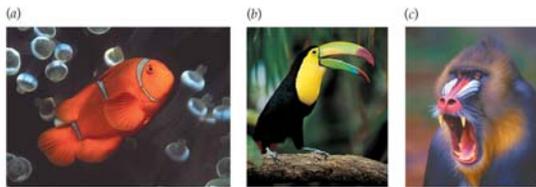
5

From the Color of Lights to a World of Color (cont'd)

- Gli esperimenti sugli animali aiutano a comprendere la visione dei colori negli umani:
  - I fiori mandano avvisi attraverso i colori per le api proponendo uno scambio di cibo per sesso (per l'impollinazione)
  - Alcuni pesci tropicali e i tucani hanno parte del loro corpo vivamente colorata come segnale sessuale

5

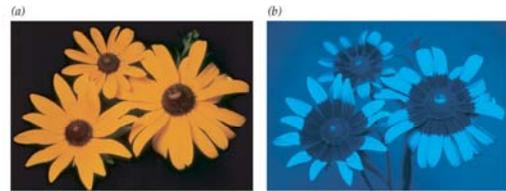
Animal Coloration



SENSATION AND PERCEPTION, Figure 5.23 © 2010 Sinauer Associates, Inc.

5

5.24 Black-eyed Susans as humans see them (a) and as honeybees see them (b)

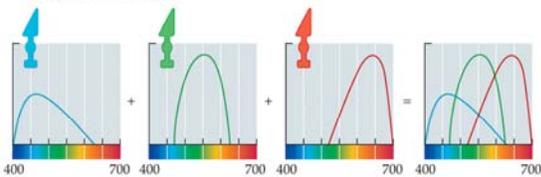


SENSATION AND PERCEPTION, Figure 5.24 © 2010 Sinauer Associates, Inc.

5

Photopigments (Part 1)

(a) Different photopigments can tune photoreceptors to different wavelengths

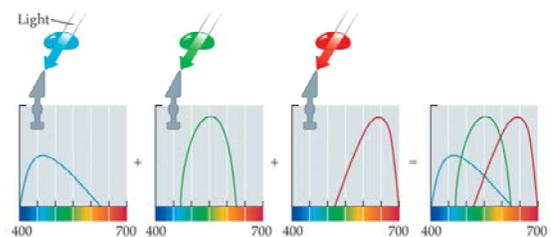


SENSATION AND PERCEPTION, Figure 5.25 (Part 1) © 2010 Sinauer Associates, Inc.

5

Photopigments (Part 2)

(b) Colored oil droplets can also tune photoreceptors to different wavelengths



SENSATION AND PERCEPTION, Figure 5.25 (Part 2) © 2010 Sinauer Associates, Inc.