

The metamerism and its management

Il metamerismo e la sua gestione



Filippo Busolo, Nuova Eurocolori

THE METAMERISM AND ITS MANAGEMENT

The professional of the color, has to face with the phenomenon of metamerism. We speak about metamerism when two colors produce the same color sensation under a lighting condition, but not under a second illuminant (Fig. 1).

This phenomenon could cause serious problems in the phase of disquisition of shades of a tinting system.

From an historical point of view, the term "metamerism" it seems it was proposed for the first time by the German chemist Wilhelm Ostwald.

In chemistry metamerism is often used to describe isomeric structures. For example, with the molecular formula C_2H_6O , can be describe both ethylic alcohol and dimethylic ether. However, those two molecules are distinguishable from each other, using the empirical formula CH_3CH_2OH and $(CH_3)_2O$ and the structure formulas (Fig. 2).

Referring to the CIE color system (Commission Internationale de l'Eclairage), the molecular structure corresponds to the trichromatic system, the atoms C, H and O, are related with the tristimulus components X, Y and Z; the numbers of atoms 2, 6 and 1 are related to the tristimulus values.

The term metamerism is associated with the phenomena in which a pair of colors, which differ on spectral distribution, give the same color perception under certain conditions.

This pair of colors is called "metameric pair".

From a colorimetric point of view, the metamerism occurs when the tristimulus values XYZ of two objects are equal under one illuminant but different under another illuminant.

For a reflecting object, the color stimulus is given by $\Phi(\lambda)=R(\lambda)P(\lambda)$, where $P(\lambda)$ is the spectral distribution of the illuminant and $R(\lambda)$ is the spectral reflectance of the object.

IL METAMERISMO E LA SUA GESTIONE

Chiunque lavori nel settore del colore, avrà sicuramente avuto modo di scontrarsi con il fenomeno del metamerismo. Parliamo di metamerismo quando due colori producono la stessa sensazione colore sotto una condizione di illuminazione ma non sotto una seconda illuminante (Fig. 1).

Questo fenomeno potrebbe causare seri problemi in fase di contestazione di tinte provenienti da un sistema tintometrico.

A livello storico, sembra che il termine "metamerismo" sia stato proposto per la prima volta dal chimico tedesco Wilhelm Ostwald dove, in ambito chimico, questo termine è spesso usato per descrivere strutture di isomeri. Ad esempio, con la formula bruta C_2H_6O , possono essere descritte sia l'alcol etilico che l'etere dimetilico. Tuttavia, queste due molecole sono chiaramente distinguibili uno dall'altra perché la loro formula razionale è rispettivamente CH_3CH_2OH e $(CH_3)_2O$, e la loro struttura chimica (Fig. 2):

Relazionandoci al sistema colore CIE (Commission Internationale de l'Eclairage), la struttura molecolare corrisponde al sistema tricromatico, gli atomi C, H, e O corrispondono ai componenti di tristimolo X, Y e Z; mentre il numero di atomi 2, 6 e 1 corrispondono ai valori di tristimolo.

Il termine metamerismo è quindi associato al fenomeno per cui una coppia di colori, che differiscono nella

distribuzione spettrale, si eguagliano nel colore sotto certe condizioni. Questa coppia di colori è detta "coppia metamERICA".

Dal punto di vista colorimetrico, il metamerismo si verifica quando i valori tristimolo XYZ di due oggetti sono identici sotto un illuminante ma diversi sotto un altro. Per un oggetto riflettente, lo stimolo colore è dato da $\Phi(\lambda)=R(\lambda)P(\lambda)$, dove $P(\lambda)$ è la distribuzione spettrale dell'illuminante e $R(\lambda)$ è la riflettanza spettrale dell'oggetto riflettente.

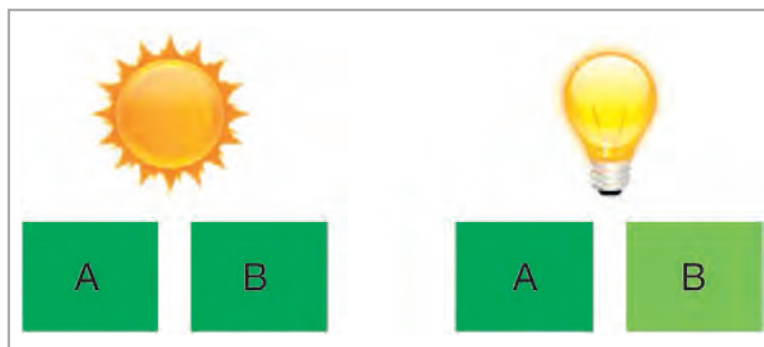


Fig. 1 - Metamerism: the color perception of two shades is the same under a lighting condition, but not under a second illuminant
Metamerismo: la sensazione colore è uguale sotto una condizione luminosa, ma diversa sotto un'altra

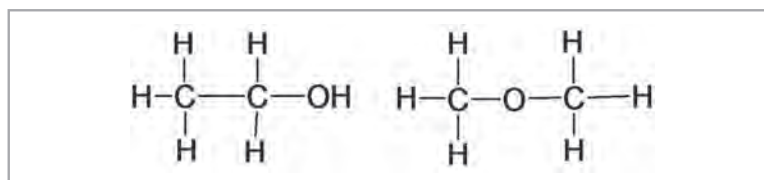


Fig. 2 - Molecular structure for ethylic alcohol (on the left) and for dimethylic ether (on the right)
Struttura molecolare dell'alcol etilico (a sinistra) e dell'etere dimetilico (a destra)

Quindi, i suoi valori di tristimolo X, Y e Z possono essere espressi come:

$$X = \kappa \int_{400}^{700} \Phi(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda$$

$$Y = \kappa \int_{400}^{700} \Phi(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda$$

$$Z = \kappa \int_{400}^{700} \Phi(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda$$

Dove $\bar{x}(\lambda)$ $\bar{y}(\lambda)$ $\bar{z}(\lambda)$ sono le funzioni colorimetriche per l'osservatore nel riferimento CIE 1931 o 1964, mentre κ è definita come

$$\kappa = \frac{100}{\int_{400}^{700} P(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda}$$

e viene selezionata in modo tale che il valore di tristimolo Y sia 100 per un oggetto perfettamente riflettente ($R(\lambda) = 1$ per tutte le lunghezze d'onda). È chiaro quindi dalle equazioni che due oggetti avranno lo stesso stimolo colore non solo se hanno lo stesso $R(\lambda)$, ma anche se la riflettanza $R'(\lambda)$, diversa da $R(\lambda)$ soddisfa le seguenti equazioni:

$$\int_{400}^{700} R(\lambda) P(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda = \int_{400}^{700} R'(\lambda) P(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda$$

$$\int_{400}^{700} R(\lambda) P(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda = \int_{400}^{700} R'(\lambda) P(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda$$

$$\int_{400}^{700} R(\lambda) P(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda = \int_{400}^{700} R'(\lambda) P(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda$$

In generale, il color matching non è più valido se una delle condizioni, quali la distribuzione spettrale dell'illuminante che illumina l'oggetto, cambia. Quindi, se la distribuzione dell'illuminante cambia da $P(\lambda)$ a $P'(\lambda)$, le equazioni riportate sopra non sono più valide e diventano:

$$\int_{400}^{700} R(\lambda) P(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda \neq \int_{400}^{700} R'(\lambda) P'(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda$$

$$\int_{400}^{700} R(\lambda) P(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda \neq \int_{400}^{700} R'(\lambda) P'(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda$$

$$\int_{400}^{700} R(\lambda) P(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda \neq \int_{400}^{700} R'(\lambda) P'(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda$$

In questo caso, siamo in presenza del fenomeno del metamerismo.

Esistono principalmente tre tipologie di metamerismo:

- Metamerismo d'osservatore si verifica quando due osservatori generano due percezioni diverse del colore;

The tristimulus values X, Y, Z for the reflecting object can be expressed as:

$$X = \kappa \int_{400}^{700} \Phi(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda$$

$$Y = \kappa \int_{400}^{700} \Phi(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda$$

$$Z = \kappa \int_{400}^{700} \Phi(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda$$

Where $\bar{x}(\lambda)$ $\bar{y}(\lambda)$ $\bar{z}(\lambda)$ are the colorimetric functions for the observer referred to the CIE 1931 or 1964, while κ is defined as

$$\kappa = \frac{100}{\int_{400}^{700} P(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda}$$

And it is selected in such way that the tristimulus value Y is 100 for a perfect reflecting object ($R(\lambda) = 1$ for all wavelength).

From the equations two objects will have the same color stimulus, not only if they have the same $R(\lambda)$, but also if the reflectance $R'(\lambda)$, different from $R(\lambda)$, satisfies the following equations:

$$\int_{400}^{700} R(\lambda) P(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda = \int_{400}^{700} R'(\lambda) P(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda$$

$$\int_{400}^{700} R(\lambda) P(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda = \int_{400}^{700} R'(\lambda) P(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda$$

$$\int_{400}^{700} R(\lambda) P(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda = \int_{400}^{700} R'(\lambda) P(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda$$

In general, the color matching is no more valid if one of the conditions, like the spectral distribution of the illuminant which illuminates the object, changes. Then, if the illuminant distribution changes from $P(\lambda)$ to $P'(\lambda)$, the above equations are no longer valid, and they will be described as:

$$\int_{400}^{700} R(\lambda) P(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda \neq \int_{400}^{700} R'(\lambda) P'(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda$$

$$\int_{400}^{700} R(\lambda) P(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda \neq \int_{400}^{700} R'(\lambda) P'(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda$$

$$\int_{400}^{700} R(\lambda) P(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda \neq \int_{400}^{700} R'(\lambda) P'(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda$$

In this case, we are in presence of the metamerism phenomena.

There are mainly three types of metamerism phenomena:

- Observer metamerism: it occurs when two observers give two different color perceptions;

- Visual field metamerism: it occurs when the visual angle can produce a different chromatic stimulus;
- Illuminant metamerism: it occurs when, by changing the lighting source, is produced a different color perceptions.

In the coating market, the most common metamerism is the illuminant metamerism, due to a wrong management of the color under different illuminants.

To avoid this problem, there are two solutions.

The first solution is to use the light cabinet with a standard light source as recommended by CIE: a grey pale and neutral background, a reference illuminant typical for each market (in the case of coatings, the standard illuminant is D65 and corresponds roughly to the midday sunlight in the Northern Europe), and a second illuminant to compare the color (for example the standard CIE illuminant A, which represents the tungsten-filament lighting).

If the difference in color fits in the established range (defined during the project specification), we can be sure about the color yield for the chosen illuminants. However, this method is too subjective and requires a good experience to evaluate critically the colors using the human eye.

A second method, more accurate and objective, is given by the use of spectrophotometer with dedicated software.

In this case is possible to measure not only the color difference (ΔE), but also the metamerism index, specifying the illuminants used.

The metamerism index, MI, is defined as:

$$MI = \sqrt{(\Delta L_1^* - \Delta L_2^*)^2 + (\Delta a_1^* - \Delta a_2^*)^2 + (\Delta b_1^* - \Delta b_2^*)^2}$$

Where ΔL_1^* , Δa_1^* , Δb_1^* , are the CIELab delta values for the color coordinates between the standard and the sample for the first illuminant, ΔL_2^* , Δa_2^* , Δb_2^* , are the CIELab delta values for the color coordinates between the standard and the sample for the second illuminant.

MI is not an absolute value but it depends on the illuminant pair used (for further information, it is possible to refer to the standard DIN 6172).

The metamerism index shows the probability for two colors to have the same color difference under different illuminants.

If the MI value is low, the color difference is the same under the two illuminants. In this case the two colors, under different illuminants, produce the same color perception.

If the MI value is high, there is a color difference between the two illuminated samples.

For example, If the sample is yellow under the illuminant 1, it could appear blue under the illuminant 2.

As the illuminant metamerism is the most common metamerism phenomena in the coatings market, here we would like to give an explanatory example.

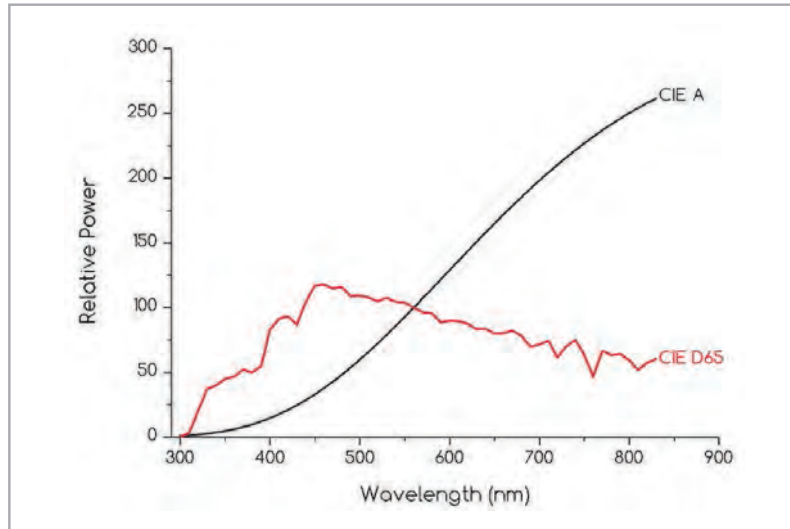


Fig. 3 - Spectral power distribution for the CIE illuminant D65 and A
Distribuzione potenziale spettrale delle illuminanti CIE D65 e A

- Metamerismo da campo visivo, quando l'angolo visivo può generare un diverso stimolo cromatico;
- Metamerismo dell'illuminante si verifica quando, cambiando la fonte luminosa, si evidenzia una diversa percezione dello stimolo cromatico.

Il metamerismo più comune nel settore pitture e vernici è sicuramente il metamerismo dell'illuminante, dovuto alla non corretta gestione del colore sotto diversi illuminanti.

Per ovviare a questo problema, sono state avanzate due soluzioni.

Una prima soluzione è quella di utilizzare apposite cabine con luce normalizzata, come descritto nelle raccomandazioni CIE: fondo grigio opaco e neutro, illuminante di riferi-

mento del settore d'impiego CIE (nel caso delle pitture e vernici, è stata scelta l'illuminante D65, riferita alla luce diurna media del mezzogiorno del cielo del nord) e secondo illuminante di confronto (ad esempio la sorgente standard CIE A, associata ad una lampadina con filamento di tungsteno).

Se la differenza riscontrata non supera i limiti stabiliti (decisi in fase di definizione dei progetti o dei lavori), avremo una certa tranquillità nella resa colore per le illuminanti scelte. Questo metodo è tuttavia molto soggettivo e richiede una certa esperienza nel valutare criticamente il colore semplicemente usando l'occhio come rivelatore.

Un metodo più accurato ed oggettivo, è rappresentato dalla misura del colore attraverso uno spettrofotometro abbinato a software dedicato. In questo caso si può numericamente stabilire non solo la differenza colore (ΔE), ma anche l'indice di metamerismo citando le fonti d'illuminazione utilizzate.

In particolare l'indice di metamerismo, MI, viene definito come:

$$MI = \sqrt{(\Delta L_1^* - \Delta L_2^*)^2 + (\Delta a_1^* - \Delta a_2^*)^2 + (\Delta b_1^* - \Delta b_2^*)^2}$$

Dove ΔL_1^* , Δa_1^* , Δb_1^* , sono i valori di delta CIELab delle coordinate colore tra lo standard e il campione per il primo illuminante, ΔL_2^* , Δa_2^* , Δb_2^* , sono i valori di delta CIELab delle coordinate colore tra lo standard e il campione per il secondo illuminante. È importante notare come il valore di MI non sia assoluto, ma dipenda dalla coppia di illuminanti scelte (per maggiori approfondimenti si rimanda alla norma DIN 6172).

Dal punto di vista colorimetrico, l'indice di metamerismo indica la probabilità che due colori evidenzino la stessa differenza colore sotto due differenti illuminanti. Se il valore di MI è basso, la differenza colore è la stessa sotto i due illuminanti. Questo significa che i due colori sotto diversi illuminanti producono la stessa sensazione colore.

Se il valore di MI è alto, significa che esiste una differenza di colore tra i due campioni illuminati dai due illuminanti. I campioni potrebbero apparire uguali sotto un illuminante, ma non sotto il secondo. Ad esempio, se il campione viene percepito come giallo sotto l'illuminante 1, potrebbe essere percepito blu sotto l'illuminante 2.

Poiché il metamerismo più comune nel settore pitture e vernici è quello dovuto al cambio di illuminante, riportiamo in questa sede un esempio esplicativo.

Per valutare il metamerismo di un colore standard rispetto al campione, dobbiamo:

1. Determinare i valori di tristimolo sotto un'illuminante di riferimento e rispetto all'osservatore (preferibilmente D65/10°);
2. Determinare i valori di tristimolo sotto l'illuminante da testare o da confrontare e rispetto all'osservatore (ad esempio l'illuminante A/10°).

Ad esempio, consideriamo il colore in Fig. 4, realizzato a partire da uno stan-



Fig. 4 - Example of standard color
Campione colore esempio

dard, per il quale vengono rilevati i valori XYZ per l'illuminante D65/10° e A/10°.

Le relative curve spettrali (R%) sono riportate in Fig. 5.

Il valore di indice di metamerismo per l'illuminante A/10° rispetto all'illuminante D65, $Ml_{65/A}$, è pari a 1.05, evidenziando un certo grado di metamerismo nel cambio di illuminante. Per superare questo problema, è quindi importante verificare le tinte sotto le stesse condizioni di illuminazioni.

In conclusione, abbiamo visto come il metamerismo e le illuminanti giocano un ruolo importante nel controllo e nella valutazione del colore nei processi qualitativi di una pittura o vernice colorata. È quindi consigliabile utilizzare le appropriate illuminazioni e le migliori condizioni per la valutazione del colore ed eliminare tutte le problematiche provenienti dal metamerismo.

To evaluate the metamerism between a standard color and a sample, we have to:

1. Measure the tristimulus values under a reference illuminant, with respect to an observer (preferably D65/10°);
2. Measure the tristimulus values under a second illuminant, with respect to an observer (for example, illuminant A/10°).

For example, considering the color in Fig. 4, that has been achieved from a standard, for which has been measured the XYZ values for the illuminants D65/10° and A/10°.

	Illuminant D65/10°		Illuminant A/10°	
	Standard	Sample	Standard	Sample
X	29.13	29.13	28.83	29.28
Y	32.58	32.58	31.86	32.73
Z	33.56	33.56	33.59	34.73

The spectral reflectance curves (R%) are described as reported in Fig. 5. The metamerism index $Ml_{65/A}$ for the illuminant A/10° compared to the illuminant D65, is 1.05, showing the metamerism effect for the change of illuminants.

To avoid this problem, it is important to verify the colors under the same illuminant conditions.

In conclusion, we have seen as the metamerism and the illuminants plays an

important role in the control and evaluation of the color, in the quality control in the coating market. So it is recommended to use the proper illuminant and the best light condition, to evaluate the color and avoid the problems related to the metamerism phenomena.

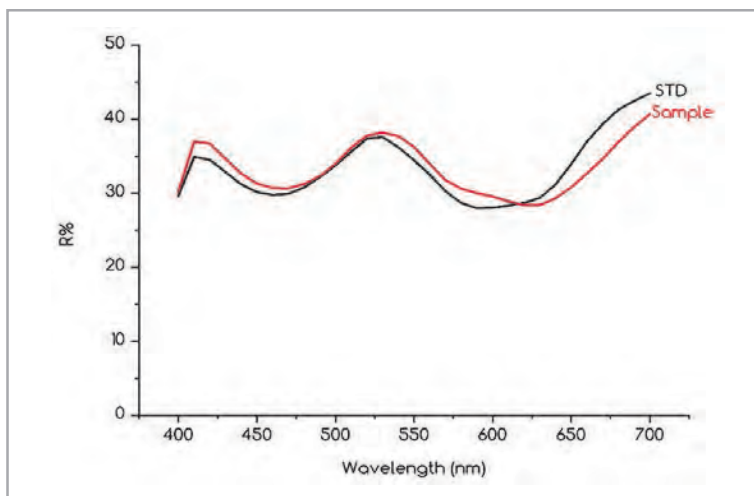


Fig. 5 - Spectral reflectance curves for the standard and the sample
Curve spettrali per lo standard e il campione da analizzare

BIBLIOGRAPHY

DIN 6172:2014
UNI 9869
Misurare il Colore,
C. Oleari, Hoepli,
2 ed., 2008.

ABOUT THE AUTHOR

Dr. Filippo Busolo received his PhD in Chemical Science from the University of Padova (Italy). After the PhD, he worked on nanomaterials and inorganic pigments and fillers in Spain and in Italy.

Now he is the Project Manager at Nuova EuroColori srl, Italy where he is responsible for the tinting system development team.

Dr. Filippo Busolo ha conseguito il Dottorato di Ricerca in Scienze Chimiche all'Università di Padova (Italia). Dopo il Dottorato, ha lavorato sui nanomateriali e sui pigmenti inorganici e fillers in Spagna e in Italia.

Attualmente è Project Manager presso Nuova EuroColori srl, dove è a capo del team di sviluppo di sistemi tintometrici.