

Il progetto Iride

La tecnologia del colore nell'università e nell'industria

di Aldo Gamba, Maurizio Fucilli, Franco Fattorini

L'uomo ha sempre cercato di dominare il colore e ne ha approfondito progressivamente la conoscenza e l'utilizzo: oggi il livello tecnologico della materia richiede un'elevata e specialistica qualificazione professionale. Si comprende quindi il successo dell'indirizzo sulla Tecnologia del Colore avviato quest'anno presso il corso di laurea di Chimica della Facoltà di Scienze della sede di Como dell'Università dell'Insubria.

In questa comunicazione sono ripercorse le principali tappe della storia moderna del colore [1-3] ed è sinteticamente presentato il profilo dell'indirizzo della Tecnologia del Colore del corso di laurea in Chimica della Facoltà di Scienze MNF dell'Università dell'Insubria di Como.

La classificazione del colore

Per comunicare il colore è indispensabile possedere un sistema razionale di riferimento, i semplici nomi del colore non sono sufficienti. Per esempio, richiedere un colore rosso significherebbe ricevere da un tecnico del settore una risposta del tipo: "Quale rosso? Un rosso giallastro? Neutro? Bluastro? E quanto bluastro?".

La creatività dell'uomo, in funzione delle conoscenze del colore del momento storico, ha dato origine ad un'infinità di tentativi di classificazione che hanno comunque contribuito ad elevare la disciplina del colore da una realtà essenzialmente empirica ad una scienza applica-

A. Gamba, Dipartimento di Scienze Chimiche, Fisiche e Matematiche - Università dell'Insubria - Via Lucini, 3 - 22100 Como. M. Fucilli, Consiglio dei Chimici - Unione industriali di Como - Via Raimondi, 1 - 22100 Como. F. Fattorini, Lechler SpA - Via Cecilio, 17 - 22100 Rebbio (CO).

ta [4-6]. La Tabella 1 dà un'idea degli sforzi compiuti e del tempo che è stato necessario per risolvere adeguatamente il problema.

L'imitazione del colore nell'industria

È chiaro che per "gestire" il colore è richiesta la possibilità di un controllo strumentale, attraverso uno spazio colore nel quale poter determinare la differenza tra due colori su basi matematiche, per esempio come distanza tra i punti che li rappresentano [8-10].

È quindi indispensabile correlare il valore della distanza con la soglia percettiva dell'occhio umano, con la finalità che a valori calcolati ed uguali corrispondano uguali percezioni: in tal modo è perseguibile la definizione delle tolleranze di colore, indispensabile per la definizione di capitolati e di criteri di accettabilità.

Problema di non facile risoluzione, perché la capacità dell'occhio umano di discriminare il colore varia con il variare della lunghezza d'onda, ovvero con lo stesso colore.

È alla luce di questi elementi che è sempre stato affrontato il problema del colore, ovvero l'ottenimento del colore desiderato. Sino a pochi decenni fa si procedeva con il metodo della prova ed errore, ovvero mediante una serie di

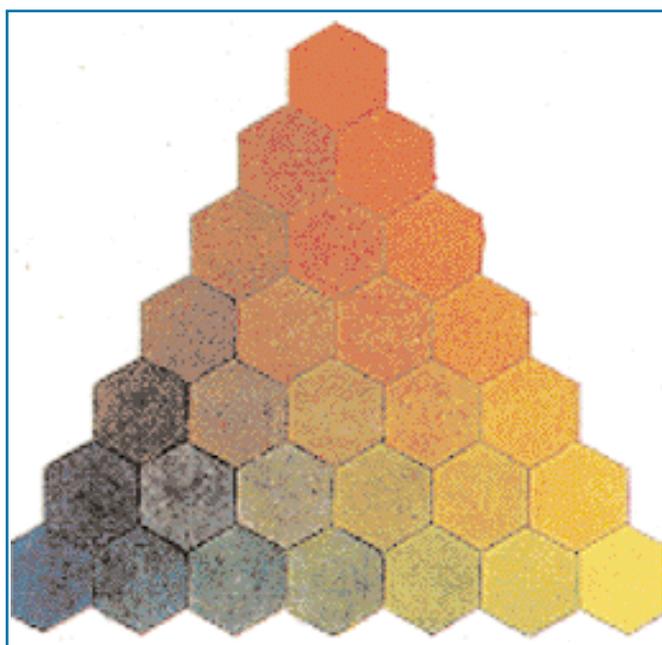


Figura 1 - Il triangolo di Tobias Mayer



Figura 2 - Il sistema di Moses Harris

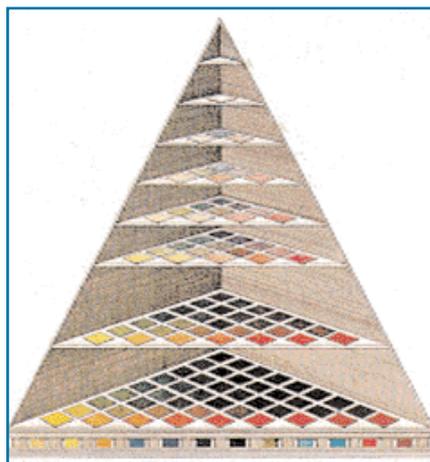


Figura 3 - La piramide di Lambert

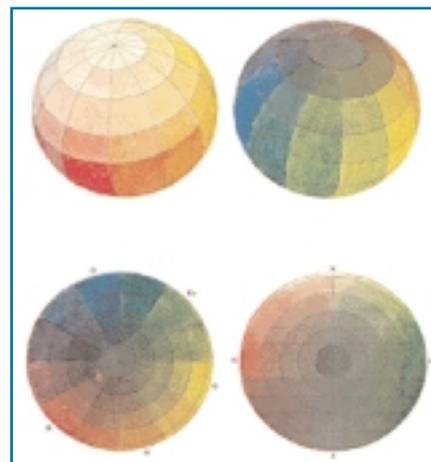


Figura 4 - La sfera di Runge

successivi, e qualche volta estenuanti, tentativi, dove l'intuito, l'esperienza pratica e le conoscenze del colorista, perno della soluzione del problema, erano fondamentali.

È comprensibile come tale approccio, con il passare degli anni, evidenziò chiari limiti in relazione alla necessità di ottenere risultati in tempi sempre più brevi ed a costi sempre più contenuti, imitazioni sempre più precise e processi produttivi più rapidi: con il progresso tecnologico si era infatti riusciti ad automatizzare buona parte delle realtà pro-

duttive (siamo all'incirca negli anni settanta), ma il colore costituiva ancora per la maggior parte delle aziende un dominio assoluto della manualità [11].

All'epoca il fenomeno del colore nei suoi elementi fisici e percettivi era già stato sufficientemente esplorato per poter "calcolare" il colore, ossia per definire un metodo di calcolo che permettesse, data una gamma di pigmenti disponibili [12,13], di prevedere con quale miscela degli stessi si potesse imitare il colore di un campione [14,15].

Peraltro, l'ostacolo all'ampio e generale

utilizzo della teoria e della strumentazione disponibile, era legato alla complessità o meglio alla quantità di calcoli da svolgere. Solamente la diffusione dei microcomputer (personal computer) permise l'utilizzo della formulazione strumentale del colore al livello delle attività quotidiane e del singolo operatore. In effetti, il notevole aumento della capacità di elaborazione dei personal computer avvenuta negli anni passati ha permesso di ridurre non solo i tempi di calcolo, ma anche di migliorare di qualche ordine di grandezza la ripetibilità e la riproducibilità delle misure, mediante la gestione con microprocessori di tutti gli strumenti coinvolti. La taratura degli spettrofotometri è oggi un processo di routine e si realizza con estrema semplicità e notevole accuratezza e precisione.

Merito anche del sempre maggiore utilizzo di tecniche statistiche di interpolazione ed ottimizzazione, il cui uso era impensabile con la strumentazione di qualche decennio fa. Oggi i maggiori problemi sono esterni al sistema colore: per esempio, nel campo tessile, contro una tolleranza di 0,3-0,5 ΔE (CMC) dei clienti più esigenti, una riproducibilità degli spettrofotometri di 0,05-0,2 ΔE , una prima formulazione del computer con $\Delta E < 1$ e migliorabile con i passaggi successivi sino ai valori richiesti dai clienti, vi è la variabilità dei parametri del processo produttivo che può essere di 3 ΔE per la qualità dell'acqua utilizzata, di 5 ΔE per l'instabilità delle soluzioni/dispersioni di coloranti, di 2,5-3 ΔE per errori di pesata dell'ordine di grandezza di qualche per cento. La Tabella 2 evidenzia una parte di quanto occorre fare per conseguire la formulazione del colore: circa 300 anni di impegnativo la-

Tabella 1 - I sistemi di classificazione dei colori (le pietre miliari)

1593	Della Porta cerca di ordinare i colori
1611	Forcius organizza la sua visione del colore
1671	Il diagramma di Athanasius Kircher
1758	Tobias Mayer's Farbendreieck [Figura 1]
1766	Moses Harris' Prismatic Color Mixture System [Figura 2]
1772	Lambert esegue la prima rappresentazione spaziale (piramidale) del colore [Figura 3]
1810	Il circolo di J.W. Goethe
1810	P.O. Runge elabora una sfera con meridiani e paralleli [Figura 4]
1861	L'emisfero di Chevreul [Figura 5]
1874	Wilhelm von Bezold Farbentafel [Figura 6]
1885	Charpentier propone un cubo come migliore rappresentazione dello spazio colore
1905	A. Munsell definisce il suo sistema di classificazione, pubblicato nel 1915 [Figura 7] W. Ostwald pubblica "Der Farbenatlas" [Figura 8]
1931	CIE spazio Cielab [Figure 11 e 11.1]
1940	La codifica cubica di A. Hicktier
1953	È pubblicata la DIN 6164 - Farbenkarte
1958	Kuppers perfeziona il cubo di Hickthier ed usa un romboedro
1961	Il circolo del colore di Johannes Itten [Figura 9]
1962	Appare il Pantone Matching System
1969	The Scandinavian Color Institute pubblica il Natural Color System Atlas [Figure 10 e 10.1]
1974	La Optical Society of America definisce l'Osa System
1978	Il Japan Color Research Institute definisce il Chroma Cosmos 5000
1982	È pubblicato il Chromaton da parte dello Japan Color Research Institute

**Università degli studi dell'Insubria - Facoltà di scienze matematiche fisiche e naturali
Corso di laurea in chimica - Indirizzo tecnologia del colore - Struttura degli insegnamenti**

1 - Chimica fisica del colore

Bibliografia generale:

- G. Wyszecki, W.S. Stiles, Color Science
- C. Oleari, Misurare il colore

1a - La teoria del colore

Contenuti:

- La natura chimica del colore
- La natura fisica del colore
- La fotometria
- La spettroscopia
- Le sorgenti
- I rilevatori

Bibliografia:

- K. Nassau, The Physics & Chem. of Color
- G. Kortüm, Reflectance Spectroscopy

1b - La scienza del colore

Contenuti:

- La fisiologia del colore
- La colorimetria
- L'uguaglianza del colore
- Le scale del colore
- La percezione del colore
- Lo spazio del colore

Bibliografia:

- R.W.G. Hunt, Measuring Colour
- D.L. MacAdam, Color Measurement

2 - Laboratorio di chimica fisica del colore

Bibliografia generale:

- R.S. Hunter, R.W. Harold, The Measurement of Appearance

2a - La misura del colore

Contenuti:

- L'aspetto degli oggetti
- La normazione del colore
- Strumentazione e riferimenti

Bibliografia:

- A.B. Schunn, Pract. Color Measurement
- Astm Standards, Color & App. Measurement

2b - Laboratorio colore

Contenuti:

- Esercitazioni pratiche su:
- Le Cabine Illuminanti - Le Scale colore
 - La Strumentazione Fotometrica - La Strumentazione Colorimetrica
 - Le misure di Brillantezza - Le misure di Aspetto

Bibliografia:

- Manuali tecnici degli strumenti

3 - Chimica e tecnologia delle sostanze coloranti

Bibliografia generale:

- W. Erbst, K.Hunger, Industrial Organic Pigments
- H. Endriss, Inorganic Coloured Pigments Today

3a - I coloranti

Contenuti:

- Lo sviluppo dei coloranti
- Le classi dei coloranti

3b - I pigmenti

Contenuti:

- Lo sviluppo dei pigmenti
- Le classi dei pigmenti

3c - I polimeri

Contenuti:

- Chimica macromolecolare
- Le famiglie di polimeri

3d - Polimeri e colore

Contenuti:

- Trend Cromatici
- Effetti speciali
- Masterizzazione
- Verniciatura

Bibliografia:

- P. Gordon, P. Gregory, Org. Chem. in Colour
- AAVV, Spec. Effect Pigments

Bibliografia:

- D.H. Solomon, Chem. of Pigments

Bibliografia:

Bibliografia:

- Aim, FdS. d. Polimeri

4 - Laboratorio di chimica e tecnologia delle sostanze coloranti

Bibliografia generale:

- D. B. Judd, G. Wyszecki, Color in Business Science and Industry
- T. C. Patton, Pigment Handbook

4a - Il colore nell'industria

Contenuti:

- Gli aspetti economici
- I processi operativi
- Il "Color Deployment"

Bibliografia:

- R. Mc Donald, Colour Physics for Industry
- J.Park, Instrumental Colour Formulation

4b - Laboratorio colore: tessili

Contenuti:

- Tecnologia colore nel settore
- Esercitazioni specifiche

4c - Laboratorio colore: chimici

Contenuti:

- Tecnologia colore nel settore
- Esercitazioni specifiche

4d - Laboratorio colore: legno

Contenuti:

- Tecnologia colore nel settore
- Esercitazioni specifiche

4e - Laboratorio colore: altri

Contenuti:

- Tecnologia colore nel settore
- Esercitazioni specifiche



Figura 5 - L'emisfero di Chevreul

voro e di notevoli intuizioni mentre la Tabella 3 tratteggia la storia della formulazione strumentale del colore.

I sistemi colorimetrici

L'unico reale problema rimasto è quello dell'accordo, nella misura del colore, tra strumenti di origine diversa e di utilizzatori diversi. [16-18] Basti pensare alla sempre più crescente terziarizzazione del lavoro di tinteggiatura o verniciatura per comprendere come il non accordo tra gli strumenti possa indurre a costosi equivoci tra il laboratorio di progettazio-

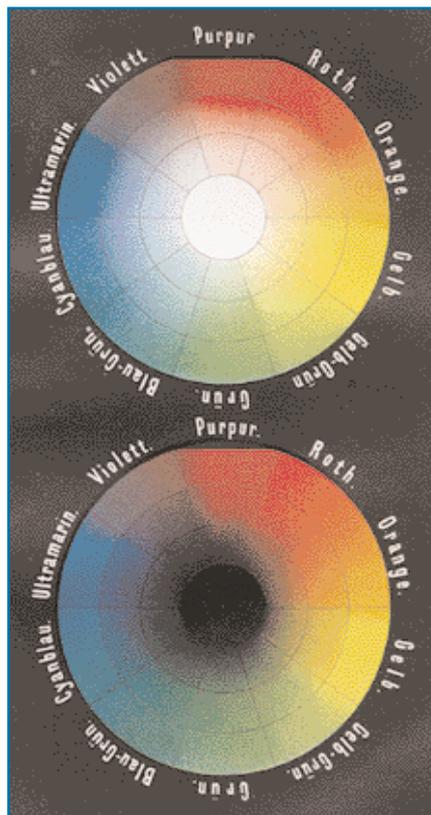


Figura 6 - Bezold Farbentafel

ne, la produzione, le aziende esterne. Per tentare di risolvere questo problema si sono diffusi sistemi fondati su un



Figura 7 - Il sistema Munsell

sistema colore "madre": in un sistema costituito da PC e Spettrofotometro e dotato di un database centralizzato sono memorizzati tutti i dati relativi ai pigmenti o coloranti, gli standard di riferimento e le formulazioni di partenza. I sistemi colore "figli", connessi alla "madre" mediante un'adeguata rete informatica, sono dotati di spettrofotometri in accordo con quello della "madre" che, utilizzando i dati presenti sul data base centralizzato e gli stessi algoritmi di calcolo e di misura, danno origine, per un dato colore, alle stesse identiche formule ed agli stessi identici risultati colorimetrici. Purtroppo, anche quest'ulteriore evoluzione si è rivelata insufficiente a gestire i nuovi trend colorimetrici.

Le nuove frontiere

In effetti, i primi sistemi colore si sono rivelati inadeguati con l'apparire dei colori metallizzati utilizzando pigmenti metallici, con la disponibilità industriale dei pigmenti perlacei e con l'utilizzo dei loro derivati da parte dell'industria automobilistica [16,19]. Come noto, i pigmenti metallici sono costituiti sostanzialmente da particelle di alluminio di forma lamellare che riflettono quasi totalmente la luce incidente. Inclinando l'oggetto nel

Tabella 2 - Formulazione strumentale del colore

1676	Esperimenti di Newton sulla luce
1802	Thomas Young spiega il tricromatismo ipotizzando la presenza sulla retina di tre particelle, ciascuna sensibile ad uno dei tre colori fondamentali, (rosso, verde e violetto)
1808	J.W. Goethe pubblica "Farbenlehre" (La teoria dei colori)
1905	Munsell definisce un metodo per classificare i colori
1931	La Cie definisce l'osservatore standard
1931	Articolo di Kubelka-Munk, riportante le equazioni che permettono di calcolare la curva di riflettanza di una miscela di pigmenti dai valori di K e S degli stessi
1935	Primo spettrofotometro registratore commercialmente disponibile (Hardy)
1948	Primo colorimetro tristimolo per la misura delle differenze di colore (Hunter)
1952-55	Prime previsioni delle formulazioni ottenute per calcolo della curva di riflettanza
1958	Primo sistema di imitazione del colore mediante calcolatore analogico (Comic)
1959	G.Wald e P.Brown (Harvard) contemporaneamente a E. MacNichol e W.Marks (Johns Hopkins) scoprono i tre coni sensibili ai tre colori fondamentali, confermando l'ipotesi di T.Young
1961	Primo sistema di imitazione del colore basato su calcolatore digitale (Ici Imp fornito di calcolatore Elliot 803B)
1967-68	Collegamento diretto di spettrofotometro e calcolatore digitale (Ics e Varian)
1973	Collegamento di un colorimetro tristimolo con un minicomputer per la misura delle differenze di colore (ICI Colour-Difference Meter)
1978	Sostituzione del minicomputer con un microprocessore inserito nel colorimetro. Larga diffusione dei sistemi colore basati su microprocessori.
1998	Inizio della diffusione di sistemi colore a rete

quale sono stati utilizzati i pigmenti metallici, ad un angolo di riflessione pari a quello di incidenza della luce, appare un tono di colore diverso da quello che si percepisce a tutti gli altri angoli di osservazione. Solo negli ultimi anni sono state definite soluzioni tecnologiche avanzate che ambiscono a ridurre in questi casi l'incertezza di valutazione del colore o, al minimo, a costituire riferimenti "relativi" che ausilino il tecnico nell'attività quotidiana. Nel caso dei pigmenti perlacei, il colore cambia diverse volte con il cambiare dell'angolo di osservazione e ciò è dovuto al fatto che il colore è generato per interferenza: per ogni angolo di osservazione la luce percorre un cammino ottico di diversa lunghezza, gli effetti di interferenza distruttiva o di amplificazione variano e muta di conseguenza il colore percepito. In questi due casi le basi fisiche [18] sulle quali attualmente riposano i sistemi colore non sono più valide e si ridefinisce quindi una situazione di sostanziale dipendenza della valutazione del colore dalle competenze umane.

La pervasività del colore

Per comprendere la rilevanza della materia, va considerato che le tecniche di misurazione e di formulazione del colore sono applicate nell'ambito dell'industria con due finalità:

- l'imitazione dei colori richiesti dal mercato e dai clienti,
- il controllo del colore nell'ambito del processo produttivo (controllo di qualità), sia per il controllo dei pigmenti e dei coloranti all'inizio del processo produttivo, sia nelle diverse fasi dello stesso per assicurarne la regolarità, fino al controllo finale per verificare la conformità alle specifiche dei clienti.

I materiali il cui colore, per svariate ragioni, deve essere controllato e/o formulato appartengono a numerosissimi settori quali: alimentari, carta, ceramica, cosmetici, cuoio, inchiostri, materiali edili, metalli, plastica, tessuti, vetro. Appare ragionevole ritenere che nessun'industria possa ritenersi oggi non coinvolta da questa tematica.

La formazione di tecnici del colore

Da quanto sopra esposto è evidente, a prescindere dall'indiscutibile progresso tecnologico, la centralità del capitale umano in tutte le problematiche di "color management".

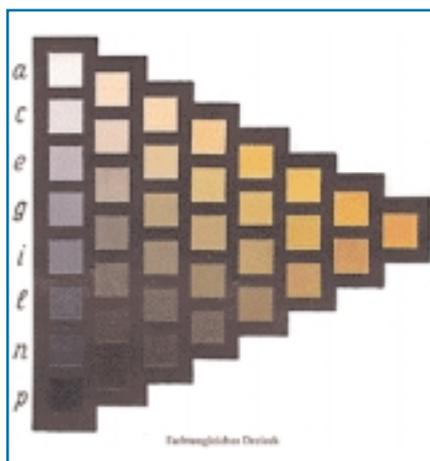


Figura 8 - Il triangolo di Ostwald



Figura 9 - Il circolo del colore di Itten

In particolare, è chiara la necessità di tecnici di alto livello, tanto per gestire in modo ottimale le sempre più complesse realtà industriali, quanto per sostenere l'attività di ricerca applicata indispensabile per la risoluzione dei quesiti proposti dalle nuove classi di pigmenti. Occorrono in particolare figure professio-

nali in grado di assicurare la gestione totale del processo di generazione del colore desiderato, nella qualità, nella quantità, nei tempi e nei costi prefissati. Naturalmente, la capacità di sovrintendere ad un complesso insieme di risorse umane, attrezzature, strumenti, materie prime, prodotti finiti ed eterogenee

Tabella 3 - Storia della chimica del colore

1704	Appare il primo pigmento sintetico, il blu di Prussia
1804	Thenard produce il blu di Cobalto
1856	W.H. Perkin sintetizza la malveina
1859	Verguin scopre il rosso magenta
1863	Lightfoot riscopre il nero d'anilina già segnalato nel 1834
1863	Ha grande successo il bruno Bismark, scoperto da Martius
1878	Fischer mette a punto il blu di metilene
1869	K. Graebe e K. Lieberman producono per via sintetica l'alizarina
1873	Croissant e Bretoniere scoprono il primo pigmento a base zolfo
1875	Caro produce la Crisoidina, usata ancor oggi
1880	Adolf von Bayer inventa il primo procedimento di sintesi per l'indigotina
1884	Bottiger prepara il primo colorante per cotone: il rosso Congo
1887	Green produce il giallo primulina
1901	Böhn scopre l'Indantrone
1902	Viene commercializzato il Lake Red C
1903	Inizia la produzione del Rubino Litolo
1905	Appare il rosso toluidina
1907	Von Braun sintetizza la ftalocianina
1909	Vengono immessi sul mercato i gialli Hansa
1912	Appaiono i primi rossi naftolo As
1927	Viene messa a punto la prima ftalocianina a base rame da Diesbach
1935	Appaiono i pigmenti a base diarilide
1936	Vengono introdotti i rossi molibdato
1954	Ratte e Stephen mettono a punto coloranti che reagiscono direttamente con la cellulosa
1954	Vengono introdotti i pigmenti disazoici
1955	Appaiono i chinacridoni
1960	Viene introdotto il gialloTitanio ed i pigmenti a base benzamidazolone
1964	Vengono prodotti i pigmenti isolindolinonici
1979	Ciba introduce i Procion che reagiscono in ambiente neutro
1986	Appaiono i pigmenti a base dichetopirrolo

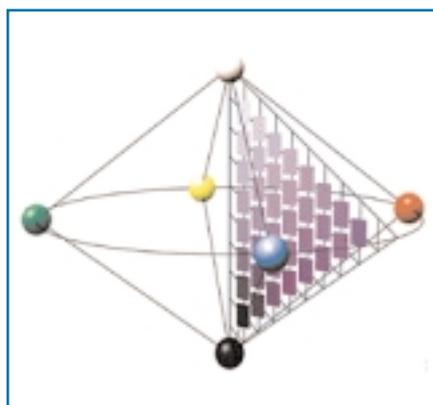


Figura 10 - Il sistema NCS

finalità quali le esigenze dei clienti e le esigenze di redditività, richiede una solidissima formazione di base ma anche un adeguato profilo attitudinale ed esperienziale.

Essere esperti di colore richiede una particolare sensibilità ed apertura intellettuale, unitamente alla creatività necessaria per affrontare la proposizione di nuovi colori, dove la tecnologia sopra citata può dare un contributo solo per la razionalizzazione produttiva ed economica del problema, senza peraltro poter influire sui suoi aspetti estetici e psicologici, sempre presenti nei giudizi sul colore. Quanto esposto si applica anche alle fasi di controllo qualità nel processo produttivo, o di controllo di accettazione.

In sintesi, vi è indubbiamente un forte fabbisogno di competenze e di risorse nell'ambito del Color Management. Queste considerazioni sono alla base dei progetti attivati negli ultimi anni nell'area della formazione sul colore. A questo proposito, nell'ambito della collaborazione tra mondo accademico e mondo industriale, è particolarmente significativa l'esperienza sviluppata a Como nel contesto di un'iniziativa denominata "Progetto Iride".

Il Progetto Iride

Il Progetto Iride è un'iniziativa del Consiglio dei Chimici dell'Unione Industriali di Como per promuovere e sostenere iniziative ed attività finalizzate alla costituzione di una "Co-

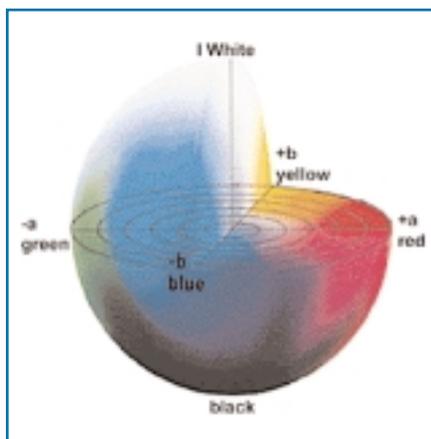


Figura 11 - Spazio Cielab

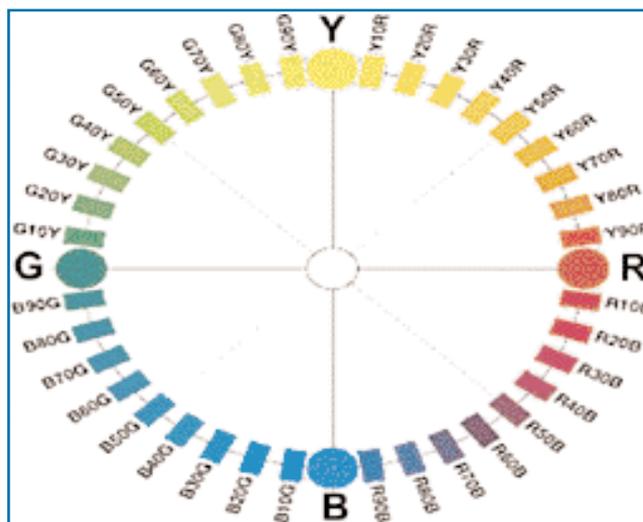


Figura 10.1 - Sezione orizzontale del sistema NCS

lor Valley" a Como, ovvero orientate alla creazione di un "polo di eccellenza" nella disciplina del colore.

Nell'ambito di questo progetto, nei primi mesi del '99 si è sviluppata una collaborazione tra l'Unione Industriali e il corso di Laurea in Chimica della Facoltà di Scienze della sede di Como dell'Università dell'Insubria, mirata all'identificazione di percorsi formativi dedicati alla tematica del colore.

L'indirizzo di laurea sul colore

Va ricordato che il corso in Laurea in chimica a Como ha ormai separato dieci anni di vita. Quattro anni fa è stato attivato il diploma universitario in chimica ad indirizzo tessile, [20] su sollecitazione del mondo tessile comasco, che da allora contribuisce direttamente alla formulazione dei corsi professio-

nalizzanti, all'organizzazione dei tirocini in azienda e, più in generale, al sostegno ed alla promozione delle attività didattiche e scientifiche.

Analogamente, l'iniziativa nell'area del colore è stata attivata in prima istanza per la definizione di corsi professionalizzanti, e in una seconda fase per l'istituzione di un effettivo nuovo indirizzo del corso di Laurea in Chimica, denominato "Tecnologia del Colore".

Tale indirizzo si propone di formare laureati in chimica con una qualificata specializzazione nella disciplina del colore. Elemento distintivo dell'indirizzo è costituito dai due insegnamenti di laboratorio, dei quali il secondo è caratterizzato da un'innovativa articolazione in moduli presso laboratori industriali di aziende operanti in diversi settori (tessile, chimico, legno ecc.).

I benefici attesi del nuovo indirizzo didattico sono anche nella creazione delle condizioni per attivare progetti di ricerca e di sperimentazione, con il duplice obiettivo dello sviluppo delle conoscenze e dell'implementazione di soluzioni tecnologiche innovative. Si riportano in Tabella 4 le linee guida degli inse-

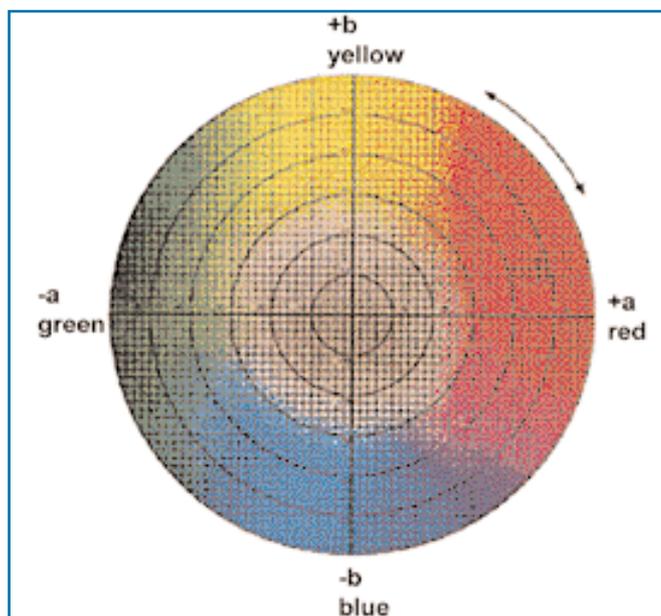


Figura 11.1 - Sezione dello spazio Cielab

gnamenti previsti. L'attivazione di tale indirizzo, a nostra conoscenza unica realtà di questo tipo negli atenei italiani, rivela la vocazione industriale della laurea in Chimica di Como.

L'attuazione pratica di questa vocazione si sta realizzando al momento dell'entrata in vigore della riforma della didattica universitaria, che prevede a Como, a fianco della laurea triennale in Chimica, una laurea triennale in Chimica Industriale Gestionale e Tessile.

Bibliografia

- [1] H. Zollinger, *Color. A Multidisciplinary Approach*, Zurich, Verlag Helvetica Chimica Acta - Weinheim - New York, Wiley VCH 1999.
- [2] C. Oleari, *Misurare il colore*, Hoepli, Milano, 1998.
- [3] G. Wyszecki, W.S. Stiles, *Color Science: concepts and methods quantitative data and formulae*, 2nd ed, John Wiley & sons, New York, 1982.
- [4] K. Nassau, *The Physics and Chemistry of Colour, The Fifteen Causes of Color*, 1st ed., John Wiley & sons, New York, 1983.
- K. Nassau, *The Physics and Chemistry of Colour*, 2 ed. John Wiley & sons, New York, 2001.
- [5] K. Nassau, *The Fifteen Causes of Color*, in *Color Research and Application*, 1987, **12**(1), 4.
- [6] G. Kortüm, *Reflectance Spectroscopy: Principles, Methods, Applications*, Springer, Berlin, 1969.
- [7] R.W.G. Hunt, *Measuring Colour*, 2nd ed., Ellis Horwood, New York, 1991.
- [8] D.L. Mac Adam, *Color Measurement: Theme and variations*, 2nd ed, Springer Verlag, Berlin, 1985.
- [9] R. S. Hunter, R.W. Harold, *The Measurement of Appearance*, 2nd ed., John Wiley & sons, New York, 1987.
- [10] A. Berger-Schunn, *Practical Color Measurement: a primer for the beginner, a reminder for the expert*, John Wiley & sons, New York, 1994.
- [11] American Society for Testing and Materials, *Astm Standards on Color and Appearance Measurement* (sponsored by Astm Committee E-12 on Appearance) West Conshohocken, PA, Astm 6 ed. 2000.
- [12] W. Erbst; K.Hunger, *Industrial Organic Pigments: production, properties, applications*, 2nd ed., John Wiley & sons - VCH, 1997.
- [13] H. Endriss, *Inorganic Coloured Pigments Today*, CR Vincentz, Hannover, 1998.
- [14] P.Gordon, P. Gregory, *Organic Chemistry in Colour*, Springer Verlag, Berlin, 1987.
- [15] D.H. Solomon; D.G Hawthorne, *Chemistry of pigments and fillers*, Malabar, FLA, Krieger Pub. Co. 1991.
- [16] D.B. Judd, G.Wyszcky, *Color in Business, Science and Industry*, 3rd ed., John Wiley & sons, New York, 1975.
- [17] T.C. Patton, *Pigment Handbook*, John Wiley & sons, New York, 1973.
- [18] J. Park, *Instrumental Colour Formulation: a practical guide* SDC - Society of Dyers and Colourists 1993.
- [19] R.Mc Donald, *Colour Physics for industry*, SDC - Society of Dyers and Colourists 2nd ed. 1997.
- [20] A. Gamba, *La Chimica e l'Industria*, 1997, **97**, 1007.

Si ringrazia Stefano Vita per il prezioso supporto alla stesura della comunicazione.