

ANALISI FISICHE E SENSORIALI



IL COLORE

SACCHETTI Giampiero

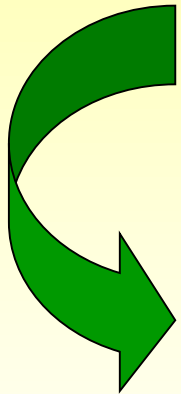
E-mail: gsacchetti@unite.it

Telefono: 0861-266913



Colore

È la proprietà fisica che permette all'osservatore di elaborare il primo giudizio sulla qualità di un alimento



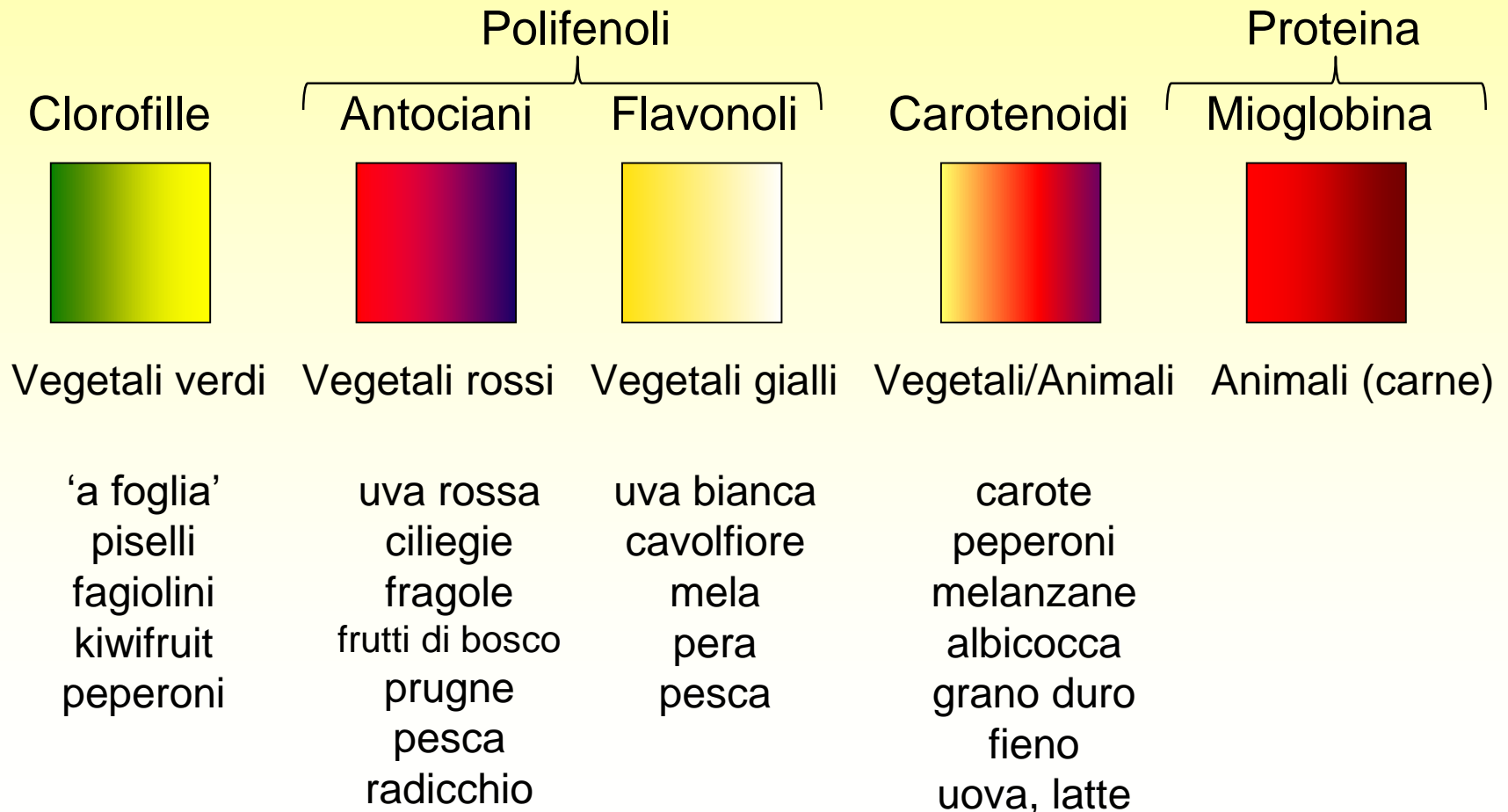
Rispondenza a caratteristiche colorimetriche caratteristiche

Relazione ad altre proprietà fisiche e sensoriali (aroma, sapore)

Indice dello stato di freschezza

Pigmenti naturali

Il colore degli alimenti è principalmente determinato dalla presenza di pigmenti naturali nelle materie prime:



Il colore negli alimenti

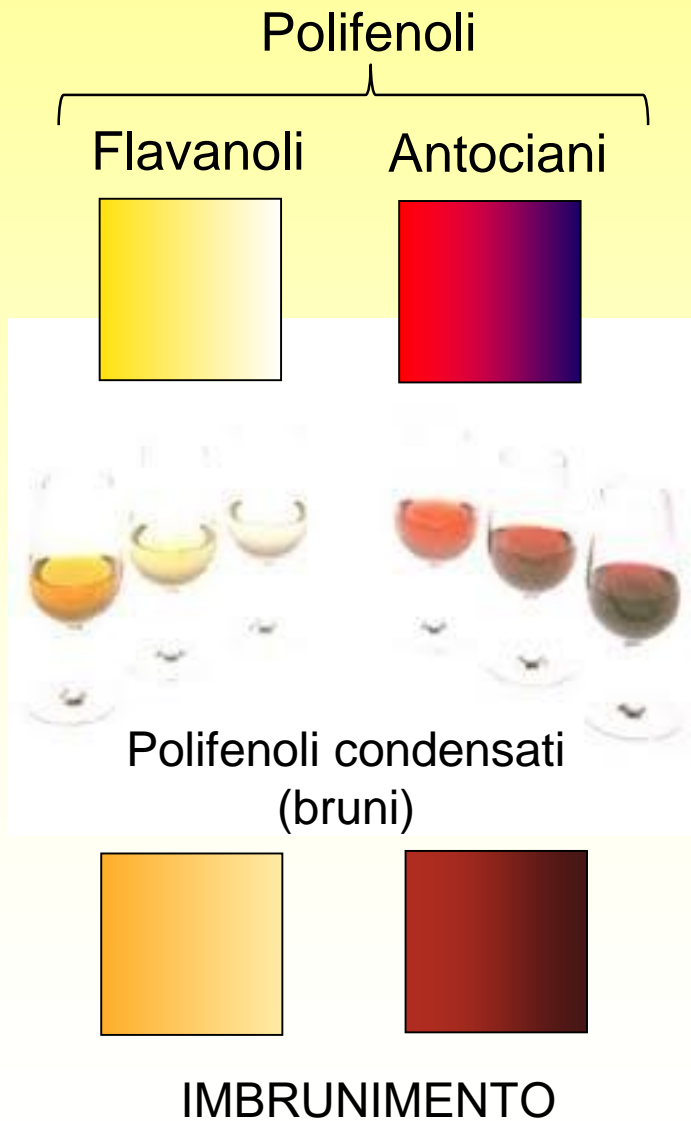
Negli alimenti processati il colore è determinato da:

1. Modificazioni dei pigmenti naturali
1. Composti colorati indotti dal processo
1. Aggiunta coloranti artificiali

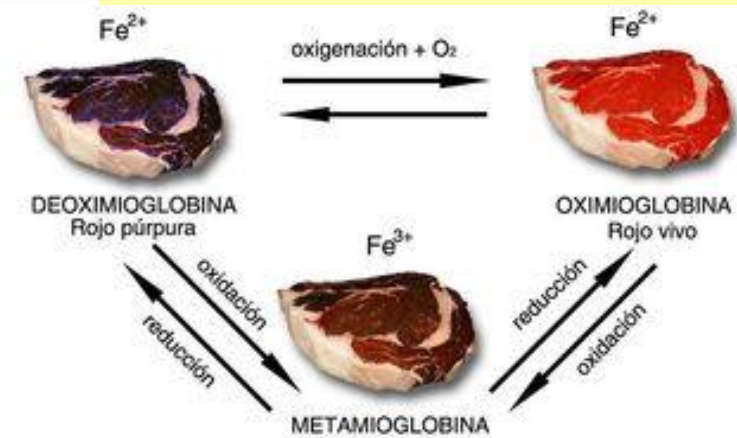
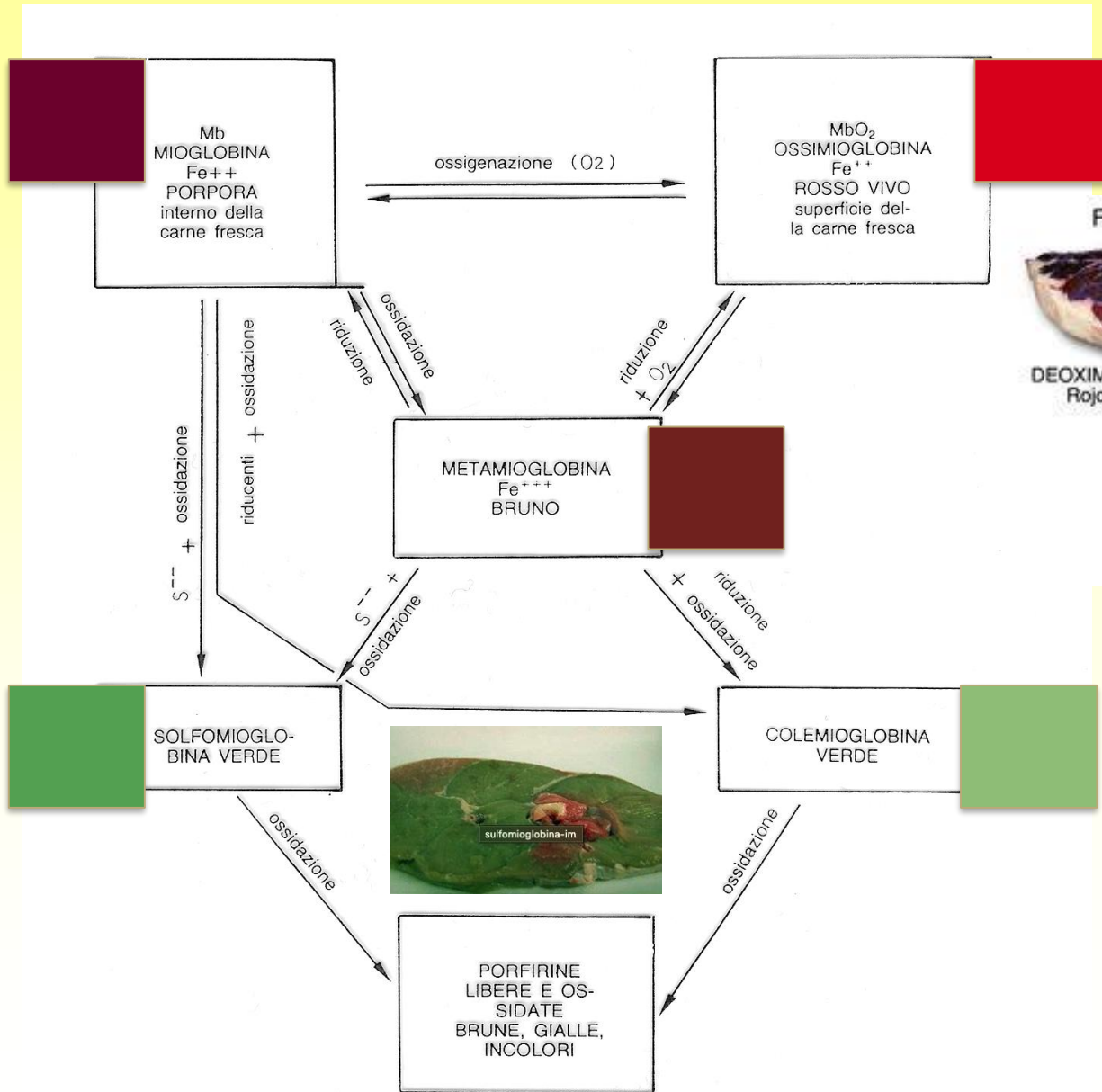
1. Modificazione dei pigmenti naturali

- **Reazioni chimiche**
 - Ossidazione (polifenoli, carotenoidi e mioglobina)
 - Sostituzione ioni metallici (clorofilla e mioglobina)
 - Protonazione/acidificazione (antociani)
- **Reazioni termoindotte (trattamento termico o cottura)**
 - Ossidazione (polifenoli, carotenoidi e mioglobina)
 - Denaturazione e ossidazione mioglobina
 - Decarbossimetilazione clorofilla
 - Lisciviazione (cottura in acqua)
- **Reazioni enzimatiche** (polifenolossidasi PPO, perossidasi POD, lipossigenasi LOX, clorofillasi CHL)
 - Imbrunimento enzimatico (PPO, POD) ossidazione polifenoli
 - Decolorazione carotenoidi (POD, LOX) ossidazione carotenoidi
 - Inverdimento (CHL) reazione termo-indotta

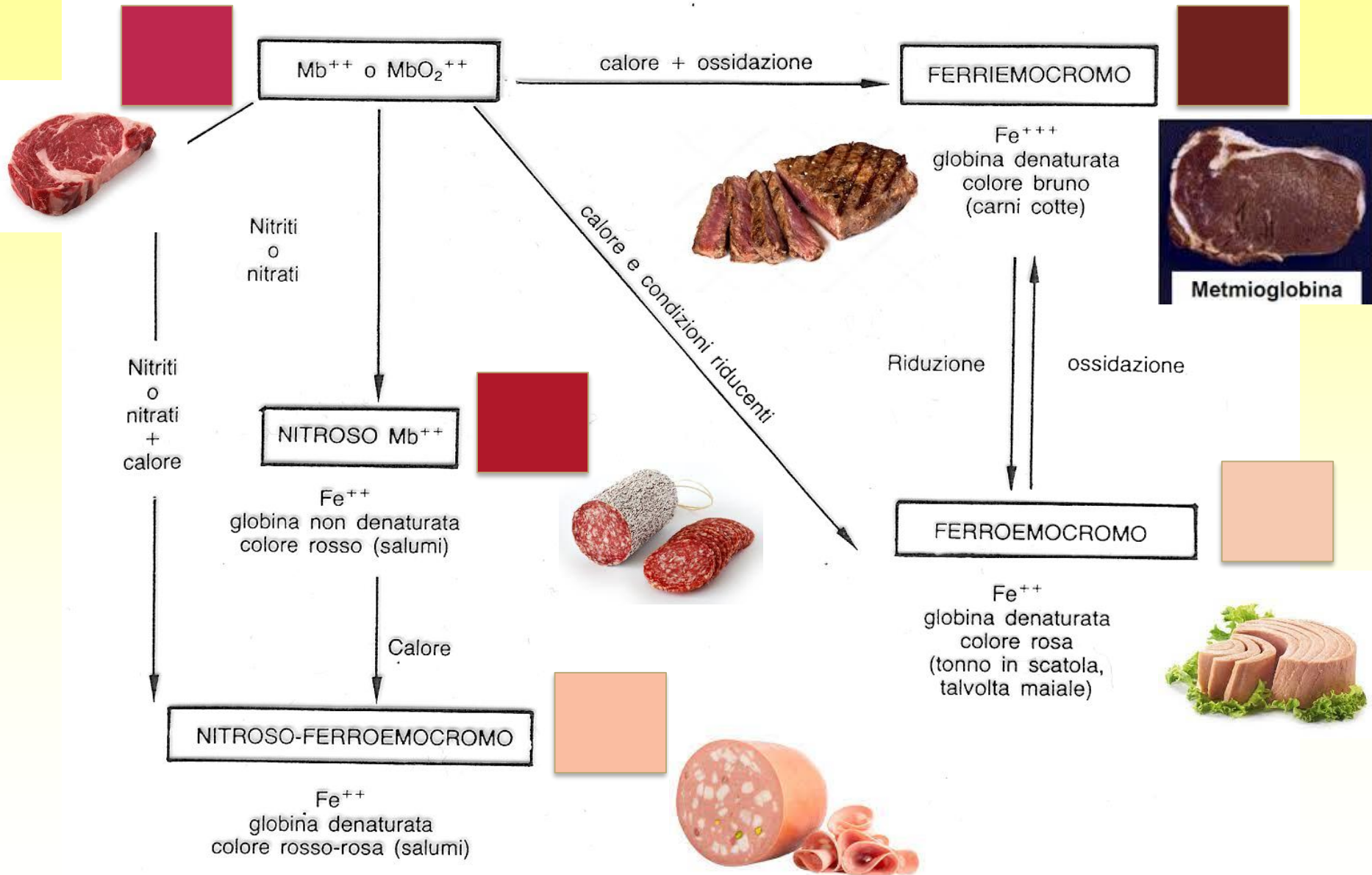
Ossidazione



Pigmenti e colore: il caso della mioglobina (I)

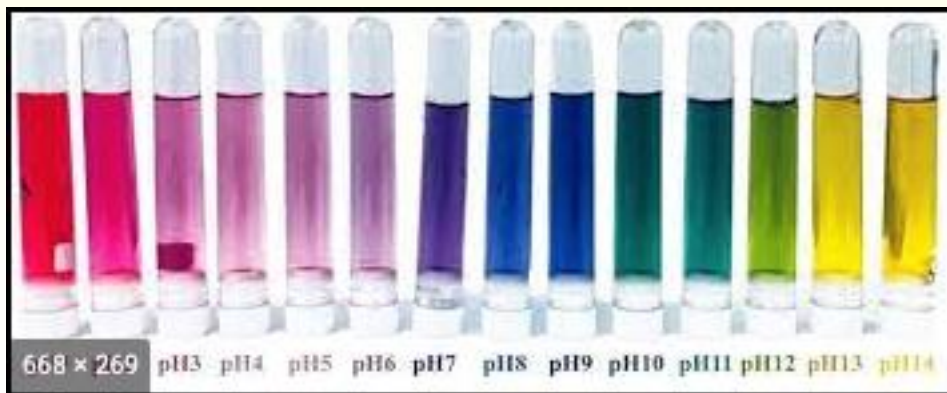
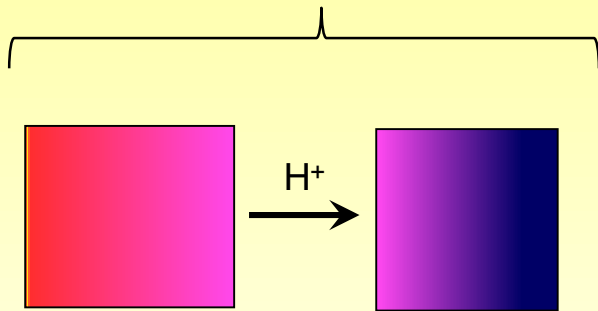


Pigmenti e colore: il caso della mioglobina (II)

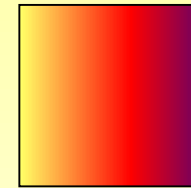


Acidificazione

Antociani (polifenoli)

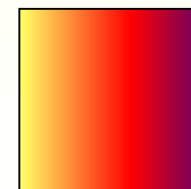


Carotenoidi



ISOMERIZZAZIONE

H^+

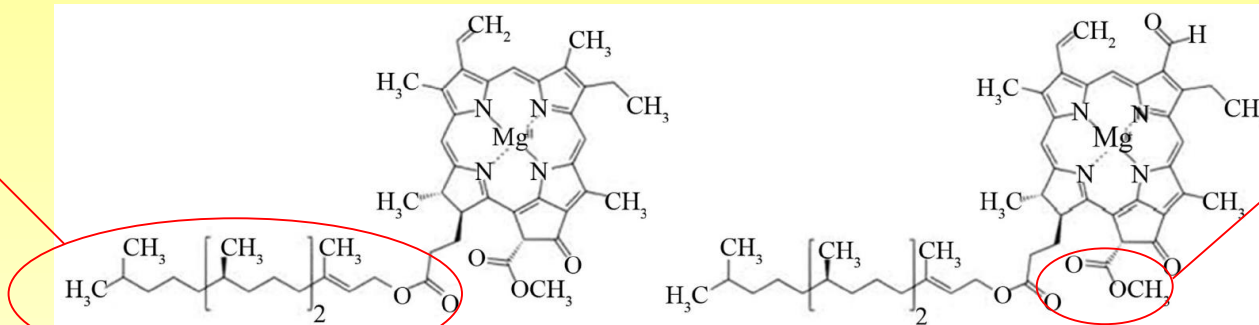


Cambiamenti trascurabili

Acidificazione: degradazione della clorofilla (I)

scambio ionico o enzimi

fitolo



carbrossimetile

Chlorophyll a

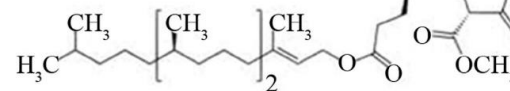
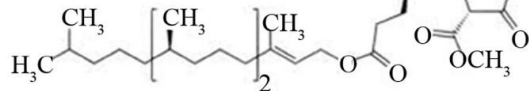
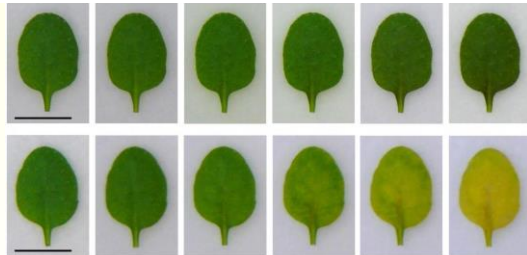
Chlorophyll b

Magnesium dechelataze

Low pH

scambio ionico
(alimenti acidi)

senescenza
delle foglie

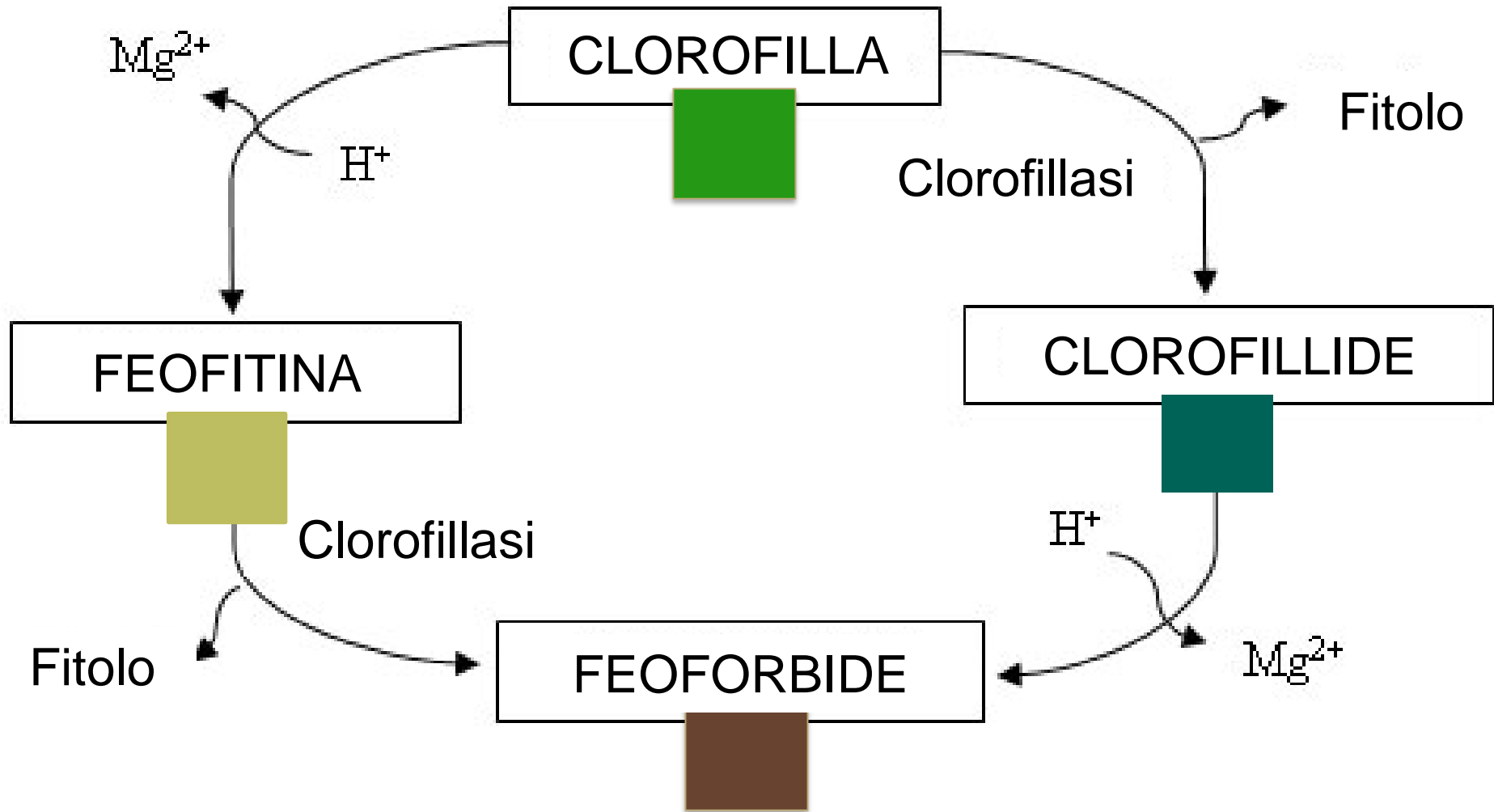


Pheophytin a

Pheophytin b

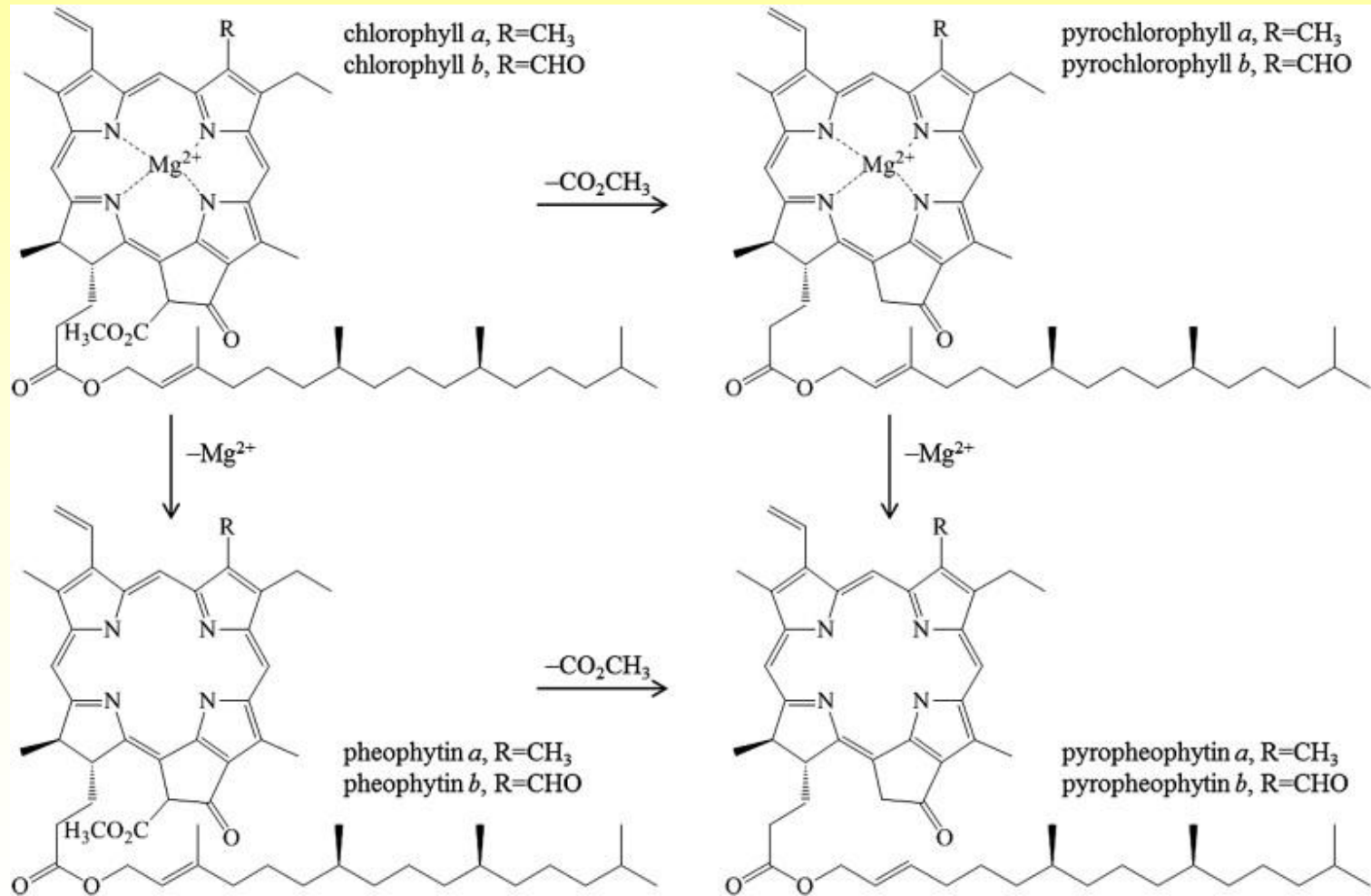
Degradazione della clorofilla in cottura (II)

scambio ionico e azione clorofillasi



Degradazione della clorofilla in cottura (III)

degradazione termica con decarbossimetilazione



2. Modificazione indotta da processo

- **Reazioni di imbrunimento non enzimatico**
 - Reazione di Maillard
 - Reazione di caramellizzazione

The diagram illustrates the progression of the Maillard reaction in various food products, showing the stages of the reaction and the resulting products. The background is a color gradient from light yellow at the top to dark brown at the bottom, indicating the degree of browning. Two vertical arrows on the sides indicate the direction of the process: 'Aumento di temperatura e tempo di trattamento termico' (Increase in temperature and thermal treatment time) pointing downwards on the left, and 'Diminuzione dell'attività dell'acqua' (Decrease in water activity) pointing downwards on the right.

LATTE UHT LATTE STERILIZZATO	Stadi iniziali della reazione di Maillard	Prodotto di Amadori Composti dicarbonilici
BIRRA CHIARA PASTA	Stadi intermedi della reazione di Maillard	Pirralina Carbossi-reduttoni Idrossi metil furfurolo
PRODOTTI DA FORNO BIRRA SCURA	Stadi avanzati della reazione di Maillard	Aldeidi di Strecker Pirazine Melanoidine
CACAO CARNE ARROSTITA CAFFE'		Ammine eterocicliche Melanoidine

Fig. 1 - Sviluppo e prodotti della reazione di Maillard in alcuni prodotti alimentari.

3. Coloranti



- **Molecole naturali o artificiali aggiunte per:**
 - Conferire colori delle materie prime
(es. aranciata = arancio, verde = menta)
 - Conferire particolari caratteristiche colorimetriche
(blu) per incrementare accettabilità sensoriale
 - Ripristino caratteristiche colorimetriche alterate da processo

Devono essere indicati in etichetta (lettera E100 – E 199)

Scopo valutazione oggettiva colore nel settore degli alimenti

- **Rispondenza a caratteristiche merceologiche e di qualità di un alimento**

Freschezza

- Tonalità di rosso nella carne fresca cruda
- Tonalità verde negli ortaggi

Classificazione partite di alimenti (conformità)

Valutazione grado di maturazione frutta

Scopo valutazione oggettiva colore nel settore degli alimenti

- **Processo di coltivazione e/o allevamento**
 - Colore tuorlo d'uovo (concentrazione naturale pigmenti-xantofille o indotta via dieta)
 - Colore vegetali verdi (concentrazione clorofille per effetto concimazione)
- **Intensità del processo**
 - Grado di imbrunimento per NEB (cottura, tostatura)
- **Stato di conservazione**
 - Imbrunimento mela fresca (reazione enzimatica)
 - Imbrunimenti o inverdimenti in prodotti carnei (alterazione microbica e/o chimica)

Tre sono i fattori interconnessi che consentono la valutazione e definizione del colore di un oggetto in un dato ambiente.

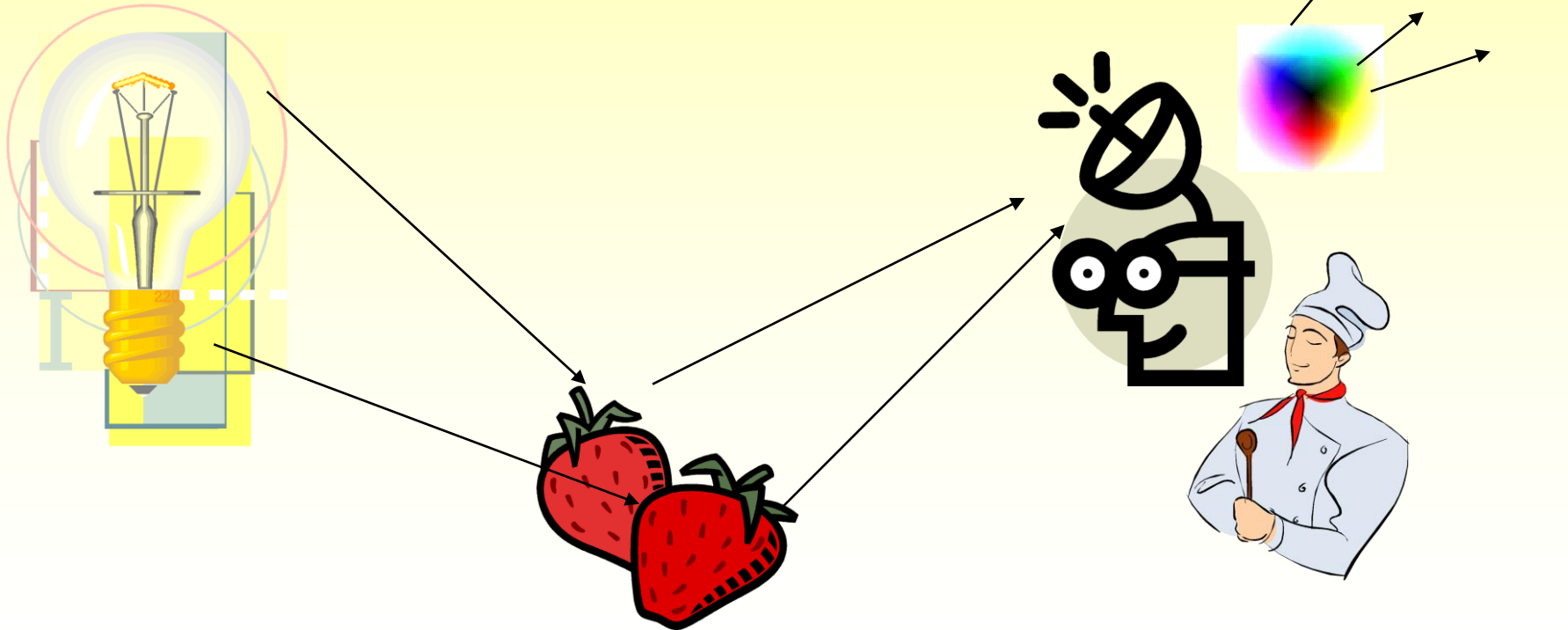
Essi riguardano

- (1) il processo umano della vista,**
- (2) l'ambiente=effetto della luce sull'oggetto e**
- (3) la natura dell'oggetto stesso**

- Nell'uomo, la percezione del colore è un fenomeno psicofisico che è solo una parte del complesso processo della percezione visiva globale dell'informazione ottenuta attraverso gli occhi ed interpretata dal cervello.
- La visione di un oggetto è la sommatoria delle risposte riconosciute dal cervello dai segnali avuti dall'oggetto stesso.
- La sensazione deriva dall'oggetto nella modalità in cui esso si colloca in quell'ambiente

Cosa serve per percepire il colore

- **Osservatore**
- **Oggetto**
- **Sorgente luminosa**



Il colore

I colori **non sono proprietà intrinseche** dei corpi ma **sensazioni** che vivono nel sistema nervoso dell'osservatore (solo specie umana, diversa percezione in animali e insetti!!).

Nell'uomo tutte le operazioni primarie relative alla visione avvengono nella **retina**, il tessuto che ricopre il fondo dell'occhio.

Le sensazioni di colore sono uno dei risultati di questo processo, i cui stadi, relativamente alla visione a colori, possono essere ricondotti a quelli definiti dalla *teoria delle zone* di Mueller.

Osservatore (uomo): formazione della **percezione** del colore

3 fasi complessive:

1. Lo stimolo visivo (= gruppo di fotoni = potenza raggiante di opportuna lunghezza d'onda) arriva all'occhio, lo attraversa e raggiunge i fotorecettori della retina (bastoncelli e coni), dai quali viene assorbito. Risultante dell'assorbimento è la generazione da parte dei coni di 3 segnali nervosi (= segnali elettrici in modulazione di ampiezza).
2. Elaborazione e compressione dei tre segnali nervosi a livello retinico e creazione dei segnali oppONENTI (= segnali elettrici in modulazione di frequenza), e la loro trasmissione al cervello lungo il nervo ottico.
3. Interpretazione dei segnali oppONENTI da parte del cervello e percezione colore.

Fase I: zone di Mueller

- La **prima zona di Mueller** = zona dei fotorecettori della retina destinati alla visione

Visione a colori dovuta a cellule dette *coni*.

Essi sono di tre tipi, strutturalmente uguali, ma caratterizzati da differenti foto-pigmenti e sensibili ai colori rosso (R, red), verde (G, green) e blu (blue).

Il processo della visione a colori inizia con l'*attivazione* dei coni dovuta all'assorbimento di potenza raggiante da parte dei fotopigmenti.

Bastoncelli: sono fotorecettori responsabili della visione in bassa luminosità. Sono molto sensibili alla luce, ma non hanno sensibilità al colore

Fase I: zone di Mueller

La risposta di ogni tipo di cono è proporzionale all'intensità della luce che lo colpisce con alcuni limiti:

- *limite inferiore*, al di sotto del quale il cono non è più sensibile (soglia di sensibilità) che non è la stessa per i tre tipi (il **blu** ha la soglia più bassa)
- *limite superiore* (soglia di saturazione), al di sopra della quale la risposta è sempre la stessa.

Tra la soglia di sensibilità e quella di saturazione, le attivazioni dei coni sono dipendenti dalla distribuzione spettrale e linearmente dipendenti dalla potenza assorbita.

Fase I: zone di Mueller

Ogni radiazione elettromagnetica che entra nell'occhio può essere quantificata mediante una **terna di numeri** che rappresentano le intensità di rosso verde e blu.

I colori godono di proprietà additiva lineare (**leggi di Grassman**).



Fase II: seconda zona di Mueller

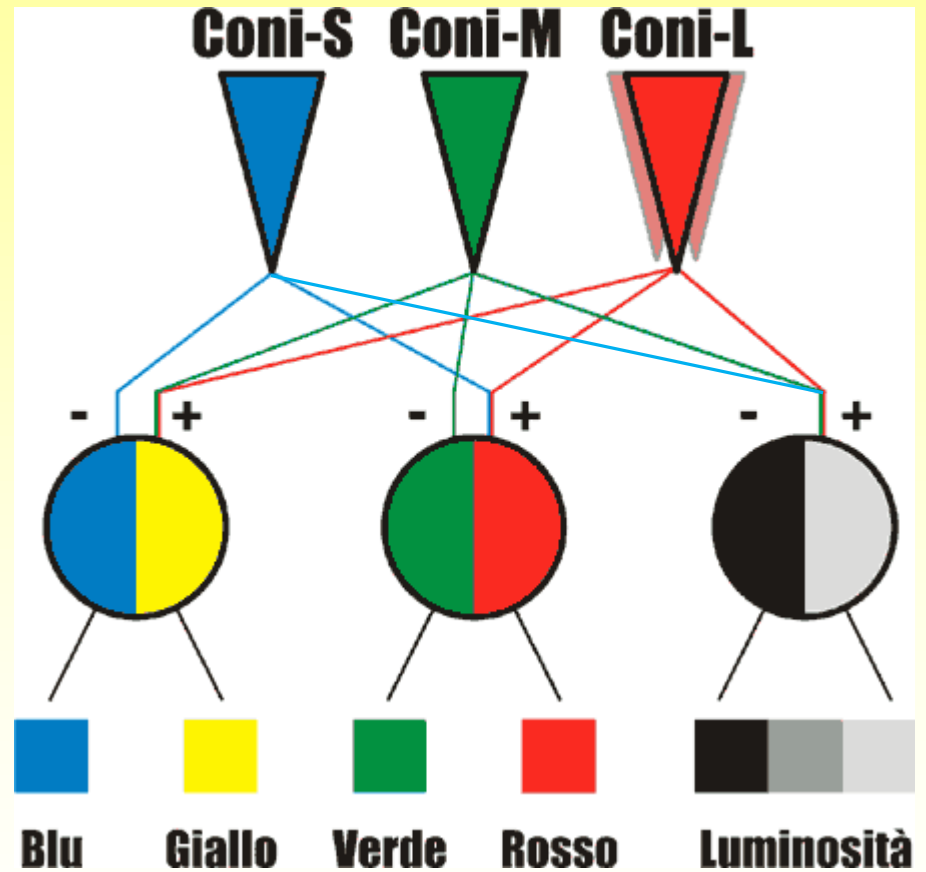
Nella **seconda zona di Mueller** i segnali nervosi generati dall'attivazione dei coni subiscono una codifica che porta a definire nuovi segnali:

- uno è **acromatico** e riguarda la *chiarezza* della sensazione di colore,
- due sono **cromatici** e riguardano la *cromaticità*.

In tale processo si perde la linearità che caratterizza l'attivazione. Ciò comporta che, se si riportano nello spazio del tristimolo variazioni appena percettibili (indicate con *jnd*, i.e. "*just noticeable difference*") di cromaticità o di chiarezza, i vettori tristimolo subiscono variazioni, la cui entità non è uguale per tutti i vettori, cioè il nuovo **spazio tristimolo ha le scale di chiarezza e di cromaticità non uniformi**.

Fase II: seconda zona di Mueller

Diversi coni sono sensibili ai colori rossi, verdi e blu



La collaborazione dei tre tipi di coni alla generazione dei **quattro colori puri** più la luminosità

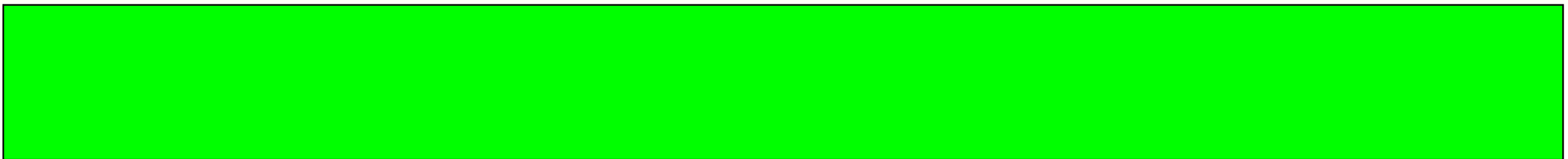
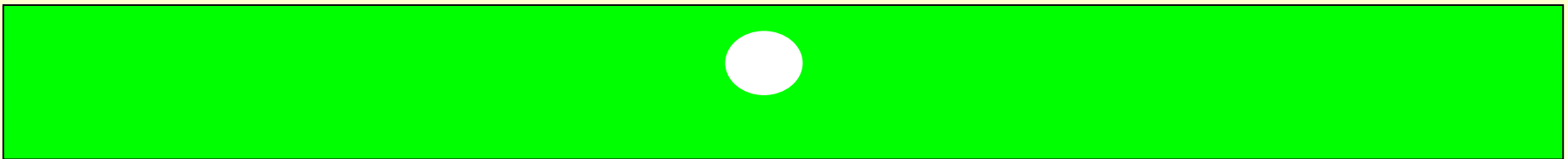
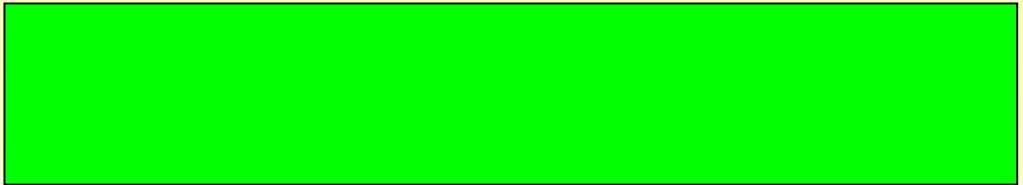
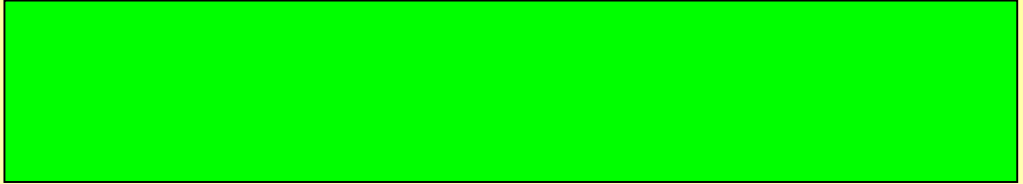
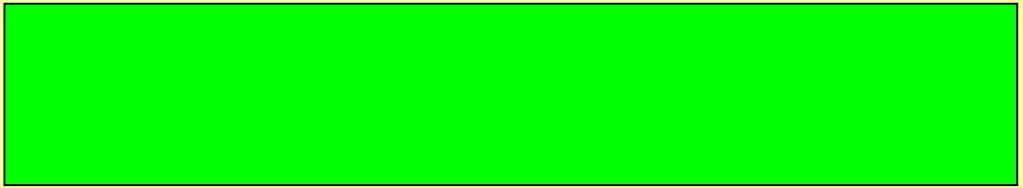
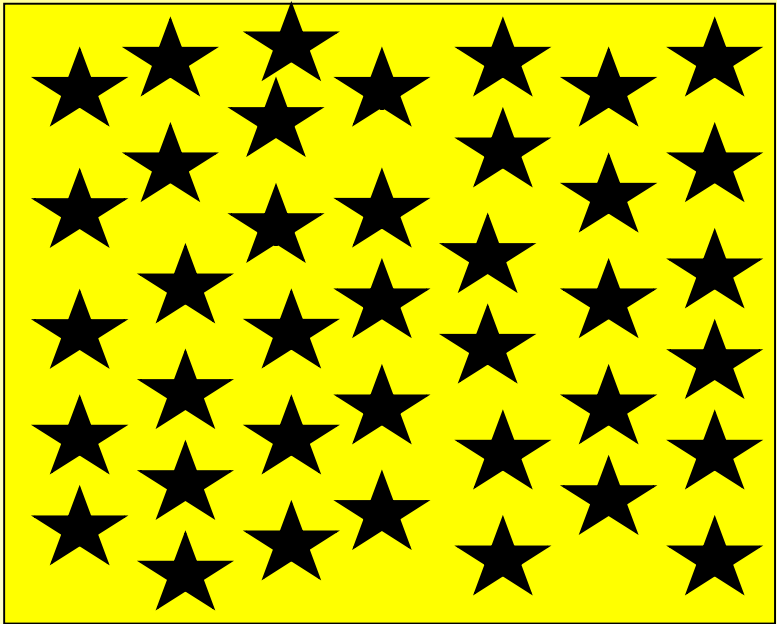
Tutti i colori sono visti come combinazione dei tre colori primari (rosso, verde, blu) (= tre colori fondamentali)

La teoria dei colori opposti

Questa teoria definisce che la risposta dei coni del rosso, verde e blu è convertita nei colori complementari nel passaggio dal nervo ottico al cervello

Esperimento:

Osserva la prossima diapositiva per almeno 20 secondi fino alla comparsa della successiva (bianca).



Osservazioni

- Hai visto la “contro bandiera” rossa, bianca e blu?
- Questo è dovuto alla saturazione dei recettori verdi, gialli e neri che, nel momento in cui l'immagine scompare si riequilibra con un immagine avente i colori complementari.

Attributi del colore

Il cervello umano percepisce gli stimoli cromatici e acromatici che si formano nella seconda zona di Mueller come:

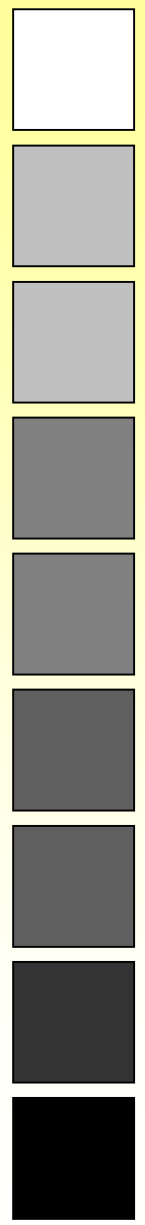
- la *tinta* (Hue), es. rosso, verde, blu
- la *saturatione* (Saturation) es. colore acceso o spento
- la *brillanza o luminosità* (Brightness) es. chiaro o scuro

Il colore percepito è la risultante di questi tre attributi.

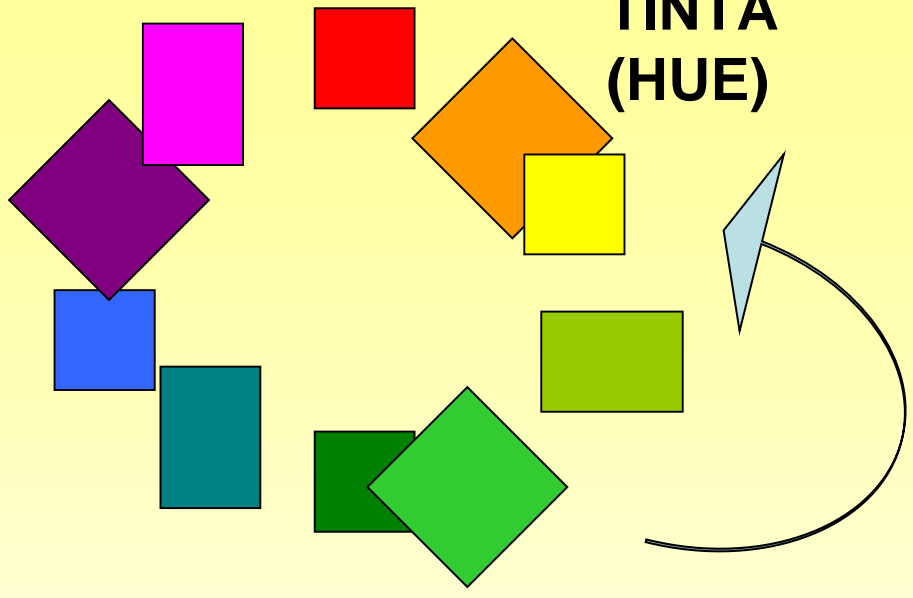
Attraverso il sistema HSB è possibile descrivere ogni colore.

Il sistema HSB rappresenta il sistema visivo umano o Human Vision System (HVS).

LUMINOSITA'



**SATURAZIONE
(CHROMA)**

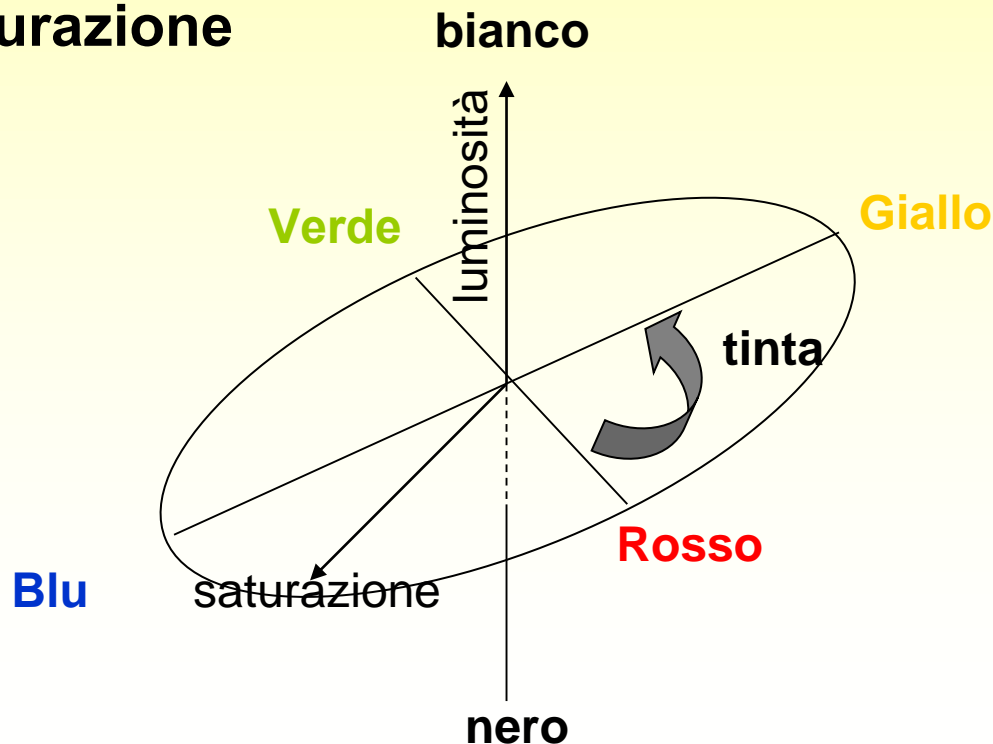


**TINTA
(HUE)**

Organizzazione visuale del colore

Basandosi sulla percezione del colore, ogni colore si caratterizza per tre elementi:

- **Luminosità**
- **Tinta** compresa nello spettro dei colori dell'iride + magenta
- **Saturazione**




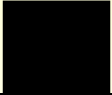
Luminosità

**Rapporto tra la luce riflessa ed assorbita,
indipendentemente dalla lunghezza d'onda**

Definisce i colori come “chiari” e “scuri”

- Un colore rosso può essere più chiaro di uno giallo

Bianco : Tutta l'energia radiante del visibile viene completamente riflessa da una superficie opaca

Nero : tutta l'energia radiante nel visibile viene completamente assorbita da una superficie opaca

Differenti livelli di
Luminosità di una
fotografia


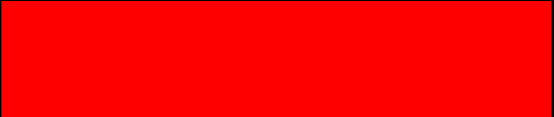


Tinta

Aspetto del colore descritto come rosso, verde, blu, etc..

Deriva dalla differenza di assorbimento alle varie lunghezze d'onda e dipende dalla lunghezza d'onda dominante.

La continuità delle tinte crea la ruota dei colori

<i>Lunghezze d'onda riflesse</i>	<i>Colore percepito</i>	
Corte (400-500 nm)	BLU	
Medie (500-600 nm)	VERDE, GIALLO	
Lunghe (600-700 nm)	ROSSO	

Tinta

Variazioni di tonalità (a parità di saturazione e luminosità) in una foto



Saturazione o purezza

Indica la riflessione ad una specifica lunghezza d'onda

Definisce quanto un colore è diverso dal grigio

☐ Colori brillanti e colori spenti
(evidenzia la differenza tra oggetti di pari luminosità e tinta)



Differenti livelli di saturazione di una fotografia

Fattori che influenzano nell'uomo il colore e la sua percezione

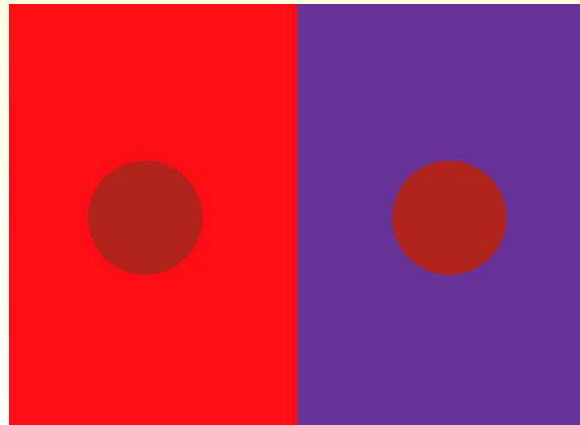
- **Fattori fisiologici**

- Età
- Fisiologia dell'occhio
- Stato fisiologico
- Patologie
-

Fattori che influenzano nell'uomo la percezione del colore

- **Fattori ambientali**

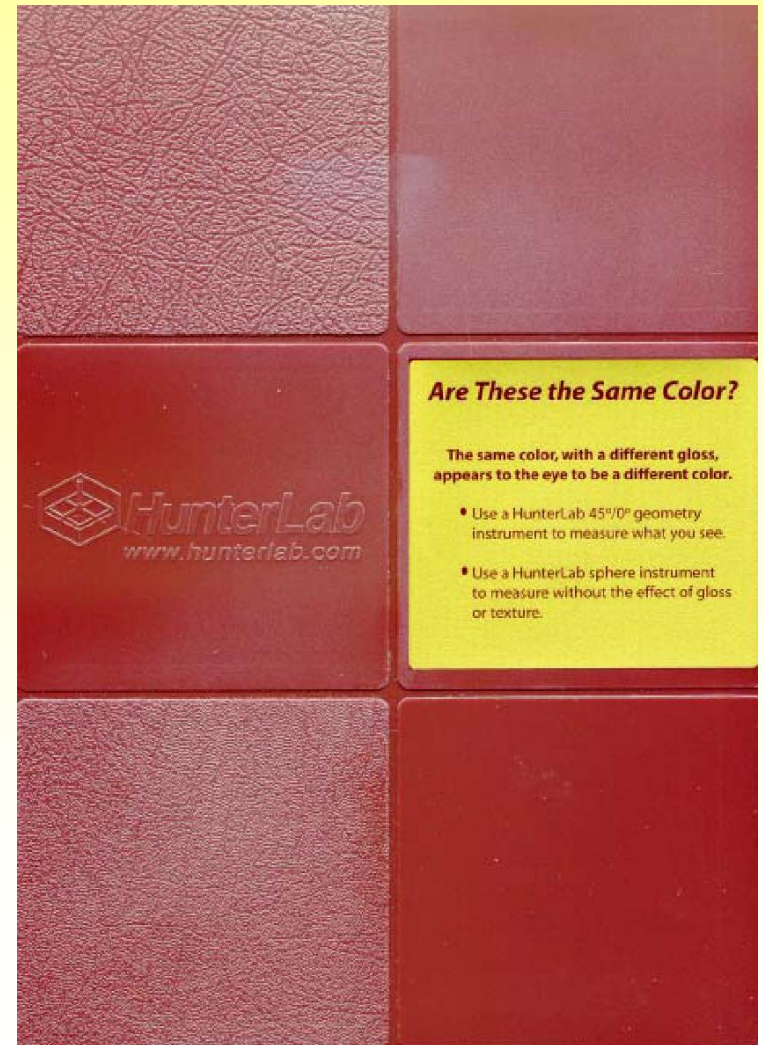
- Sorgente luminosa (luce solare, lampade fluorescenti, al tungsteno,)
- Direzione della luce incidente ed angolo di osservazione
- Caratteristiche dello sfondo



La presenza di informazioni contestuali può cambiare la valutazione del colore del disco

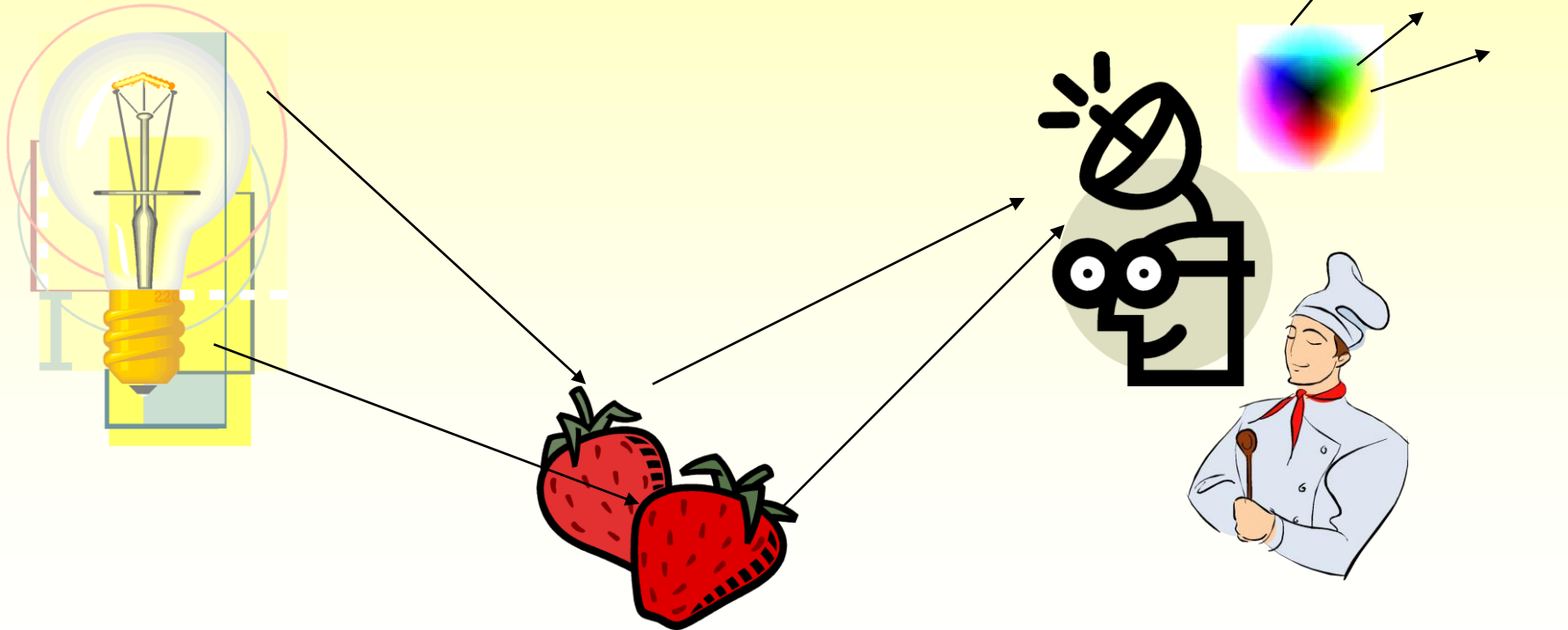
Fattori che influenzano nell'uomo la percezione del colore

- **Caratteristiche del sistema**
 - Dimensioni (colori su superfici ampie appaiono più vivaci rispetto a quelli su piccole superfici)
 - Proprietà di superficie (liscia/rugosa)
 - Caratteristiche fisiche (solido, liquido)



Cosa serve per percepire il colore

- Osservatore
- **Sorgente luminosa**
- Oggetto



Luce

= radiazione elettromagnetica di altissima frequenza

Nel nostro caso: = **agente fisico che rende visibili gli oggetti.**

Il termine luce si riferisce alla porzione dello spettro elettromagnetico visibile all'occhio umano, ma può includere altre forme della radiazione elettromagnetica.

Le tre grandezze base della luce (e di tutte le radiazioni elettromagnetiche) sono:

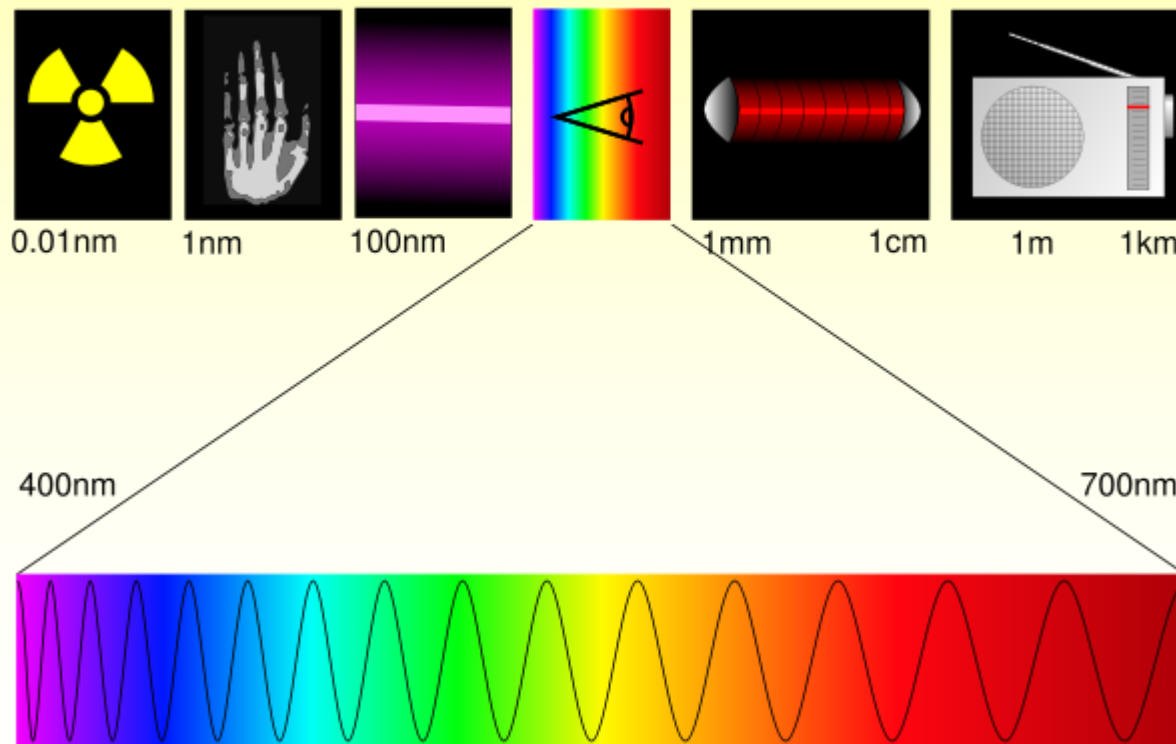
- luminosità (o ampiezza),
- colore (o frequenza)
- polarizzazione (o angolo di vibrazione)

Frequenza e lunghezza d'onda obbediscono alla seguente relazione: $l=v/f$

dove l è la lunghezza d'onda, v è la velocità nel mezzo considerato (nel vuoto in genere si indica con c), f è la frequenza della radiazione).

Luce visibile

= porzione dello spettro elettromagnetico compresa approssimativamente tra i 400 e i 700 nanometri (nm) (nell'aria).



Luce e colore

La luce è fondamentale per percepire il colore:

Senza luce non siamo capaci di percepire i colori

‘Al buio tutti i gatti sono grigi’

Bastoncelli: sono fotorecettori responsabili della visione in bassa luminosità. Sono molto sensibili alla luce, ma non hanno sensibilità al colore

La tipologia di luce cambia la percezione del colore:

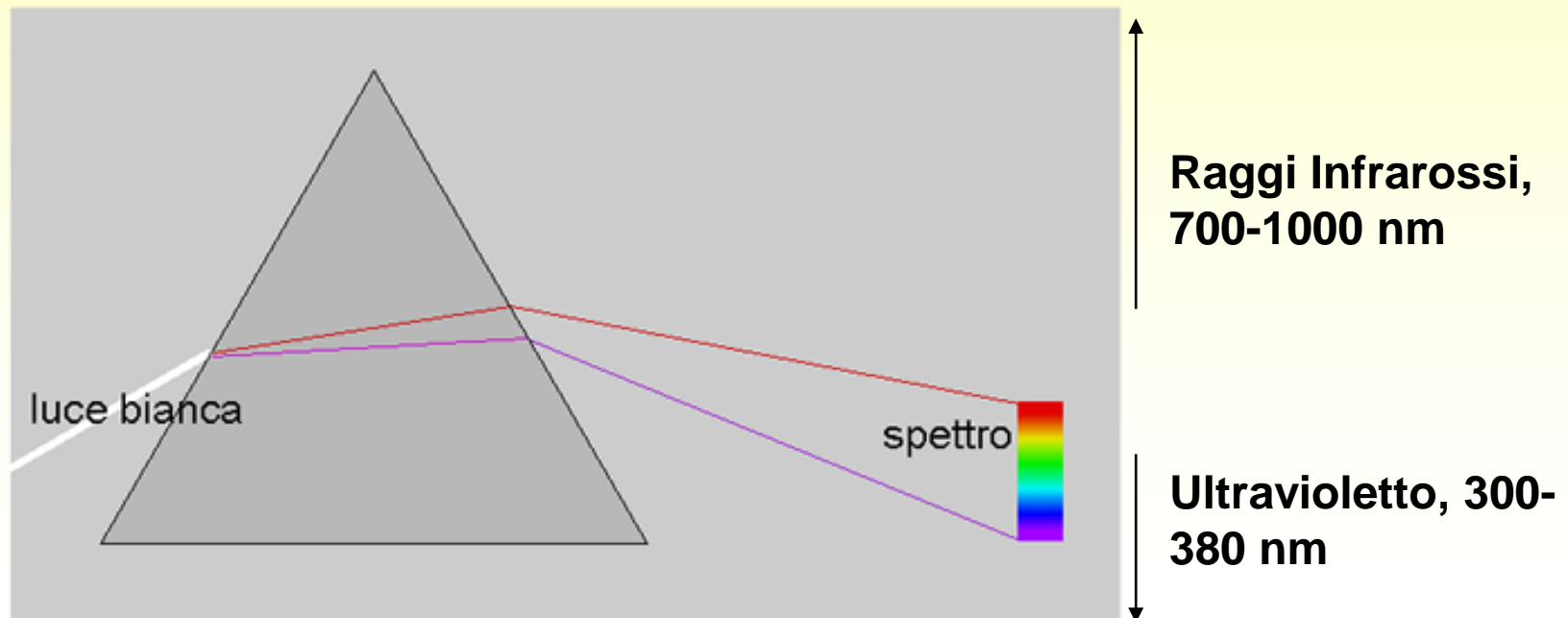
Un foglio bianco illuminato da una luce verde viene percepito di colore verde

Come descrivere la luce?

Stimolo di colore o stimolo luminoso

= **radiazione luminosa** con distribuzione spettrale di potenza definita, che penetra nell'occhio e produce una sensazione di colore.

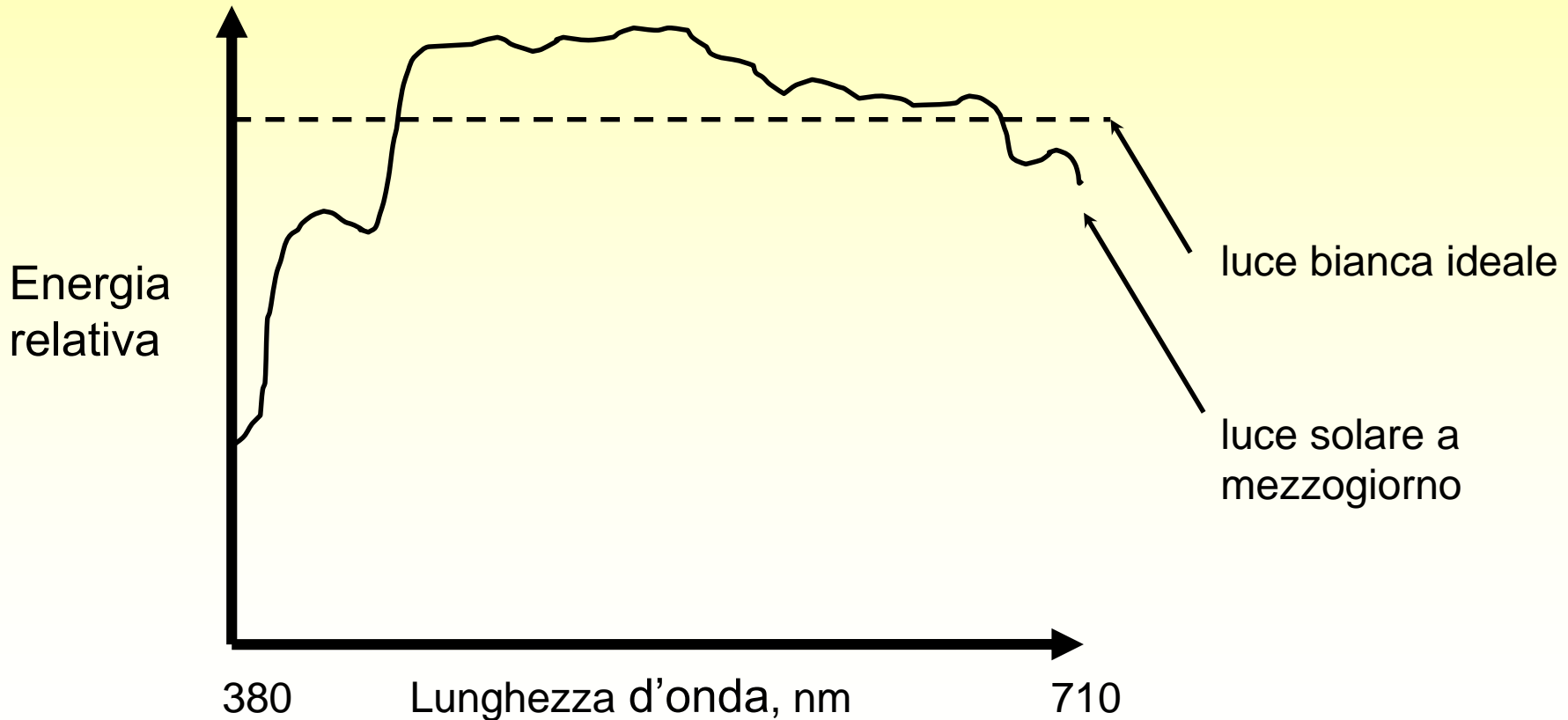
La **distribuzione spettrale dello stimolo** è una funzione che specifica l'energia relativa dello stimolo per ogni lunghezza d'onda compresa, solitamente, **nell'intervallo da 380 a 780 nm**, che sono le lunghezze d'onda della radiazione visibile.



Sorgente luminosa e illuminante

- La sorgente luminosa è la reale componente fisica che emette la radiazione luminosa.
- L'illuminante è una serie di numeri (espressi come grafico o tabella, dell'energia relativa in funzione della lunghezza d'onda) che caratterizza la specifica sorgente luminosa.
- Per una valutazione standardizzata ed oggettiva del colore è necessario **definire quale illuminante caratterizza la sorgente luminosa**

Il grafico che riporta l'intensità luminosa per ciascuna lunghezza d'onda crea una **curva di distribuzione** della potenza che quantifica le caratteristiche spettrali della specifica sorgente luminosa



Illuminanti

- **A** (lampada incandescente 2856 K)
- **B** (luce del sole a mezzogiorno 4874 K)
- **C** (luce del sole media durante il giorno 6774 K)
L'illuminante C ha un basso potere irradiante
- **D** (luce diurna o daylight)
 - D50** (luce all'orizzonte 5003 K)
 - D55** (luce del sole a mezza mattinata 5455 K)
 - D65** (luce del sole a mezzogiorno 6504 K)
- **E** equal energy radiator (spettro simile D55)
- **F** fluorescenti (2940 - 6430 K)
 - F1** fluorescente daylight (6430 K)
 - F2** fluorescente bianca fredda (4230 K)
 - F4** fluorescente calda (2940 K) per rendering di colore

Illuminanti standard

La C.I.E.(International Commission on Illumination) ha definito tre illuminanti standard:

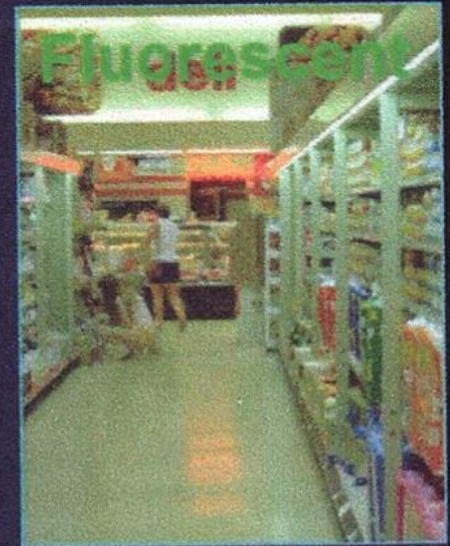
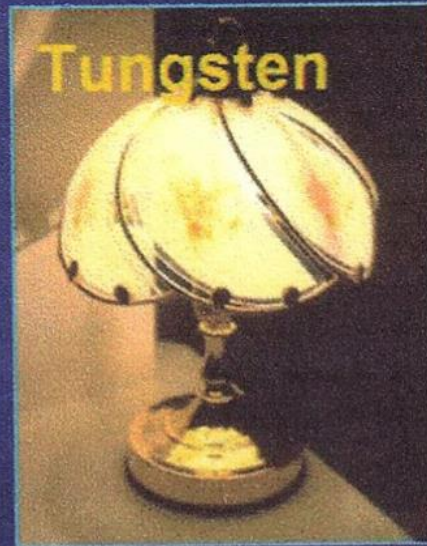
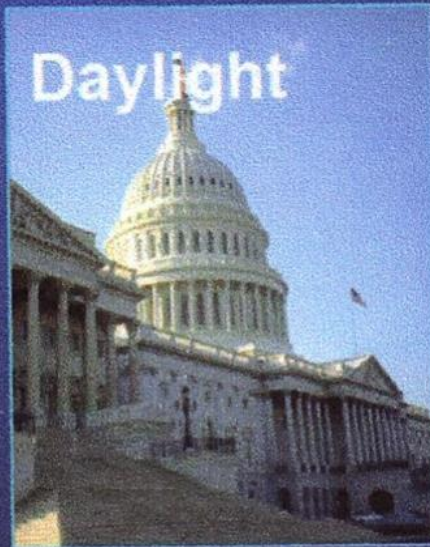
- **A** (lampada incandescente a 2856 K)
- **D65** (luce del sole a mezzogiorno a 6504 K)
- **F2** (bianca fredda)

La CIE usa anche

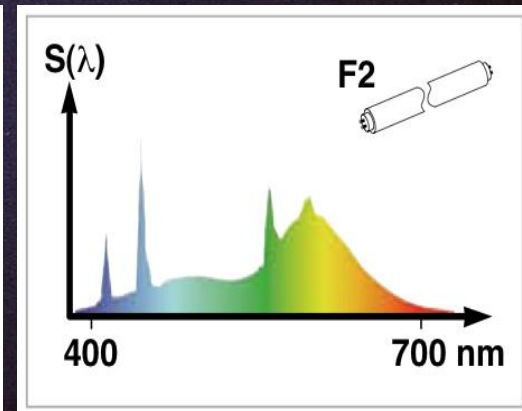
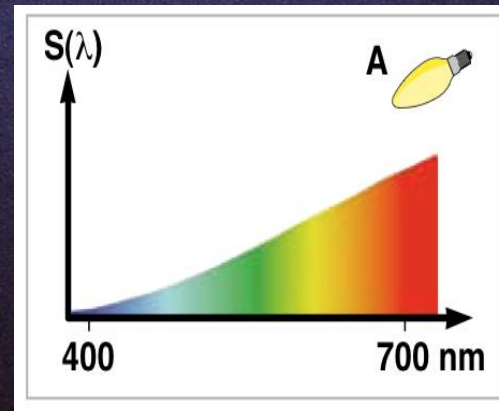
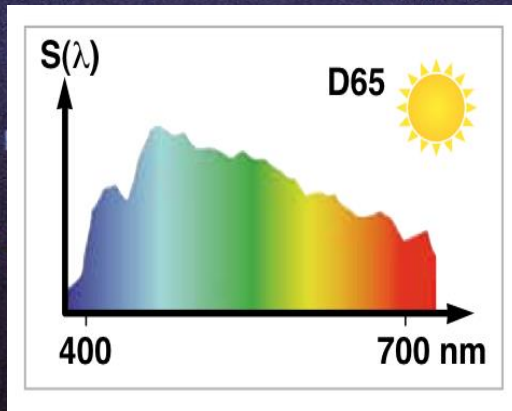
- **F4** per rendering di colore

Light Sources versus CIE Illuminants

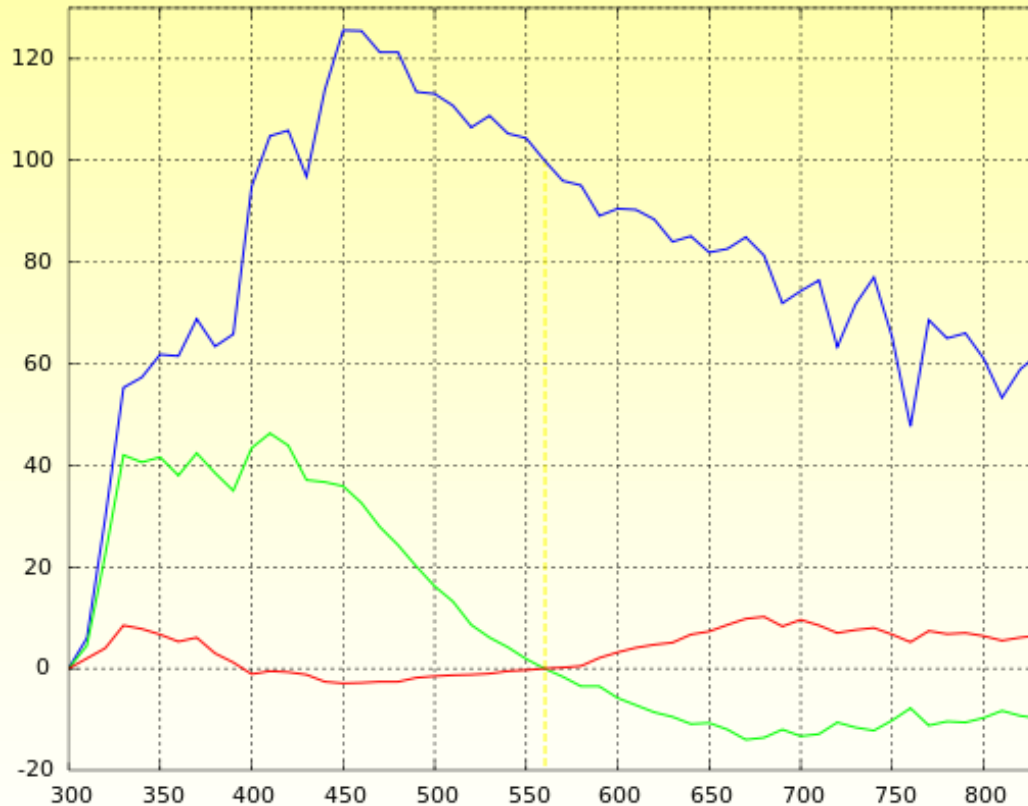
Source



Illuminant



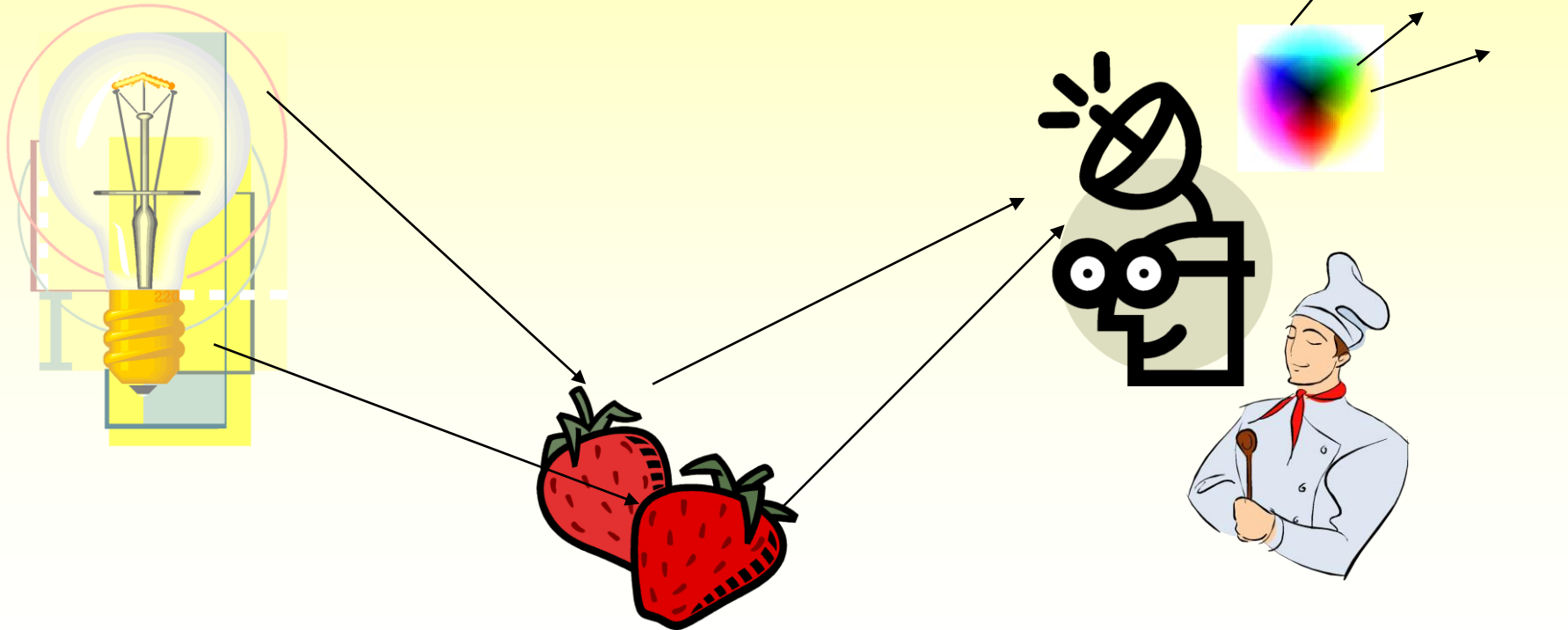
Componenti spettrali del D65



Lunghezza d'onda (nm)

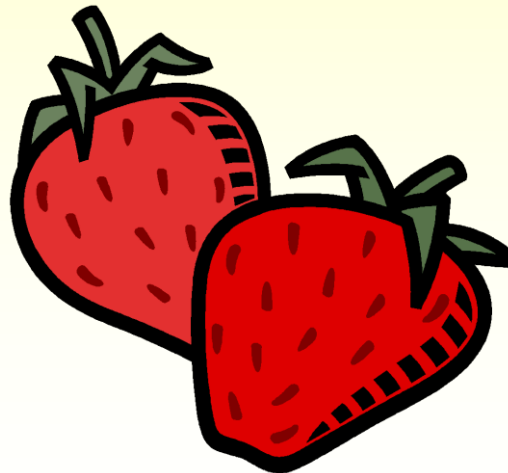
Cosa serve per percepire il colore

- Osservatore
- Sorgente luminosa
- Oggetto



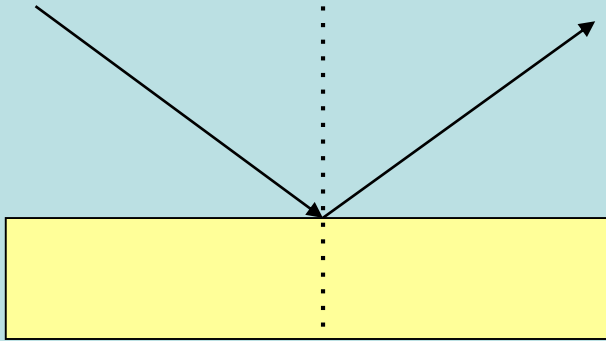
L'oggetto (corpo)

L'oggetto modifica la luce: i componenti cromatici dell'oggetto interagiscono con la luce, assorbendo selettivamente quella a specifiche lunghezze d'onda, riflettendo e/o trasmettendo altre componenti della luce

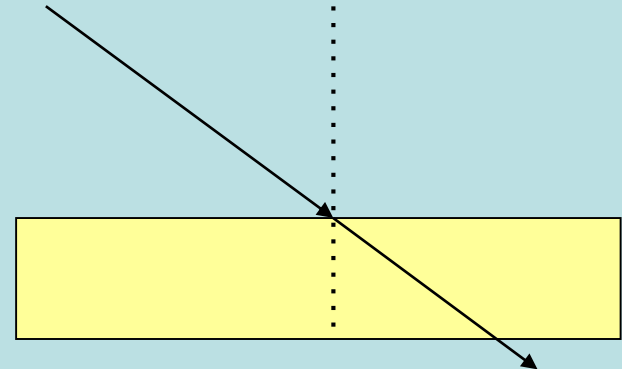


Da un oggetto la luce può essere:

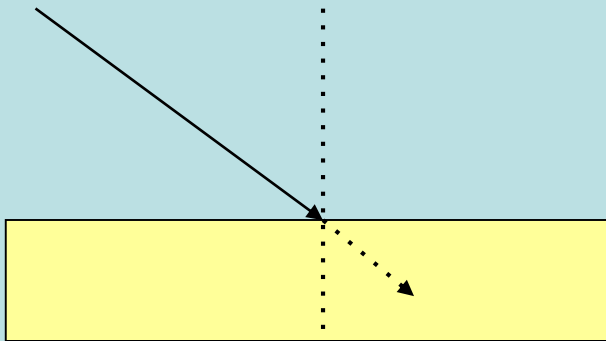
RIFLESSA



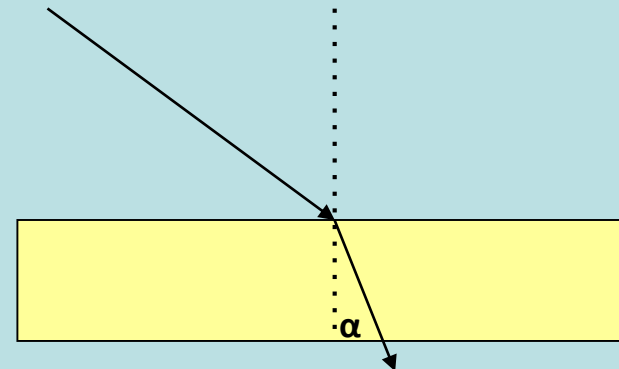
TRASMESSA



ASSORBITA

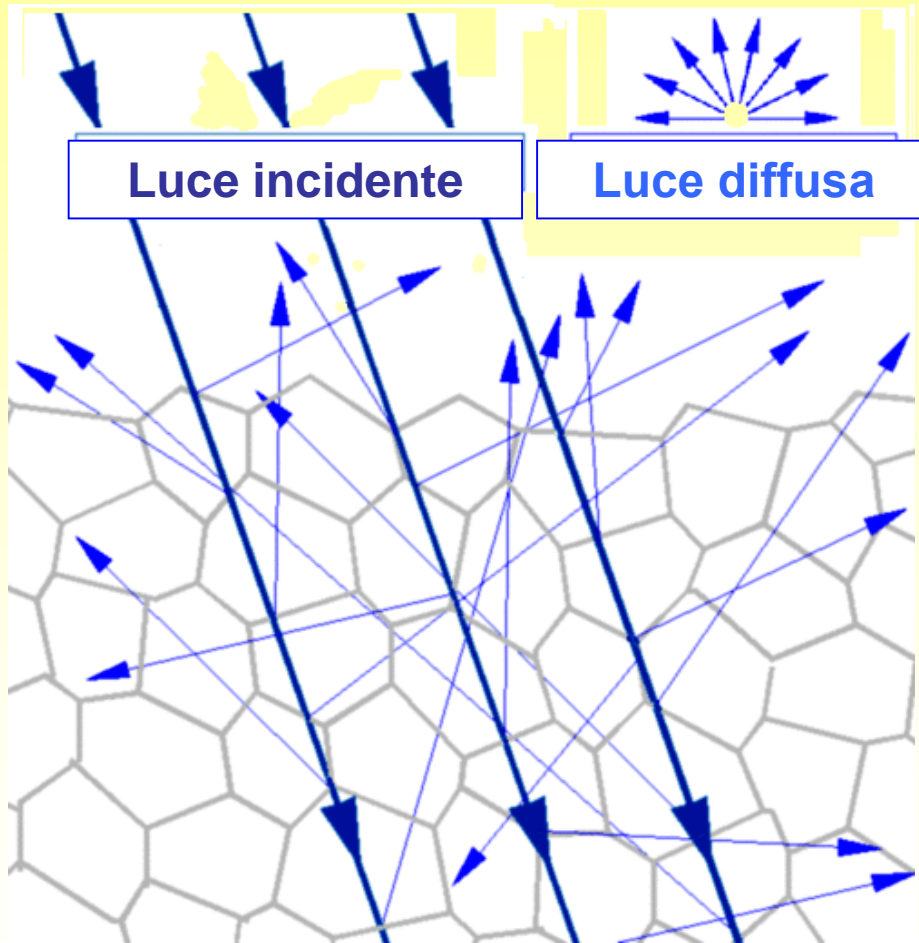


RIFRATTA



Solo corpi trasparenti

Da un oggetto la luce può essere anche:



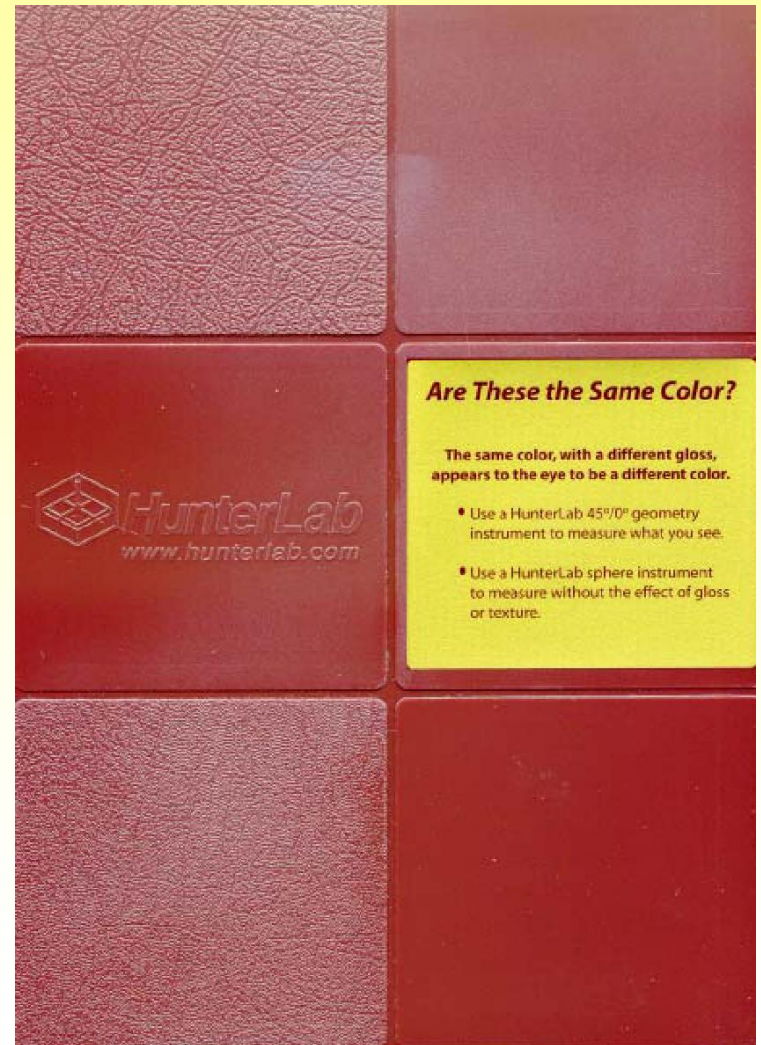
DIFFUSA

(scattering o dispersione)

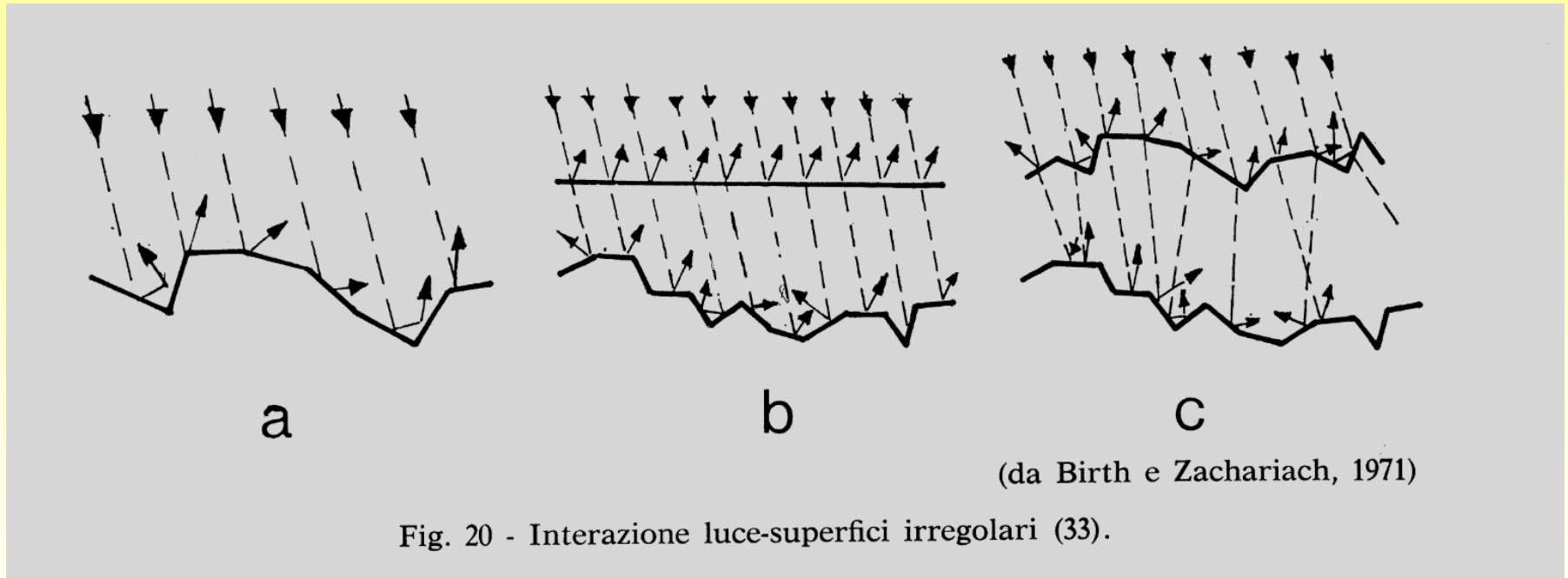
Fenomeno di riflessione dovuto a caratteristiche geometriche dell'oggetto che determinano la riflessione della luce incidente in modo disordinato in tutte le direzioni.

La diffusione in corpo opaco:

Sono tutte dello stesso colore?



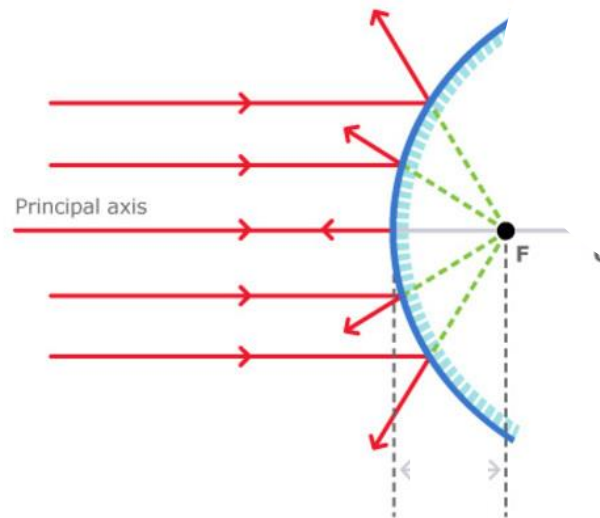
La diffusione in corpo opaco ruvido:



Una superficie irregolare determina la diffusione della luce facendo apparire il corpo ruvido e non lucido.

La diffusione in un corpo curvato:

La luce colpisce la zona più esterna della parte convessa prima delle altre parti del corpo rendendo tale zona più luminosa

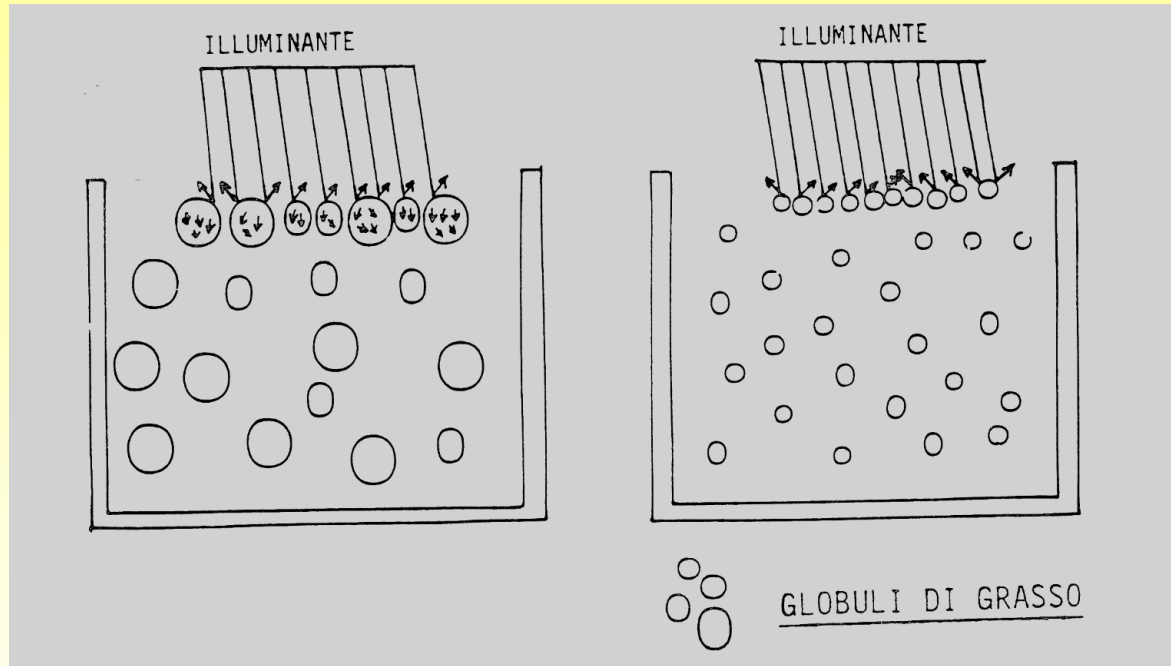


La diffusione in un corpo curvato:

Effetto cuscino o 'pillowing effect'.



La diffusione in corpo trasparente:



Tyndall scattering

Fenomeno di diffusione in liquidi trasparenti dovuto a presenza di particelle più o meno sferiche che diffondono la luce determinando il fenomeno della lattiginosità.

Oggetto

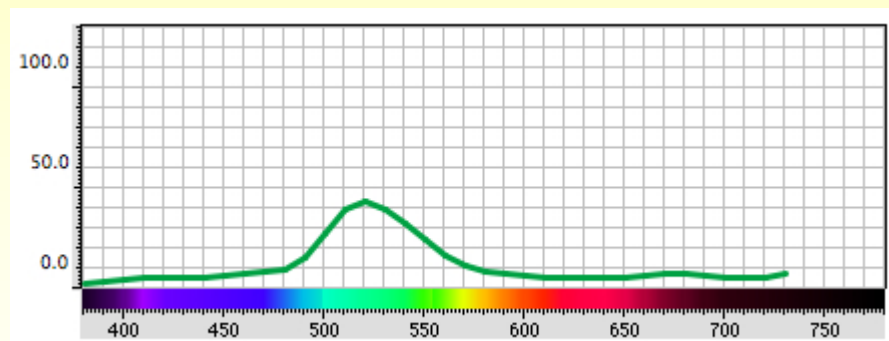
- E' possibile **quantificare** per ciascun oggetto la luce riflessa, trasmessa e dispersa a ciascuna lunghezza d'onda ottenendo la specifica curva spettrale del colore dell'oggetto in funzione dell'illuminante.

Stimolo luminoso

Per i corpi autoluminosi (sorgenti luminose) la distribuzione spettrale dello stimolo è la distribuzione spettrale relativa di potenza della sorgente.

Per i corpi non autoluminosi opachi la distribuzione spettrale dello stimolo è data dal prodotto del fattore di riflettanza spettrale per la distribuzione spettrale relativa di potenza della sorgente luminosa.

Lo stimolo di colore di un oggetto verde sotto l'illuminante D50.



Per i corpi non autoluminosi trasparenti la distribuzione spettrale dello stimolo è data dal prodotto del fattore di trasmittanza spettrale per la distribuzione spettrale relativa di potenza della sorgente luminosa.

Fattori da considerare per una misura colorimetrica

Quattro fattori :

- Spettro di emissione dell'illuminante
- Spettro di riflettanza dell'oggetto
- Spettro di trasmittanza dell'oggetto
- Sensibilità spettrale dell'occhio

Lo spettro d'onda emesso dall'illuminante viene riflesso dall'oggetto colorato in base alle proprietà di trasmissione e di riflettanza spettrale di quest'ultimo.

Gli spazi colorimetrici

Uno spazio dei colori è la combinazione di un **modello di colore** e di una **appropriata funzione di mappatura** di questo modello.

Un modello di colore, infatti, è un **modello matematico** astratto che descrive un modo per rappresentare i colori come combinazioni di numeri, tipicamente come tre o quattro valori detti *componenti colore*.

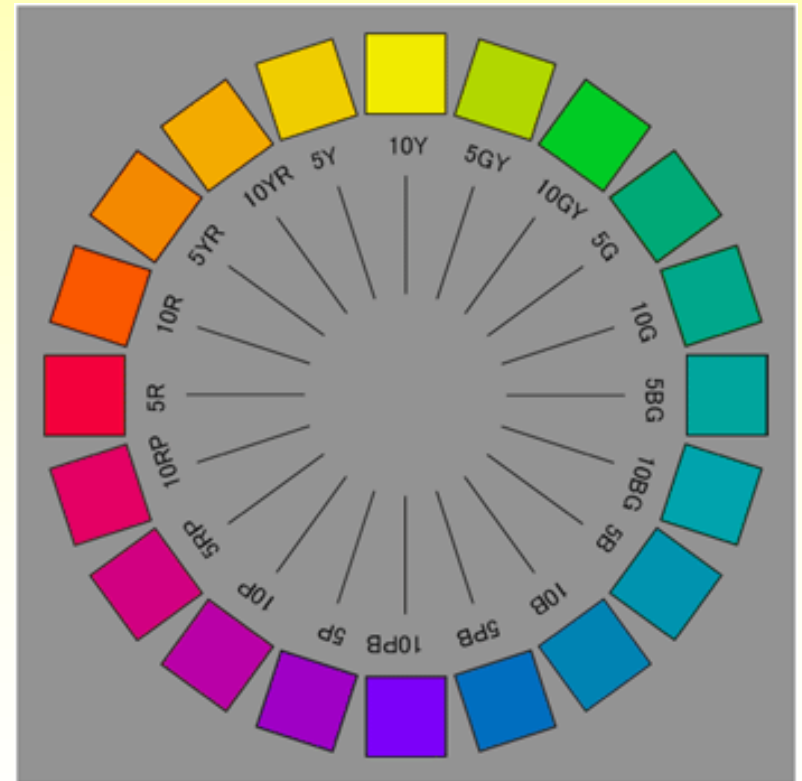
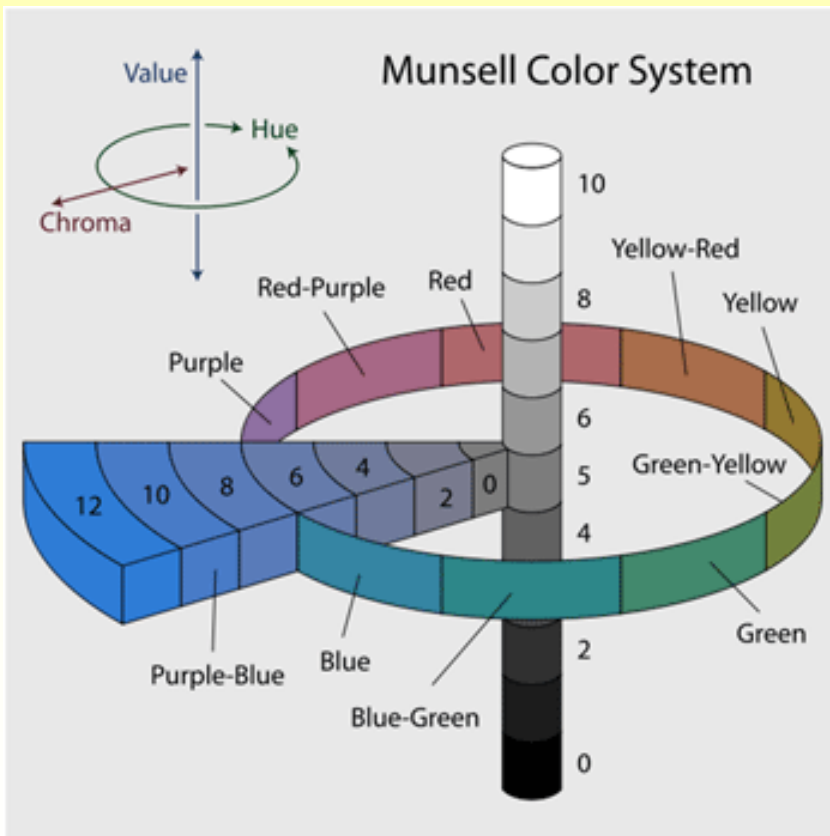
Tuttavia questo modello è **una rappresentazione astratta**, per questo viene perfezionato da specifiche regole adatte all'utilizzo che se ne andrà a fare, creando uno spazio dei colori.

Gli spazi colorimetrici

- **1905: Sistema di notazione di Munsell: utilizzo di una serie di gettoni di carta colorati classificati secondo tinta, luminosità e saturazione**
- **1931: Commission Internationale de l'Éclairage (CIE): spazio colorimetrico Yxy**
- **1976: Commission Internationale de l'Éclairage (CIE): spazio colorimetrico L*a*b***

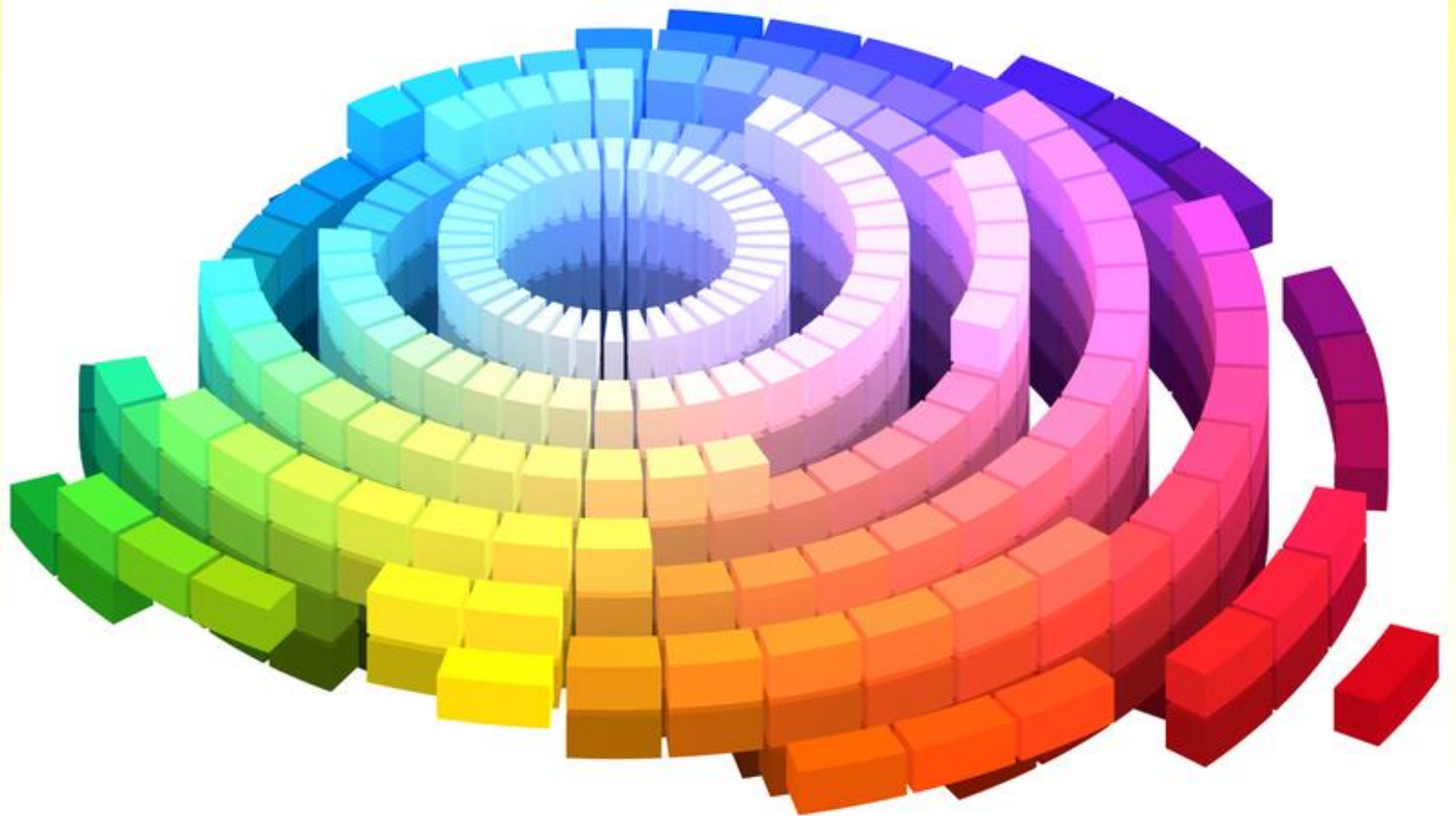
Gli spazi colorimetrici

- **1905: Sistema di notazione di Munsell: utilizzo di una serie di gettoni di carta colorati classificati secondo tinta, luminosità e saturazione**



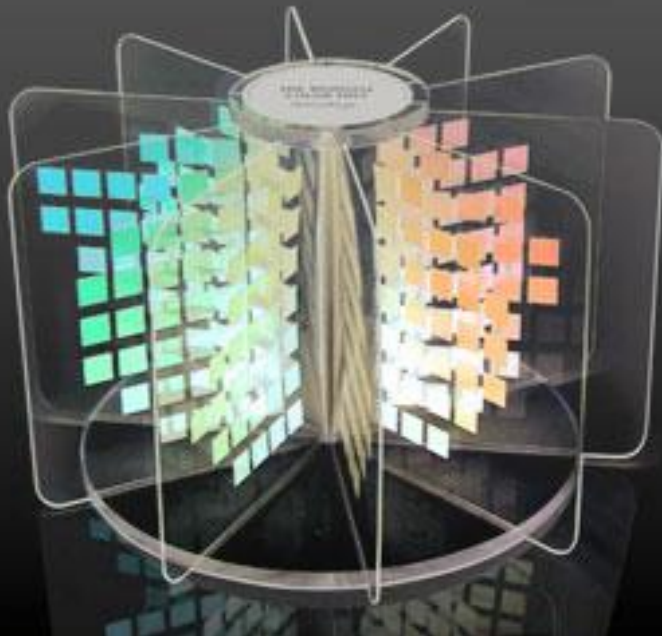
Semplice ma empirico

3D rendering



Prodotti commerciali

Tessere colorate



Munsell Color

Il primo modello colorimetrico

1931: Commission Internationale d'Eclairage (CIE)

Definizione di uno spazio di colore che comprendeva **tutte le tinte visibili** dall'occhio umano, a prescindere dalla luminanza.

Il modello CIE 1931 si basa sull'utilizzo di tre colori primari che, opportunamente miscelati tra loro in sintesi additiva, permettono di ottenere tutti i colori che l'occhio umano può percepire.

Per ognuno dei tre colori primari è stata definita una relazione matematica che descrivesse la sensibilità dell'occhio umano medio (osservatore standard) in funzione della lunghezza d'onda.

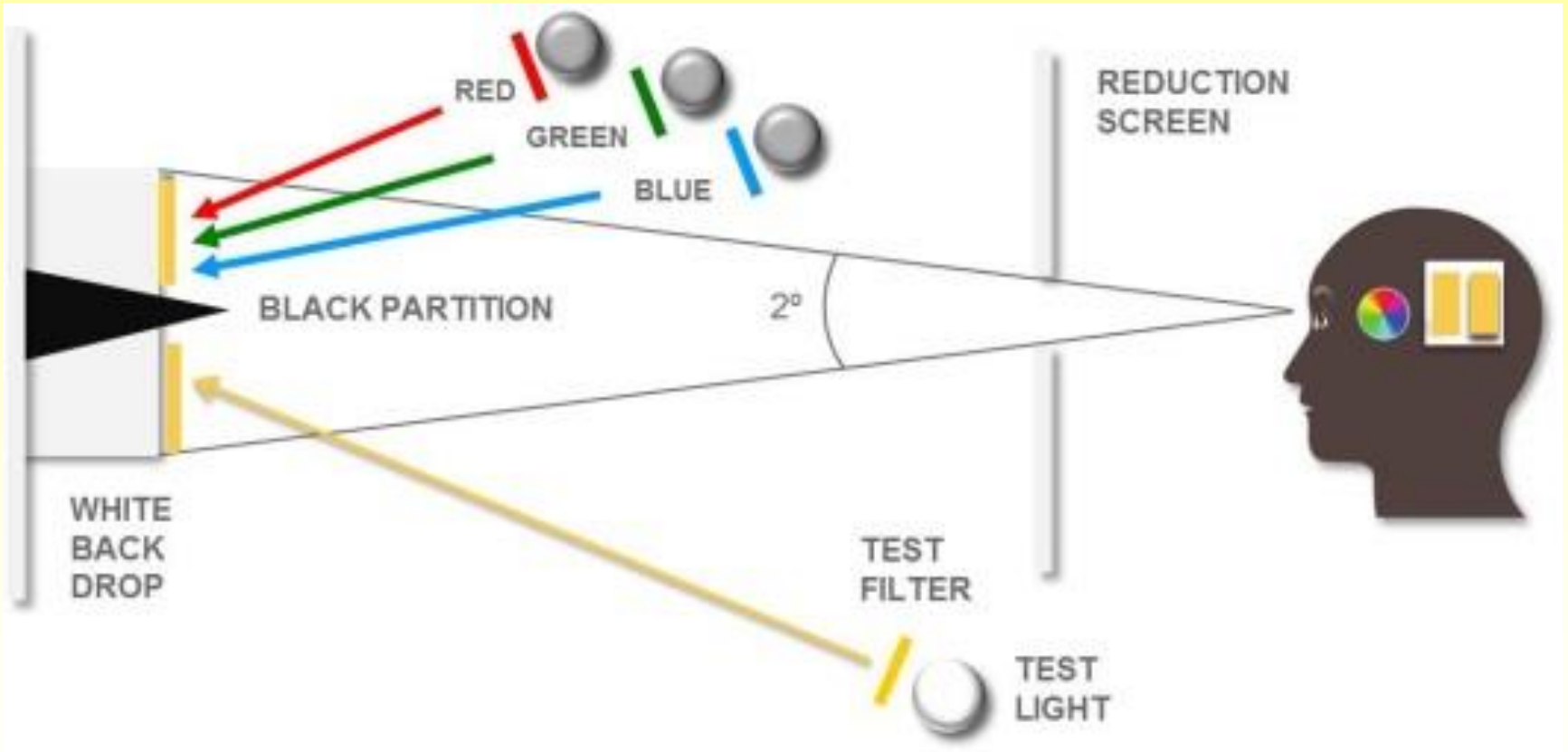
Osservatore standard

Sono stati condotti esperimenti per quantificare la capacità dell'occhio umano di percepire il colore.

E' stato chiesto ad un gruppo molto ampio di osservatori (osservatore standard) di regolare l'intensità di tre fasci luminosi di colore standard (rosso, verde e blu) proiettati su una parete bianca al fine di trovare la corrispondenza con il fascio luminoso emesso da una sorgente luminosa di lunghezza d'onda nota anch'esso proiettato sulla medesima parete bianca. Gli osservatori osservavano i colori attraverso un'apertura di 2° .

L'esperimento è stato ripetuto per tutte le lunghezze d'onda dello spettro visibile.

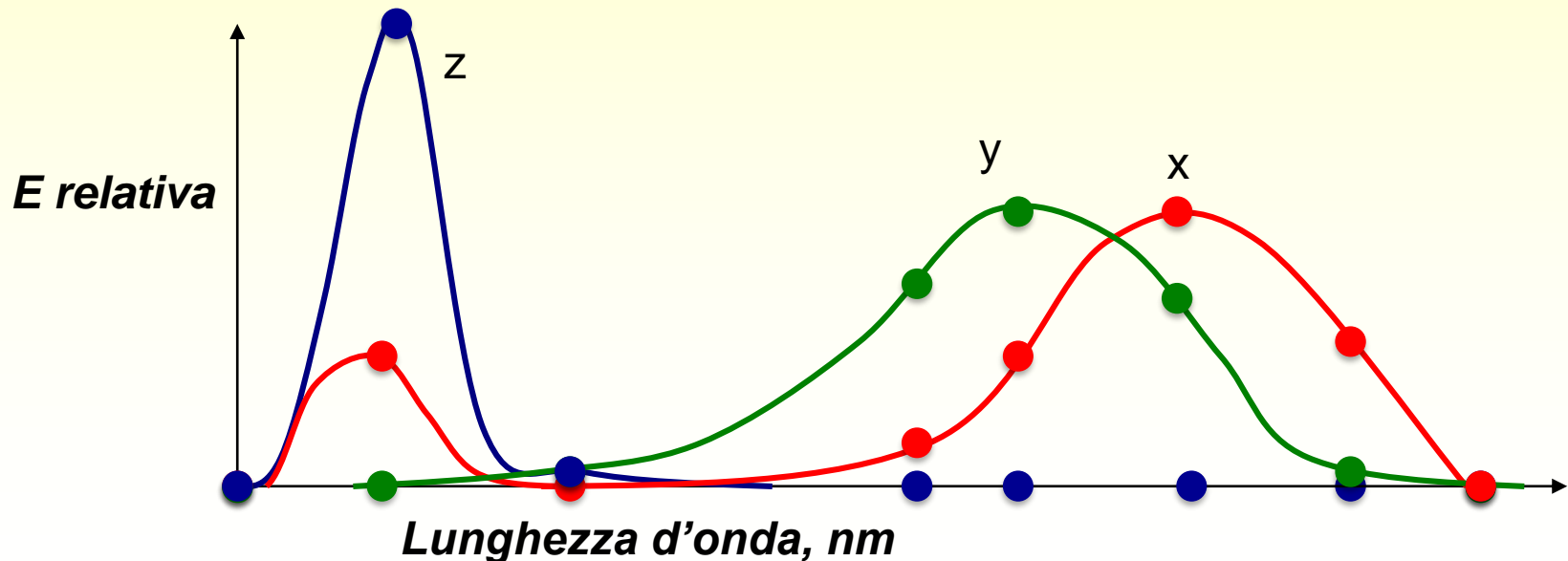
Osservatore standard



Osservatore standard (funzioni)

Questo ha permesso di definire (1931) le funzioni z , x e y che **quantificano** la sensibilità dei coni dell'occhio umano medio (osservatore standard) ai tre colori fondamentali. Per l'esperimento è stato utilizzato un angolo di 2° .

- Nel 1964 le stesse funzioni sono state successivamente definite per un angolo di 10° , condizione più simile a quella reale (osservatore standard, 10°).



Il primo modello colorimetrico

1931: Commission Internationale d'Eclairage (CIE): spazio colorimetrico Yxy

Definizione di uno spazio di colore che comprendeva **tutte le tinte visibili** dall'occhio umano, a prescindere dalla luminanza.

Qualunque colore all'interno di questo spazio bidimensionale può avere una luminanza o luminosità che varia dal bianco al nero.

Tenendo conto anche di questo fattore (la luminanza) lo spazio così definito diviene tridimensionale e rappresentato mediante coordinate XYZ.

Il modello CIE 1931 si basa sull'utilizzo di tre colori primari che, opportunamente miscelati tra loro in sintesi additiva, permettono di ottenere tutti i colori che l'occhio umano può percepire.

Lo spazio CIE 1931 Yxy

X (rosso), Y (verde), e Z (blu) indicano quanta energia viene riflessa dal campione ad ogni specifica lunghezza d'onda dell'illuminante. Questi risultati, tuttavia, non sono facilmente visualizzabili

Coordinate di cromaticità xyz sono state calcolate dai valori tristimolo normalizzando rispetto alla luminosità (X + Y + Z) e ponendo X + Y + Z = 1

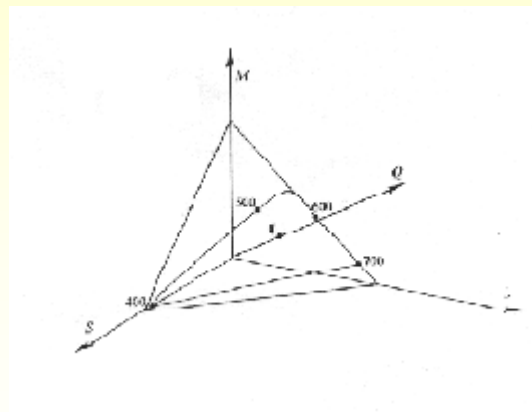
La CIE ha pertanto definito uno spazio colorimetrico in due dimensioni (x e y) indipendente dalla luminosità (z)

$$x = X/(X+Y+Z)$$

$$y = Y/(X+Y+Z)$$

$$z = Z/(X+Y+Z)$$

$$z = 1 - (x + y) = Y$$

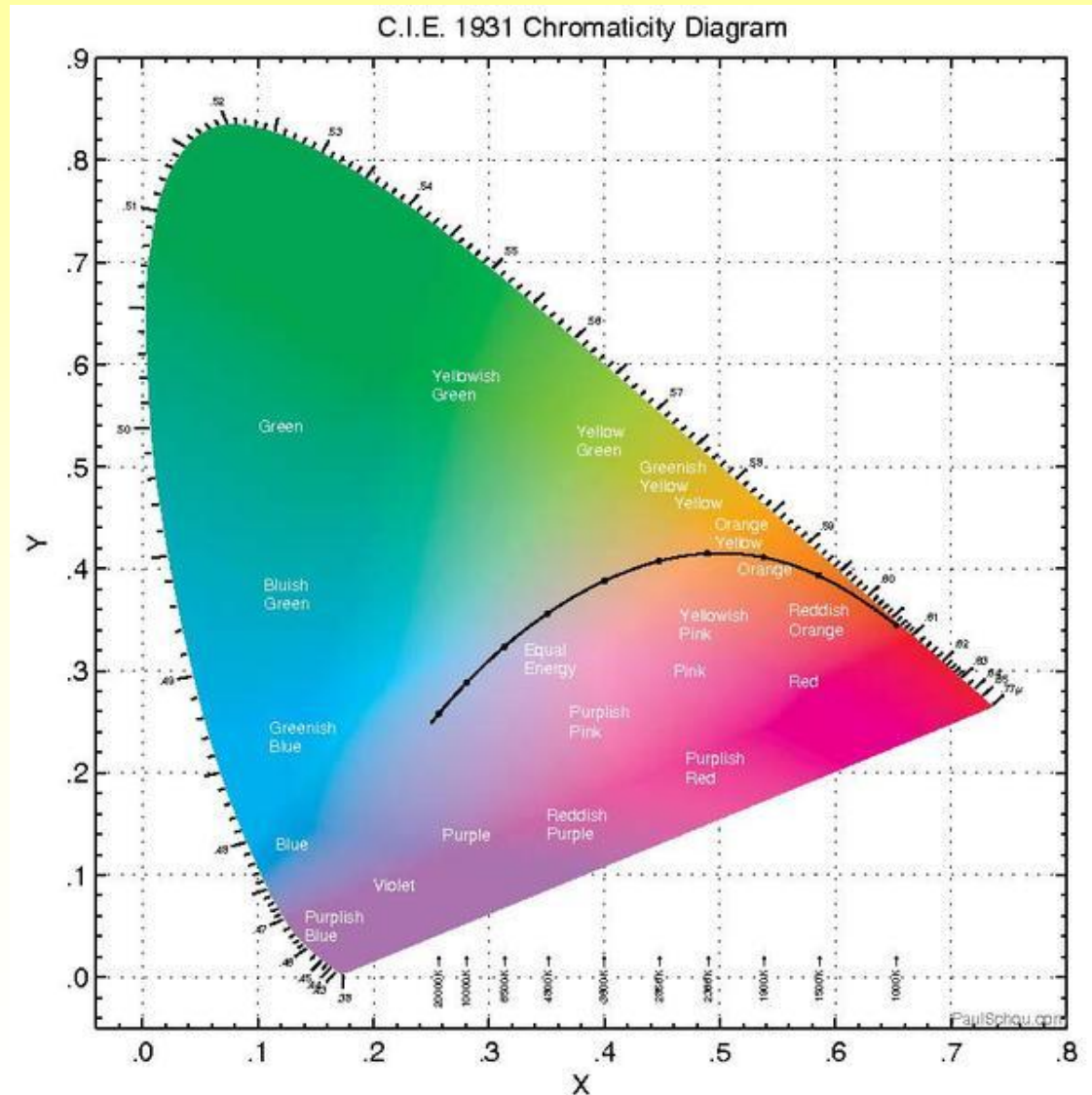


Visione prospettica dello spazio del tristimolo Yxy nel riferimento fondamentale. Il piano che interseca gli assi di riferimento è il piano del diagramma di cromaticità. La linea chiusa disegnata sul diagramma di cromaticità è lo "spetrum locus", luogo delle radiazioni monocromatiche, più il luogo delle tinte porpora descritto da un segmento retto.

Lo spazio colorimetrico CIE 1931

1931: Commission
Internationale de
l'Eclairage (CIE):
spazio
colorimetrico Yxy

Diagramma
cromaticità di



Gli spazi colorimetrici

- **1931: Commission Internationale de l'Eclairage (CIE): spazio colorimetrico Yxy**

LIMITI:

- Non è relazionata alle modalità di percezione del colore.
- Le coordinate non ci danno nessuna informazione sulla natura del colore.
- Scala non uniforme nello spazio del colore x, y, Y rispetto alle differenze di colore percepite dall'occhio umano.

Lo spazio colorimetrico Lab

1948: Hunter spazio colorimetrico Lab

**1976: Commission Internationale de l'Eclairage (CIE):
spazio colorimetrico L*a*b***

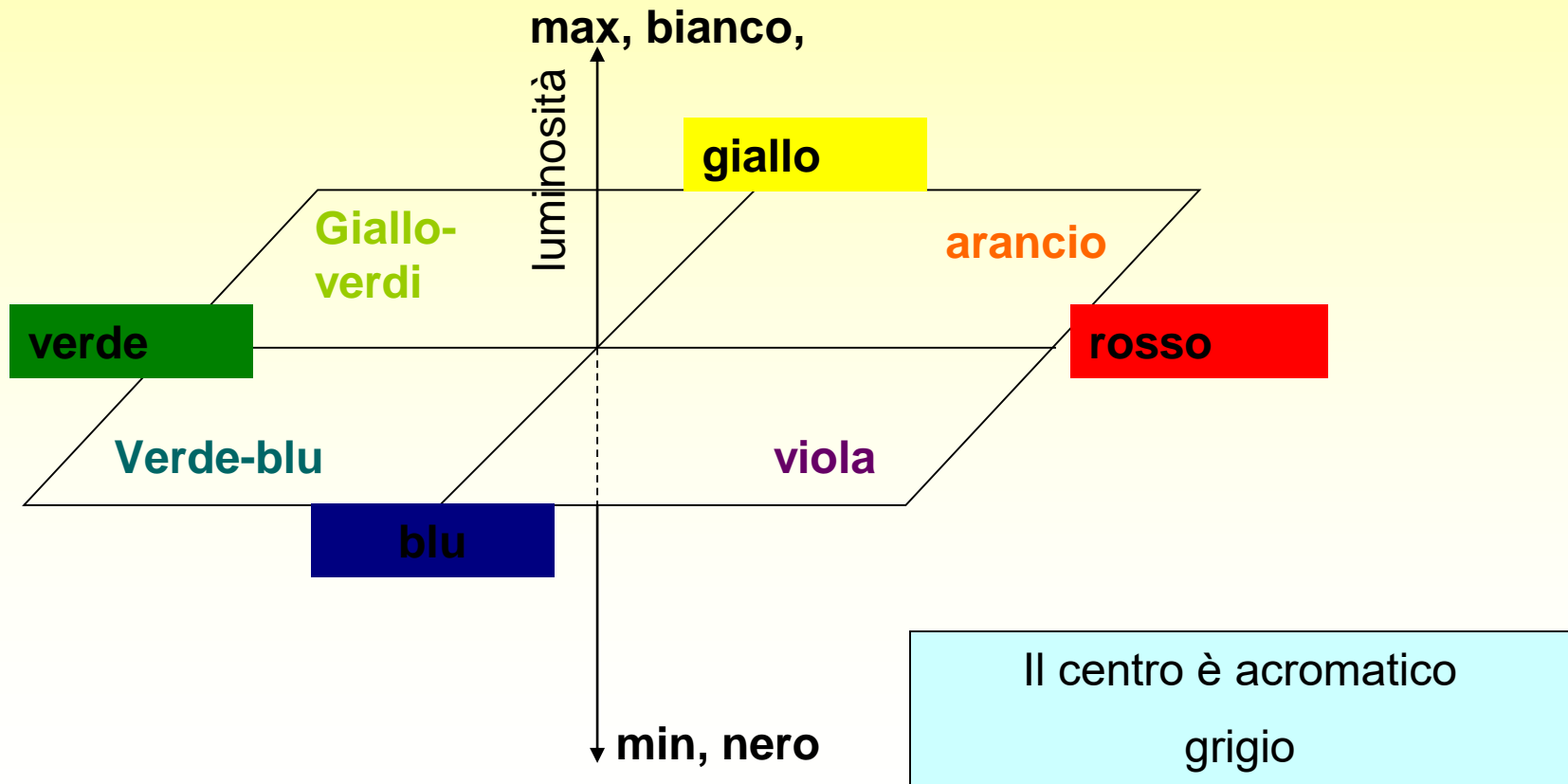
Le coordinate a e b definiscono un piano cartesiano in cui le cromaticità dei colori si susseguono come nell'iride e nello spazio CIE Yxy

a e b definiscono le cromaticità rosse e verdi e quelle gialle e blu come opposte in base allo spazio CIE 1931

La coordinata L definisce la luminosità del colore ($X + Y + Z$)

Lo spazio colorimetrico $L^*a^*b^*$

I colori, che sono percepiti, possono essere descritti all'interno dello spazio tridimensionale $L^* a^* b^*$ i cui valori derivano da X, Y e Z



Lo spazio colorimetrico Lab

Nella pratica si vorrebbe che il colore fosse esclusiva proprietà dei corpi colorati. Invece dipende dall'intensità e dalla distribuzione spettrale della radiazione illuminante.

- I valori tristimolo dipendono anch'essi dall'illuminante.
- Lo spazio colorimetrico Lab si basa sulle seguenti assunzioni:
- Scelta di un illuminante standard (A, C, D_{55} , D_{65} , D_{75} , ...) e individuazione del vettore tristimolo normalizzato rispetto all'illuminante (X_n, Y_n, Z_n) , $Y_n = 100$ e X_n e Z_n dipendono da illuminante
- Introduzione come riferimento sia nella scala luminosa che cromatica del Perfetto Diffusore (isotropo ed omogeneo con fattore di riflettanza spettrale uguale ad 1) cui si associa la luminanza riflessa massima pari a 100 e costituente riferimento nella scala della luminanza;

Lo spazio colorimetrico Hunter Lab

$$L = 100\sqrt{\frac{Y}{Y_n}}$$

Le coordinate di cromaticità uniforme sono

$$c_a = \frac{X/X_n}{Y/Y_n} - 1 = \frac{X/X_n - Y/Y_n}{Y/Y_n}$$

$$c_b = k_e \left(1 - \frac{Z/Z_n}{Y/Y_n} \right) = k_e \frac{Y/Y_n - Z/Z_n}{Y/Y_n}$$

Dove k_e è un coefficiente di elaborazione

Le coordinate cartesiane a e b sono

$$a = K \cdot L \cdot c_a = K \cdot 100\sqrt{Y/Y_n} \frac{X/X_n - Y/Y_n}{Y/Y_n} = K \cdot 100 \frac{X/X_n - Y/Y_n}{\sqrt{Y/Y_n}}$$

$$b = K \cdot L \cdot c_b = K \cdot k_e \cdot 100\sqrt{Y/Y_n} \frac{Y/Y_n - Z/Z_n}{Y/Y_n} = K \cdot k_e \cdot 100 \frac{Y/Y_n - Z/Z_n}{\sqrt{Y/Y_n}}$$

Lo spazio colorimetrico CIE $L^*a^*b^*$ (1976)

Definizione delle nuove coordinate L^* , a^* e b^*

$$L^* = 116 f(Y/Y_n) - 16$$

$$a^* = 500 [f(X/X_n) - f(Y/Y_n)]$$

$$b^* = 200 [f(Y/Y_n) - f(Z/Z_n)]$$

$$f(t) = \begin{cases} t^{1/3} & \text{if } t > (\frac{6}{29})^3 \\ \frac{1}{3} (\frac{29}{6})^2 t + \frac{4}{29} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Quindi:

$$L^* = 116 (Y/Y_n)^{1/3} - 16 \text{ per } (Y/Y_n) > 0.008856$$

$$L^* = 903.3 (Y/Y_n)^{1/3} - 16 \text{ per } (Y/Y_n) \leq 0.008856$$

$$a^* = 500 [(X/X_n)^{1/3} - (Y/Y_n)^{1/3}]$$

$$b^* = 200 [(Y/Y_n)^{1/3} - (Z/Z_n)^{1/3}]$$

Lo spazio colorimetrico $L^*a^*b^*$ CIE

I colori, che sono percepiti, possono essere descritti all'interno dello spazio tridimensionale $L^* a^* b^*$ i cui valori derivano da X, Y e Z

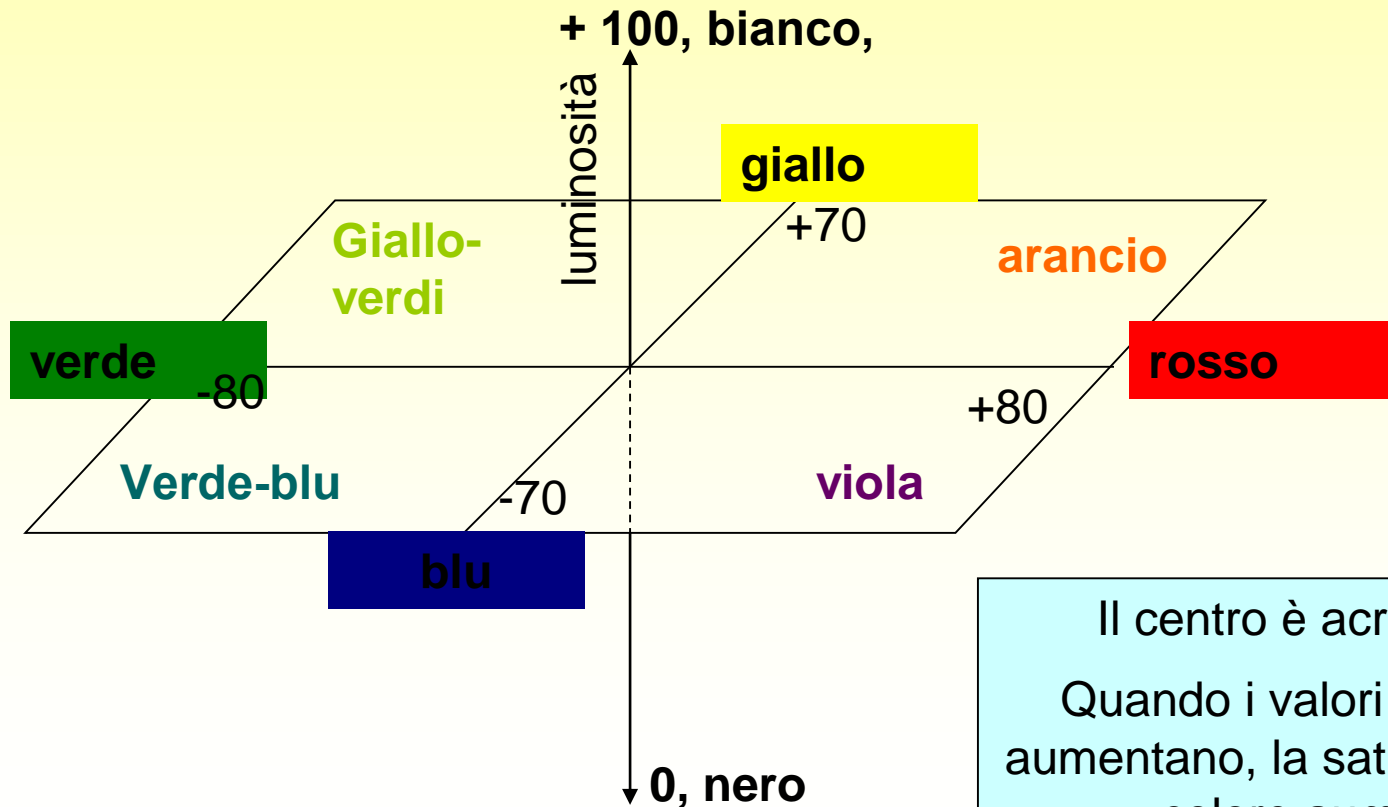
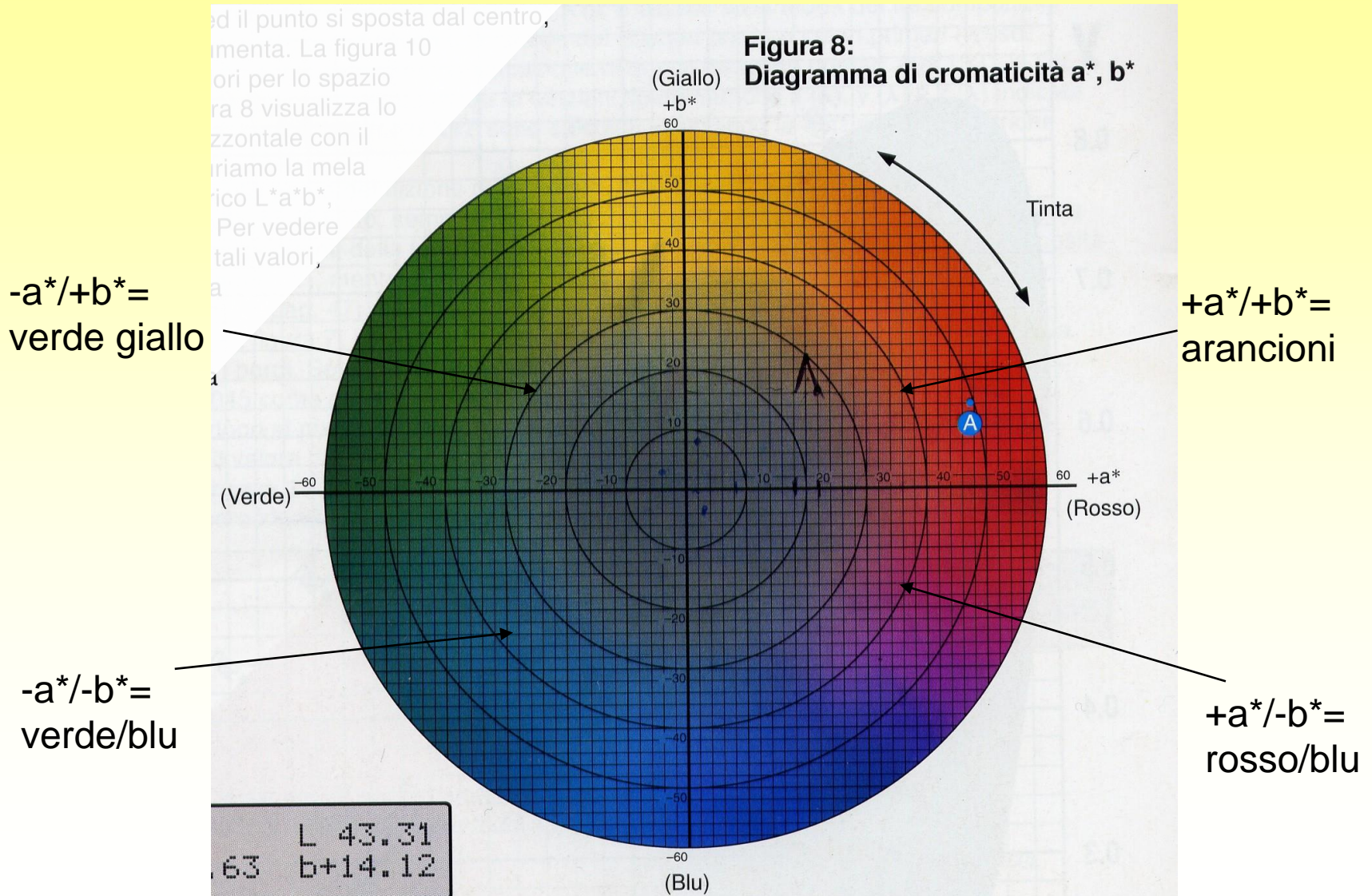
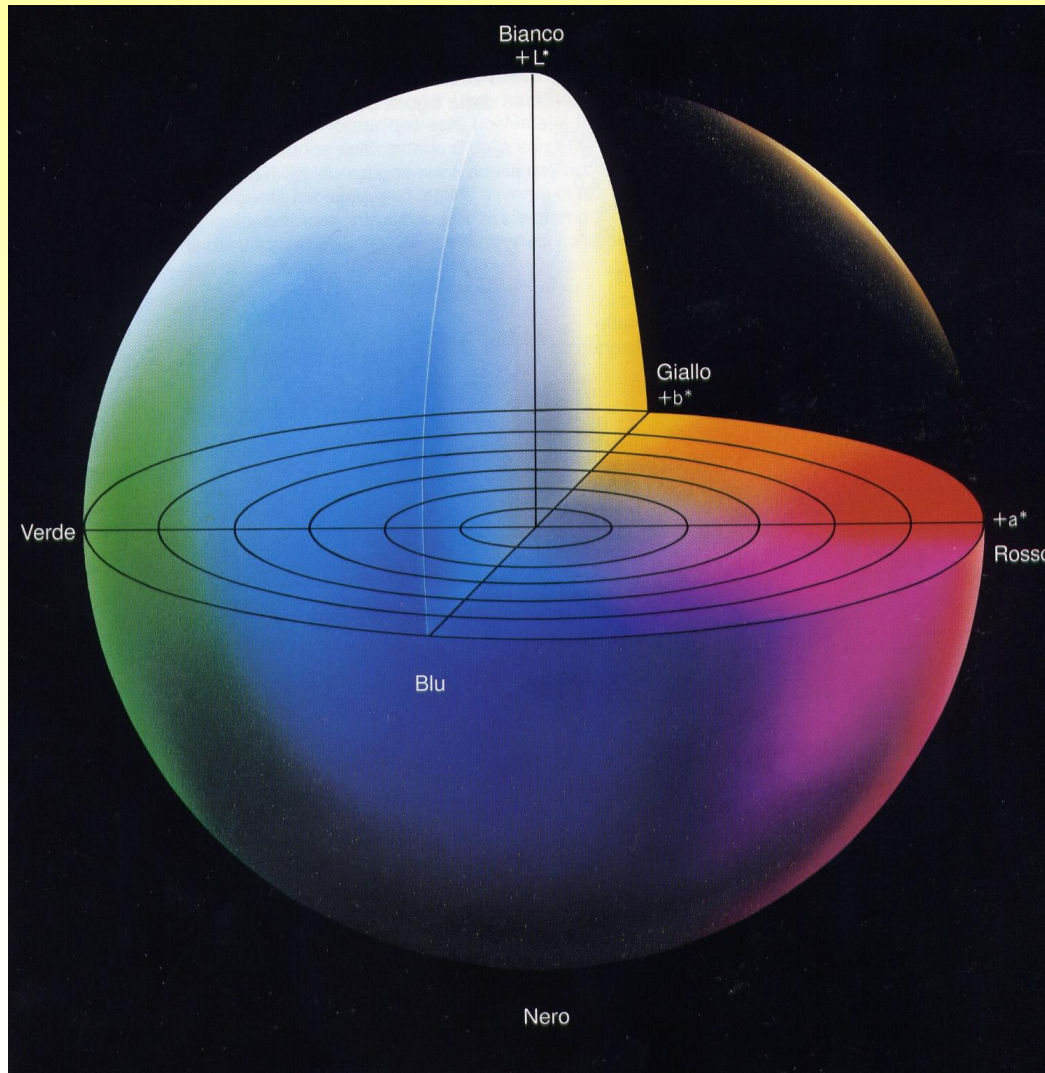


Diagramma di cromaticità $a^* b^*$





Lo spazio colorimetrico $L^ a^* b^*$*

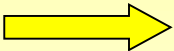
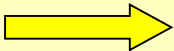




Lo spazio colorimetrico $L^*C^*h^\circ$



$C^* = 0$ al centro, poi aumenta con la distanza dal centro.

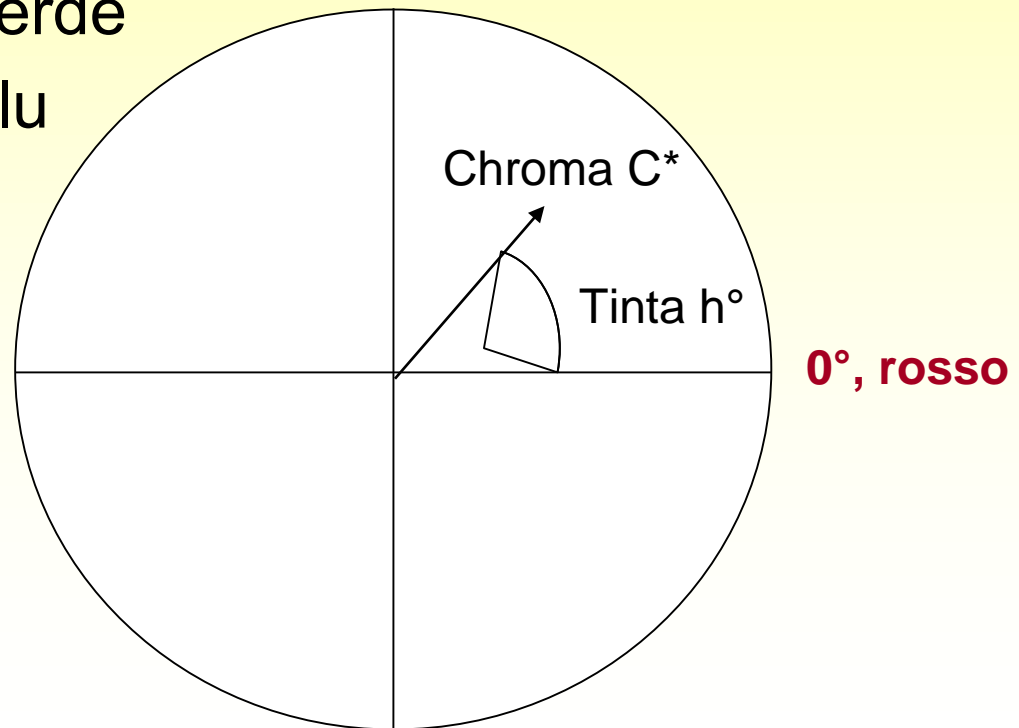
La tinta è espressa in gradi:

0°  $+a^*$  rosso

90°  $+b^*$  giallo

180°  $-a^*$  verde

270°  $-b^*$  blu



Lo spazio colorimetrico L*C*h°

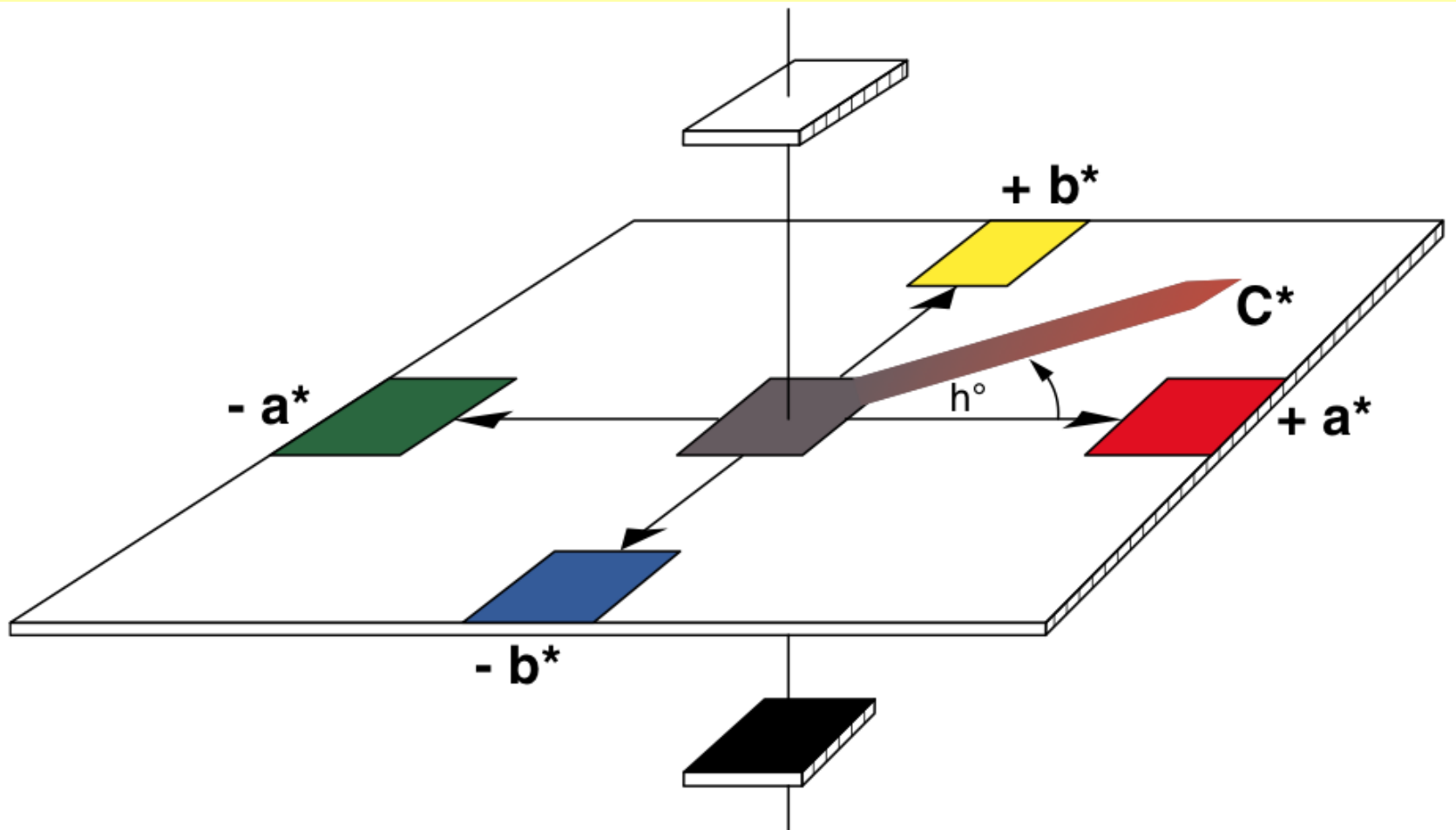
Usa lo stesso diagramma dello spazio colorimetrico L* a* b* ma adotta coordinate polari anziché cartesiane

L* = luminosità

C* = *chroma* = $\sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$

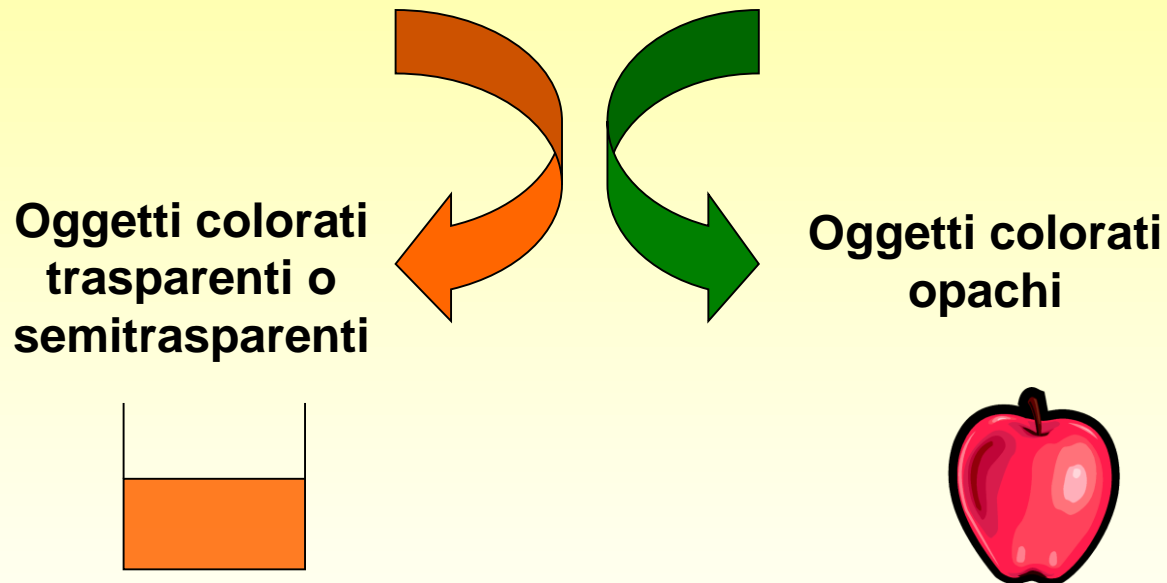
h* = *hue*, angolo che indica la tinta = $\arctan \left(\frac{b^*}{a^*} \right)$

Spazio CIEL*C*h°



LA MISURAZIONE DEL COLORE

Le proprietà ottiche di un corpo sono determinate oggettivamente solo attraverso misure spettrofotometriche

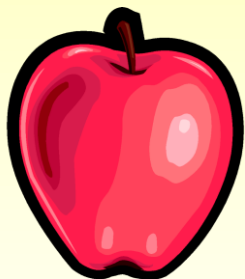


La misurazione del colore

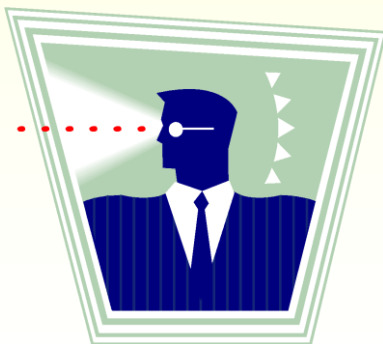
Per VEDERE il colore



Sorgente
di luce



oggetto

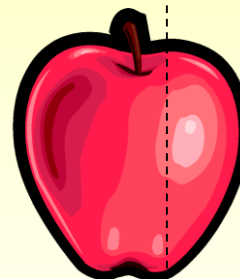


osservatore

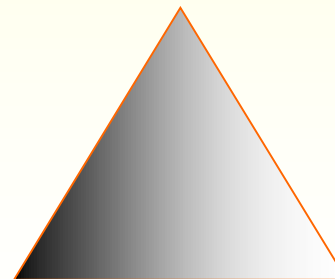
Per MISURARE il colore



Sorgente
di luce



Campione

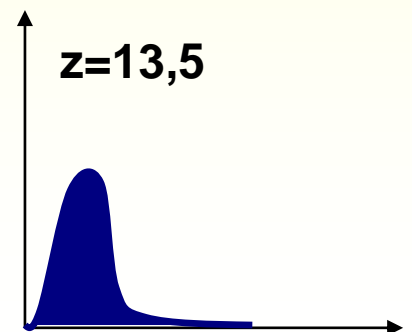
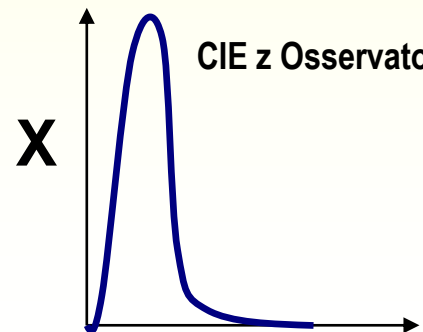
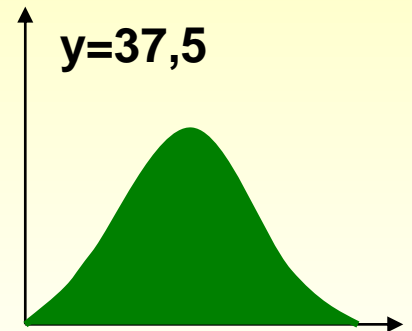
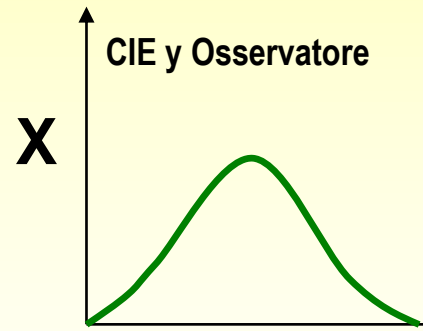
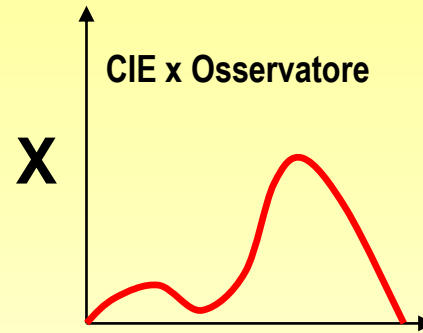
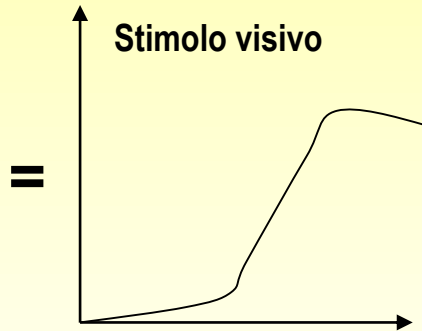
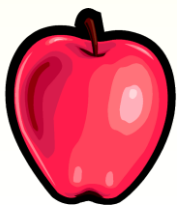
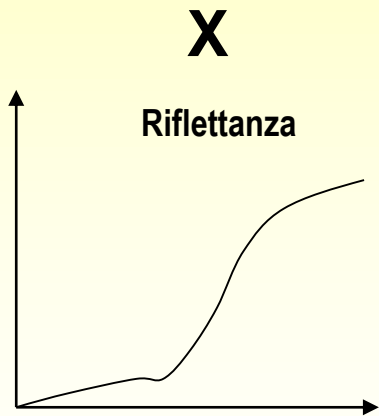
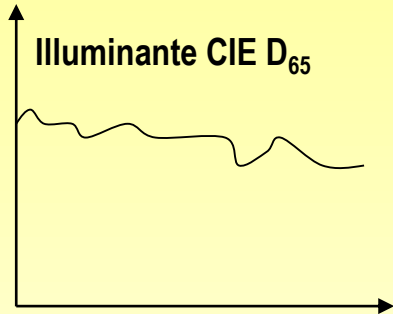


Rivelatore
spettrometro-
fotometrico

La misurazione del colore

I valori x , y , z di un colore sono ottenuti moltiplicando i valori relativi all'illuminante, la riflettanza o la trasmittanza dell'oggetto e le funzioni dell'osservatore standard.

Il prodotto ottenuto alle lunghezze d'onda nello spettro del visibile viene poi sommato.



La misurazione del colore: oggetti colorati trasparenti

Misure del colore in trasmittanza/assorbanza

$$\text{Trasmittanza} = \frac{E_{\text{incidente}}}{E_{\text{trasmessa}}} \times 100$$

$$\text{Assorbanza} = A = \log_{10} 1/T$$

La misurazione del colore: oggetti colorati trasparenti e semi-trasparenti

Buona approssimazione tra giudizio visivo soggettivo e oggettivo:

Misura della riflettanza (colore) del campione posto in un contenitore a fondo trasparente e coperto con una superficie bianca totalmente riflettente, usando una finestra di osservazione del campione piuttosto ampia così che la sezione della luce incidente sia inferiore di quello della luce riflessa e permettere la raccolta di buona parte delle radiazioni diffuse internamente

La misurazione del colore: oggetti colorati trasparenti e semi-trasparenti

In questi sistemi si realizzano fenomeni di diffusione interna della luce (scattering) per cui parte dell'E luminosa viene dispersa in tutte le direzioni causando una perdita di riflettanza

E' stata definita una relazione, per ogni mezzo torbido e ogni lunghezza d'onda, tra la riflettanza ed il rapporto tra i coefficienti di assorbimento (D) e di diffusione (S) della radiazione monocromatica per la sostanza in esame

$$\frac{K}{S} = \frac{(1-R_{\infty}^2)}{2 R_{\infty}}$$

R_{∞} : riflettanza campione di spessore infinito

Definizione R_{∞} per alimento semitrasparente: misura della riflettanza del campione contro uno sfondo bianco (totalmente riflettente) e nero (totalmente assorbente) e applicazione opportune formule

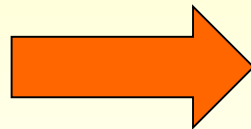
La misurazione del colore: oggetti colorati trasparenti e semi-trasparenti

Effetto stato fisico e composizione:

Dimensioni particelle disperse: $\square = \square L^*$ e \square
cromaticità

Presenza di bolle d'aria: $\square L^*$

Disidratazione: $\square L^*$



**Effetti di fenomeni di rifrazione nel
passaggio tra l'uno e l'altro mezzo
rifrangente**

La misurazione del colore: oggetti opachi

La maggior parte della luce incidente viene riflessa, solo una piccola parte viene trasmessa ($< 10^{-3}\%$)

$$\text{Riflettanza} = \frac{E_{\text{incidente}}}{E_{\text{riflessa}}} \times 100$$

La riflettanza assoluta dipende da:

- Caratteristiche fisiche dell'oggetto
- Quantità di luce assorbita/diffusa
-



DIFFICILE DA MISURARE



SI USA LA RIFLETTANZA RELATIVA

Riflettanza relativa

Rapporto percentuale tra l'intensità di luce riflessa dal campione e quella riflessa da uno standard nelle medesime condizioni

$$R_{rel} = \frac{R_{\text{campione}}}{R_{\text{standard}}} \times 100$$

- Illuminante CIE
- Standard: bianco puro dell'ossido di magnesio ottenuto per combustione di trucioli di magnesio (C.I.E. 1931) (riflettanza a 457 nm =100%)

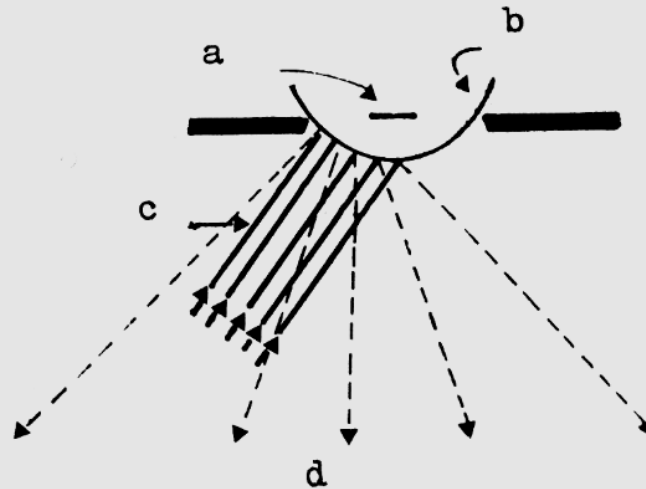
La misurazione del colore: oggetti opachi

Caratteristiche dell'alimento

1. **Il colore dell'alimento è variegato (es. mela, fragola, pane, carne, salumi....)**
 - **È possibile ottenere un colore medio (varie misure in diverse parti del corpo)**
 - **È possibile omogeneizzare il campione**

La misura del colore in corpi curvati:

Effetto cuscino “pillowing” dovuto alla geometria del campione
(es. campioni convessi)



Effetto cuscino di accasciamento del campione entro la finestra (da Francis e Clydesdale, 1975) a = punto di calibrazione; b = campione; c = raggio incidente; d = radiazione riflessa.

- Se la radiazione colpisce prima una superficie semitrasparente e poi quella scabra si ha una riletanza speculare nel primo strato ed una diffusa nel secondo: **l'oggetto appare più luminoso**

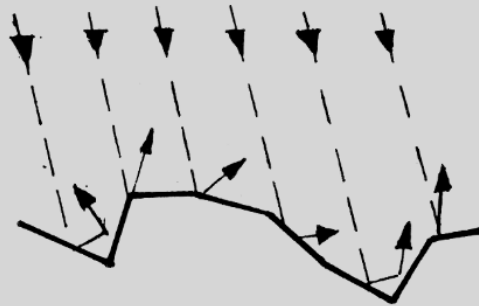
La misurazione del colore: oggetti opachi

Figure

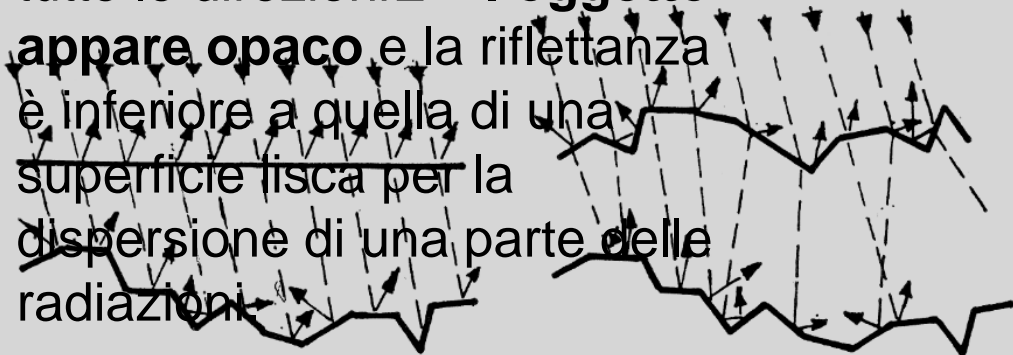
- L'irregolarità determina che le radiazioni incidenti presentino diversi comportamenti:

- Se la radiazione colpisce direttamente la superficie scabra, essa viene riflessa in tutte le direzioni □ **l'oggetto**

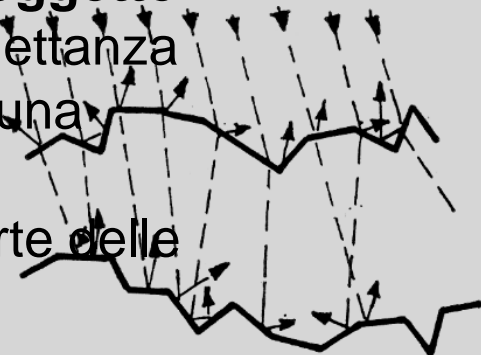
appare opaco e la riflettanza è inferiore a quella di una superficie liscia per la dispersione di una parte delle radiazioni



a



b



c

(da Birth e Zachariach, 1971)

Fig. 20 - Interazione luce-superfici irregolari (33).

Misure spettrofotometriche

Per sostanze colorate trasparenti e semitrasparenti

Si valuta l'assorbanza a specifiche lunghezze d'onda nell'intervallo dello spettro del visibile.

Utile per valutare la presenza di specifici composti in grado di assorbire colore in determinate lunghezze d'onda (es. clorofilla, mioglobina, prodotti della reazione di Maillard....)

Impiegabile anche per alimenti solidi (dopo estrazione con solventi)

Colorimetro fotoelettrico tristimolo

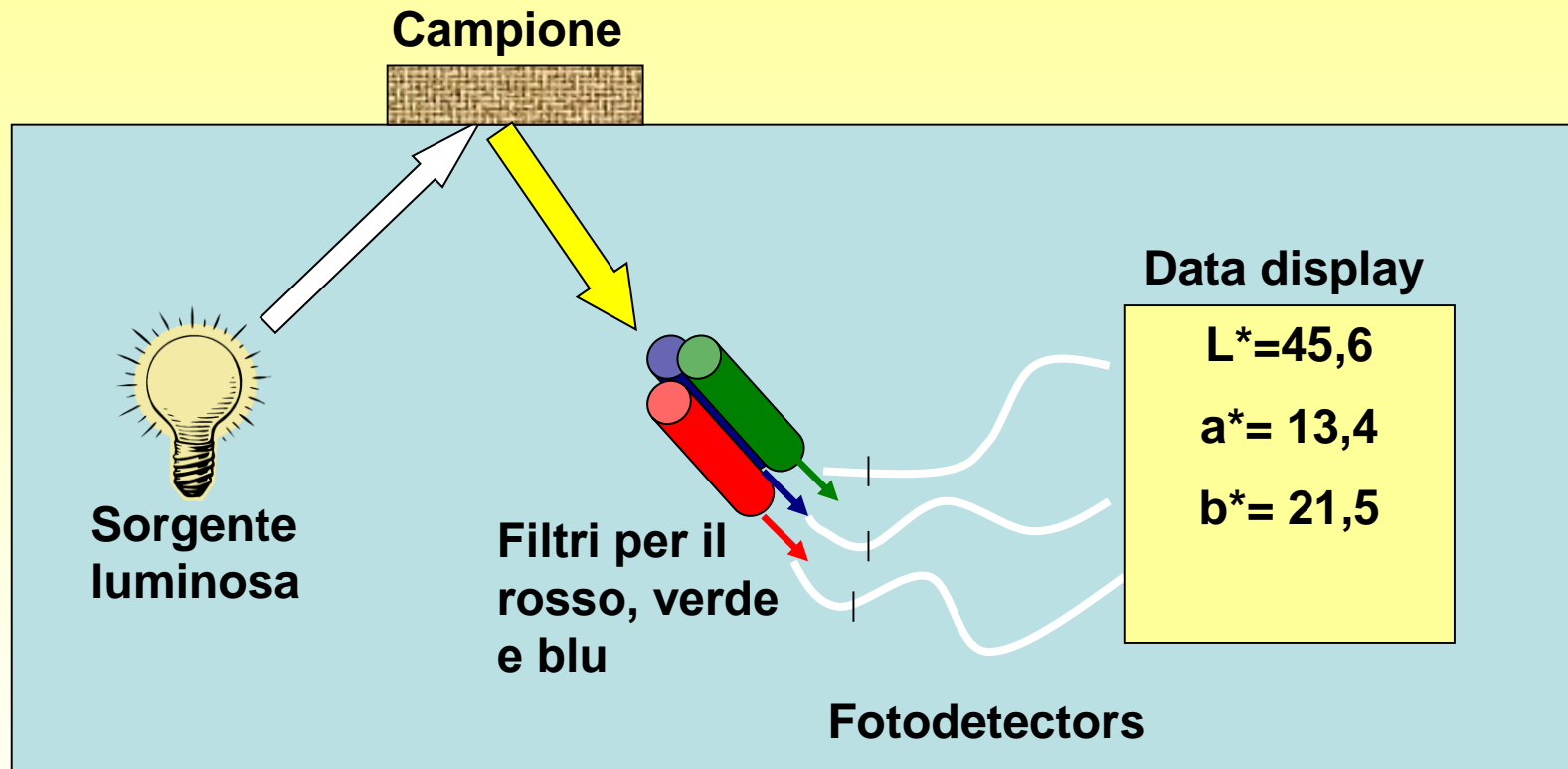
Caratteristiche

- Relativamente poco costoso
- Robusto
- Adatto ad analisi di routine
- Riproduce le condizioni visuali dell'occhio umano

Costituito da

1. Sorgente luminosa che riproduce l'illuminante standard C.I.E.
2. Tre circuiti elettrici separati = tre sensori filtranti aventi quasi la stessa sensibilità dell'occhio umano (simulano le curve x, y, z dell'osservatore standard)
3. Microcomputer che converte le informazioni ricevute in dati numerici

Colorimetro fotoelettrico tristimolo



Limiti

Non riproducibilità tra dati ottenuti con strumenti diversi

Non utile per determinare il colore in termini assoluti (ma utile per valutare differenze)



Konica-Minolta
CR-400,
CR-410
Portable
Colorimeter

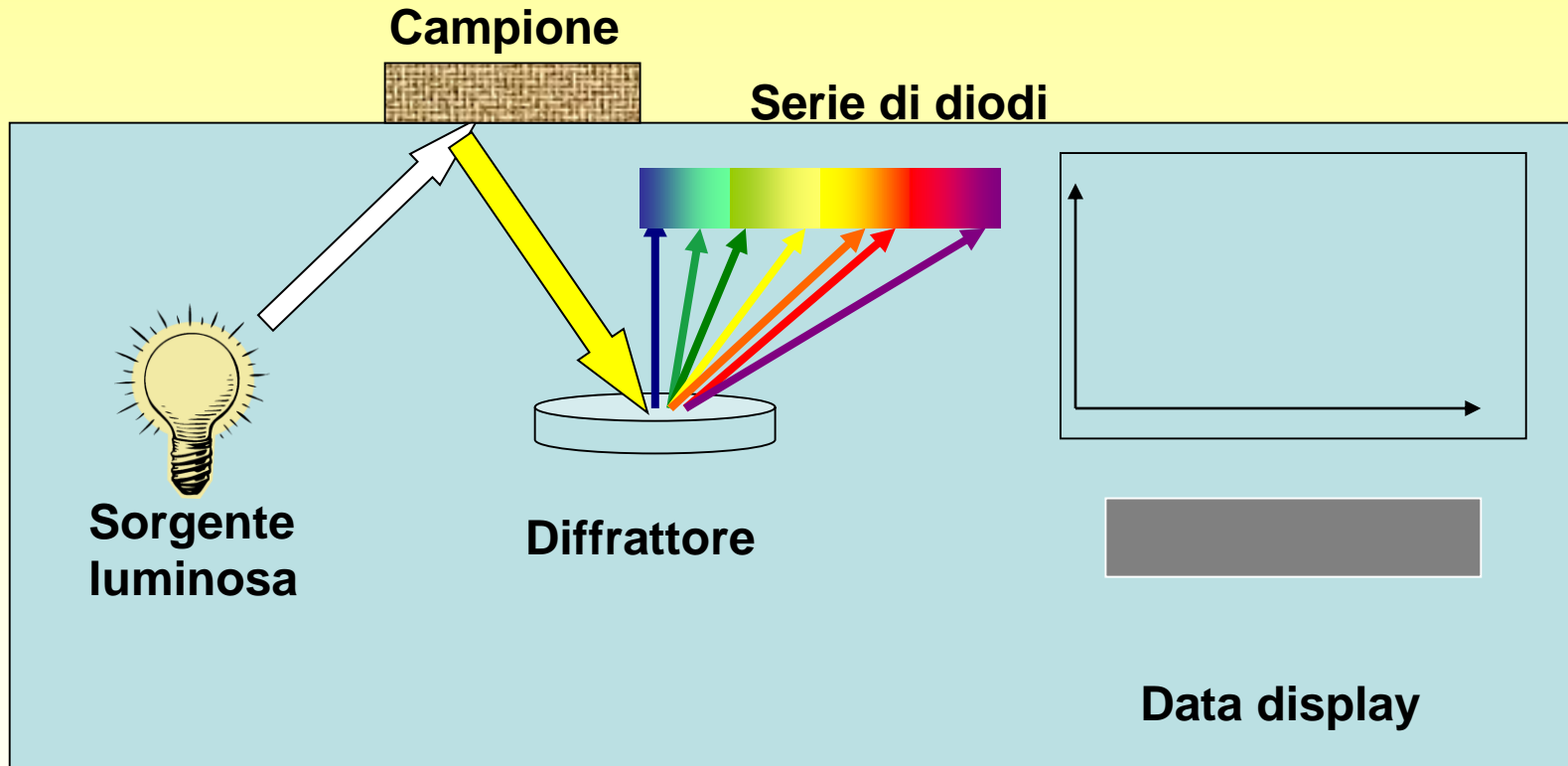


Colorimetro
tristimolo
(Hunter)

Spettrofotometro colorimetrico

- Utilizza la sorgente luminosa per illuminare il campione. La luce riflessa dal campione raggiunge il gratin che scinde il raggio luminoso nelle sue componenti cromatiche dello spettro visibile. Lo spettro viene poi convogliato su una serie di diodi che quantificano la quantità di luce per ciascuna lunghezza d'onda.
- I dati spettrali sono poi inviati ad un processore che li moltiplica con quelli della specifica illuminante CIE e per le funzioni dell'osservatore standard (10°) per ottenere i valori finali di x , y , z (oppure L^* , a^* , b^*).

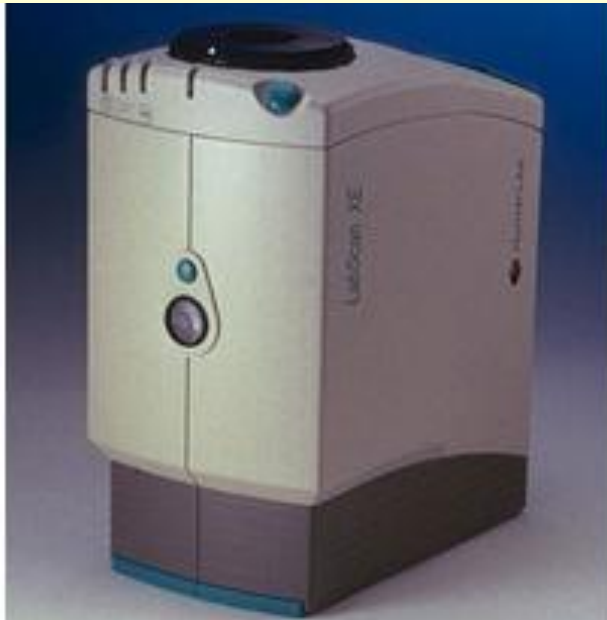
Spettrofotometro colorimetrico



Spettrofotometro colorimetrico



Color Quest
Spectrocolorimeter
(Hunter)

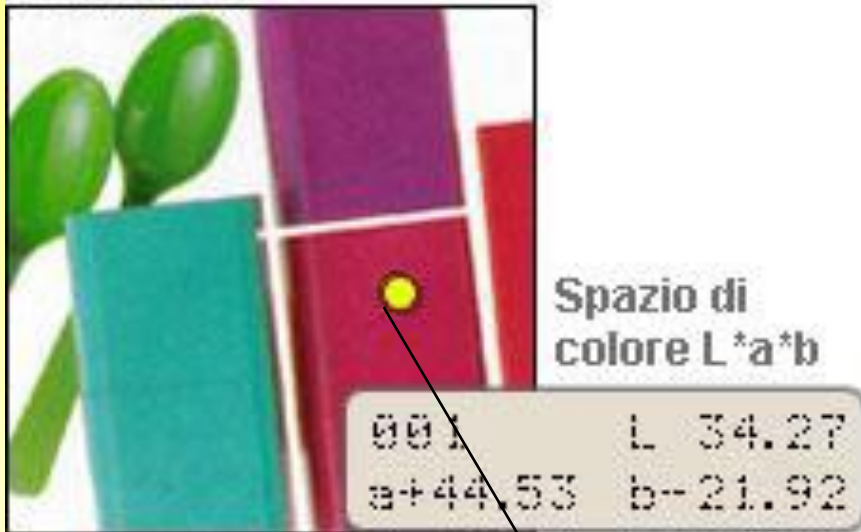


LabScan XE
Spectrocolorimeter
(Hunter)

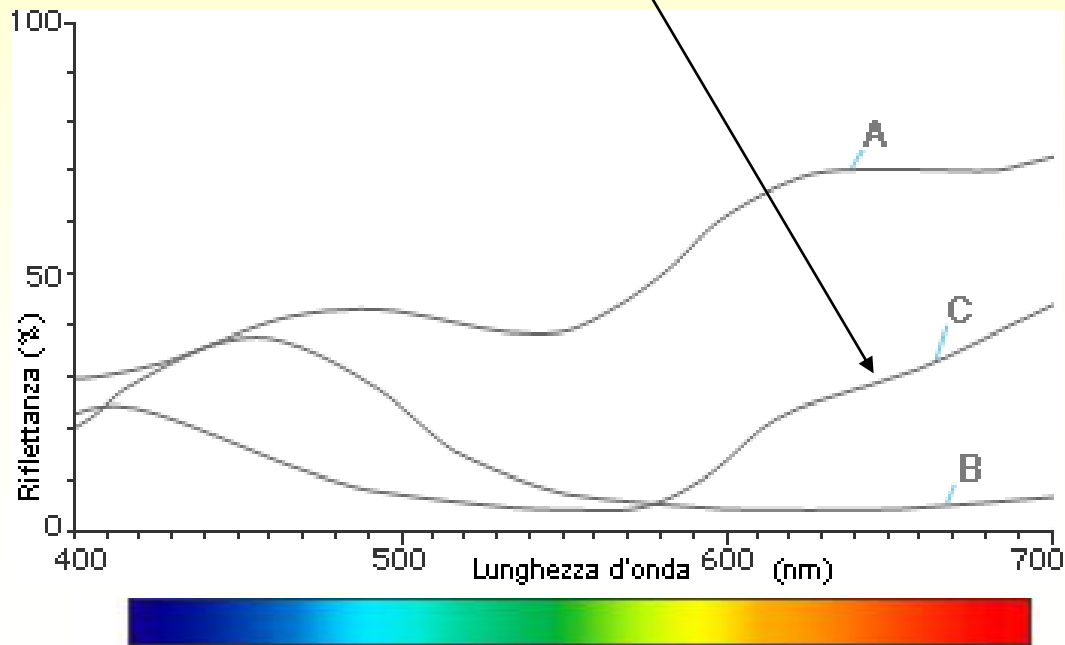
Colorimeters versus spectrophotometers

Colorimetro (C)	Spettrofotometro (S)
Strumento finalizzato ad analisi psicofisica- effettua misure che si correlano con la percezione occhio-cervello nell'uomo	Strumento per analisi fisiche- effettua a tutte le lunghezze d'onda misure spettrali delle proprietà di riflessione e/o di trasmissione di oggetti senza interpretazione dell'uomo. Può indirettamente calcolare informazioni psicofisiche (colorimetriche)
Consiste di sensori + un semplice processore di dati	Consiste di sensori+processore di dati o computer+software
Ha un set di combinazioni illuminanti- osservatore (angolo) (in genere C/2°)	Può avere diverse combinazioni illuminanti/osservatori che possono essere utilizzati per calcolare i dati tristimolo
Isola una banda larga di lunghezze d'onda utilizzando un filtro di assorbimento tristimolo	Isola una stretta banda di lunghezze d'onda utilizzando un prisma, gratin o un filtro ad interferenza
Strumento robusto e meno complesso di S	Strumento più complesso di C
Utile per valutazioni di confronto utilizzando condizioni costanti. Ideale per misure di controllo qualità	Lavora bene nella formulazione del colore. Ottimo per controllo qualità, Ricerca & Sviluppo

Plastica



Colorimetro



Spettrofotometro

Indici colorimetrici e differenze di colore

- **Indice cromatico a^*/b^***

Indice dell'intensità di rosso (carni), pomodoro e derivati

- **Indice di giallo YI (sotto Illuminante C)**

$$YI = 142,86 \times (b^*/L^*)$$

Usato per definire il colore di alimenti bianchi o tendenti al giallo

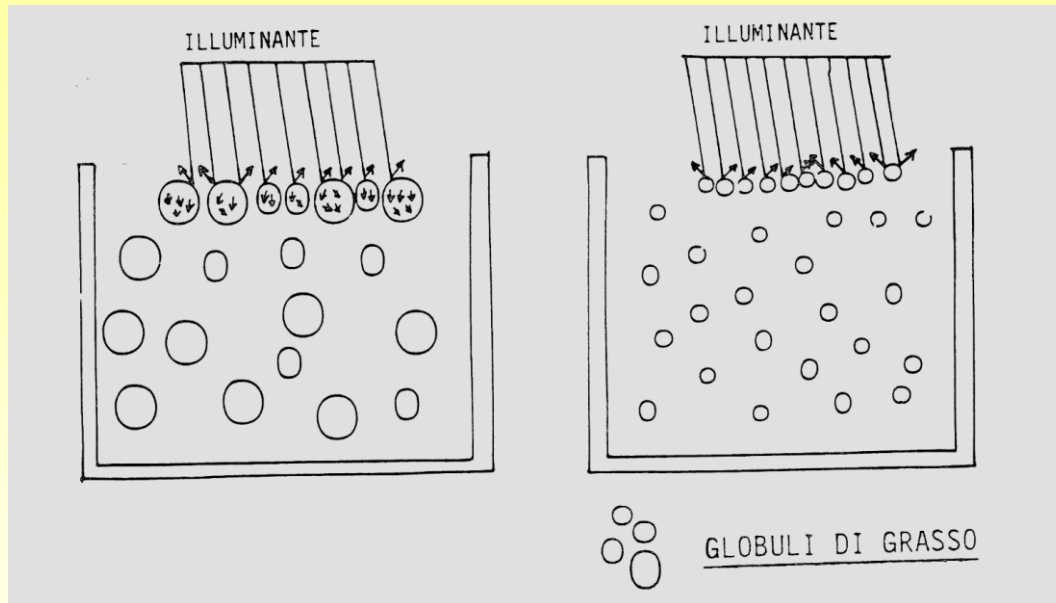
Correlabile con lo stato di dispersione e colloidale in alimenti lattiero caseari

Indice di giallo YI

Il caso del latte

campione	L*	a*	b*	a*/b*	YI
Cisterne latte crudo	86,2-84,9	-4,5/-4,3	5,4-7,6	-0,71/-0,58	9,0-12,74
Silo latte crudo	84,4	-4,3	5,9	-0,73	9,90
Latte pastor. Intero	85,5	-4,4	5,7	-0,77	9,52
Latte magro	77,4	-6,0	-1,6	3,75	-2,95
Latte magro+intero	85,2	-4,6	5,6	-0,82	9,39
Latte UHT omogeneizzato	90,8	-4,6	6,8	-0,68	10,7

Resmini-Messina, 1988



Indici colorimetrici e differenze di colore

- $\Delta E = (\Delta L^2 + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2})^{1/2}$

= **Differenza di colore globale.**

Utilizzato per valutare variazioni di colore di alimenti nei quali tutte le componenti cromatiche e la luminosità variano per effetto di condizioni di processo o stoccaggio

- $\Delta E = (\Delta a^{*2} + \Delta b^{*2})^{1/2}$

= **Differenza di caratteristiche cromatiche.**

Utilizzato per valutare variazioni di colore di alimenti nei quali solo le componenti cromatiche variano per effetto di condizioni di processo o stoccaggio

Procedura per misura colore con colorimetro

- **Preparazione campione**

Standardizzazione dimensioni superfici (testa di misura colorimetro), grado di macinazione, temperatura, spessore, tipo portacampione, ...

- **Calibrazione strumento**

Ad ogni utilizzo, lo strumento deve essere tarato (impiego piastrella di riferimento –bianca, rossa,-, ambiente)

- **Scelta condizioni di misura (per prodotti trasparenti o opachi) e di scala (X,Y,Z o L^*,a^*,b^*)**

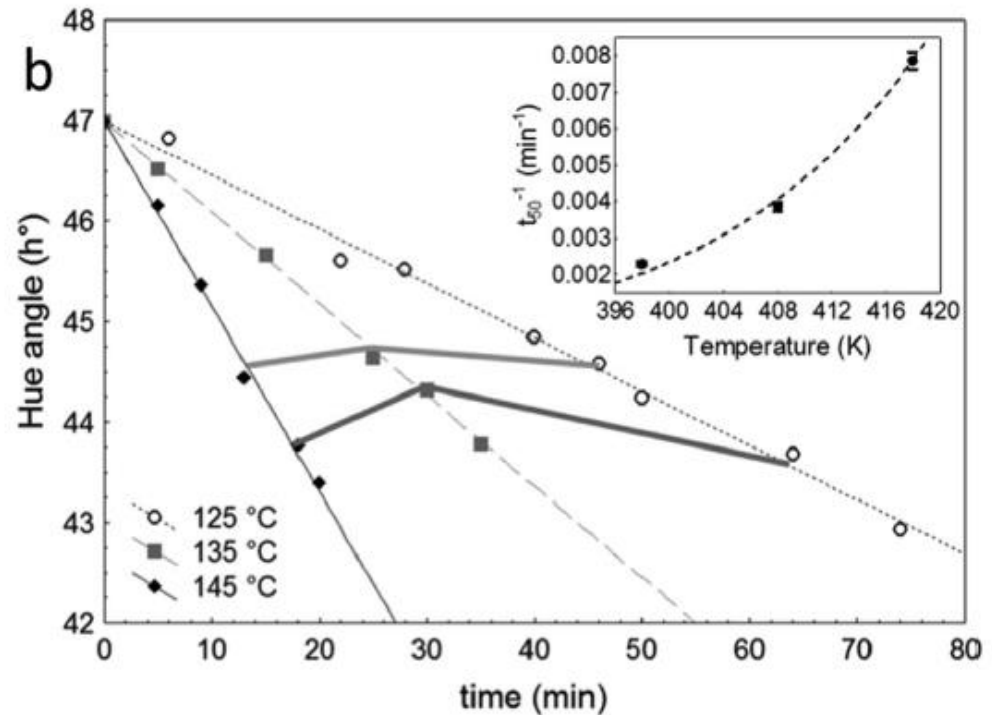
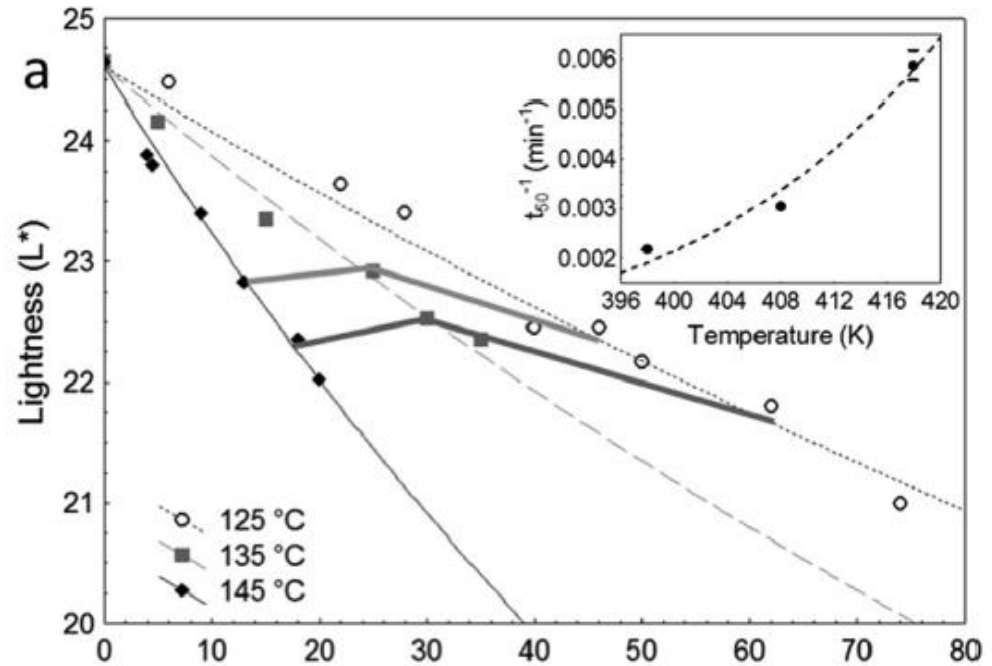
Procedura per misura colore con colorimetro

- **Misure e calcoli**

Tanto maggiore è la disuniformità di colore e caratteristiche di superficie, tanto maggiore sarà il numero di misure da effettuare per avere un dato medio (in genere almeno 3-5 misure)

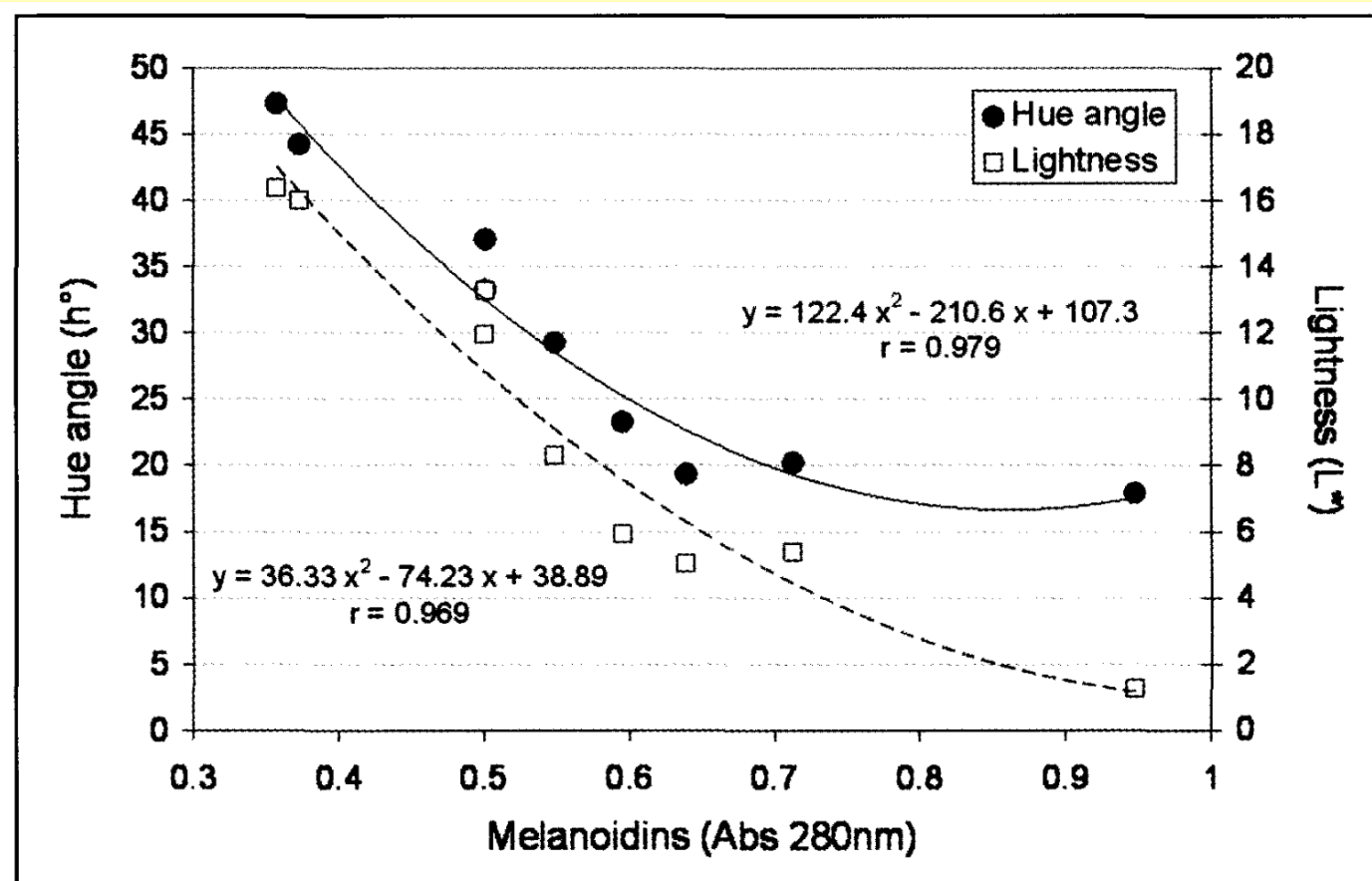
Esempi pratici

- Imbrunimento non enzimatico cacao (Sacchetti et al., 2016)



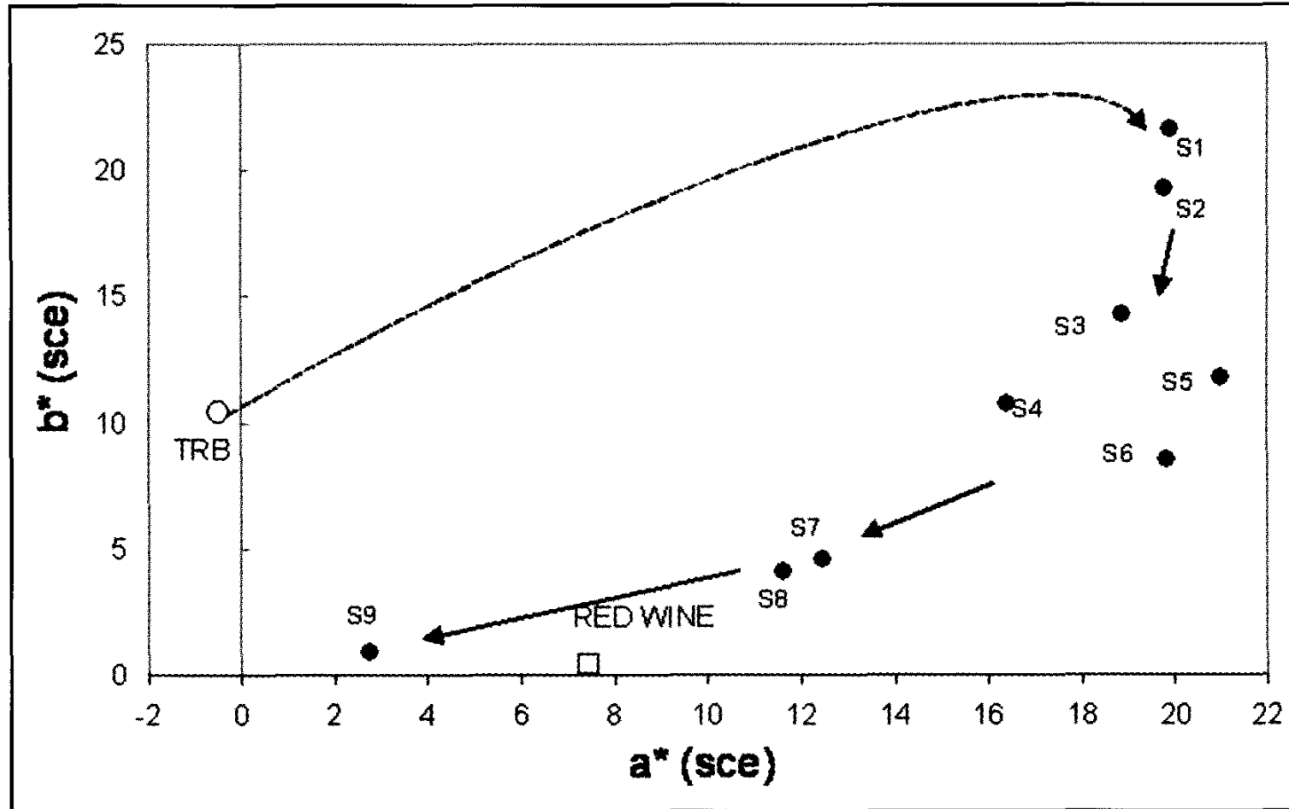
Esempi pratici

- Imbrunimento non enzimatico di vino cotto
(Di Mattia et al., 2007)



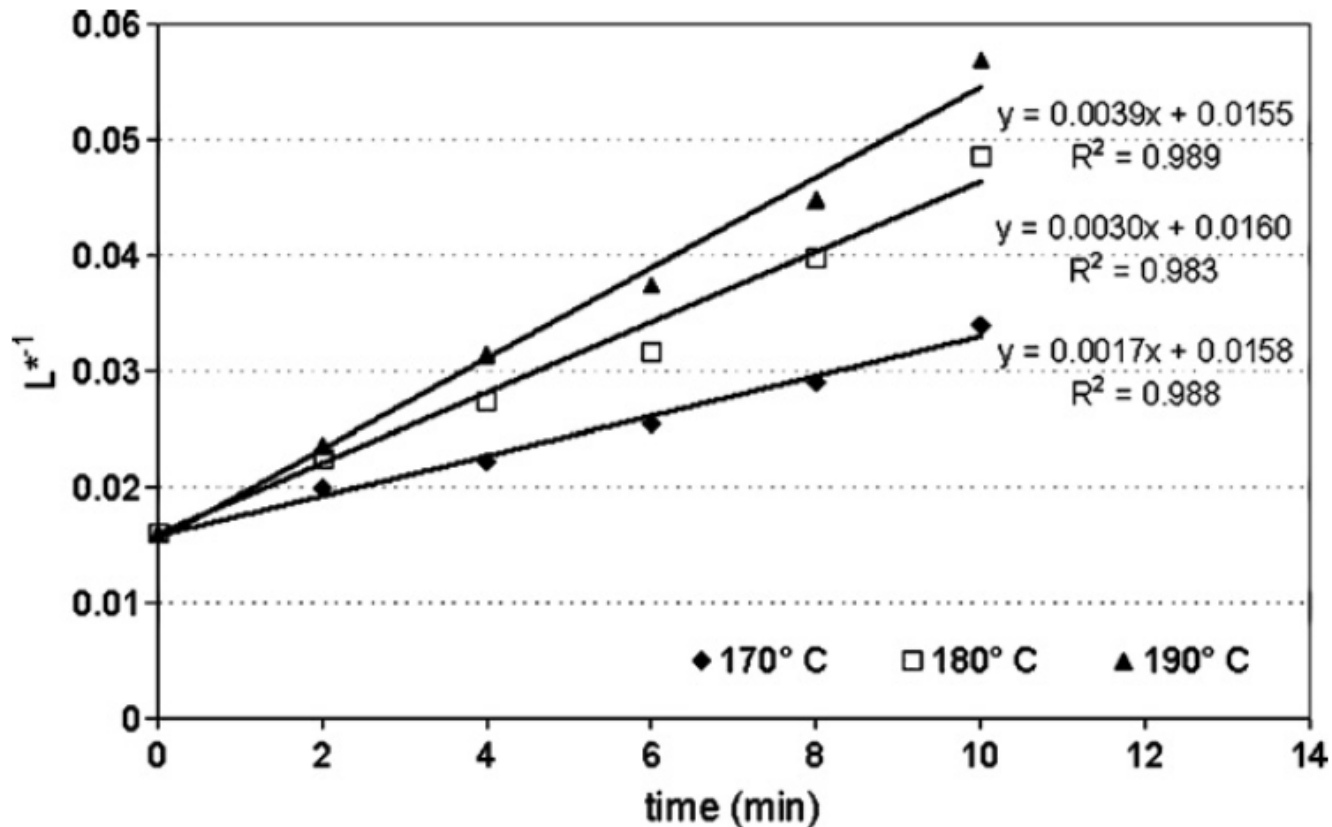
Esempi pratici

- **Imbrunimento non enzimatico di vino cotto**
(Di Mattia et al., 2007)



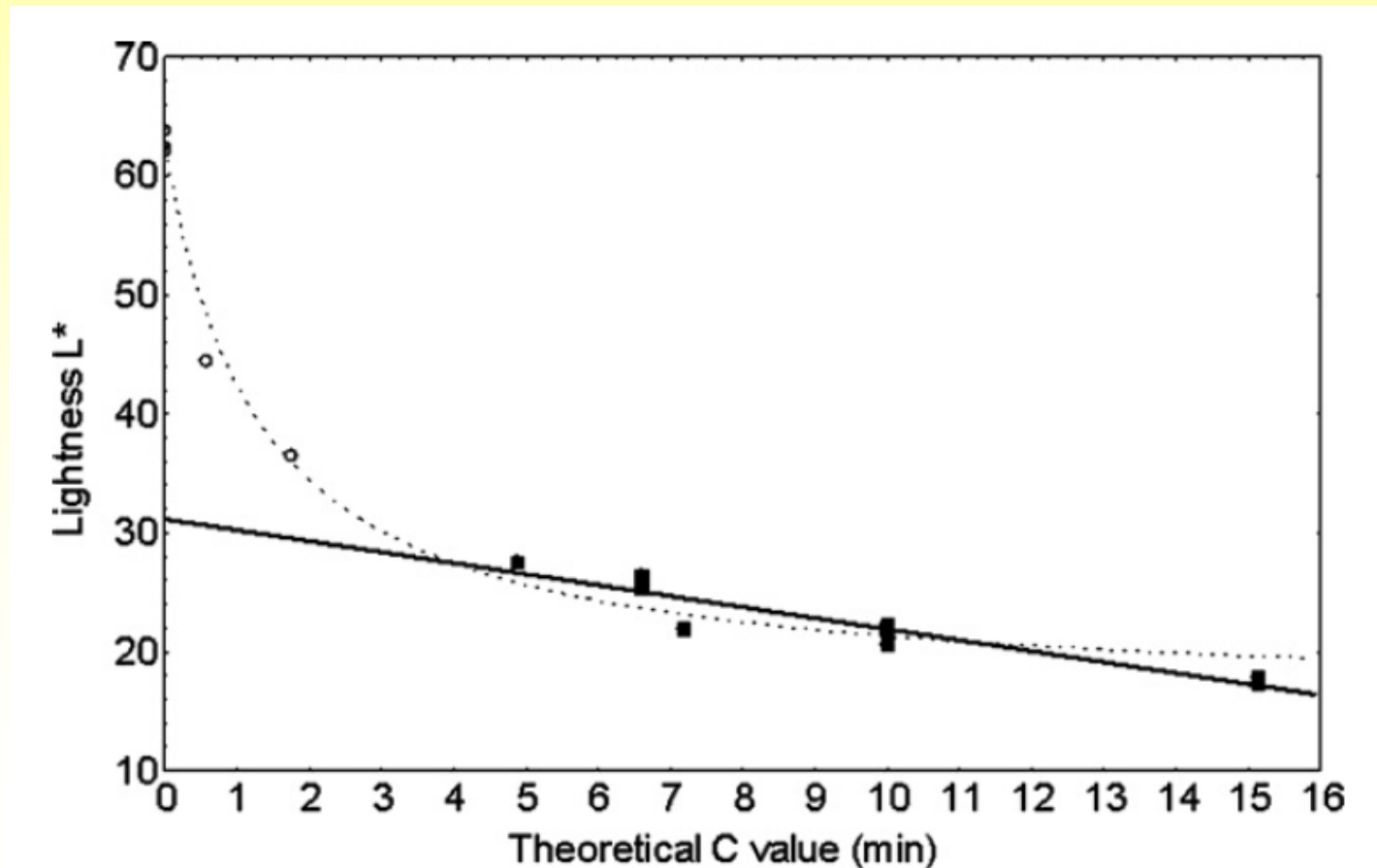
Esempi pratici

- **Imbrunimento non enzimatico di caffè**
(Sacchetti et al., 2009)



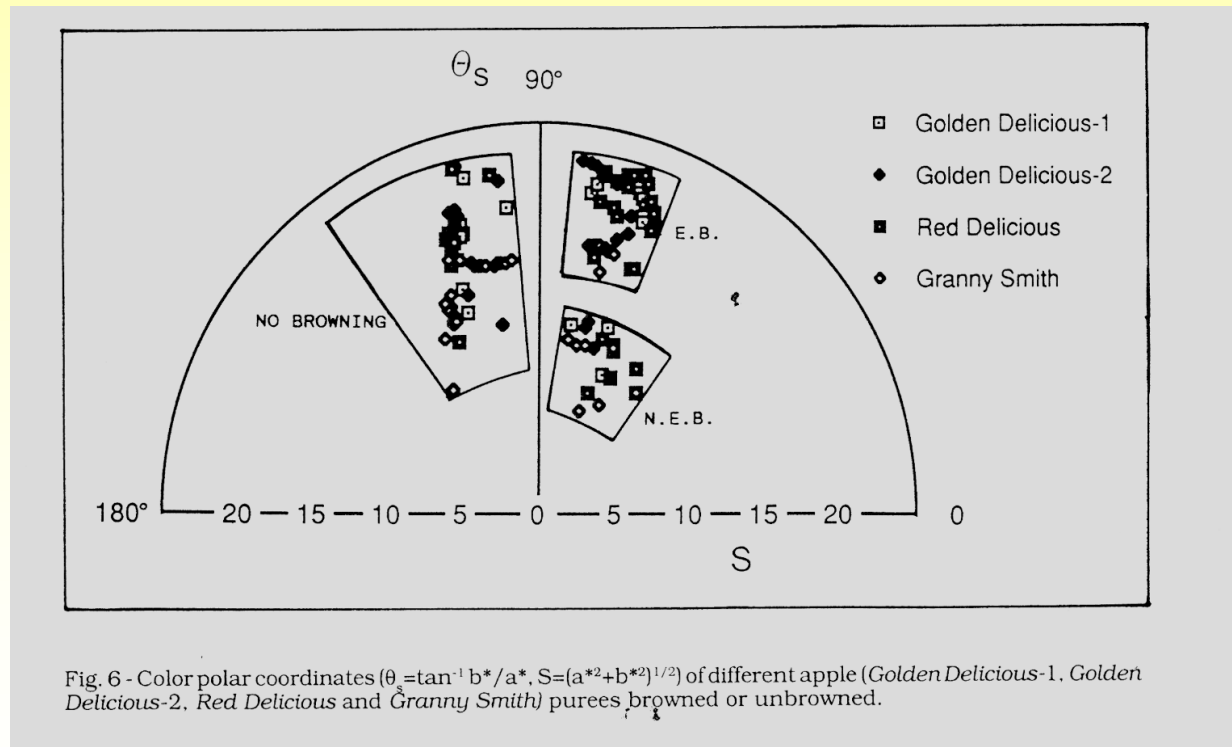
Esempi pratici

- **Imbrunimento non enzimatico di caffè**
(Sacchetti et al., 2009)



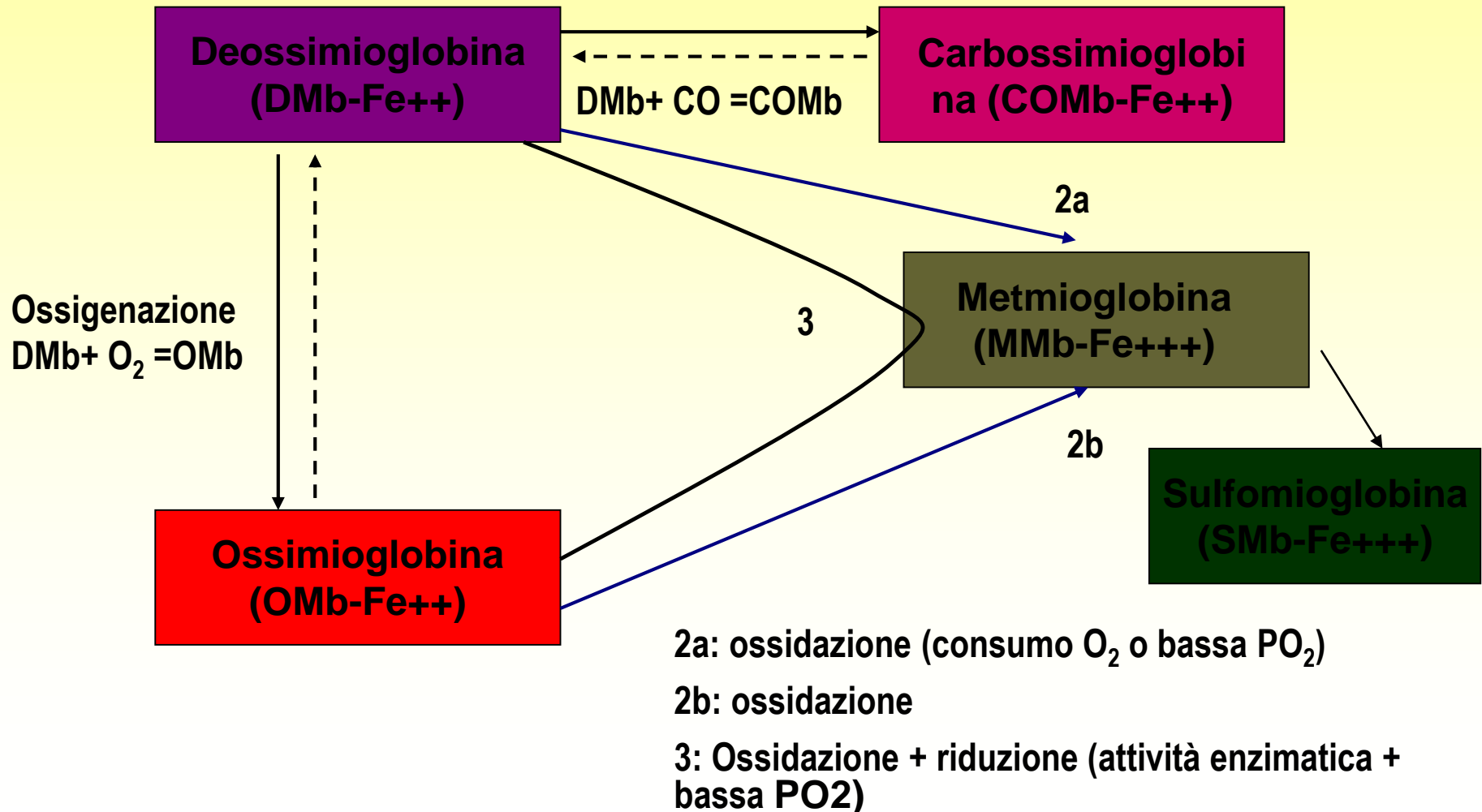
Esempi pratici

- **Imbrunimento enzimatico e non enzimatico di mele**
(Lerici e Mastrocola, 1991)



Esempi pratici

- Il colore della carne



Esempi pratici

Il colore della carne

1. Misure spettrofotometriche in assorbanza

Spettro di assorbimento nell'intervallo di lunghezze d'onda tra 440 e 650 nm

Picchi di assorbimento delle diverse forme della mioglobina

440 nm: deossimioglobina (DMb)

475 nm: metmioglobina (MMb)

535 nm: ossimioglobina (OMb)

635 nm: Sulfomioglobina (SMb)

Esempi pratici

Il colore della carne

2. Colorimetro tristimolo (Hunt et al., 1999)

	Forme di mioglobina		
	DMb	OMb	MMb
Valutazione visiva	1,2	3,0	4,9
L*	54,2	53,4	56,4
a*	16,2	19,2	8,2
b*	8,6	12,2	10,4
Indice di saturazione (<i>chroma</i>)	18,3	22,8	13,2
Hue angle	28,0	32,7	51,6

Colore hamburger a base di carne fresca (manzo): OMb: appena dopo la preparazione; MMb: dopo stoccaggio in AM (2% O₂+98 % N₂) a 2°C; DMb: dopo stoccaggio 48 h sottovuoto

(Colore visivo: 1: rosso porpora; 3: rosso vivo; 5: rosso bruno).

Esempi pratici

		Temperatura finale di cottura (°C)		
		62,8	71,1	82,2
Valutazione visva	Normale	2,2 ^a	3,6 ^c	4,9 ^e
	PSE	3,8 [°]	4,7^c	5,0 ^d
a*	Normale	7,4 ^a	6,2 ^b	5,2 ^a
	PSE	5,2^{ab}	5,0^{ab}	4,8 ^a
b*	Normale	13,1 ^c	12,4 ^b	11,9 ^a
	PSE	11,3^b	10,9^{ab}	10,8 ^a
Hue angle	Normale	58,8 ^a	60,9 ^b	62,9 ^c
	PSE	62,8^{ab}	62,9 ^{ab}	63,3 ^b
Indice di saturazione	Normale	16,3 ^c	15,1 ^b	13,8 ^a
	PSE	13,2^{bc}	12,9^{ab}	12,6 ^a
Denaturazione Mb	Normale	62,5 ^a	78,5 ^c	89,0 ^d
	PSE	77,9^a	81,5^b	86,5 ^c

Colore hamburger a base di carne di maiale normale o PSE dopo cottura a diverse temperature al cuore (Lien et al., 2002)

(Colore visivo: 1: rosso; 3: rosso rosato; 5: biancastro).

Misurazione del colore di specifici prodotti alimentari (off-line) o durante i processi (on-line/in-line)

Derivati del pomodoro: colorimetro Gardner

- Colorimetro da banco per pomodoro e succhi di frutta in accordo con gli standard Gardner e a norme glp.
- E' un tipico colorimetro a filtro *tristimolo* realizzato espressamente per la misura del colore in campioni liquidi, polveri o paste ed è completamente gestito da microprocessore interno:
 - - calibrazione automatica
 - - unita' di misura: scala L a b e XYZ
 - - programma pomodoro con calcolo automatico a/b

Caratteristiche tecniche:

- ottica con: illuminante C, geometria 2x illuminazione 45°/lettura 0°
- sorgente: lampada al tungsteno calibrata

Set di standard per la calibrazione composto da:

- - piastrella bianca con certificato di misura, piastrella nera, piastrella rossa BCR tomato standard con certificato Ufficiale della Comunità Europea

Colorimetro Gardner



Color Tester LS-2000, Labo Scientifica

Misurazione del colore nei processi

La valutazione del colore può essere effettuata mediante sensori anche nelle linee di processo (on line) ed utilizzata per la selezione del prodotto.

Applicazioni:

- Materiali di dimensioni 2-10 mm (polveri, ...)
- Legumi, riso, semi tostati (caffè, arachidi, ...)
- Vegetali (piselli, cavolfiori, mele,)
- Separazione di materiali estranei (foglie da frutti, legno, fili d'erba, sassi....)

Velocità controllo: 10-10000 kg prodotto h⁻¹

Misurazione del colore on-line

- Disposizione del prodotto nei nastri trasportatori in linee dalle quali ogni singola entità possa essere identificata dal sensore
- Raccolta dei segnali dal sensore e misura
- Elaborazione del segnale mediante algoritmi, valutazione e confronto con standard colorimetrici memorizzati
- Segregazione per separare il prodotto nella specifica classe cromatica



Optek-danulat

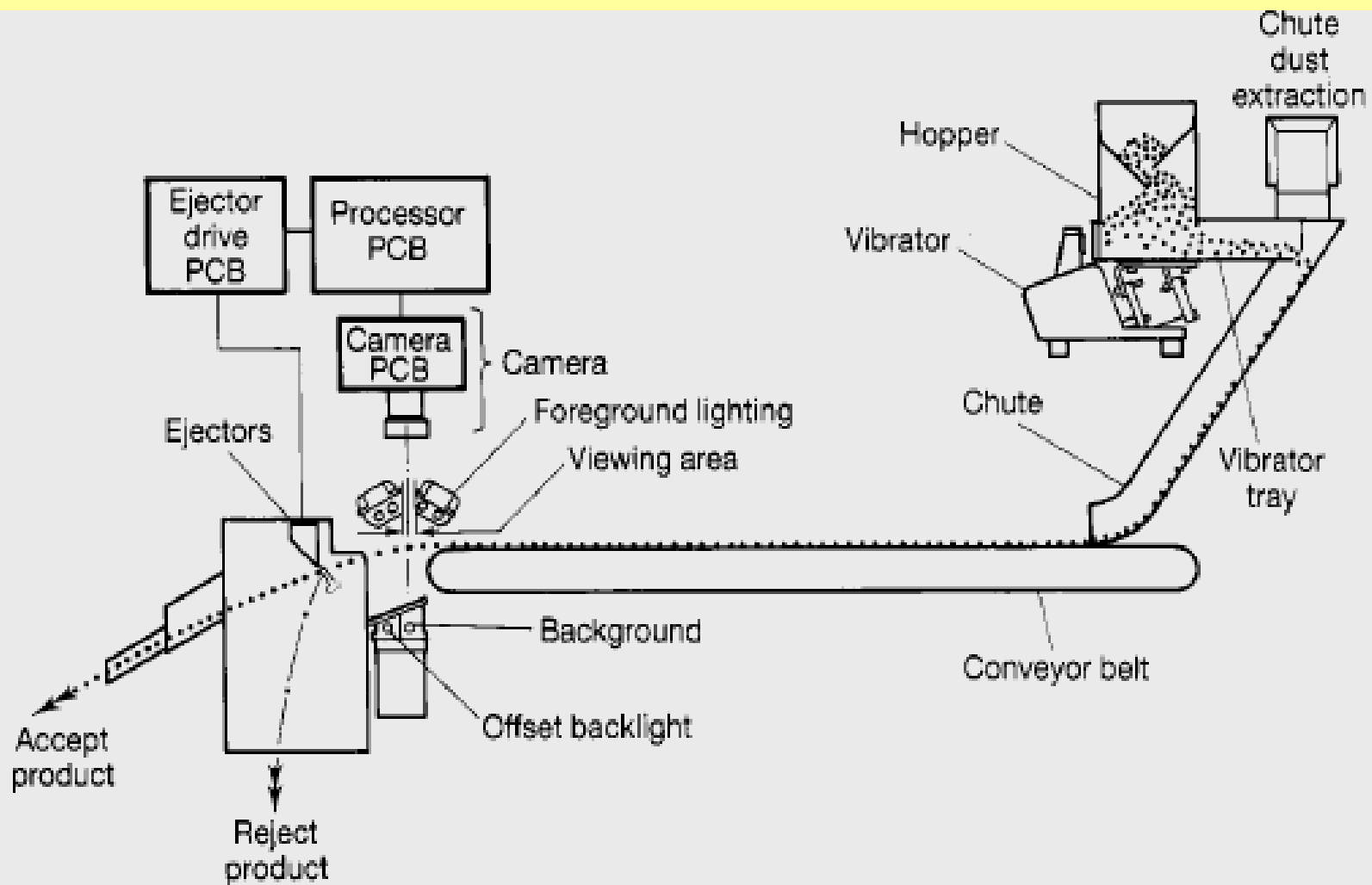


Fig. 9.12. Diagram of colour sorter (with courtesy of Sortex Ltd).

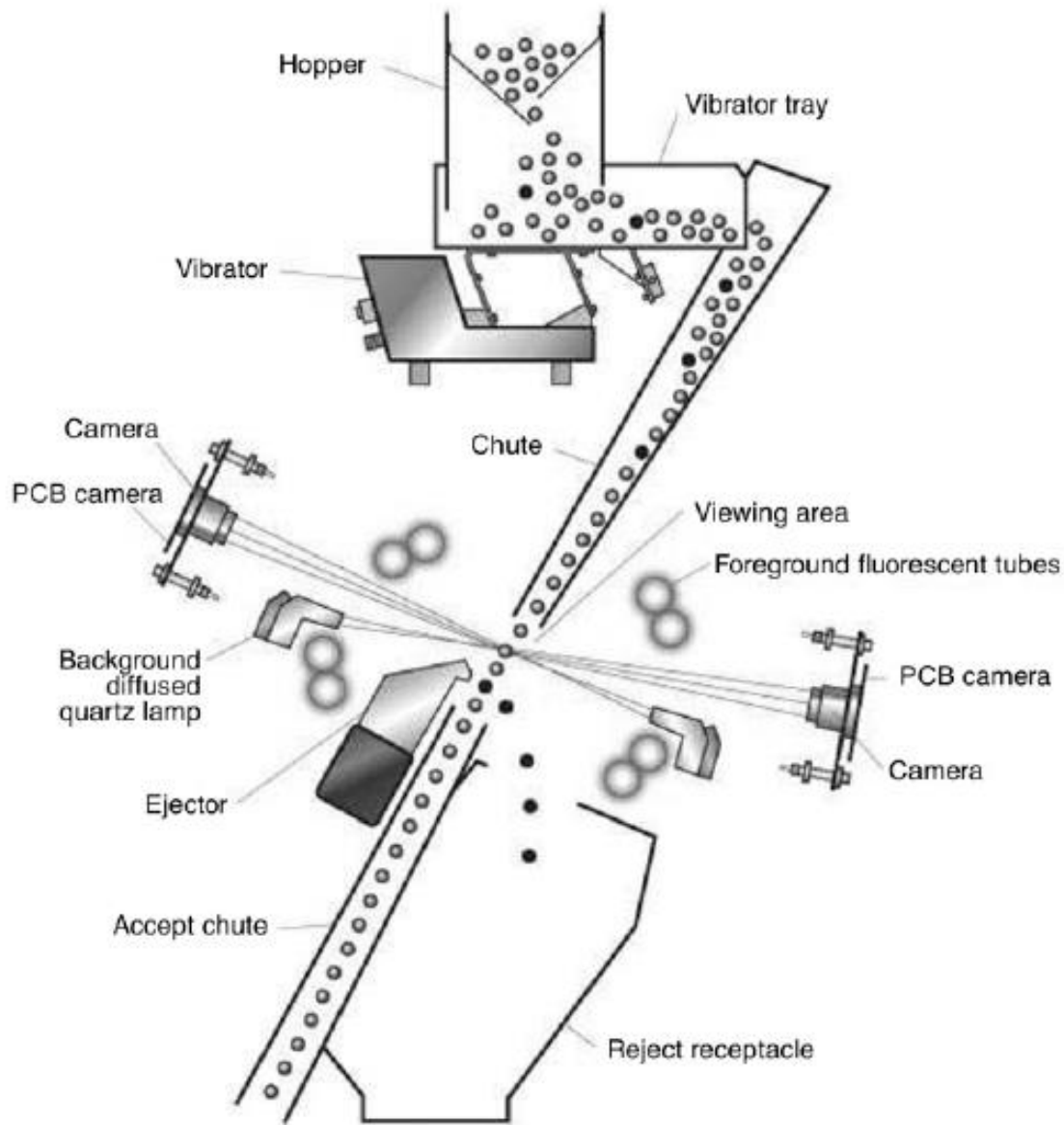


Fig. 6.1 Schematic layout of a typical optical sorting machine

Funzionamento sensori

Si basano sulle proprietà ottiche e di riflettanza dei prodotti alimentari

Il sensore valuta le caratteristiche della luce riflessa dal prodotto, ed in particolare la riflettività spettrale a specifiche lunghezze d'onda, le compara con quello dei valori di riferimento memorizzati e invia le informazioni ottenute al sistema di gestione prodotto

- Sensori monocromatici (operano su 1 specifica lunghezza d'onda dello spettro)
- Sensori bicromatici (operano in due specifici intervalli dello spettro)
- Sensori tricromatici (in sviluppo)

Tipologie sensori

1. Spettrofotometrici

Il sensore misurano la riflettività relativa (0 (nero ovvero no riflettanza)-100 (bianco)%) a specifiche lunghezze d'onda.

Aspetti problematici della misura:

- Caratteristiche di superficie degli alimenti
- Tipologia di illuminazione

Per ovviare a tali problemi:

- Spettrofotometri a riflettanza controllata
- Illuminazione sferica a banda larga diffusa

Tipologie sensori

1. Spettrofotometrici (cont.)

La luce riflessa viene poi suddivisa nei suoi componenti attraverso un monocromatore a scansione collegato ad un computer.

Il segnale viene poi elaborato da un altro computer che può confrontarlo anche con i standard memorizzati.

Se il sistema è calibrato i risultati possono essere riportati in un grafico riflettanza relativa-lunghezza d'onda dal quale è possibile estrapolare le sue caratteristiche cromatiche conformi o non-conformi.

Tipologie sensori: selezione monocromatica

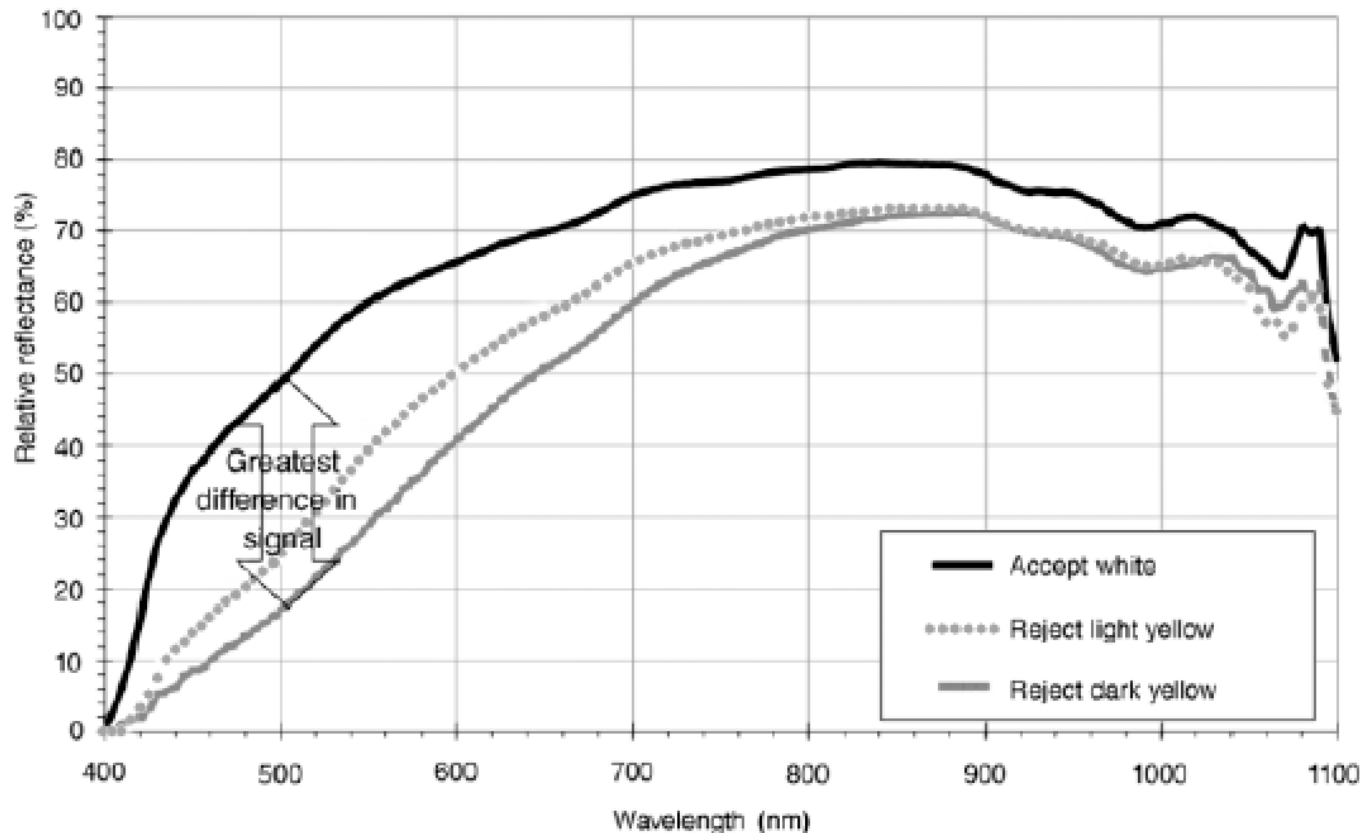


Fig. 6.4 Visible reflectance spectra for white rice. In this example, a blue band-pass filter would be used for monochromatic sorting.

Tipologie sensori: selezione bicromatica

Tipologie sensori

2. Fluorimetrici e a infrarossi, a UV

Permette di effettuare la selezione del prodotto sulla base della fluorescenza emessa o dei raggi IR o UV emessi.

Utilizzati per selezionare, ad esempio, materie prime contaminate da microrganismi (es. chicchi caffè Arabica con muffe) o altri materiali con emissione di raggi nel vicino IR o UV.

3. A raggi laser

In fase di sviluppo. Il vantaggio maggiore è l'uso di una luce laser, con raggi a specifiche lunghezze d'onda

4. Raggi X

Utilizzati per prodotti confezionati

Sensori ottici per selezione prodotto su colore e forma

Si basano su complessi microprocessori che elaborano i segnali colore-forma ricevuti dal prodotto

Si calibrano sul bianco