



KONICA MINOLTA

LA COMUNICAZIONE PRECISA DEL COLORE

DALLA PERCEZIONE VISIVA DEL COLORE ALLA MISURA PRECISA DEL COLORE





KONICA MINOLTA

The essentials of imaging

LA COMUNICAZIONE PRECISA DEL COLORE

Conoscere i colori.
Riconoscere i colori.
I colori attraggono
l'attenzione.



Noi tutti siamo circondati da un infinito numero di colori che consideriamo come un fatto acquisito; ma il loro ruolo nella nostra vita spazia dall'influenza sul gusto dei cibi e di altri prodotti che acquistiamo, allo stato di salute di una persona, espresso dal colorito del suo viso. Sebbene i colori abbiano su di noi un così grande influsso – e continueranno a giocare un ruolo così importante – la nostra conoscenza dei colori e il loro controllo spesso sono insufficienti, e ciò può creare problemi nella scelta, ad esempio, del colore di un prodotto. Poiché il giudizio viene normalmente espresso a seconda delle impressioni o dell'esperienza personale, è impossibile effettuare un controllo visivamente accurato dei colori utilizzando standard comuni e uniformi. Esiste, dunque, un metodo per esprimere un certo colore* in modo preciso, descriverlo a un'altra persona e fare in modo che quella persona riproduca correttamente lo stesso colore che noi percepiamo? Come fare affinché la comunicazione del colore avvenga in modo preciso tra tutti i settori industriali e di studio? È chiaro che necessitiamo di maggiori informazioni e conoscenze sui colori.

* In questo documento, il termine „colore“ verrà usato con riferimento al colore di un oggetto.

» Parte I

» Parte II

» Parte III

» Parte IV

» Torna alla prima pagina

LA COMUNICAZIONE PRECISA DEL COLORE

►► Parte I

Uno studio del colore.

Nella nostra vita siamo circondati da un'infinita varietà di colori. Tuttavia, a differenza delle misure di lunghezza o di peso, non esiste una scala fisica per misurare il colore; pertanto è praticamente impossibile che un certo colore sia percepito da tutti allo stesso modo. Ad esempio, concetti come „blu mare“ o „blu cielo“ verranno interpretati in modo diverso perché la sensibilità al colore e le passate esperienze sono soggettive e variano da persona a persona. È questo il vero problema del colore. Il presente documento vuole offrire l'opportunità di definire informazioni utili sul colore.

►► Sommario

- [Di che colore è questa mela?](#)
- [Lo stesso colore spesso significa dieci colori diversi per dieci persone diverse.](#)
- [Le sfere rosse: in che modo è possibile descrivere verbalmente la loro differenza cromatica?](#)
- [Tinta, Luminosità, Saturazione. Il mondo del colore è una miscelanza di questi tre attributi.](#)
- [Tinta, luminosità, saturazione. Come si crea il solido del colore.](#)
- [Creando la scala della tinta, luminosità e saturazione, è possibile misurare numericamente i colori.](#)
- [Gli spazi colorimetrici...I](#)
- [Gli spazi colorimetrici...II](#)
- [Gli spazi colorimetrici...III](#)
- [La misurazione dei colori con un colorimetro.](#)
- [I colorimetri rilevano anche le differenze cromatiche minime.](#)
- [Anche se i colori sembrano uguali all'occhio umano, le misurazioni con un colorimetro evidenziano perfino le minime differenze.](#)
- [Caratteristiche dei colorimetri.](#)

Parte I

Di che colore è questa mela?

Lo stesso colore spesso significa dieci colori diversi per dieci persone diverse.

È molto difficile denominare i colori.



Se si mostra la stessa mela a quattro persone diverse, si otterranno quattro risposte diverse.

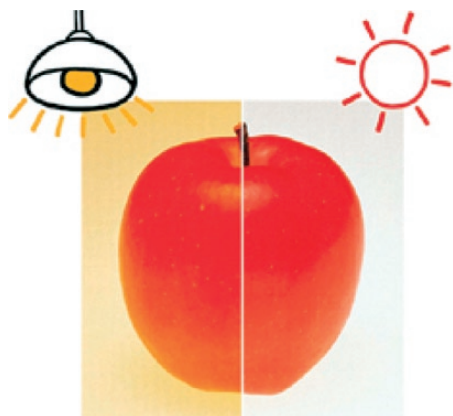
Il colore è una questione di percezione e di interpretazione soggettiva. Pur guardando lo stesso oggetto (in questo caso, una mela) gli osservatori, basandosi su diversi riferimenti ed esperienze, indicheranno lo stesso colore con diverse parole. Poiché esiste una grande varietà di modi per esprimere un colore, risulta estremamente difficoltoso e impreciso descriverlo ad altre persone. Se si descrive a qualcuno il colore della mela come „rosso fuoco“, come è possibile che gli altri riproducano esattamente quello stesso colore? La definizione verbale di un colore è estremamente complessa; se però esistesse un metodo standard per esprimere e comprendere i colori universalmente, la loro comunicazione sarebbe molto più semplice, diretta ed esatta. Una comunicazione precisa eliminerebbe i problemi collegati al colore.



Fino a che punto è possibile esprimere verbalmente i colori?
Nomi comuni e nomi sistematici dei colori.

Le parole utilizzate per esprimere i colori hanno sempre subito cambiamenti nel tempo. Se si considera, ad esempio, il rosso cui si è accennato, ci si potrebbe riferire ad esso con i termini „vermiglio“, „cinabro“, „cremisi“, „rosa“, „fragola“ e „scarlatto“, solo per citarne alcuni. Questi sono i cosiddetti nomi comuni dei colori. Analizzando la condizione del colore e aggiungendo aggettivi come „vivo“, „spento“ e „cupo“, è possibile descrivere un colore in modo più preciso. Un'espressione come „rosso vivo“ usata dal personaggio in basso a sinistra, appartiene ai nomi sistematici dei colori. Sebbene esistano molti modi per descrivere un colore, quando diverse persone sentiranno parlare di „cremisi“ o di „rosso vivo“, interpreteranno comunque queste espressioni in modo diverso. Quindi le espressioni verbali dei colori non sono sufficientemente accurate. Ma allora, in che modo è possibile esprimere i colori per evitare possibili fraintendimenti?

Parte I



È importante
che le
condizioni
di osservazione
dei colori siano
costante.



Anche se si tratta dello stesso colore, sembra diverso. Perché?

Al variare delle condizioni varia l'aspetto del colore.

Differenze di sorgenti luminose

Una mela dall'aspetto che appare così invitante alla luce del sole ed esposta dal fruttivendolo, non sembra altrettanto buona quando è illuminata da una lampada fluorescente a casa. Probabilmente sarà capitato a molte persone: i diversi tipi di illuminazione – luce solare, lampade fluorescenti, lampade al tungsteno – faranno apparire diversa la stessa mela.

Differenze di sfondo

Se una mela è posta davanti a uno sfondo luminoso, apparirà più opaca rispetto a quando viene posta davanti a uno sfondo scuro. In questo caso si parla di effetto contrasto che non offre le condizioni ideali per valutare un colore con precisione.

Differenze di direzione

Guardando un'automobile, ma da un'angolazione leggermente diversa, potrebbe capitare che un punto sulla macchina appaia più chiaro o più scuro. Ciò è dovuto alle caratteristiche direzionali della vernice. Certi prodotti per la colorazione, in particolar modo le vernici metallizzate, possiedono caratteristiche altamente direzionali. L'angolo di osservazione di un oggetto e l'angolo di illuminazione devono essere costanti affinché la comunicazione del colore sia precisa.

Differenze di osservatore

La sensibilità visiva varia leggermente da persona a persona; persino i soggetti caratterizzati da una visione dei colori considerata „normale“ potrebbero avere delle inclinazioni verso il rosso o il blu. Inoltre, la vista generalmente cambia con l'età. Proprio a causa di questi fattori, persone diverse vedranno i colori in modo diverso.

Differenze di dimensioni

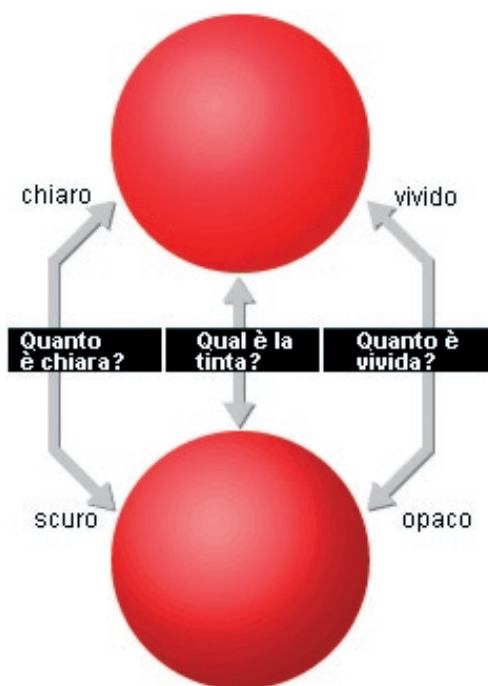
Dopo aver guardato alcuni campioni di piccole dimensioni e aver scelto una tappezzeria che soddisfa il proprio gusto, può capitare che, una volta alle pareti, abbia un aspetto troppo „brillante“. I colori che ricoprono vaste superfici tendono ad apparire più luminosi e più vivaci rispetto ai colori che ricoprono aree più piccole; si tratta del cosiddetto effetto area. La selezione di oggetti che hanno un'area ampia su campioni di colore con un'area piccola può produrre errori.

Parte **I**

Due sfere rosse: in che modo è possibile descrivere verbalmente la loro differenza cromatica?

Per comprendere meglio in che modo esprimere con accuratezza i colori, esaminiamo il mondo del colore.

Esistono molti „rossi“ diversi. I rossi delle due sfere della pagina accanto sono molto simili. In cosa sono differenti?



Nella pagina a fianco vediamo due sfere rosse. A prima vista sembrano uguali, ma a un esame più attento si noteranno diverse differenze. Il colore di entrambe è rosso, ma il colore della sfera superiore è un po' più luminoso mentre il colore di quella inferiore è piuttosto cupo. Inoltre, il colore della sfera superiore sembra vivido. Quindi è evidente che, anche se entrambe sembrano rosse, i colori sono diversi. La classificazione dei colori consente di esprimerli in termini di tinta (colore), chiarezza (luminosità) e saturazione (brillantezza).

Parte I

Figura 1

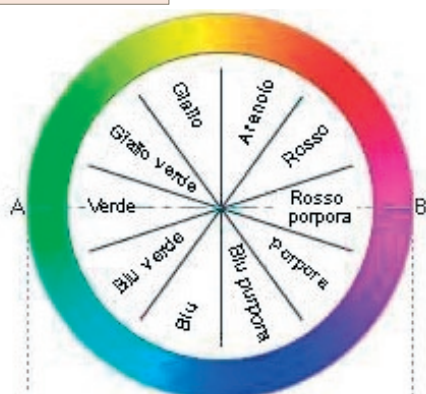


Figura 2



Figura 3



Tinta. Luminosità. Saturazione. Il mondo del colore è una mescolanza di questi tre attributi.

Tinta, luminosità e saturazione: questo è il mondo del colore.

Tinta Rosso, giallo, verde, blu...
Le tinte della ruota di colori.

Le mele sono rosse, i limoni gialli, il cielo è blu; ecco come viene percepito il colore nel linguaggio quotidiano. Tinta è un termine usato nel mondo del colore per classificare il rosso, il giallo, il blu e così via. Inoltre, sebbene il giallo e il rosso siano due tinte completamente diverse, combinando il giallo con il rosso si ottiene l'arancione (talvolta indicato anche come giallo-rosso), combinando il giallo con il verde si ottiene il giallo-verde, combinando il blu con il verde si ottiene il blu-verde, e così via. La continuità di queste tinte crea la ruota di colori indicata nella figura 1.

Luminosità Colori chiari, colori scuri.
La luminosità dei colori cambia verticalmente.

In relazione alla luminosità i colori possono essere suddivisi in chiari e scuri. Si consideri, ad esempio, il giallo di un limone e quello di un pompelmo. Senza dubbio il giallo del limone è più chiaro. Confrontando il giallo di un limone e il rosso di una ciliegia il giallo del limone ancora una volta risulterà più chiaro. La luminosità può essere misurata indipendentemente dalla tinta. Si consideri adesso la figura 2, che è una sezione trasversale della figura 1, tagliata lungo la retta che va da A (verde) a B (rosso porpora). Come mostrato dalla figura, la luminosità aumenta verso l'alto e diminuisce verso il basso.

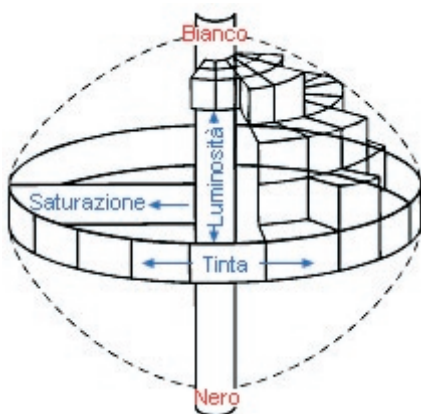
Saturazione Colori vividi, colori opachi.
La saturazione cambia a partire dal centro.

Tornando al giallo, in che modo è possibile paragonare il giallo di un limone e quello di una pera? Si potrebbe affermare che il giallo del limone è più chiaro, come nell'esempio precedente, ma in questo caso è più brillante (acceso), mentre quello della pera è più opaco. Si tratta di un'altra differenza importante, quella della saturazione o brillantezza. È un attributo del tutto distinto rispetto alla tinta e alla luminosità. Tornando alla figura 2, è possibile notare che la saturazione cambia per il rosso porpora e per il verde se cambia la distanza orizzontale dal centro. I colori sono opachi vicino al centro e diventano sempre più brillanti man mano che se ne allontanano. La figura 3 visualizza gli aggettivi generali usati per descrivere la luminosità e la saturazione dei colori. Per capire ciò che esprimono queste parole, si consideri nuovamente la figura 2.

Parte I

Tinta, luminosità, saturazione. Come si crea il solido del colore.

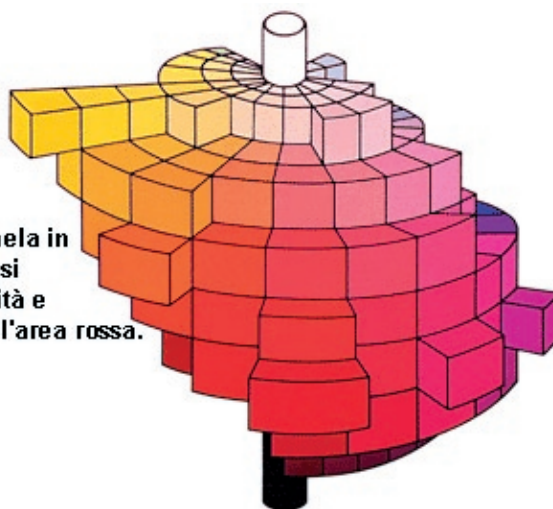
Figura 4



Se si usa il cambiamento della luminosità come asse della ruota dei colori e il cambiamento della saturazione come raggio...

Tinta, luminosità e saturazione. Questi tre elementi sono i tre attributi del colore e possono essere uniti per creare il solido tridimensionale indicato nella figura 4. Le tinte formano il cerchio esterno del solido mentre la luminosità costituisce l'asse centrale e la saturazione il raggio orizzontale. Se i colori reali fossero distribuiti attorno al solido mostrato nella figura 4, si creerebbe il solido dei colori mostrato nella figura 5. La forma del solido dei colori è piuttosto complessa perché la dimensione dei gradi di saturazione è diversa per ciascuna tinta e luminosità, ma può contribuire a visualizzare meglio il rapporto tra tinta, luminosità e saturazione.

Figura 5



Se si osserva il colore della mela in relazione al solido dei colori, si nota che la sua tinta, luminosità e saturazione si intersecano nell'area rossa.



Parte I

Creando la scala della tinta, luminosità e saturazione, è possibile misurare numericamente i colori.

I colorimetri consentono una semplice quantificazione dei colori.

Usando un colorimetro, è possibile ottenere istantaneamente i valori in ogni spazio di colore.

Misurando il colore della mela, si ottengono i seguenti risultati:

Espacio de color de Munsell	Espacio de color L*a*b	Espacio de color L*C*h
001 MUNSELL 2.5R 4.2/11.5	001 L 43.31 a+47.63 b+14.12	001 (R) L 43.31 C 49.68 h 16.5
Espacio de color de Hunter Lab	Espacio de color XYZ (Yxy)	
001 HL 36.56 a+42.18 b +8.84	001 Y 13.37 x .4832 y .3045	

La storia dei colori espressi numericamente

In passato varie persone hanno concepito dei metodi, spesso utilizzando formule complicate, per quantificare il colore ed esprimerlo numericamente con lo scopo di rendere possibile a tutti una comunicazione più semplice e accurata. Questi metodi cercano di individuare degli strumenti per esprimere i colori numericamente, in modo molto simile a quelli usati per esprimere le lunghezze e i pesi. Per esempio nel 1905 l'artista americano A. H. Munsell ideò un metodo per esprimere i colori che utilizzava un grande numero di dischi di carta colorata classificati secondo la tinta, la luminosità (valore) e la saturazione (croma) per un confronto visivo con un colore campione. Successivamente, dopo numerosi altri esperimenti, questo sistema venne aggiornato, dando vita al sistema di notazione di Munsell, che è il sistema di Munsell attualmente in uso. In questo sistema qualsiasi colore dato viene espresso come combinazione di lettera/numero (H/V/C) in termini di tinta (H), valore (V) e croma (C), così come vengono valutati visivamente usando le tavole di Munsell. Altri metodi per esprimere numericamente il colore sono stati sviluppati da un'organizzazione internazionale che studia la luce e il colore, la „Commission Internationale de l'Eclairage“ (CIE). I due modelli più conosciuti sono lo spazio di colore Yxy, ideato nel 1931 in base ai valori tristimolo XYZ definiti dalla CIE, e lo spazio di colore L*a*b*, ideato nel 1976 per uniformare maggiormente le differenze di colore in relazione alla percezione visiva. Tali spazi di colore* come questi ora sono usati in tutto il mondo per la comunicazione del colore.

* Spazio di colore: metodo per esprimere il colore di un oggetto o una sorgente luminosa usando una certa notazione, ad esempio numerica.

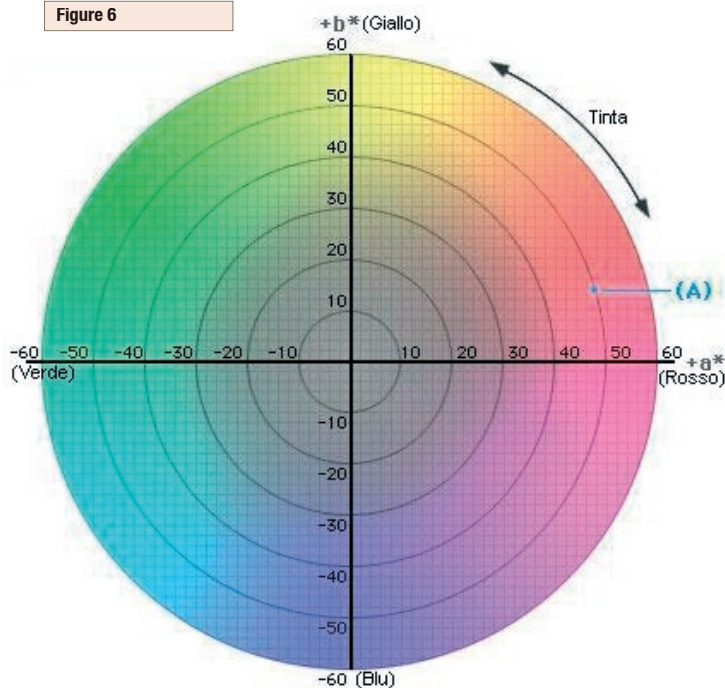


Parte I

Uno sguardo agli spazi colore. ... I

 Spazio di colore $L^*a^*b^*$

Figure 6



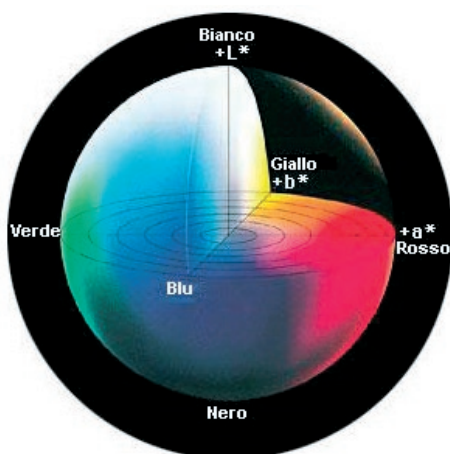
Lo spazio di colore $L^*a^*b^*$ (noto anche come CIELAB) è attualmente uno degli spazi di colore più diffusi per la misurazione del colore di un oggetto ed è ampiamente usato in tutti i campi. È uno degli spazi colorimetrici uniformi definiti nel 1976 dalla CIE ai fine di ridurre uno dei principali problemi dell'originale spazio di colori Xy : le distanze uguali sul diagramma di cromaticità x, y non corrispondevano alle differenze di colore percepite come uguali. In questo spazio di colori, L^* indica la luminosità mentre a^* e b^* le coordinate di cromaticità. La figura 6 indica il diagramma di cromaticità a^*, b^* . In questo diagramma, a^* e b^* indicano le direzioni del colore: $+a^*$ è la direzione del rosso, $-a^*$ è la direzione del verde, $+b^*$ è la direzione del giallo e $-b^*$ è la direzione del blu. Il centro è acromatico; quando i valori a^* e b^* aumentano ed il punto si sposta dal centro, la saturazione del colore aumenta. La figura 8 rappresenta il solido dei colori per lo spazio $L^*a^*b^*$; la figura 6 visualizza lo stesso solido in sezione orizzontale con il valore costante L^* .



Se si misura la mela utilizzando lo spazio di colore $L^*a^*b^*$ si ottengono i seguenti valori.

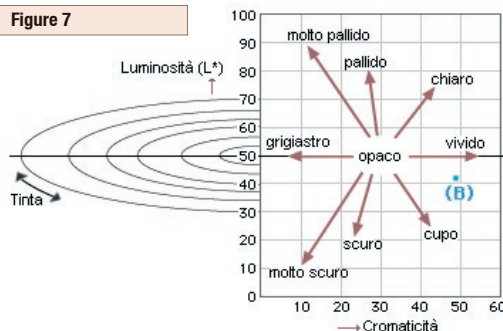
001 L 43.31
a+47.63 b+14.12

Figure 8



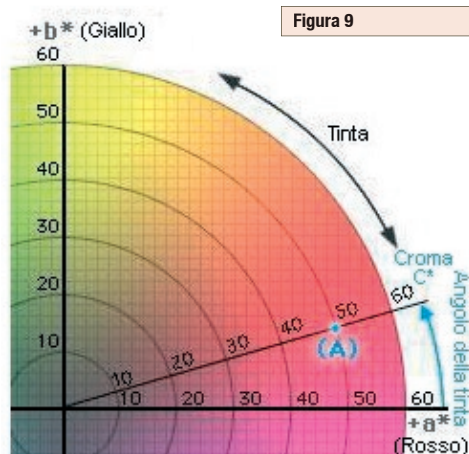
Per vedere quale colore rappresentino tali valori, occorre innanzitutto riportare i valori a^* e b^* ($a^* = +47.63$, $b^* = +14.12$) su un diagramma a^*, b^* della figura 6 per ottenere il punto (A), che indica la cromaticità della mela. Ora, se si taglia in sezione verticale il solido dei colori della figura 9 attraverso il punto (A) e il centro, si ottiene una visione della cromaticità rispetto alla luminosità, parte della quale appare nella figura 7.

Figure 7



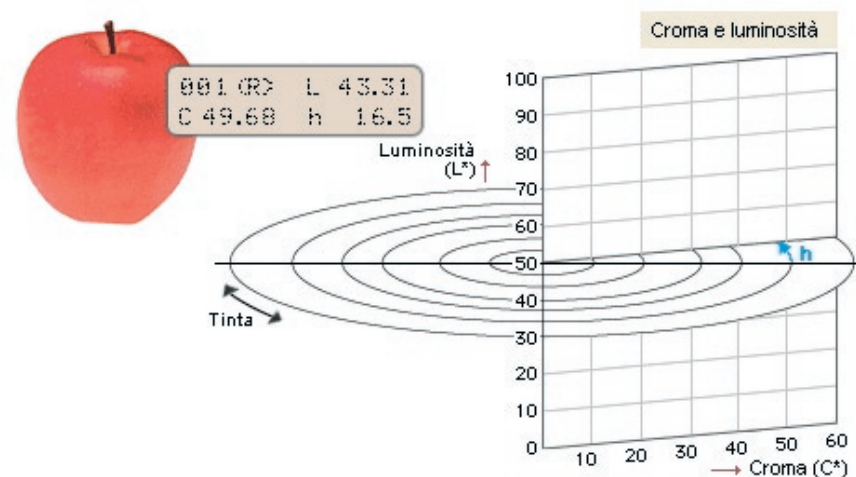
Parte I

Uno sguardo agli spazi colore. ... II



Spazio di colore L*C*h*

Lo spazio di colore L*C*h* usa lo stesso diagramma dello spazio di colore L*a*b* ma le sue coordinate sono cilindriche anziché rettangolari. In questo spazio di colore, L* indica la luminosità ed la stessa L* dello spazio di colore L*a*b*, C* è il croma e h l'angolo della tinta. Il valore di croma C* è pari a 0 al centro e aumenta con la distanza dal centro. L'angolo della tinta h parte per definizione sull'asse +a* ed è espressa in gradi; 0° sarà +a* (rosso), 90° sarà +b* (giallo), 180° sarà -a* (verde) e 270° sarà -b* (blu). Se si misura la mela usando lo spazio di colore L* C* h, si ottengono i risultati mostrati sotto. Se questi valori vengono rappresentati in un digramma (figura 9), si ottiene il punto (A).



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

$$\text{Angolo della tinta } h = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right)$$



Spazio di colore Hunter Lab

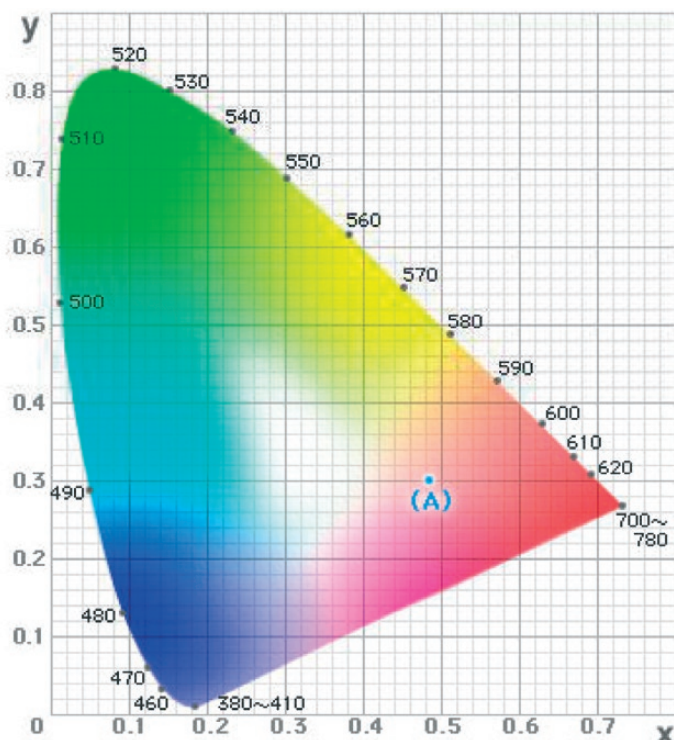
Lo spazio di colore Hunter Lab è stato sviluppato da R. S. Hunter perché visivamente più uniforme rispetto a quello CIE 1931 Yxy. Simile allo spazio di colori CIE L*a*b*, viene utilizzato in diversi campi applicativi, incluso il settore delle vernici.

Parte **I**

Uno sguardo agli spazi colore. ... III

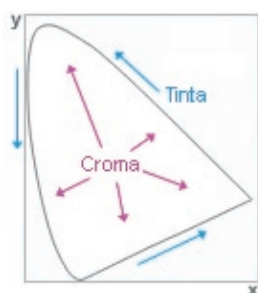
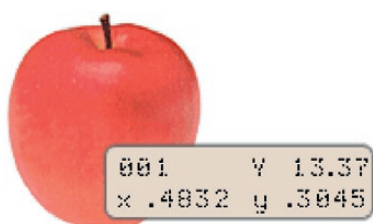
Figura 12

Spazio di colore XYZ (Yxy)



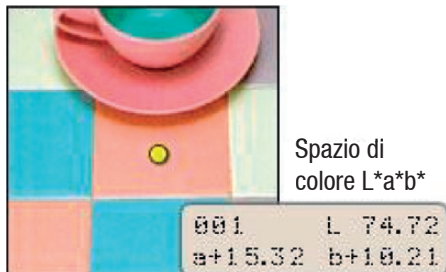
I valori tristimolo XYZ e lo spazio di colori Yxy ad essi associato costituiscono le fondamenta dell'attuale spazio di colori CIE. Il concetto per i valori tristimolo XYZ è basato sulla teoria dei tre componenti della visione del colore secondo la quale l'occhio possiede dei ricettori per i tre colori primari (rosso, verde e blu) e tutti i colori sono visti come combinazione di questi tre colori primari. I valori tristimolo XYZ sono calcolati utilizzando le funzioni colorimetriche dell'Osservatore standard.

Se la mela viene misurata usando lo spazio di colori Yxy, si ottengono i valori $x=0,4832$, $y=0,3045$ come coordinate di cromaticità che corrispondono al punto (A) del diagramma illustrato nella figura 12; il valore Y di 13,37 indica che la mela ha una riflettanza del 13,37%.



Parte **I**

Titolo



Gomma



Plastica



Stampa

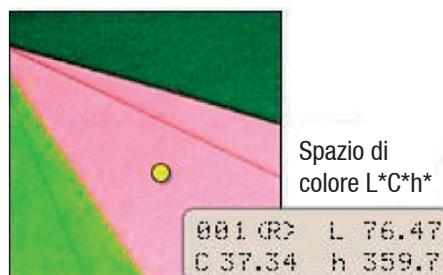


La misurazione dei colori con un colorimetro.

Il colorimetro rende possibile la semplice e precisa quantificazione dei colori, cosa che non riesce a fare nemmeno l'occhio umano più esercitato. Come è stato già visto, diversamente dalle espressioni soggettive comunemente usate per descrivere i colori con le parole, i colorimetri esprimono i colori numericamente secondo degli standard internazionali. Quando i colori vengono espressi in questo modo si è sicuri che la loro comprensione sarà universale. Inoltre la percezione soggettiva di un singolo colore può cambiare a seconda dello sfondo o della sorgente che illumina l'oggetto. I colorimetri hanno sensibilità corrispondenti a quelle dell'occhio umano; tuttavia, poiché effettuano sempre le misurazioni usando la stessa sorgente luminosa e lo stesso sistema di illuminazione, le condizioni di misura devono essere le stesse, indipendentemente dal fatto che sia giorno o notte, o che ci si trovi in spazi interni o all'esterno. Questo facilita delle misurazioni accurate.

Usando gli spazi di colore descritti in precedenza, sarà possibile identificare i valori numerici per l'oggetto da misurare.

Tessuti



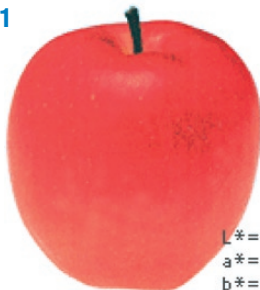
Vernici



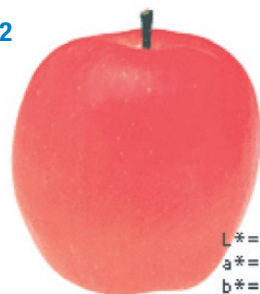
● indica il punto di misurazione.

Parte I

Mela 1


 $L^* = 43.31$
 $a^* = 47.63$
 $b^* = 14.12$

Mela 2


 $L^* = 47.34$
 $a^* = 44.58$
 $b^* = 15.16$

 A Differenza cromatica $L^*a^*b^*$
 $E \ 5.16 \ L + 4.03$
 $a \ -3.05 \ b + 1.04$

 B Differenza cromatica L^*C^*h
 $E \ 5.16 \ L + 4.03$
 $C \ -2.59 \ H + 1.92$

I colorimetri rilevano anche le differenze cromatiche minime.

I valori numerici mostrano la differenza.

Differenza di colore

Le piccole differenze cromatiche sono uno dei problemi più seri nell'ambito del colore. Ma con un colorimetro, anche le differenze di colore più lievi possono essere espresse numericamente e quindi facilmente comprese. Utilizziamo lo spazio di colore $L^*a^*b^*$ e L^*C^*h per valutare le differenze cromatiche tra le due mele. Utilizzando il colore apple 1 ($L^*=43,31$, $a^*=+47,63$, $b^*=+14,12$) come standard, se misuriamo la differenza del colore apple 2 ($L^*=47,34$, $a^*=+44,58$, $b^*=+15,16$) dal colore apple 1, si ottengono i risultati A e B mostrati sotto. La differenza è mostrata anche nel grafico della figura 13. Il diagramma della figura 14 contribuisce a facilitare la comprensione delle differenze cromatiche dello spazio di colore $L^*a^*b^*$.

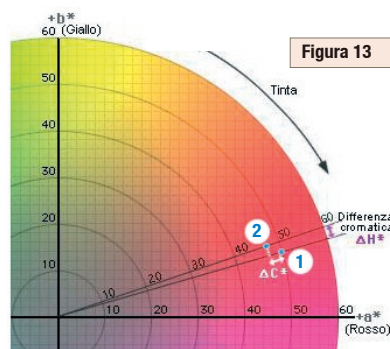


Figura 13

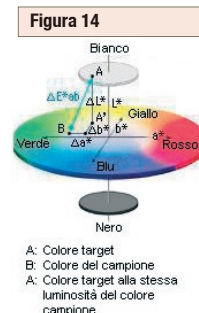


Figura 14

Nello spazio di colore $L^*a^*b^*$, è possibile esprimere la differenza cromatica come singolo valore numerico, ΔE^*ab che indica la dimensione della differenza ma non la modalità.

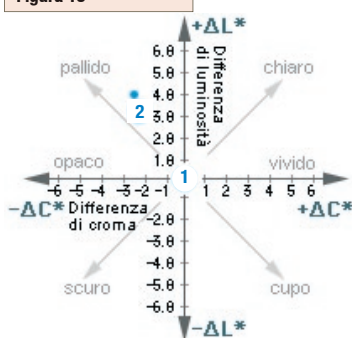
ΔE^*ab è definito dalla seguente equazione:

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

Se si inseriscono i valori $\Delta L^*=+4,03$, $\Delta a^*=-3,05$ e $\Delta b^*=+1,04$ dal display A in alto in questa equazione, si ottiene $\Delta E^*ab=5,16$ che è il valore visualizzato nell'angolo superiore sinistro del display A. Se si misura la differenza cromatica tra le due mele utilizzando lo spazio di colore L^*C^*h , si ottengono i risultati visualizzati nel display in alto B. Il valore di ΔL^* è lo stesso valore misurato nello spazio di colore $L^*a^*b^*$. $\Delta C^*=-2,59$ che indica la minore saturazione del colore della mela 2. La differenza di colore tra le due mele ΔH^* , definita dall'equazione

$\Delta H^* = [(\Delta E^*ab)^2 - (\Delta L^*)^2 - (\Delta C^*)^2]^{1/2}$, è +1,92 che, se si considera la figura 13, indica una maggiore vicinanza del colore della mela 2 all'asse $+b^*$, e quindi un maggiore colore giallo. Sebbene le parole non siano esatte quanto i numeri, è possibile utilizzarle per descrivere le differenze cromatiche. La figura 15 indica alcuni termini usati per descrivere le differenze di luminosità e di croma; i termini riportati in questa figura mostrano la direzione della differenza cromatica; tuttavia, salvo il caso in cui sia utilizzato un ulteriore modificatore (leggermente, molto ecc.), essi non indicano il grado di differenza cromatica. Se si considerano i valori tracciati nel diagramma delle due mele, si dovrebbe dire che il colore della mela 2 è „più pallido“ di quello della mela 1; poiché la differenza di croma non è molto evidente, è anche possibile aggiungere un modificatore, affermando che la mela 2 è „leggermente più pallida“ per esprimere il grado di differenza.

Figura 15



„ Δ “ (delta) indica la differenza.

Parte I

Controllo colore di materiale stampato



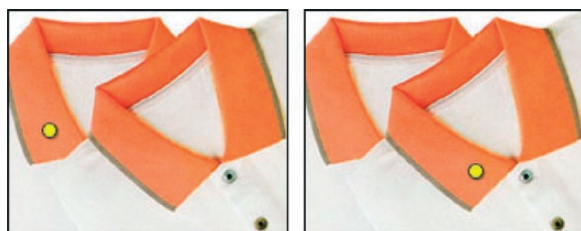
E	0.77	L	-0.32
a	-0.01	b	+0.70

 $\Delta E^*ab=0.77$
 $\Delta L^*=-0.32$
 $\Delta a^*=-0.01$
 $\Delta b^*=0.70$

Anche se i colori sembrano uguali all'occhio umano, le misurazioni con un colorimetro evidenziano perfino le minime differenze.

Anche se due colori sembrano uguali all'occhio umano, è stato già visto nell'esempio delle due mele a pagina 11 della Parte I, si possono riscontrare delle lievi differenze quando i colori vengono misurati con i colorimetri. Inoltre, il colorimetro esprime queste differenze in modo esatto e in forma numerica. Se per qualche motivo il colore di un prodotto risulta sbagliato e l'articolo è stato spedito senza che il problema sia stato notato, e di conseguenza il cliente ha espresso le sue lamentele, le conseguente non si limiterebbero solo al reparto vendite o produzione ma danneggerebbero la reputazione dell'intera azienda. Il controllo del colore gioca un ruolo importantissimo nella prevenzione di tali errori.

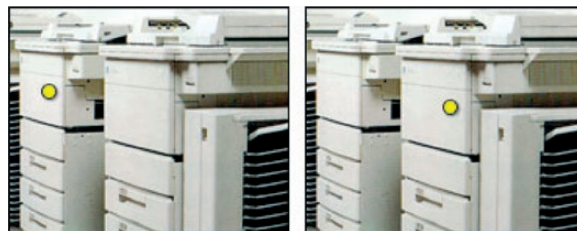
Controllo colore di tessuti



E	0.18	L	+0.11
a	-0.06	b	+0.13

 $\Delta E^*ab=0.18$
 $\Delta L^*=+0.11$
 $\Delta a^*=-0.06$
 $\Delta b^*=+0.13$

Controllo colore di prodotti plastici



E	0.15	L	-0.08
a	-0.02	b	+0.13

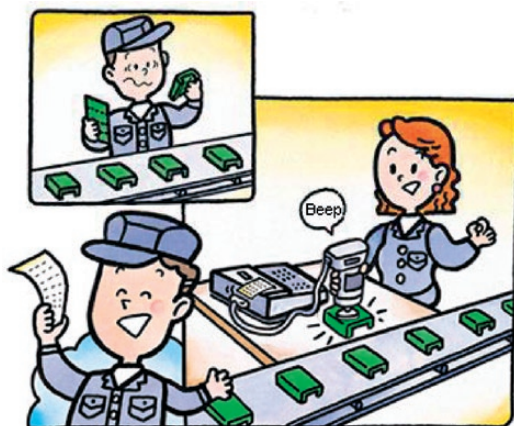
 $\Delta E^*ab=0.15$
 $\Delta L^*=-0.08$
 $\Delta a^*=-0.02$
 $\Delta b^*=+0.13$

● indica il punto di misurazione.

Ejemplo de control de calidad mediante un colorímetro.

Vediamo quanto può essere utile un colorimetro per il controllo del colore.

L'azienda A produce delle parti esterne in plastica ordinate dall'azienda B. Anche l'azienda B ordina parti simili da altre aziende diverse da A. Nell'azienda A, uno staff di ispettori ha il compito di controllare il colore nella linea di produzione e di valutare visivamente i prodotti confrontandoli con dei campioni di colore.



L'ispezione visiva dipende dagli occhi di ispettori competenti che valutano se un prodotto è compreso nelle tolleranze definite rispetto ai campioni. Questo lavoro non può essere eseguito da chiunque: sono necessari anni di esperienza per sviluppare una tale capacità. Pertanto, il numero di persone in grado di svolgere questo lavoro è limitato. Inoltre, il processo può essere effettuato solo per un limitato periodo di tempo al giorno o alla settimana, e la valutazione può variare a seconda dell'età dell'ispettore e della sua condizione fisica.

Si è verificato che l'azienda B si sia lamentata del fatto che il colore delle parti consegnate dall'azienda A non corrisponde a quello degli altri fornitori e quindi restituisce le parti all'azienda A. L'azienda A ha deciso di utilizzare i colorimetri per controllare il colore dei suoi prodotti nella linea di produzione. I colorimetri devono la loro vasta diffusione al fatto di essere portatili, adatti persino all'utilizzo in linea di produzione, semplici da usare anche da personale non esperto, e alla possibilità di effettuare le misurazioni velocemente e in qualsiasi momento.

Inoltre i vari dati misurati da un colorimetro venivano presentati insieme ai prodotti, al momento della loro consegna, come prova tangibile del controllo di qualità eseguito dall'azienda.

Parte **I**

Caratteristiche dei colorimetri

Colorimetri offrono una varietà di importanti funzioni.



Nella foto: KONICA MINOLTA Chroma Meter CR-400 e CR-410.

Sorgente luminosa integrata

La luce incorporata e il sistema di retroazione a doppio raggio garantiscono l'illuminazione uniforme dell'oggetto per tutte le misurazioni e i dati possono essere calcolati in base all'illuminante standard CIE di tipo C o D65.

Memorizzazione dei dati

Los datos de medición se almacenan automáticamente en el momento de la medición y también pueden imprimirse.

Comunicazione dei dati

È possibile utilizzare lo standard RS-232C per fornire i dati o controllare il colorimetro.

Visualizzazione dei dati

I risultati della misurazione vengono visualizzati come impressioni soggettive ma in forma numerica precisa e in diversi spazi di colore per consentire una comunicazione semplice e precisa.

Illuminazione costante/angoli di osservazione

La geometria di illuminazione/visualizzazione è fissa per garantire condizioni di misurazione uniformi.

„Osservatore“ costante

L'osservatore del colorimetro è costituito da tre fotocellule filtrate in modo che corrispondano alle funzioni dell'Osservatore standard CIE 1931 e garantiscano condizioni di osservazione uniformi per tutte le misurazioni.

Eliminazione dell'effetto area e dell'effetto contrasto

Poiché il colorimetro misura solo i campioni (i campioni forniti devono essere delle dimensioni minime specificate), le differenze causate da dimensioni o sfondi diversi vengono eliminate.

Misurazione delle differenze di colore

La differenza cromatica da un colore target è misurabile e visualizzabile immediatamente in forma numerica.

LA COMUNICAZIONE PRECISA DEL COLORE

►► Parte II

Uno studio approfondito del colore.

Nelle pagine precedenti sono stati presi in esame l'aspetto e le modalità di espressione del colore. Nella prossima sezione verranno esaminati i fondamenti del colore, ad esempio che cosa rende rossa una mela e perché lo stesso colore può assumere un aspetto diverso in base alle condizioni. Per molti danno si tratta di fenomeni scontati, ma sarebbe una sorpresa scoprire quanto poco se ne sappia in realtà. Per controllare il colore nell'area di produzione o nei laboratori scientifici, si è reso necessario approfondire la natura del colore in relazione all'esigenza di un rigore sempre maggiore. Studiamo quindi il mondo del colore in modo più dettagliato.

►► Sommario

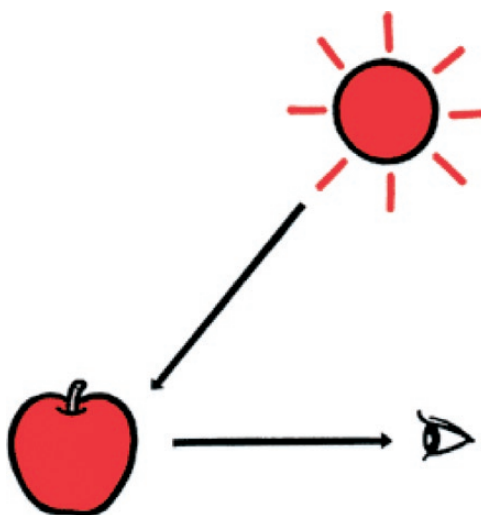
- [Perché una mela appare rossa?](#)
- [Gli esseri umani possono percepire specifiche lunghezze d'onda come colori.](#)
- [Differenze tra il processo in base al quale la luce penetra negli occhi dando la sensazione del colore e il processo di misurazione effettuato con un colorimetro.](#)
- [Componenti della luce e del colore: uno sguardo all'uso dello spettrofotometro](#)
- [Misurazione del colore con uno spettrofotometro.](#)
- [Differenze tra metodo tristimolo e metodo spettrofotometrico.](#)
- [Come cambierà il colore apparente, se si cambia la sorgente luminosa?](#)
- [Uno spettrofotometro può anche gestire il problema complesso del metamerismo.](#)
- [Caratteristiche degli spettrofotometri.](#)

Parte II

Perché una mela appare rossa?

In assenza di luce non è possibile vedere il colore. I tre elementi – luce, vista, oggetto – sono necessari per la percezione del colore.

Nel buio totale, non è possibile riconoscere il colore di un oggetto nemmeno se lo si guarda da vicino. E se non c'è l'oggetto, il colore non esiste. Luce, vista e oggetto: se questi tre elementi non sono presenti, non è possibile percepire il colore. Ma in che modo è possibile esprimere la differenza tra i colori, ad esempio tra il rosso di una mela e il giallo di un limone?



Parte II

Gli esseri umani possono percepire specifiche lunghezze d'onda come colori.

Se la luce viene separata nelle sue diverse lunghezze d'onda, si crea uno spettro. È possibile quindi creare i diversi colori mescolando lunghezze d'onda separate di luce di intensità diverse.

La distribuzione dei colori è definita spettro; la separazione della luce in uno spettro è definita dispersione spettrale.

L'occhio umano è in grado di vedere lo spettro perché quelle specifiche lunghezze d'onda ne stimolano la retina. Lo spettro è disposto nel seguente ordine: rosso, arancione, giallo, verde, azzurro, indaco e violetto, a seconda delle diverse lunghezze d'onda *1 della luce; la luce, nella regione con le più estese lunghezze d'onda, viene percepita come rosso mentre in quelle più corte come violetto. La regione luminosa che l'occhio umano riesce a vedere viene chiamata regione del visibile.

Spostandosi oltre la regione del visibile verso lunghezze d'onda maggiori, si entra nella regione dell'infrarosso; spostandosi verso lunghezze d'onda minori, si entra nella regione dell'ultravioletto. Entrambe queste regioni non possono essere percepite dall'occhio umano.

La luce è solo una parte delle varie onde elettromagnetiche che viaggiano nello spazio. Lo spettro elettromagnetico copre una gamma di onde estremamente ampia, dalle onde elettriche e radio con lunghezze d'onda di parecchie migliaia di chilometri, ai raggi gamma (γ) con lunghezze d'onda pari o inferiori a 10^{-13} m. La regione visibile costituisce solo una porzione molto piccola dello spettro: quantificabile all'incirca tra 380 e 780 nm*2.

La luce riflessa da un oggetto riconoscibile come colore (ad eccezione della luce monocromatica) è una combinazione di luce di varie lunghezze d'onda nella regione del visibile.

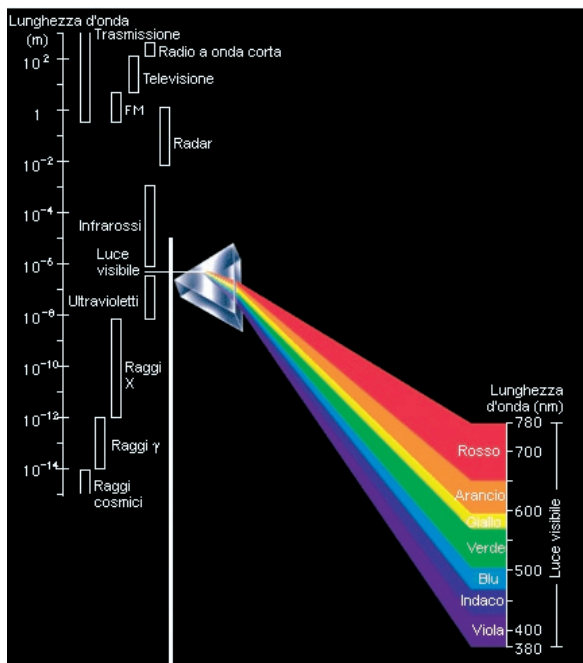
* 1 Lunghezza d'onda: la luce ha caratteristiche ondulatorie; la lunghezza d'onda è la distanza tra i picchi di due onde adiacenti.



* 2 nm (nanometro): unità di misura spesso usata per esprimere lunghezze d'onda luminose; talvolta viene anche usato il mm (micrometro).

$$1\text{nm}=10^{-6}\text{mm}=10^{-3}\mu\text{m}$$

$$1\mu\text{m}=10^{-3}\text{mm}=1000\text{nm}$$



Un arcobaleno viene creato dalla luce solare che filtra attraverso le goccioline d'acqua le quali agiscono da prismi.

Parte II

Differenze tra il processo in base al quale la luce penetra negli occhi dando la sensazione del colore e il processo di misurazione effettuato con un colorimetro.

L'occhio umano può percepire la luce nella gamma visibile; tuttavia, „luce“ non significa „colore“. La luce è definita come „radiazione che stimola la retina dell'occhio e rende possibile la visione“. La stimolazione dell'occhio viene trasmessa al cervello dove si forma per la prima volta il concetto di „colore“, come risposta del cervello alle informazioni ricevute dagli occhi. Come è possibile notare dalla figura 16, il principio di percezione del colore da parte degli esseri umani e il principio di percezione del colore da parte di un colorimetro sono fondamentalmente assimilabili. Il metodo utilizzato dai colorimetri di cui tratta nella Parte I è definito metodo tristimolo; i colorimetri che utilizzano tale metodo sono progettati per misurare la luce in un modo equivalente a quello usato dall'occhio umano.

Un altro metodo di misurazione del colore, che verrà descritto più avanti in questa stessa sezione, è il metodo spettrofotometrico; gli strumenti di misurazione del colore che utilizzano questo metodo misurano le caratteristiche spettrali della luce per poi calcolare i valori tristimolo basati sulle equazioni per le funzioni tristimolo dell'Osservatore standard CIE. Oltre ai dati numerici nei vari spazi di colore, gli strumenti che utilizzano il metodo spettrofotometrico possono anche visualizzare direttamente i dati spettrali, fornendo informazioni più dettagliate sull'oggetto.

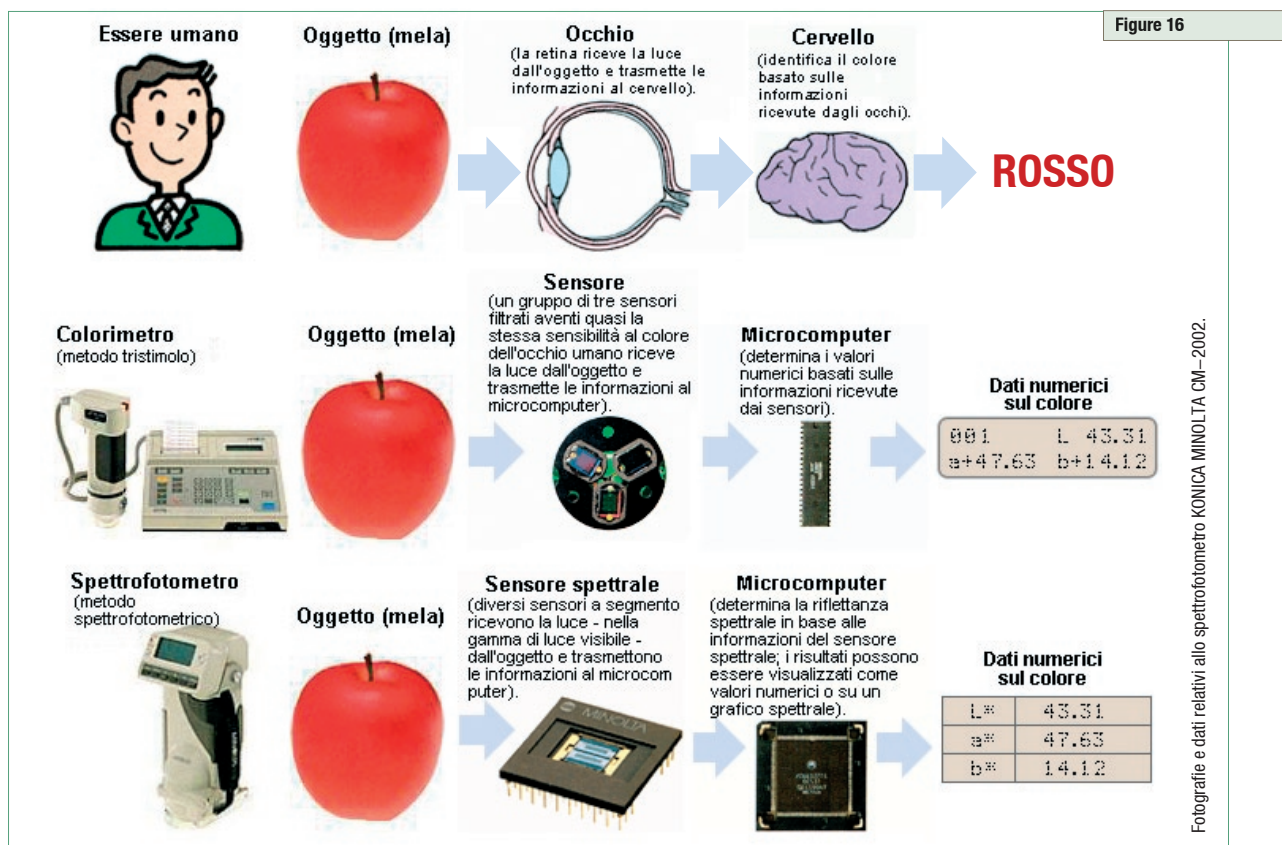
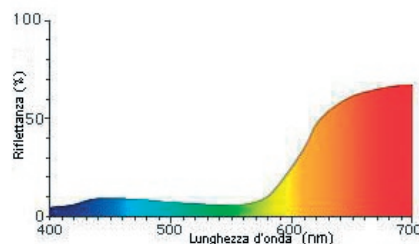


Grafico di riflettanza spettrale

Oltre alla visualizzazione dei dati numerici sul colore, uno spettrofotometro può inoltre visualizzare il grafico della riflettanza spettrale. I colori sono creati combinando diverse lunghezze d'onda luminose nelle proporzioni adeguate. Uno spettrofotometro misura la luce riflessa dall'oggetto a ogni lunghezza d'onda o in ogni gamma di lunghezza d'onda; questi dati sono visualizzabili su un grafico in modo da fornire informazioni più dettagliate sulla natura del colore.



Parte II

Componenti della luce e del colore: uno sguardo allo spettrofotometro

Un oggetto assorbe parte della luce dalla sorgente luminosa e riflette la luce restante. Questa luce riflessa entra nell'occhio umano e il risultante stimolo della retina viene riconosciuto dal cervello come „colore“ dell'oggetto. Ogni oggetto assorbe e riflette luce da diverse parti dello spettro in quantità differenti; queste differenze di assorbimento e riflettanza rendono diversi i colori di oggetti diversi.

Mela

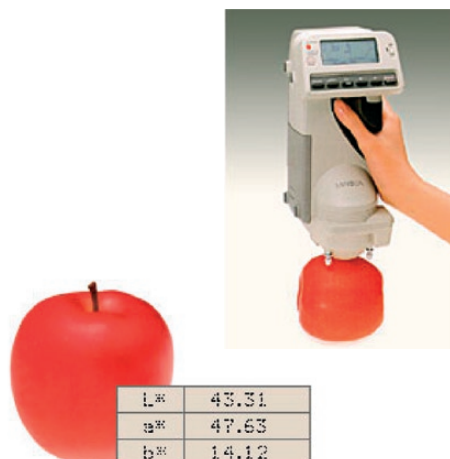


Figure 17a

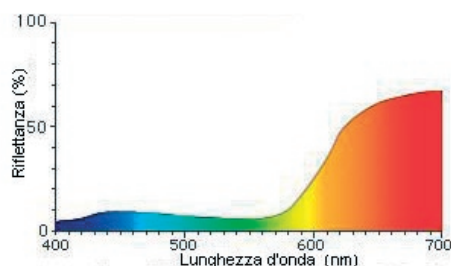


Figure 17b

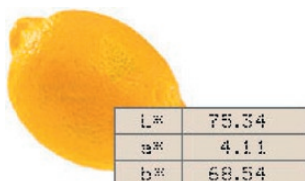
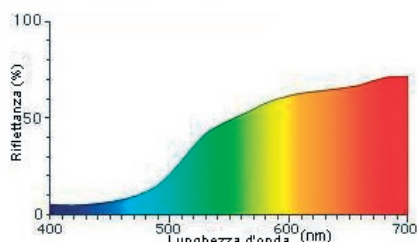


Figure 18a



Limone

Se si misura un limone, si ottiene il grafico spettrale indicato nella figura 18a. In questo grafico si nota che la riflettanza è elevata nelle regioni del rosso e del giallo, mentre è bassa nelle regioni dell'indaco e del violetto. Nella figura 18b il limone riflette la luce nelle regioni d'onda del verde, del giallo e del rosso e assorbe la luce nelle regioni dell'indaco e del violetto. Questa è la natura del colore del limone. Una tale ed elevata accuratezza è impossibile per l'occhio umano o perfino con i colorimetri trattati nella Parte I, e può essere ottenuta solo con uno spettrofotometro.

Figure 18b

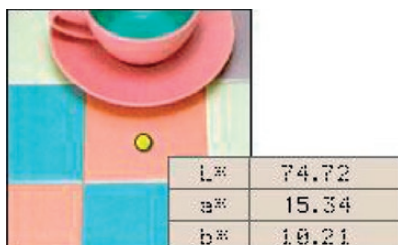


Parte II

Misurazione del colore con uno spettrofotometro.

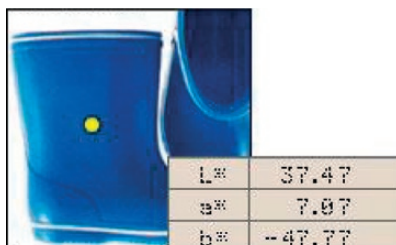
La misurazione degli oggetti realizzata con un colorimetro tristimolo alla pagina 10 della Parte I ha prodotto come risultati solo i dati colore numerici nei vari spazi di colore. Se invece le misurazioni vengono eseguite con uno spettrofotometro, non solo è possibile ottenere lo stesso tipo di dati numerici, ma anche vedere il grafico di riflettanza spettrale di quel colore. Inoltre, grazie a un sensore di elevata precisione e all'inclusione di dati per varie condizioni di illuminazione, lo spettrofotometro può fornire una maggiore precisione rispetto a quella che si potrebbe ottenere con un colorimetro tristimolo.

A: Piastrella



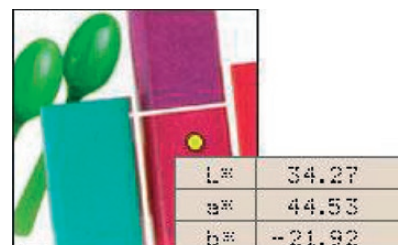
È stata misurata una piastrella rosa. Guardando il grafico di riflettanza spettrale, è possibile notare che la piastrella riflette la luce a tutte le lunghezze d'onda e che la riflettanza spettrale nella regione al di sopra di 600 nm (regioni dell'arancione e del rosso) è un po' più elevata rispetto a quella delle altre regioni di lunghezza d'onda.

B: Gomma



Esempio di blu vivace. La regione compresa tra 400 e 500 nm (aree indaco e blu) è caratterizzata da un'alta riflettanza spettrale mentre la regione superiore a 550 nm è caratterizzata da una bassa riflettanza spettrale, con assorbimento quasi totale della luce.

C: Plastica



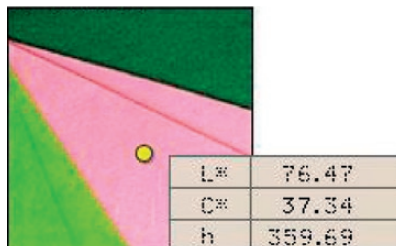
È stata misurata una parte in plastica di colore rossiccio-porpora. La riflettanza spettrale nelle regioni comprese tra 400 e 700 nm è alta, mentre la riflettanza spettrale per la regione compresa tra 500 e 600 nm è bassa, con assorbimento quasi totale della luce.

D: Stampa



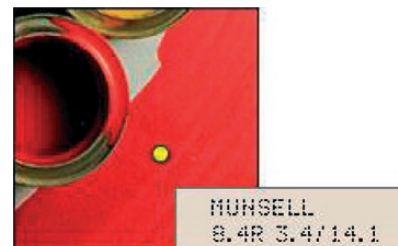
È stato misurato il logo blu. La riflettanza spettrale è quasi la stessa dell'esempio B, ma se guarda con maggiore attenzione si nota che la riflettanza spettrale con lunghezze d'onda superiori a 600 nm è persino inferiore. Esempio di blu leggermente più cupo.

E: Tessuti



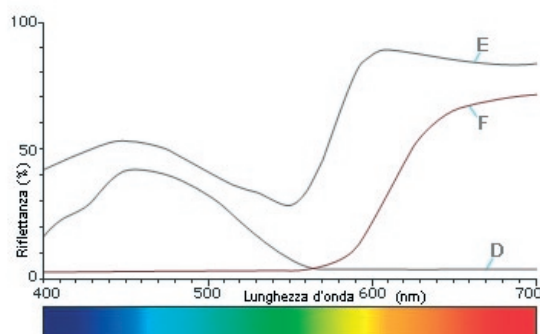
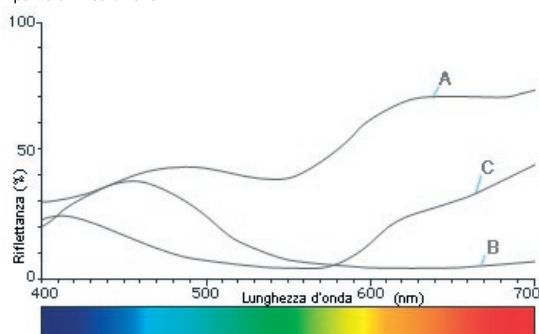
È stata misurata l'area in rosa del tessuto. La riflettanza spettrale sull'intera gamma di lunghezze d'onda è alta, particolarmente intorno a 600 nm. D'altro canto, la riflettanza spettrale è inferiore intorno a 550 nm e indica che è stata assorbita la luce gialla e la luce verde.

F: Vernici



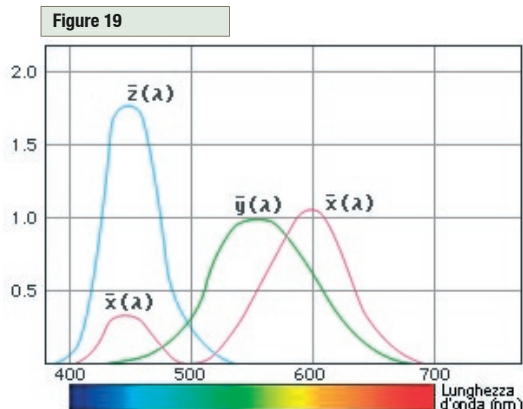
Vernice rosso brillante. Solo la regione di lunghezze d'onda compresa tra 600 e 700 nm (regioni del rosso e dell'arancione) possiede un'elevata riflettanza; a lunghezze d'onda inferiori a 600 nm gran parte della luce viene assorbita.

● indica il punto di misurazione.



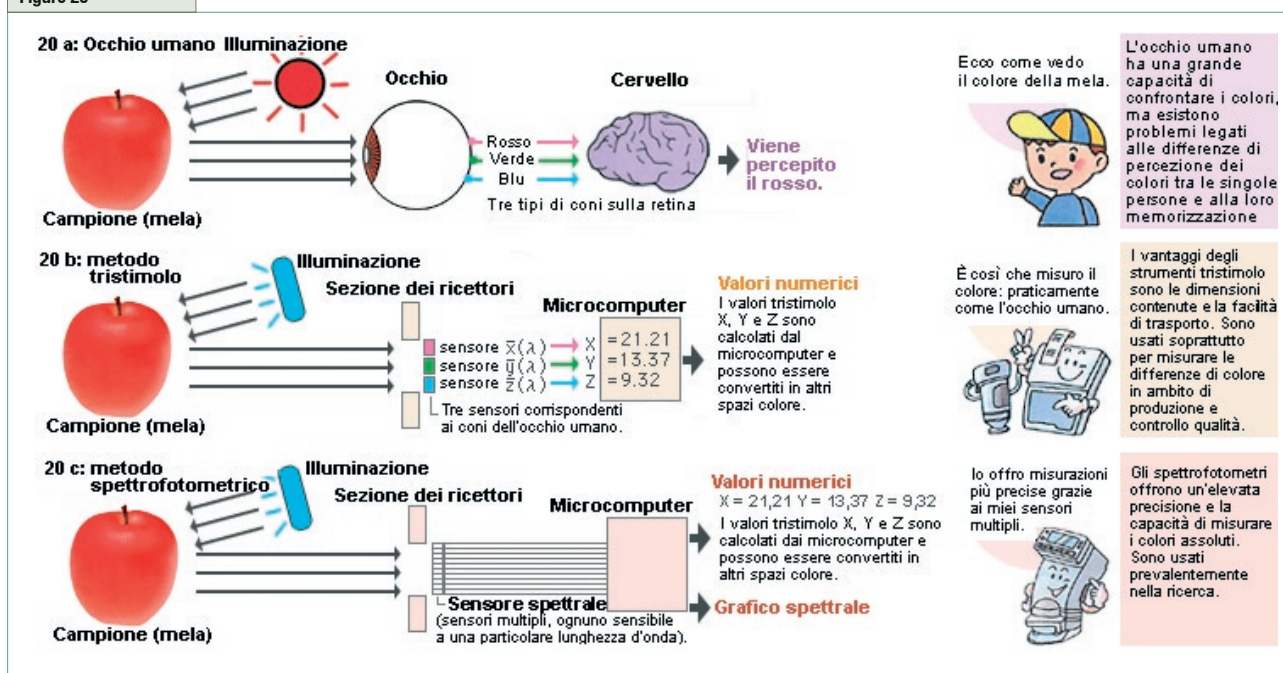
Parte II

Differenze tra metodo tristimolo e metodo spettrofotometrico



A pagina 2 della Parte II sono stati trattati i colori dello spettro (rosso, arancione, giallo, verde). Di questi colori il rosso, il verde e il blu sono generalmente considerati i tre colori della luce primari. Questo perché l'occhio possiede tre tipi di coni (sensori di colore) che sono sensibili a questi 3 colori e che consentono la percezione cromatica. La figura 19 indica le curve di sensibilità spettrale corrispondenti all'occhio umano, secondo la definizione dell'Osservatore standard CIE 1931. Vengono definite funzioni colorimetriche. $\bar{x}(\lambda)$ ha un'alta sensibilità nella zona delle lunghezze d'onda del rosso, $\bar{y}(\lambda)$ ha invece un'alta sensibilità nella zona delle lunghezze d'onda del verde, e $\bar{z}(\lambda)$ infine, ha un'alta sensibilità nella regione delle lunghezze d'onda del blu. I colori visualizzabili sono il risultato di diverse proporzioni (stimoli) di $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$ e $\bar{z}(\lambda)$ nella luce ricevuta da un oggetto.

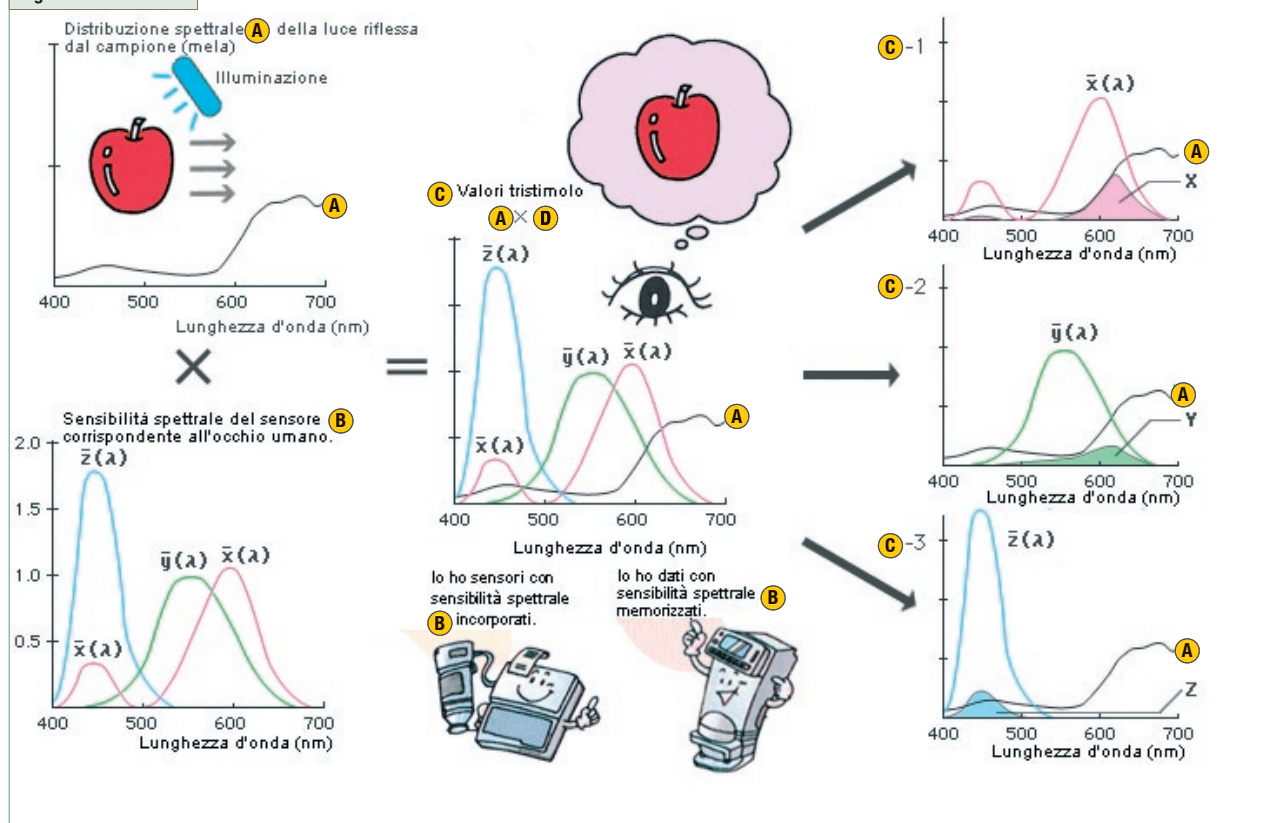
Figure 20



Come indicato dalla figura 20b, il metodo tristimolo misura la luce riflessa da un oggetto che utilizza i 3 sensori filtrati in modo da possedere la stessa sensibilità $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$ e $\bar{z}(\lambda)$ dell'occhio umano e perciò misura direttamente i valori tristimolo X, Y e Z. D'altro canto, il metodo spettrofotometrico che appare nella figura 20c utilizza sensori multipli (40 nel caso del modello CM-2002) per misurare la riflettanza spettrale dell'oggetto a ciascuna lunghezza d'onda o in ciascuna stretta gamma di lunghezze d'onda. Il microcomputer dello strumento calcola quindi i valori tristimolo dai dati di riflettanza spettrale effettuando un'integrazione. Per la mela usata nel nostro esempio, i valori tristimolo sono $X = 21,21$, $Y = 13,37$ e $Z = 9,32$; questi valori tristimolo possono quindi essere utilizzati per il calcolo dei valori negli altri spazi colorimetrici come Y_{xy} o $L^*a^*b^*$.

Parte II

Figure 21



La figura 21 mostra in che modo vengono definiti i valori tristimolo X, Y e Z. La luce con distribuzione **A** riflessa dal campione è incidente sui sensori con sensibilità spettrale **B** i cui filtri dividono la luce in regioni spettrali corrispondenti ai tre colori primari e i sensori emettono i valori tristimolo (X, Y e Z) **C**. In questo modo, **C** = **A** ~ **B**. I risultati nelle 3 regioni spettrali di **C** sono le seguenti: **C**-1: $\bar{x}(\lambda)$, **C**-2: $\bar{y}(\lambda)$, e **C**-3: $\bar{z}(\lambda)$. I valori tristimolo sono uguali alle integrazioni dell'area ombreggiata presente nei tre grafici.

Parte II

Come cambierà il colore apparente, se si cambia la sorgente luminosa?

Figure 22a

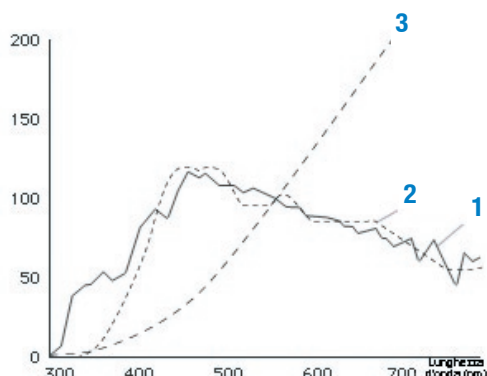


Figure 22b

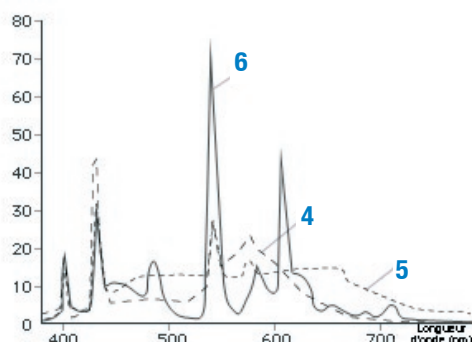
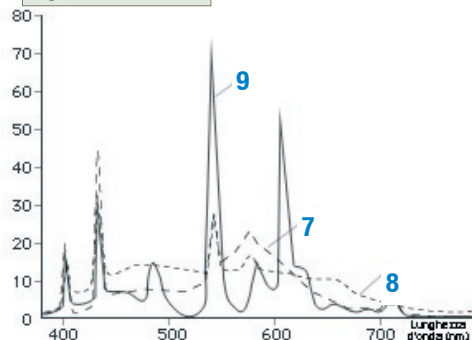


Figure 22c



Come è stato osservato a pagina 2 della Parte I, differenti sorgenti luminose faranno apparire diversi i colori. Per la misurazione del colore, la CIE ha definito le caratteristiche spettrali di diversi illuminanti standard. La figura 22 mostra le distribuzioni spettrali per alcuni di questi illuminanti. Una sorgente luminosa è solitamente integrata nello strumento di misurazione del colore. La sorgente luminosa può corrispondere o no agli illuminanti CIE; lo strumento determina i dati di misurazione in relazione all'illuminante selezionato attraverso calcoli basati sui dati effettivamente misurati con la sorgente luminosa dello strumento e i dati della distribuzione spettrale dell'illuminante memorizzati nello strumento.

Figura 22a: Illuminanti standard

1 Illuminante standard D65 Luce del giorno media (inclusa la regione degli UV) con la relativa temperatura del colore di 6504 K; dovrebbe essere utilizzata per la misurazione di campioni che verranno illuminati dalla luce del giorno, incluse le radiazioni ultraviolette.

2 Illuminante standard C Luce del giorno media (esclusa la regione degli UV) con la relativa temperatura del colore di 6774 K; dovrebbe essere utilizzata per la misurazione di campioni che verranno illuminati dalla luce del giorno nella regione del visibile, escluse le radiazioni ultraviolette.

3 Illuminante standard A Luce incandescente con la relativa temperatura del colore di 2856 K; dovrebbe essere utilizzata per la misurazione di campioni che verranno illuminati da lampade incandescenti.

Figura 22b: Illuminanti fluorescenti (raccomandati da JIS per le misurazioni)

4 F6: Bianco freddo

5 F8: Luce del giorno

6 F10: Bianco freddo con tre bande strette

Figura 22c: Illuminanti fluorescenti (raccomandati da CIE per le misurazioni)

7 F2: Bianco freddo

8 F7: Luce del giorno

9 F11: Bianco freddo con tre bande strette

lo ho dati solo
per **1** e **2**.



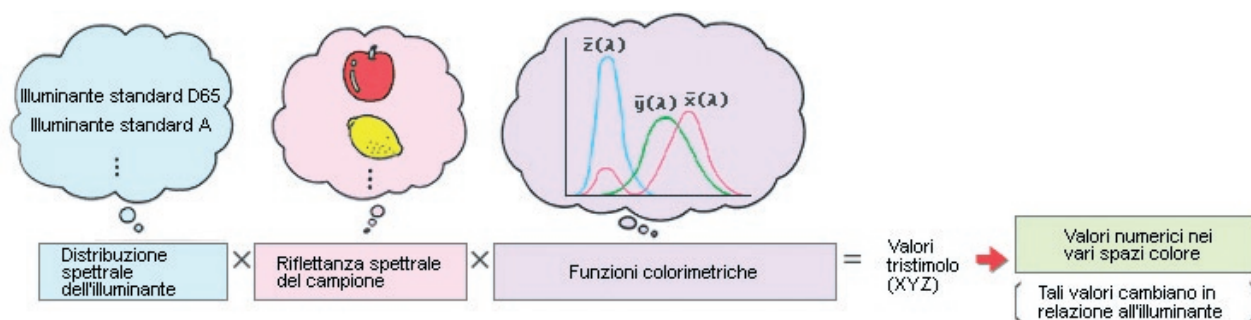
lo ho dati per tutto:
da **1** a **9**.



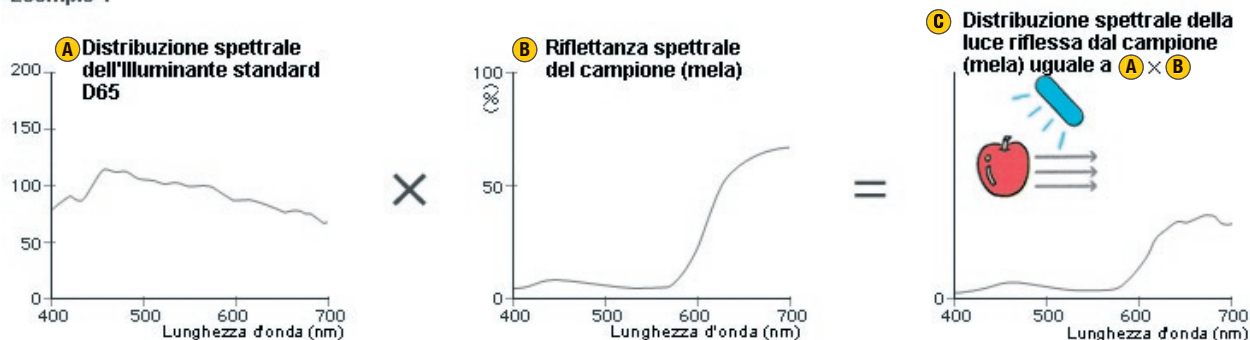
Parte II

Verifichiamo che cosa succede se si misura il campione (mela) utilizzando uno spettrofotometro con illuminante standard D65 (esempio 1) e con illuminante standard A (esempio 2).

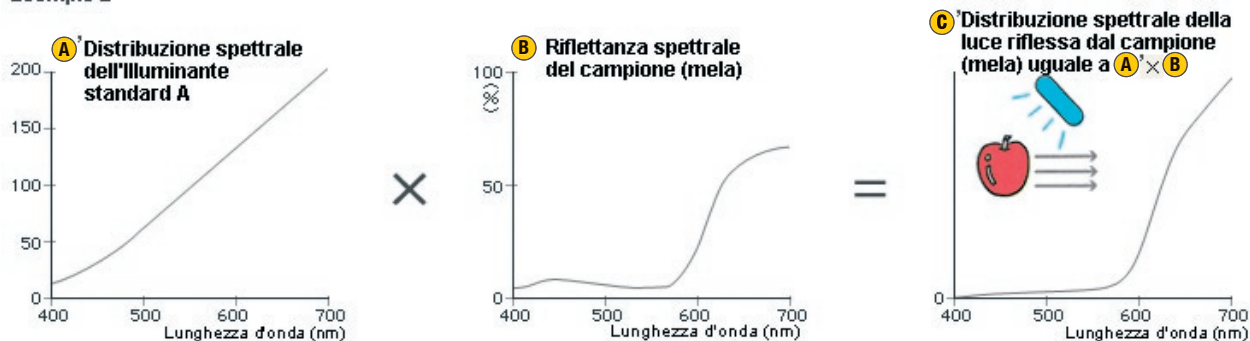
Nell'esempio 1, **A** è il grafico della distribuzione spettrale dell'illuminante standard D65 mentre **B** è il grafico della riflettanza spettrale della mela. **C** è la distribuzione spettrale della luce riflessa dal campione (mela) ed è il prodotto di **A** e **B**. Nell'esempio 2, **A'** è la distribuzione spettrale dell'illuminante standard A e **B** è la riflettanza spettrale del campione (mela), uguale a quella dell'esempio 1. **C'** è la distribuzione spettrale della luce riflessa dal campione (mela) ed è il prodotto di **A'** e **B**. Se si confronta **C** e **C'**, si nota che la luce nella regione del rosso è molto più intensa in **C'**; ciò significa che la mela apparirebbe molto più rossa con l'illuminante standard A. Il colore di un oggetto, pertanto, varia in relazione alla luce con cui viene osservato. Uno spettrofotometro, in effetti, misura la riflettanza spettrale del campione; lo strumento può poi calcolare i valori numerici del colore in diversi spazi di colore utilizzando i dati di distribuzione spettrale per l'illuminante selezionato e i dati per le funzioni colorimetriche dell'Osservatore



Esempio 1



Esempio 2



Parte II

Uno spettrofotometro può anche gestire il problema complesso del metamerismo



Non vedo il metamerismo.



Vedo il metamerismo ed è possibile vederne immediatamente le cause osservando i miei grafici di riflettanza spettrale.



Nella precedente sezione, si è accennato a come il colore di un oggetto dipenda dalla sorgente di luce con la quale viene visto. Un problema correlato, ad esempio, è quello per cui due oggetti appaiono alla stessa luce del giorno ma diversi con illuminazione artificiale. A tali fenomeni ci si riferisce con il termine metamerismo. Per gli oggetti metamerici, le caratteristiche di riflettanza spettrale dei colori sono diverse, ma i valori tristimolo risultanti sono gli stessi con una sorgente luminosa e diversi con un'altra. Questo problema è spesso dovuto all'uso di pigmenti o materiali diversi.

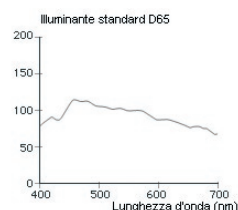
Si osservi la figura 23. Se si considerano le curve di riflettanza spettrale dei due campioni, è possibile notare subito la loro differenza. I valori $L^*a^*b^*$ per le misure con illuminante standard D65 sono gli stessi per entrambi i campioni mentre cambiano per le misure con illuminante standard A. Pertanto, anche se i due campioni hanno caratteristiche di riflettanza spettrale diverse, appariranno dello stesso colore alla luce del giorno (illuminante standard D65).

Quindi, per valutare il metamerismo è necessario misurare il campione con due o più illuminanti con distribuzioni spettrali molto diverse, ad esempio l'illuminante standard D65 e l'illuminante standard A. Sebbene sia i colorimetri tristimolo sia gli spettrofotometri utilizzano una singola sorgente luminosa, possono calcolare i risultati delle misurazioni in base ai dati dell'illuminante già in memoria che forniscono i dati per misurazioni effettuate con vari illuminanti.

In genere i colorimetri consentono di effettuare misurazioni solo con l'illuminante C e l'illuminante standard D65 che simulano entrambi la luce del giorno e che hanno distribuzioni spettrali molto simili; per questo motivo i colorimetri tristimolo non possono essere usati per misurare il metamerismo. Gli spettrofotometri, invece, sono dotati delle distribuzioni spettrali relative a una vasta gamma di illuminanti e pertanto possono quantificare il metamerismo. Inoltre, grazie alla loro capacità di visualizzare i grafici di riflettanza spettrale, è possibile vedere esattamente la differenza della riflettanza spettrale dei due colori.

- I colori possono non essere riprodotti fedelmente in questo opuscolo, a causa delle limitazioni dovute al processo di stampa.

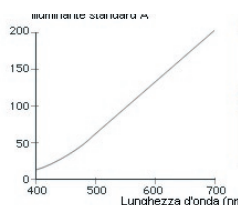
Figure 23



Campione A
 $L^* = 50.93$
 $a^* = 4.54$
 $b^* = -5.12$

Campione B
 $L^* = 50.93$
 $a^* = 4.54$
 $b^* = -5.12$

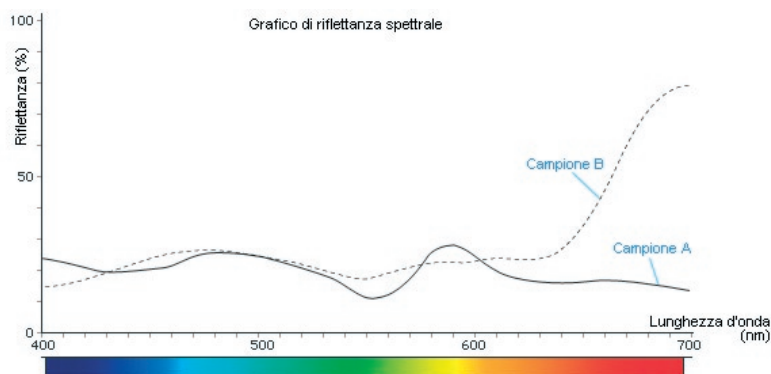
$\Delta E^*_{ab} = 0$



Campione A
 $L^* = 50.94$
 $a^* = 3.42$
 $b^* = -5.60$

Campione B
 $L^* = 53.95$
 $a^* = 10.80$
 $b^* = -2.00$

$\Delta E^*_{ab} = 8.71$



Parte II

Caratteristiche degli spettrofotometri

La serie di spettrofotometri Konica Minolta offre un'ampia gamma di funzioni e un livello di precisione superiore.

Condizioni di illuminazione

I dati relativi a un numero elevatissimo di illuminanti CIE vengono memorizzati per consentire le misurazioni in diverse condizioni di illuminazione.

Memorizzazione dei dati

I dati sono memorizzati automaticamente nel momento in cui avviene la misurazione.

Comunicazione dei dati

È possibile utilizzare lo standard RS-232C per fornire i dati o controllare lo spettrofotometro.

Visualizzazione del grafico di riflettanza spettrale

È possibile visualizzare i risultati su un grafico di riflettanza spettrale.

Angolo di illuminazione/osservazione costante

La geometria di illuminazione/visualizzazione è fissa per garantire condizioni di misurazione uniformi.

Sensore spettrale

Il sensore spettrale è composto da numerosi segmenti che misurano la luce a ogni intervallo di lunghezza d'onda, garantendo una precisione elevata.

Spazi colore

I dati di misurazione possono essere visualizzati numericamente in un'ampia varietà di spazi di colore, inclusi Yxy, $L^*a^*b^*$, Hunter Lab e così via.

Misurazione delle differenze di colore

La differenza cromatica da un colore target è misurabile e visualizzabile immediatamente in forma numerica.



La fotografia mostra lo spettrofotometro Konica Minolta CM-2600d.

LA COMUNICAZIONE PRECISA DEL COLORE

»» Parte III

Conoscenze di base per la scelta dello spettrofotometro

I fondamenti del colore sono stati descritti nella **Parte I** e **Parte II** nella ; in questa parte verrà descritto come i colori possano essere analizzati da vari angoli utilizzando gli spettrofotometri. Verranno forniti approfondimenti su particolari colori e condizioni che incidono sulla scelta degli spettrofotometri.

»» Sommario

- »» [Confronto tra colorimetri e spettrofotometri](#)
- »» [Colore e lucidità \(metodi SCE e SCI\)](#)
- »» [Misurazione di colori speciali](#)
- »» [Note per la misurazione di oggetti e condizioni](#)

Parte III

Confronto tra colorimetri e spettrofotometri



Il colorimetro è usato principalmente in fase di produzione e nelle ispezioni visive per misurare le differenze cromatiche e le cartelle colori.

Lo spettrofotometro viene usato soprattutto nei laboratori e nelle applicazioni di ricerca e sviluppo per le analisi di alta precisione e per una gestione del colore precisa.



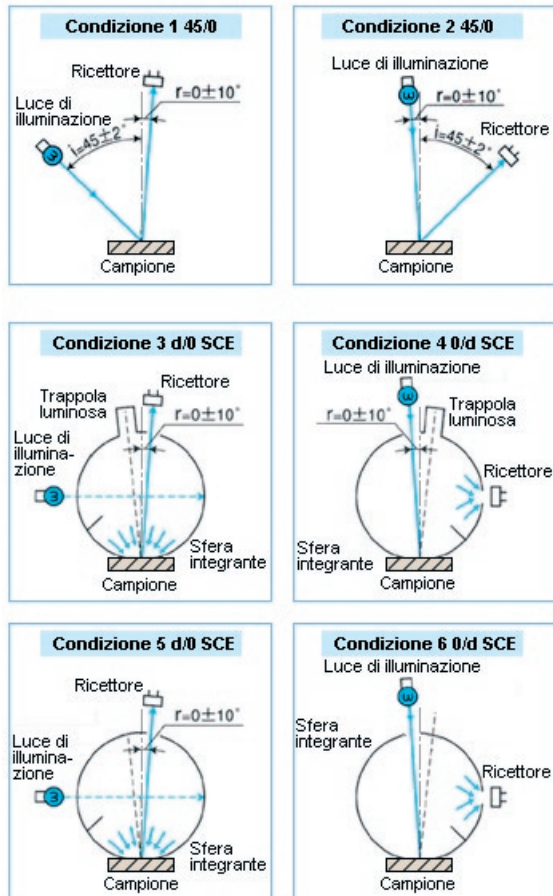
Come descritto nella Parte II, i colorimetri tristimolo sono caratterizzati da un costo relativamente basso, da dimensioni contenute, da una migliore trasportabilità e dalla semplicità di funzionamento. I colorimetri possono determinare con facilità i valori tristimolo; tuttavia, non sono adatti ad effettuare analisi del colore complesse, ad esempio quelle relative al metamerismo e alla forza colorante.

Lo spettrofotometro è caratterizzato da un grado di precisione e da una versatilità superiori. È idoneo per le analisi del colore complesse poiché determina la riflettanza spettrale a ogni lunghezza d'onda. Tuttavia, gli spettrofotometri possono avere un costo più elevato rispetto ai colorimetri. Prima di scegliere il tipo di strumento da utilizzare in un'applicazione specifica, occorre considerare sempre il livello di precisione che si desidera ottenere dalla misurazione.

I tipi di sistemi ottici

A pagina 2 della Parte I è stato descritto come il colore di un oggetto varia in relazione alle condizioni di visualizzazione, all'angolo di osservazione e a quello di illuminazione. Nella misurazione di un campione da parte di uno strumento, l'angolo formato dal raggio di luce che, provenendo da una sorgente luminosa colpisce il campione, e l'angolo di ricezione della luce da parte di un rilevatore costituiscono la geometria ottica.

Figure 24



Sistema di illuminazione unidirezionale

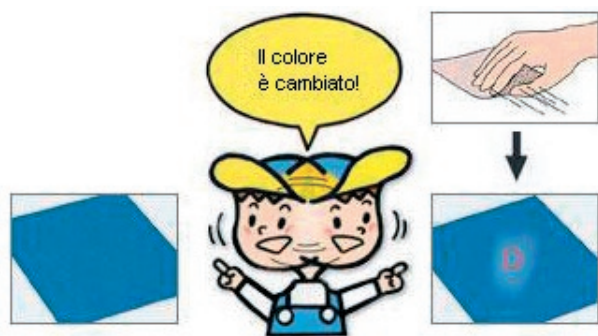
Si tratta di un metodo che fornisce l'illuminazione da una sola direzione. Con una geometria di 45/0, la superficie del campione è illuminata da un angolo di 45 ± 2 gradi alla linea normale e la luce viene ricevuta nella direzione normale (0 ± 10 gradi). Con una geometria di 0/45 la superficie del campione è illuminata dalla direzione di linea normale (0 ± 10 gradi) e la luce viene ricevuta a un angolo di 45 ± 2 gradi dalla linea normale.

Sistema con sfera integrante per l'illuminazione diffusa

Questo sistema utilizza una sfera integrante per illuminare o visualizzare un campione uniformemente da tutte le direzioni. (La sfera integrante è un dispositivo sferico con superfici interne rivestite di materiale bianco, ad esempio solfato di bario, per la diffusione uniforme della luce). Uno strumento con geometria ottica d/0 illumina il campione in modo diffuso e rileva la luce alla direzione normale (0 gradi). Uno strumento con geometria ottica 0/d illumina il campione all'angolo normale (0 gradi) e raccoglie la luce riflessa in tutte le direzioni. (La luce riflessa all'interno di ± 5 gradi da un angolo speculare può essere inclusa o esclusa utilizzando la funzione SCE/SCI).

Parte III

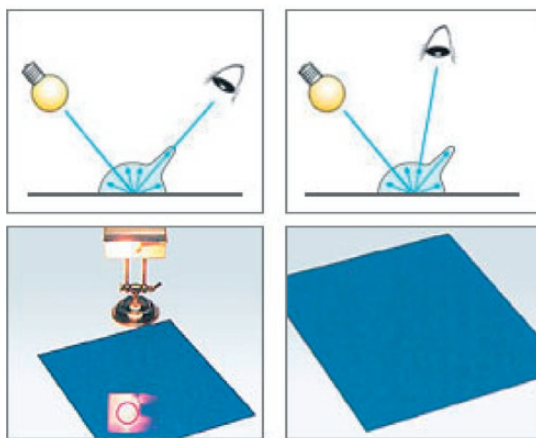
Colore e lucidità (metodi SCE e SCI)



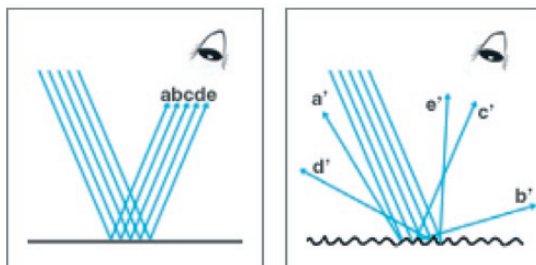
Perfino gli oggetti composti dagli stessi materiali sono caratterizzati da variazioni di colore dovute alle differenze di lucidità delle superfici.
Ad esempio, strofinando con carta vetrata un campione blu dalla superficie lucida, il colore diventa più opaco.



Infatti, così come una palla lanciata su un muro rimbalza tornando nello stesso angolo, allo stesso modo la luce che, a partire dalla sorgente luminosa si riflette nell'angolo uguale ma opposto, è definita luce riflessa specularmente. Questa componente speculare viene riflessa come in uno specchio. La luce che non si riflette specularmente ma si disperde in molte direzioni è definita riflettanza diffusa. La riflettanza totale è data dalla somma della riflettanza speculare e della riflettanza diffusa.



Per gli oggetti caratterizzati da superfici lucide, la luce riflessa specularmente è relativamente intensa mentre la luce diffusa è più debole. Sulle superfici ruvide e poco lucide, la componente speculare è debole e la luce diffusa più intensa. Il blu di un oggetto di plastica con superficie lucida all'angolo speculare appare di colore diverso. Ciò è dovuto al fatto che la riflettanza speculare si aggiunge al colore del campione. In genere chi osserva guarda il colore dell'oggetto e ignora la riflessione speculare della sorgente luminosa. Per misurare il colore di un campione nello stesso modo in cui viene percepito dall'occhio, è necessario escludere la riflettanza speculare e misurare solo la riflettanza diffusa. Il colore di un oggetto può apparire diverso a causa delle differenze nel livello di riflettanza speculare.



Queste figure indicano che

$$a + b + c + d + e = a' + b' + c' + d' + e'.$$

Il colore, quindi, viene percepito in modo diverso a seconda della superficie dell'oggetto perché l'osservatore vede solamente la luce diffusa. Tuttavia, i colori degli oggetti non dovrebbero cambiare se i materiali sono sempre gli stessi. In che modo è possibile riconoscere il colore dei materiali?

La quantità di riflettanza speculare e di riflettanza diffusa cambia in relazione alla superficie dell'oggetto; tuttavia, la quantità totale di luce riflessa è sempre uguale se i materiali e il colore sono gli stessi. Quindi se un oggetto di plastica blu lucida viene strofinato con carta vetrata, la riflettanza speculare si riduce e quella diffusa aumenta. È per questo motivo che è importante misurare la riflettanza totale (speculare e diffusa).

Parte **III**

La posizione della trappola di luce nelle condizioni 3 (SCE) e 4 (SCE) visualizzata nella figura 24 a pagina 1 della Parte III, mostra l'esclusione della riflettanza speculare dalla misurazione del colore dell'esempio. Se la trappola viene sostituita con una luce bianca, come nella condizione 5 (SCI) e 6 (SCI), la riflettanza speculare verrà inclusa nella misurazione del colore. Il metodo di misurazione del colore, che esclude la riflettanza speculare, è definito SCE (Specular Component Excluded, componente speculare esclusa). Se la riflettanza speculare è inclusa nella misurazione del colore, il completamento della sfera con una luce speculare è definito SCI (Specular Component Included, componente speculare inclusa). Nella modalità SCE la riflettanza speculare è esclusa dalla misurazione e comprende solo la riflettanza diffusa. Ciò produce una valutazione del colore affine al modo in cui l'osservatore vede il colore di un oggetto. Quando si utilizza la modalità SCI nel processo di misurazione, la riflettanza speculare si aggiunge alla riflettanza diffusa. Questo tipo di valutazione del colore misura l'aspetto totale a prescindere dalle condizioni della superficie. Quando si sceglie uno strumento è necessario tenere conto di questi criteri. Alcuni strumenti sono in grado di effettuare misurazioni contemporanee di tipo SCE e di tipo SCI.

Il metodo SCE è efficace per verificare la corrispondenza del colore agli standard mediante ispezione visiva sulla linea di produzione.



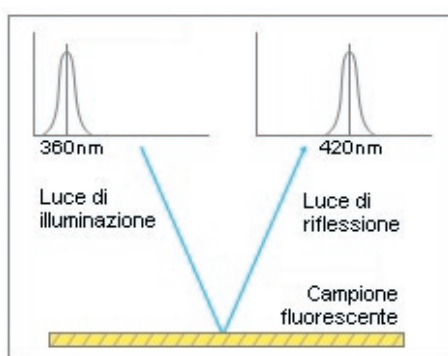
Il metodo SCI è efficace quando gli elementi cromatici, ad esempio CCM, vengono regolati durante la produzione.



Parte III

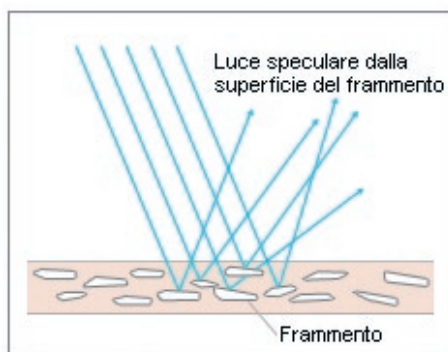
Misurazione di colori speciali

Colori fluorescenti

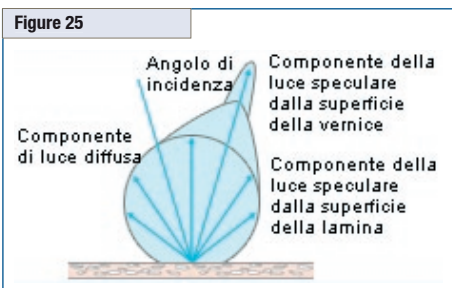


Un colore fluorescente è dotato di luminosità intrinseca senza essere in realtà una sorgente luminosa. Quando una luce colpisce un materiale fluorescente, i raggi vengono assorbiti ed emessi nuovamente come luce visibile in altre regioni dello spettro, in genere come lunghezze d'onda più lunghe. Come è stato descritto nella Parte II-2, la regione di luce visibile è una radiazione elettromagnetica compresa tra 380 nm e 780 nm. Ad esempio, quando una radiazione è assorbita a 360 nm ed emessa a 420 nm, il valore di misurazione a 420 nm eccede il 100%. Poiché è visibile una quantità di luce maggiore rispetto alle aspettative, l'occhio umano percepisce il materiale come luminoso. Per la misurazione di campioni non fluorescenti, l'elemento dispersivo può essere collocato tra la sorgente e il campione oppure tra il campione e il ricevente. Tuttavia, affinché la misurazione dei campioni fluorescenti riproduca il modo in cui appaiono all'occhio umano, l'elemento dispersivo deve essere posizionato tra il campione e il rilevatore in modo che il primo sia illuminato dall'intero spettro della sorgente. Quando un colore fluorescente viene misurato dallo spettrofotometro, è necessario controllare la distribuzione spettrale della sorgente luminosa, incluse le regioni ultraviolette.

Colori metallici

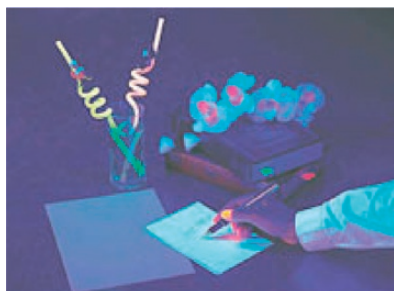


Molti rivestimenti, soprattutto nel settore automobilistico, utilizzano frammenti metallici in combinazione con coloranti per ottenere un effetto vivace. Nel rivestimento metallico la luce viene riflessa ad angoli diversi a causa dell'orientamento dei frammenti che, tuttavia, sono generalmente orientati nella stessa direzione. La figura 25 illustra l'interazione della riflettanza speculare e della riflettanza diffusa con un rivestimento metallico. Poiché il colore si riflette dai frammenti metallici a un angolo diverso rispetto alla riflettanza diffusa, anche la percezione da parte dell'occhio umano sarà diversa. Nell'angolo vicino alla riflettanza speculare influenzata dal frammento metallico è visualizzato il colore della superficie. Nell'angolo non influenzato dalla lamella metallica è visibile il colore cangiante. In genere, è preferibile valutare e misurare i colori metallici utilizzando uno spettrofotometro che misuri il colore ad angoli diversi.



Parte III

Luce nera e materiale fluorescente



Sicuramente sarà capitato di trovarsi in una stanza in cui oggetti come camicie, calzini o disegni bianchi sulle pareti sembrano eccessivamente luminosi rispetto al resto della stanza che appare scura o illuminata con luce violetta.



In queste situazioni la sorgente luminosa è definita „luce nera“. La luce nera illumina utilizzando lunghezze d'onda prevalentemente esterne alle regioni visibili dello spettro. È stata utilizzata per illuminare, ad esempio, puzzle o minerali fluorescenti. Di fatto, la luce nera emette energia nella regione dell'ultravioletto. All'oggetto viene aggiunto un materiale fluorescente che assorbe l'energia e la emette come luce nella regione del visibile. Illuminati da una luce nera, gli oggetti appaiono luminosi.

Un oggetto appare bianco quando riflette quasi al 100 percento tutte le lunghezze d'onda nelle regioni del visibile; tuttavia, appare giallastro nel caso in cui si verifichi una riflettanza inferiore alle lunghezze d'onda del blu. In molti casi vengono aggiunte sostanze fluorescenti (indicate a volte con l'espressione „sbiancanti ottici“). Il materiale fluorescente aumenta la riflettanza alle lunghezze d'onda del blu facendo apparire bianco l'oggetto. Di conseguenza, una camicia bianca appare tale alla luce del giorno e luminosa in presenza di luce nera. Quando i capi bianchi vengono sottoposti a lavaggi ripetuti, appaiono giallastri non perché siano macchiati di giallo ma perché il materiale fluorescente viene eliminato facendo apparire nuovamente il loro colore originale. È un'abitudine diffusa quella di lavare i capi ingialliti con un detergente contenente sostanze fluorescenti.

Parte **III**

Note per la misurazione di oggetti e condizioni

Caratteristiche della temperatura quando la piastrella di colore BCRA cambia di 10° dalla temperatura ambiente (ΔE^*ab)

	ΔE^*ab
Bianco	0.01
Grigio pallido	0.02
Grigio medio	0.05
Grigio diverso	0.05
Grigio cupo	0.05
Rosa cupo	0.60
Arancio	1.52
Rosso	1.32
Giallo	0.92
Verde	0.92
Verde diverso	0.91
Ciano	0.46
Blu scuro	0.17
Nero	0.02

Basato sulle condizioni di test di Konica Minolta

Misurazione delle polveri

Quando si misura la polvere con uno spettrofotometro, il valore di misurazione cambia in relazione alla densità della polvere e alle condizioni della superficie. Per evitare di commettere errori è necessario utilizzare dei metodi speciali, ad esempio l'introduzione di una quantità fissa di polvere all'interno di un contenitore di forma e dimensioni costanti e il mantenimento di condizioni di superficie uguali.

Se le particelle sono di grandi dimensioni, occorre utilizzare uno spettrofotometro che abbia un'area di misurazione ampia in modo che la misurazione venga eseguita su un valore di superficie medio e che sia possibile ottenere valori di misurazione riproducibili.

Misurazione di oggetti semi-transparenti

La misurazione di oggetti semitrasparenti richiede una particolare attenzione perché la luce potrebbe penetrare attraverso il materiale e la misurazione potrebbe essere condizionata da ciò che si trova dietro l'oggetto. Per risolvere il problema occorre aumentare lo spessore dell'oggetto evitando una trasmissione totale della luce. Un'altra soluzione consiste nel collocare una superficie bianca opaca dietro l'oggetto.

Misurazione di oggetti con motivi

Nella misurazione degli oggetti che hanno trame o motivi, il valore di misurazione varia in relazione alla posizione se viene misurata un'area di piccole dimensioni. È consigliabile che l'area di misurazione sia quanto più grande possibile, oppure che le misurazioni siano effettuate numerose volte da posizioni diverse in modo da poter calcolare un valore medio.

Influenza delle condizioni di temperatura

A volte, quando la temperatura del colore cambia, cambia anche il colore dell'oggetto. Si tratta di un fenomeno noto come termocromismo. Affinché la misurazione del colore effettuata con lo spettrofotometro sia precisa, occorre che venga eseguita in una stanza in cui la temperatura rimanga costante dopo che l'oggetto ha raggiunto la stessa temperatura.

LA COMUNICAZIONE PRECISA DEL COLORE

►► Parte IV

Termini sui colori

Ulteriori informazioni riguardanti la terminologia, gli standard e gli spazi di colore descritti in questo documento.

►► Sommario

- [Osservatore standard a 2° e Osservatore standard supplementare a 10° / Funzioni colorimetriche](#)
- [Valore tristimolo XYZ \(CIE 1931\) / Valore tristimolo \$X_{10}\$, \$Y_{10}\$, \$Z_{10}\$ \(CIE 1964\)](#)
- [Coordinate di cromaticità xyz / Diagramma di cromaticità xy e \$X_{10}\$, \$Y_{10}\$](#)
- [Spazio di colore \$L^*a^*b^*\$ / Spazio di colore uniforme](#)
- [Spazio di colore \$L^*C^*h\$](#)
- [Spazio di colore Hunter Lab / Spazio di colore Munsell](#)
- [Spazio di colore \$L^*u^*v^*\$](#)
- [Diagramma UCS 1976 della CIE / Formula della differenza cromatica \$\Delta E^*_{94}\$ \(CIE 1994\)](#)
- [Differenza tra colore di un oggetto e colore della sorgente luminosa I](#)
- [Differenza tra colore di un oggetto e colore della sorgente luminosa II](#)

Parte IV

Termini sui colori

Osservatore standard a 2° e osservatore standard supplementare a 10°

La sensibilità al colore dell'occhio umano varia a seconda dell'angolo di osservazione (dimensioni dell'oggetto). La CIE definì l'osservatore standard nel 1931 utilizzando un campo visivo di 2°, da cui il nome di Osservatore standard a 2°. Nel 1964, la CIE definì un ulteriore osservatore standard, questa volta basato su un campo visivo di 10°; questo osservatore è chiamato Osservatore standard supplementare a 10°. Per dare un'idea della differenza tra un campo visivo di 2° e uno di 10°, il primo, osservato a una distanza di 50 cm, avrebbe l'aspetto di un cerchio di 1,7 cm di diametro, mentre il secondo, alla stessa distanza, sarebbe un cerchio con un diametro di 8,8 cm. La maggior parte delle informazioni contenute in questo documento si basa sull'Osservatore standard a 2°. Quest'ultimo viene usato per angoli di osservazione da 1° a 4°, mentre per angoli maggiori di 4° si utilizza l'Osservatore standard supplementare a 10°.

angolo di osservazione a 2°

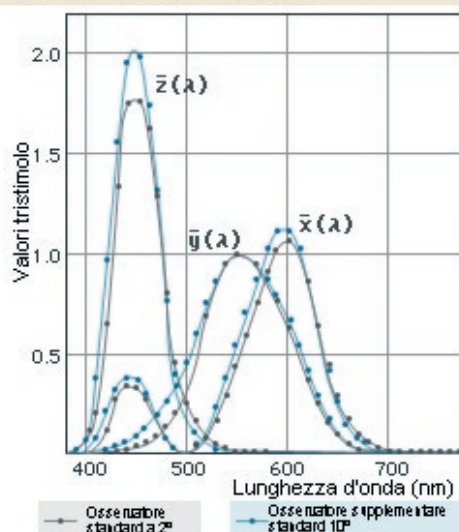


angolo di osservazione a 10°



Funzioni colorimetriche

Funzioni colorimetriche



Sono i valori tristimolo dello spettro uniforme (o equienergetico) in funzione della lunghezza d'onda. Tali funzioni dovrebbero corrispondere alla sensibilità dell'occhio umano. Sono stati definiti gruppi separati di tre funzioni colorimetriche per l'Osservatore standard a 2° e per l'Osservatore standard supplementare a 10°.

Parte IV

Termini sui colori

Valori tristimolo XYZ (CIE 1931)

$$\begin{aligned}
 X &= K \int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{x}(\lambda) R(\lambda) d\lambda \\
 Y &= K \int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{y}(\lambda) R(\lambda) d\lambda \\
 Z &= K \int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{z}(\lambda) R(\lambda) d\lambda \\
 K &= \frac{100}{\int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{y}(\lambda) d(\lambda)}
 \end{aligned}$$

I valori tristimolo, determinati in base alle funzioni colorimetriche $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$ e $\bar{z}(\lambda)$, furono definiti dalla CIE nel 1931; essi sono noti anche come valori tristimolo XYZ a 2°. Questi valori sono adatti a un angolo di osservazione fino a 4° e sono definiti, per gli oggetti riflettenti, mediante le formule seguenti:

dove

$S(\lambda)$: distribuzione spettrale relativa dell'illuminante.

$\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$: funzioni colorimetriche per l'Osservatore standard a 2° CIE (1931).

$R(\lambda)$: riflettanza spettrale del campione.

Valori tristimolo X10 Y10 Z10 (CIE 1964)

$$\begin{aligned}
 X_{10} &= K \int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{x}_{10}(\lambda) R(\lambda) d\lambda \\
 Y_{10} &= K \int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{y}_{10}(\lambda) R(\lambda) d\lambda \\
 Z_{10} &= K \int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{z}_{10}(\lambda) R(\lambda) d\lambda \\
 K &= \frac{100}{\int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{y}_{10}(\lambda) d(\lambda)}
 \end{aligned}$$

I valori tristimolo, determinati in base alle funzioni colorimetriche $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$ e $\bar{z}(\lambda)$ furono definiti dalla CIE nel 1964; essi sono noti anche come valori tristimolo XYZ a 10°. Questi valori sono adatti a un angolo di osservazione fino a 4° e sono definiti, per gli oggetti riflettenti, mediante le formule seguenti:

dove

$S(\lambda)$: distribuzione spettrale relativa dell'illuminante.

$\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$: funzioni colorimetriche per l'Osservatore standard supplementare a 10° CIE (1964).

$R(\lambda)$: riflettanza spettrale del campione.

Parte IV

Termini sui colori

Coordinate di cromaticità xyz

Le coordinate di cromaticità xyz vengono calcolate a partire dai valori tristimolo XYZ secondo le formule seguenti:

$$x = \frac{X}{X+Y+Z}$$

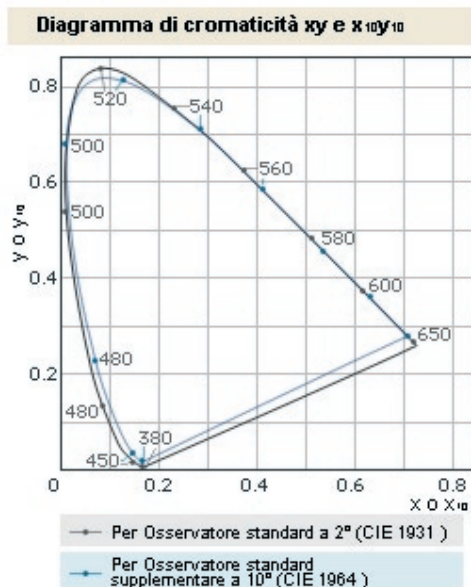
$$y = \frac{Y}{X+Y+Z}$$

$$z = \frac{Z}{X+Y+Z} = 1 - x - y$$

Se queste formule vengono utilizzate con i valori tristimolo X_{10} Y_{10} Z_{10} , le coordinate di cromaticità saranno x_{10} y_{10} z_{10} .

Diagramma di cromaticità xy e x_{10} y_{10}

Diagramma bidimensionale sul quale vengono tracciate le coordinate xy o le coordinate di cromaticità x_{10} y_{10} .



Parte IV

Termini sui colori

Spazio di colore L*a*b*

Lo spazio di colore L*a*b* (noto anche come spazio CIELAB) è uno degli spazi di colore uniformi definiti dalla CIE nel 1976. I valori L*, a* e b* vengono calcolati secondo le formule seguenti:

Variabile della luminosità L*

$$L^* = 116 \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} - 16$$

Coordinate di cromaticità a* e b*:

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

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

dove

$$\frac{Y}{Y_n} > 0.008856$$

$$\frac{X}{X_n} > 0.008856$$

$$\frac{Z}{Z_n} > 0.008856$$

X, Y, Z

Valori tristimolo XYZ (per l'Osservatore standard a 2°) o X₁₀ Y₁₀ Z₁₀ del campione (per l'Osservatore standard a 10°).

X_n, Y_n, Z_n

Valori tristimolo XYZ (per l'Osservatore standard a 2°) o X₁₀ Y₁₀ Z₁₀ di un diffusore perfettamente riflettente (per l'Osservatore standard a 10°).

Se X/X_n, Y/Y_n o Z/Z_n sono minori di 0,008856, le equazioni precedenti vengono modificate come segue:

$$\left(\frac{X}{X_n} \right)^{1/3} \longrightarrow 7.787 \left(\frac{X}{X_n} \right) + \frac{16}{116}$$

$$\left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} \longrightarrow 7.787 \left(\frac{Y}{Y_n} \right) + \frac{16}{116}$$

$$\left(\frac{Z}{Z_n} \right)^{1/3} \longrightarrow 7.787 \left(\frac{Z}{Z_n} \right) + \frac{16}{116}$$

Spazio di colore uniform

Uno spazio di colore in cui le distanze uguali sul diagramma delle coordinate corrispondono a differenze cromatiche percepite come uguali.

Parte IV

Termini sui colori

La differenza cromatica ΔE^*_{ab} nello spazio di colore $L^*a^*b^*$, che indica il grado di differenza dei colori ma non la direzione, è definita mediante l'equazione seguente:

$$\Delta E^*_{ab} = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

dove

ΔL^* , Δa^* , Δb^* : differenza dei valori L^* , a^* e b^* tra il campione e lo standard di riferimento del colore.

Spazio di colore $L^*C^*h^*$

Lo spazio di colore $L^*C^*h^*$ usa lo stesso diagramma dello spazio $L^*a^*b^*$ ma con coordinate cilindriche. La luminosità L^* è uguale al valore di L^* nello spazio di colore $L^*a^*b^*$. La saturazione C^* e l'angolo della tinta H sono definiti mediante le formule seguenti:

$$\text{Metric Chroma} : C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$$

$$\text{Metric Hue-Angle} : h = \tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \text{ (degree)}$$

dove

a^* , b^* : coordinate di cromaticità nello spazio di colore $L^*a^*b^*$.

Per misurare la differenza cromatica non si considera la variazione dell'angolo della tinta; si calcola invece la differenza di tinta ΔH^* in base alla seguente formula:

$$\Delta H^* = \sqrt{(\Delta E^*_{ab})^2 - (\Delta L^*)^2 - (\Delta C^*)^2} = \sqrt{(\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 - (\Delta C^*)^2}$$

$$\Delta L^* = L^* - L^*_t$$

$$\Delta C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} - \sqrt{(a^*_t)^2 + (b^*_t)^2} = C^* - C^*_t$$

La differenza di tinta è positiva se l'angolo della tinta H è maggiore nel campione rispetto allo standard di riferimento del colore; la differenza sarà invece negativa se l'angolo della tinta è minore nel campione in rapporto allo standard di riferimento.

Parte IV

Termini sui colori

Spazio di colore Hunter Lab

Lo spazio Hunter Lab venne sviluppato nel 1948 da R. S. Hunter come uno spazio di colore uniforme che poteva essere misurato con un colorimetro tristimolo. In questo spazio di colore, i valori sono definiti mediante le seguenti formule:

$$L = 100 \left(\frac{Y}{Y_0} \right)^{1/2}$$

$$a = 17.5 \left[\frac{0.0102 X_0}{(Y/Y_0)} \right]^{1/2} \cdot \left[\left(\frac{X}{X_0} \right) - \left(\frac{Y}{Y_0} \right) \right]$$

$$b = 70 \left[\frac{0.00847 Z_0}{(Y/Y_0)} \right]^{1/2} \cdot \left[\left(\frac{Y}{Y_0} \right) - \left(\frac{Z}{Z_0} \right) \right]$$

dove

X, Y, Z: valori tristimolo del campione (possono essere usati anche i valori tristimolo X_{10} , Y_{10} , Z_{10}).

X_0 , Y_0 , Z_0 : valori tristimolo di un diffusore perfettamente riflettente.

Per l'Osservatore standard a 2° e per l'Illuminante standard C, le equazioni precedenti cambiano come segue:

$$L = 10 Y^{1/2}$$

$$a = \frac{17.5 (1.02X - Y)}{Y^{1/2}}$$

$$b = \frac{7.0 (Y - 0.847Z)}{Y^{1/2}}$$

La differenza cromatica ΔE_H nello spazio di colore Hunter Lab, che indica il grado di differenza dei colori ma non la direzione, è definita dall'equazione seguente:

$$\Delta E_H = [(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2]^{1/2}$$

Spazio di colore Munsell

Il sistema Munsell consiste di una serie di tavole cromatiche concepite per poter eseguire un confronto visivo con i campioni. I colori sono definiti in termini di Tinta (H ovvero hue in inglese), Valore (V che indica la luminosità) e Cromia (C che indica la saturazione) e vengono riportati come H V/C.

Ad esempio, per un colore con H=5,0R, V=4,0 e C=14,0, la notazione Munsell sarà: 5,0R 4,0/14,0.

Por ejemplo, para el color con H=5,0R, V=4,0 y C=14,0, la anotación de Munsell sería: 5,0R 4,0/14,0

Parte IV

Termini sui colori

Spazio di colore L*u*v*

Lo spazio di colore L*u*v* (noto anche come spazio CIELUV) è uno degli spazi di colore uniformi definiti dalla CIE nel 1976. I valori di L*, u* e v* vengono calcolati secondo le formule seguenti:

$$L^* = 116 \left(\frac{Y}{Y_0} \right)^{1/3} - 16 \quad \text{when } \frac{Y}{Y_0} > 0.008856$$

$$u^* = 13L^*(u' - u'_0) \quad v^* = 13L^*(v' - v'_0)$$

dove

Y: valore tristimolo Y (può essere utilizzato anche il valore tristimolo Y₁₀).

u', v': coordinate di cromaticità dal diagramma UCS 1976 della CIE.

Y₀, u'₀, v'₀: valore tristimolo Y (o Y₁₀) e coordinate di cromaticità u', v' del diffusore perfettamente riflettente.

La differenza cromatica ΔE*_{uv} nello spazio di colore L*u*v*, che indica il grado di differenza dei colori ma non la direzione, è definita mediante l'equazione seguente:

$$\Delta E^*_{uv} = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta u^*)^2 + (\Delta v^*)^2]^{1/2}$$

dove

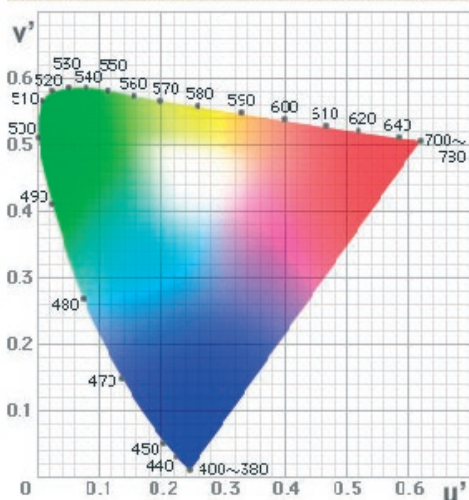
ΔL*, Δu*, Δv*: differenza dei valori L*, u* e v* tra il campione e lo standard di riferimento del colore.

Parte IV

Termini sui colori

Diagramma UCS 1976 della CIE

Diagramma di cromaticità JCS 1976 (Osservatore standard a 2°)



Il diagramma UCS 1976 venne definito dalla CIE proprio nel 1976, con l'intento di fornire uno spazio colorimetrico percettibilmente più uniforme per i colori con luminanza pressoché identica. I valori u' e v' possono essere calcolati a partire dai valori tristimolo XYZ (o X_{10} Y_{10} Z_{10}) oppure dalle coordinate di cromaticità xy secondo le formule seguenti:

$$u' = \frac{4X}{X+15Y+3Z} = \frac{4x}{-2x+12y+3}$$

$$v' = \frac{9Y}{X+15Y+3Z} = \frac{9y}{-2x+12y+3}$$

dove

X, Y, Z

Valori tristimolo (se si utilizzano i valori tristimolo X_{10} , Y_{10} , Z_{10} , i risultati saranno u'_{10} e v'_{10}).

x, y

Coordinate di cromaticità (se si utilizzano le coordinate x_{10} y_{10} , i risultati saranno u'_{10} e v'_{10}).

Formula della differenza di colore ΔE^*_{94} (CIE 1994)

Questa formula della differenza cromatica modifica la luminosità, la saturazione e la tinta (L^*C^*h) dello spazio di colore $L^*a^*b^*$, incorporando fattori che correggono e variano la grandezza della differenza cromatica percepita nelle diverse aree dello spazio di colore $L^*a^*b^*$ (CIE 1976). Tale formula venne proposta nel 1994 dal comitato tecnico della CIE.

$$\Delta E_{94} = [(\Delta H^*/S_H)^2 + (\Delta L^*/S_L)^2 + (\Delta C^*/S_C)^2]^{1/2}$$

dove

$$S_L = 1$$

$$S_C = 1 + 0.045C^*$$

$$S_H = 1 + 0.015C^*$$

Parte IV

Differenza tra colore di un oggetto e colore sorgente luminosa

La determinazione del colore di un oggetto è già stata descritta in precedenza. Tuttavia, esistono casi particolari in cui un colore viene creato in modo indipendente, ad esempio mediante una lampadina a incandescenza. Questo colore viene chiamato colore della sorgente luminosa. Le note seguenti offrono una semplice spiegazione della differenza tra il colore di un oggetto e il colore della sorgente luminosa.

Differenze di definizione

Esistono tre fattori fondamentali che condizionano l'osservazione del colore di un oggetto da parte di un essere umano. Questi fattori sono l'illuminazione, l'oggetto e la percezione che ne ha l'osservatore. Tuttavia, quando si guarda una sorgente luminosa, intervengono solo due fattori, ovvero la distribuzione spettrale della sorgente luminosa e la percezione dell'osservatore. Le formule relative a questi concetti sono illustrate di seguito.



Per quanto riguarda il colore dell'oggetto, è necessario determinare e valutare la distribuzione spettrale dell'illuminante, poiché il colore appare diverso al variare della sorgente luminosa.

L'illuminante non è necessario quando si misura il colore di una sorgente perché è proprio il colore della sorgente stessa che verrà determinato.

Differenze nelle condizioni geometriche dell'illuminazione e della ricezione ottica

Si devono considerare anche le condizioni geometriche dell'illuminazione e la percezione ottica poiché il variare di queste condizioni può modificare la misurazione dei valori cromatici di un oggetto. La CIE ha definito sei tipi di condizioni, come descritto nella Parte III-1. Tali condizioni non influenzano le misurazioni del colore della sorgente luminosa. Esistono comunque alcune caratteristiche dell'angolazione che modificano la tinta in base al tipo di sorgente luminosa e all'angolo di osservazione, come accade con i display LCD. In questi casi, l'angolo di osservazione deve essere fissato a un valore costante.

Formule per la definizione del colore degli oggetti

$$X = K \int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{x}(\lambda) R(\lambda) d\lambda$$

$$Y = K \int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{y}(\lambda) R(\lambda) d\lambda$$

$$Z = K \int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{z}(\lambda) R(\lambda) d\lambda$$

$$K = \frac{100}{\int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda}$$

dove

$S(\lambda)$: distribuzione spettrale relativa dell'illuminante.

$\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$: funzioni colorimetriche nello spazio di colore XYZ.

$R(\lambda)$: riflettanza spettrale del campione.

Formule per la definizione del colore della sorgente

$$X = K \int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda$$

$$Y = K \int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda$$

$$Z = K \int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda$$

dove

$S(\lambda)$: distribuzione spettrale relativa della sorgente luminosa.

$\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$: funzioni colorimetriche nello spazio di colore XYZ.

K: fattore di normalizzazione

(il valore tristimolo Y viene adattato alla quantità di luce misurata).

Utilizzare l'equazione seguente per determinare il valore assoluto della quantità di luce. $S(\lambda)$ è il valore assoluto dell'intensità della radiazione spettrale per lo spazio di colore XYZ.

$$K = 683 \text{ lm} \cdot \text{w}^{-1}$$

* Consultare la pagina seguente per maggiori informazioni sulla temperatura del colore di una sorgente luminosa.

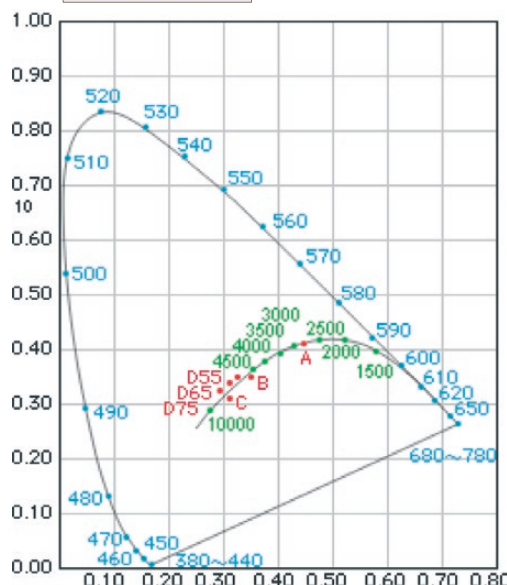
Rappresentazione dello spazio colori

Il colore di una sorgente luminosa può essere descritto in termini numerici utilizzando metodi diversi. Tra questi, le coordinate xy, l'intensità del colore secondo i diagrammi UCS 1960 (u, v) e UCS 1976 (u^* , v^*) della CIE e la temperatura del colore.* Allo stesso scopo, si utilizza anche lo spazio di colore $L^*u^*v^*$ (CIE LUV). Con questo spazio di colore, è necessario determinare una sorgente luminosa standard per poter misurare il colore della sorgente stessa, poiché lo spazio di colore $L^*u^*v^*$ ha una sorgente di luce standard come punto d'origine del grafico.

Parte IV

Differenza tra colore di un oggetto e colore sorgente luminosa

Figura 26



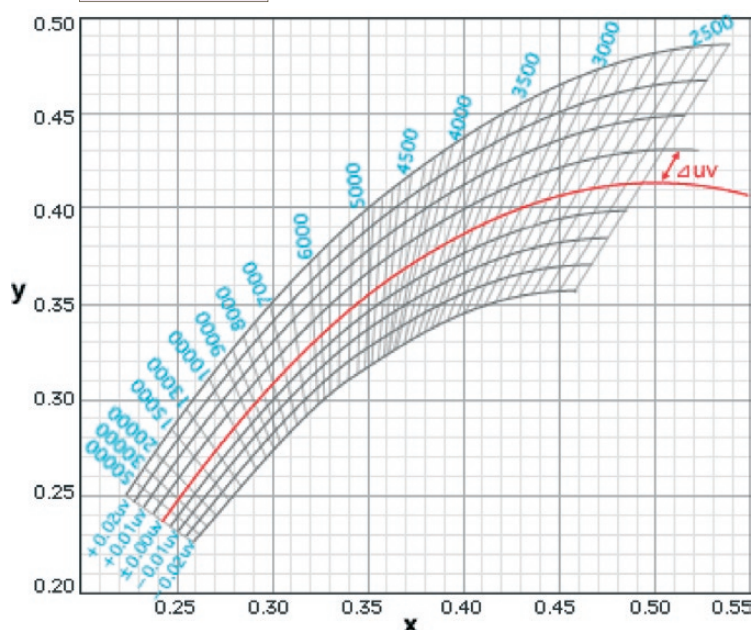
Temperatura del colore

All'aumentare della temperatura di un oggetto, aumentano anche le radiazioni termiche emesse dall'oggetto stesso. Contemporaneamente, il colore passa dal rosso all'arancione e poi al bianco. Un corpo nero è un oggetto immaginario che assorbe tutta l'energia disponibile per poi emetterla sotto forma di radiazioni; in questo modo, la sua temperatura è direttamente proporzionale al colore dell'energia radiante emessa. La temperatura assoluta di un corpo nero è nota come temperatura del colore. I colori si dispongono idealmente lungo la curva del corpo nero (curva di Planck), come indicato nella tavola di cromaticità xy illustrata nella Figura 26.

La temperatura correlata dei colori serve ad applicare l'idea generica di temperatura a quei colori che non si trovano esattamente sulla curva del corpo nero. La temperatura correlata si calcola determinando la linea di isoterma su cui si trova il colore della sorgente luminosa. Le linee di isoterma sono linee rette lungo le quali tutti i colori appaiono uguali; la temperatura correlata di un colore posto su una di queste linee sarà uguale alla temperatura del colore che si trova sul punto di intersezione tra linea e la curva del corpo nero.

La curva del corpo nero, le linee di isoterma e le linee indicanti gli stessi valori Δuv , in rapporto alla curva del corpo nero, sono illustrati nella Figura 27. Ad esempio, una sorgente luminosa con differenza cromatica di 0,01 verso il verde (ΔE_{uv}), rispetto a un corpo nero con temperatura di 7000K, avrà una temperatura correlata di 7000K+0,01 (unità uv).

Figura 27



Note

La spiegazione del valore (ΔE_{uv}) è riportata alla Sezione IV „Color Terms“.

„K“ è l'abbreviazione di Kelvin, la scala della temperatura assoluta.

European Headquarter/BENELUX
German Office
French Office
UK Office
Italian Office
Belgian Office
Swiss Office
Nordic Office
Polish Office

Nieuwegein, Netherland
München, Germany
Roissy CDG, France
Warrington, United Kingdom
Milan, Italy
Zaventem, Belgium
Dietikon, Switzerland
Västra Frölunda, Sweden
Wroclaw, Poland

Phone: +31(0)30 248-1193
Phone: +49(0)89 4357 156 0
Phone: +33(0)1 80-11 10 70
Phone: +44 (0) 1925-467300
Phone: +39 02 849 488.00
Phone: +32 (0)2 7170 933
Phone: +41(0)43 322-9800
Phone: +46(0)31 7099464
Phone: +48(0)71 33050-01

Fax: +31(0)30 248-1280
Fax: +49(0)89 4357 156 99
Fax: +33(0)1 80-11 10 82
Fax: +44 (0) 1925-711143
Fax: +39 02 849 488.30
Fax: +32(0)2 7170-977
Fax: +41(0)43 322-9809
Fax: +46(0)31 474945
Fax: +48(0)71 734 52 10

info.sensing@seu.konicaminolta.eu
info.germany@seu.konicaminolta.eu
info.france@seu.konicaminolta.eu
info.uk@seu.konicaminolta.eu
info.italy@seu.konicaminolta.eu
info.benelux@seu.konicaminolta.eu
info.switzerland@seu.konicaminolta.eu
info.nordic@seu.konicaminolta.eu
info.poland@seu.konicaminolta.eu



Certificate No: 16A 0937 154
Registration Date:
March 3, 1995



Certificate No: JQA-E-80027
Registration Date:
March 12, 1997

